

Б-599490

КРД

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

СОБРАНИЕ
СОЧИНЕНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

6T5 (copy)

11-66¹⁸

4

2.5 (copy)
2.6 (copy)

кпр

8/6

6Т5 (осс)
Ц 663
4

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ

*

Том четвертый

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ТЕХНИКА

064665-9

РЯЗАНСКАЯ
областная библиотека
им. А. М. Горького

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1964

*Печатается по постановлению
Совета Министров СССР
от 23 апреля 1948 г.*

Издание подготовлено Комиссией
по разработке научного наследия
К. Э. Циолковского

СОСТАВ КОМИССИИ:

академик *А. А. Благоврагов* (председатель),
академик *А. И. Опарин*, академик *В. Г. Фесенков*,
доктор физико-математических наук *А. А. Космодемьянский*,
доктор физико-математических наук *Д. Я. Мартынов*,
доктор медицинских наук *К. К. Платонов*,
доктор технических наук *М. К. Тихомиров*,
инженер *Б. Н. Воробьев* (ученый секретарь)

Научные редакторы разделов:

Д. Я. Мартынов, А. И. Опарин, А. С. Федоров

004.000.000

ОТ РЕДАКЦИИ

Константин Эдуардович Циолковский наиболее известен своими трудами в области воздухоплавания, авиации и ракетной техники. Однако им написано также большое число работ по другим самым разнообразным вопросам естествознания и техники.

Среди трудов Циолковского мы встречаем разработку проблем геофизического и астрономического характера; он интересовался и чисто физическими проблемами, в частности вопросами свойств вещества, энергии, строения атома. Некоторые его работы посвящены энергетике. Работал он также над проблемами геологии и геохимии; занимался биологическими проблемами, где его интересовали вопросы зарождения жизни и распространения жизни в мироздании.

На первый взгляд кажется странным, как могли сочетаться в научной деятельности одного человека такие, казалось бы, ничего общего между собой не имеющие вопросы, как гипотеза о повторяемости звездных явлений и теория самозарождения, исследование физических проблем и рассмотрение пособия организмов и отклонений от него, разработка проблем транспорта и изучение прошлого Земли.

Однако при внимательном изучении научного наследия К. Э. Циолковского становится ясно, что все его исследования были направлены на решение главной задачи, поставленной перед собой учеными,— на совершенствование человеческого рода, на обеспечение полной победы человека над силами природы, на освоение человеком космического пространства и создание новых условий человеческой жизни как высшей формы ее развития.

В настоящий IV т. собрания сочинений ученого включены наиболее интересные его труды по астрономии, биологии и отдельным вопросам техники.

Работы печатаются в том виде, в каком они были опубликованы при жизни ученого или оставлены им в рукописях, с сохранением терминологии автора, системы нумерации формул и параграфов и всех особенностей его своеобразного стиля.

В разделах «Астрономия» и «Биология» работы расположены в хронологическом порядке, в разделе «Техника» статьи сгруппированы тематически — транспорт, исследование морских глубин, освоение жарких пустынь и др.

Отбор произведений и составление тома были проведены академиками А. А. Благонравовым, А. И. Опариным, В. Г. Фесенковым, доктором физ.-мат. наук Д. Я. Мартыновым и ученым секретарем Комиссии по разработке научного наследия К. Э. Циолковского Б. Н. Воробьевым.

Подготовка текста была проведена сотрудниками Института истории естествознания и техники АН СССР: Е. К. Страутом (астрономия), канд. биол. наук Н. А. Григорян (биология) и канд. техн. наук С. А. Соколовой (техника) при участии научно-технических сотрудников И. В. Баландиной и С. А. Меркуленковой.

В подготовке тома к изданию приняли участие: член-корреспондент АМН доктор медицинских наук Н. А. Бернштейн, доктор технических наук Ф. Я. Нестерук и инженер В. В. Разумов, которым редакция приносит глубокую благодарность.

АСТРОНОМИЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

доктора физико-математических наук

Д. Я. МАРТЫНОВА

Академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

ХАРАКТЕРИСТИКА АСТРОНОМИЧЕСКИХ РАБОТ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО

Совокупность астрономических работ К. Э. Циолковского естественно разбивается на два раздела. К первому разделу отнесем исследование некоторых проблем, представляемых движением тел в космическом пространстве, проблем, связанных с образованием солнечной системы и других космических тел, а также с внутренним строением солнца и поддержанием солнечного лучеиспускания. Ко второму можно отнести описание физических свойств солнца и планет, соображения об использовании солнечной энергии, а также соображения об обитаемости планет, о существовании жизни во вселенной и о космических путешествиях.

К этим проблемам Циолковский возвращался на протяжении всей своей деятельности, постоянно развивая и пополняя в отдельных статьях свои взгляды. Все его работы проникнуты горячим стремлением расширить власть человека над природой и твердой уверенностью, что в будущем из человечества выработается новая более совершенная раса, которая подчинит себе даже галактическую систему и обеспечит условия прогресса, беспредельного во времени и пространстве.

Для оценки работ Циолковского нужно принимать во внимание, что вся его деятельность протекала в провинциальном городе, изолированно от научных работников, интересующихся теми же вопросами. Поэтому в работах Циолковского часто встречаются выводы, уже известные науке, но тем не менее полученные им оригинальным приемом, самостоятельно и глубоко продуманные, и соображения, уже не соответствующие более современной науке, представляющие лишь исторический интерес. Кроме того, в ряде случаев богатая фантазия Циолковского рисовала картины, которые нельзя при современном состоянии наших знаний вывести из известных данных и даже такие, которые при всей своей красочности едва ли могут быть согласованы с современными представлениями о природе.

Перейдем к рассмотрению первого раздела работ Циолковского.

В одной из своих работ Циолковский рассматривает вопрос о движении материальной точки под влиянием притяжения, согласно общей формуле $F = kr^{-n}$, где r — радиус-вектор. Он получает выражение для работы, совершаемой точкой при ее удалении на различные расстояния и в том

числе на бесконечность, выражение для линейной и векториальной скоростей, уравнение траектории в плоскости движения точки в прямоугольных и полярных координатах. При этом, естественно, более детально разбирается закон Ньютона обратных квадратов расстояния. В случае кубического закона при $n = 3$ Циолковский находит, что траектория движения точки должна представить спираль, приближающуюся или удаляющуюся от центра и только в предельном случае переходящую в окружность. Нужно заметить, что из рассматриваемых случаев осуществляются в действительности лишь закон Ньютона, при котором $n = 2$, и закон притяжения пропорционального расстояния при $n = -1$. Первый соответствует притяжению отдельными материальными точками, или зависимости друг от друга материальными телами со сферической симметрией в распределении их масс, а второй — случаю движения точки внутри однородной сферы. Естественно, что в природе могут встречаться и промежуточные случаи, представляющие сочетания указанных выше. Циолковский оригинально приходит к проблеме о разумности законов притяжения, а именно: в отношении представляемой ими возможности космических путешествий. Оценивая работу, совершаемую точкой при удалении ее в бесконечность, Циолковский подчеркивает, что именно закон Ньютона является наиболее благоприятным для этой цели. При других законах, например при $n < 2$, работа преодоления силы тяготения, затрудняющая овладение междузвездным пространством, значительно увеличивается. С другой стороны, при $n = 3$ условие неблагоприятно в том отношении, что планеты, описывая спиральные траектории, должны скоро погибнуть от холода или жара.

В работе «Тяготение как источник мировой энергии», относящейся к 1893 г., Циолковский рассматривает весьма актуальный для того времени вопрос о работе, совершаемой силами тяготения применительно к поддержанию лучеиспускания Солнца и звезд. В очень ясном изложении он констатирует прежде всего, что вращение Солнца, возможные химические процессы, которые на нем могут происходить, не идут ни в какое сравнение с запасами гравитационной энергии, выделяющейся при сжатии космического тела. Для правильной оценки этой работы нужно принять во внимание, что в то время, когда ее писал Циолковский, проблема поддержания энергии Солнца и определение его возраста на основании чисто гравитационных соображений усиленно дебатировалась в науке. Достаточно вспомнить спор геологов, которые требовали сотни миллионов лет для образования осадочных слоев на земле или накопления соли в океанах, с астрономами, указавшими на невозможность лучеиспускания Солнца в современном размере сверх (максимум) 20 миллионов лет. Циолковский находит для возраста Солнца 12,5 миллионов лет при условии, если рассматривать его сокращение, начиная от бесконечно больших размеров, но отдает себе ясный отчет, что промежуток времени того же порядка получается и при сокращении вплоть до настоящих размеров при начальном радиусе, не превышающем размеры планетной системы. Вообще говоря, как указывает Циолковский, при сокращении одно-

родного гравитирующего шара вдвое, выделяется каждый раз то самое количество энергии, которое было выделено уже за всю прошлую историю его существования, начиная с бесконечно больших размеров. Таким образом, при новом сокращении солнца в два раза, когда его видимый диаметр с 30' дойдет до 15', количество выделенной энергии будет достаточно для обеспечения лучеиспускания в течение новых 12,5 млн. лет. «Таким образом, приписывая физическому телу способность безгранично сжиматься», — пишет Циолковский, — «мы должны были бы признать его бесконечным источником энергии, солнце при таких условиях могло бы светить вечно».

Однако Циолковский не делает подобного вывода, так как он ограничен господствовавшими в то время представлениями об определенной и сравнительно ограниченной плотности физических тел.

В заключение заметим, что Циолковский правильно указывает на несостоятельность гипотезы Мейера, которая предполагает, что источником энергии Солнца может служить падение аэролитов на его поверхность. Он вычислил, что в случае правильности этой гипотезы «на каждый двор, имеющий в длину и ширину 14 сажен, должен падать ежедневно аэролит весом в $\frac{1}{2}$ фунта. Вывод совершенно несогласованный с наблюдениями».

Заметим в заключение, что Циолковский отдает себе ясное представление о возможной роли химических процессов внутри Солнца для поддержания его лучеиспускания. Однако даже горение водорода в кислороде доставляет ему всего лишь лишние 2 000 лет и Циолковский лишь смутно гадает о возможности иных химических процессов. В настоящее время мы знаем, что главным источником звездной энергии являются ядерные реакции.

В другой статье «Продолжительность лучеиспускания солнца» Циолковский ставит ту же самую проблему — сжатие солнца, рассматриваемого как идеальный газ, под действием гравитационных сил. При помощи весьма простых выкладок он наглядно показывает, что центральное давление увеличивается пропорционально четвертой степени уменьшения линейных размеров солнца, а плотность — только третьей. Циолковский выводит здесь так называемые законы гомологичных газовых масс Лэна, по всей очевидности ничего не зная о них ранее, и любопытно использует эти законы для решения вопроса об устойчивости газового шара, лишенного других источников внутренней энергии, кроме гравитационного сжатия. Эти тела оказываются неустойчивыми, так как «давление возрастает быстрее сжатия и потому начавшееся уплотнение никогда не может кончиться; мало того, чем более сокращается светило, тем скорее идет процесс сгущения, потому что более перевес давления (от тяготения) над силою упругости вещества». Этот результат о неустойчивости газовых масс, в настоящее время известный и получаемый в более общем виде из строгой теории гравитационной неустойчивости, характеризует ту основательность, с которой Циолковский продумывал свои выводы. Если солнце не сжимается сразу в точечное тело, то этому препятствует повы-

шение температуры, компенсирующее недостаточное повышение упругости вследствие сжатия. Оценка температуры внутри солнца, состоящего, например, из водорода, дает ему правильный порядок величины около 15 миллионов градусов.

Таким образом, до тех пор, пока соблюдается закон идеальных газов, Солнце продолжает сжиматься и лучеиспускать. Циолковский также рассматривает возможные отклонения от этих законов и применяет результаты к Солнцу и планетам.

Работа эта не дает для современного читателя ничего нового, но в отдельных частях может быть рекомендована и в настоящее время, как ясное и правильное изложение поведения газового шара, непрерывно испускающего радиацию в окружающее пространство.

Переходим теперь к рассмотрению одной из основных работ Циолковского «Образование солнечных систем», представляющей конспективно изложенное извлечение из рукописи 1924—1925 гг., но основанное на работе, занимавшей его в течение целого десятилетия. Припомним, что в указанное время в науке доминирующее положение занимала космогоническая теория Джинса, видевшего происхождение солнечных систем в катастрофических явлениях, а именно: в близких прохождении звезд и даже, по мнению Джефрейса, в их прямых столкновениях. На том же принципе были основаны все вообще космогонические гипотезы XX столетия (Аррениуса, Мультона — Чемберлена, наконец в самое последнее время Литтльтона).

Понятно, что все эти теории неизбежно приводят к представлению о крайней редкости планетных систем и вместе с тем органической жизни во вселенной.

Соединяя исключительность требований этих космологов с исключительностью требований биологов в отношении возможности зарождения и существования органической жизни, можно даже прийти к тому совершенно неприемлемому заключению, что наша Земля занимает единственное и исключительное положение во всей нашей звездной вселенной. Все это коренным образом противоречит убеждению Циолковского о том, что неорганическая природа должна быть подчинена разуму, что в отдаленном будущем человечество поднимется на такую высокую ступень своей организации, что сможет овладеть космическими пространствами и выбирать себе планеты наиболее подходящие для обитания, что среди множества планетных систем имеются некоторые, обитатели которых уже осуществили подобную власть над природой и, возможно, пользовались энергией нашего Солнца в то время, когда оно было лишено планет. «Возможно, что всякое блистающее солнце, — говорит Циолковский, — и даже беспланетное эксплуатируют переселенцы с других угасающих солнечных систем. Для использования лучистой энергии вовсе нет надобности в планетах (особенно громадных). Довольно очень небольшого количества вещества, которое эмигранты могли привезти с собою. Они могли воспользоваться остатками материи, всегда бродящей вокруг солнц. Этого требует разум и поэтому так и должно быть». Понятно, что Циолковский должен

был положить в основу своей космогонической гипотезы предположение об образовании планет исключительно внутренними силами, что, без сомнения, является гораздо более рациональным.

В общих чертах взгляды Циолковского заключаются в следующем: в отдаленном прошлом наше Солнце, имея значительно бóльшую массу, примерно в 16 раз больше теперешней, и вращаясь со скоростью, определяемой всем моментом количества движения солнечной системы, начало отделять от себя газообразные кольца или даже отдельные части материи подобно тому, как это развивали Лаплас и Рош. Эти кольца находились сначала внутри так называемого предела Роша и потому не могли сгуститься в планетные массы. Однако вследствие потери массы Солнца в результате его интенсивного лучеиспускания (здесь Циолковский пользуется идеей Эйнштейна об эквивалентности материи и энергии) отделившиеся кольца должны постепенно увеличивать свой радиус и тем самым выходить за предел Роша, что обусловило возможность в результате их разрыва и конденсации образования изолированных планет... На этой стадии начинается действие приливных сил (идея, детально разработанная Дарвином), что еще более ускоряет отход планет от Солнца и увеличение размеров планетной системы. Такие же соображения Циолковский применяет и к образованию спутников. Таким образом, его теория представляет рациональное сочетание различного рода космогонических воззрений, которые он объединяет в одну картину, пытаясь вместе с тем, где это возможно, дать количественную оценку динамических характеристик. Циолковский совершенно правильно указывает на то, что работа приливного трения может играть наибольшую роль только при небольших взаимных расстояниях и приводит лишь к ограниченному размеру планетной орбиты. На больших расстояниях преобладающее значение имеет потеря массы, вследствие лучеиспускания. Поскольку эта потеря происходит чрезвычайно медленно и характеризует так называемый долгий период эволюции (возраст Солнца получается при этом порядке 10^{13} лет), естественно, что все периоды получаются у Циолковского непомерно большими. В настоящее время в результате разнообразных исследований можно с несомненностью сказать, что лучеиспускание звезд не играет заметной роли в изменении их масс, хотя самый процесс потери массы, по-видимому, не подлежит сомнению.

Другая причина того, что Циолковский на основании своих космогонических соображений получает для возраста Солнца и планет непомерно большое значение (для солнца около 30 биллионов лет, для эпохи отделения Меркурия 84 миллиарда, для последнего спутника Сатурна 270 миллиардов лет и т. п.), заключается в способе учета им приливного трения. Детали его выкладок производятся в брошюре «Дополнение к образованию солнечных систем», 1928. Заметим, что вычисление влияния приливного трения на вращение Солнца и планет, а следовательно, на размеры орбит планет и спутников представляет почти неразрешимую задачу, так как требует знания коэффициентов вязкости поверхностных слоев солнца и планет при различных и по существу неизвестных нам физических усло-

виях. Циолковский при решении вопроса пользуется лишь более или менее вероятными аналогиями. Так, например, высота прилива в земном океане определяется им из простой пропорции (см. стр. 69, формула (45)).

$$\frac{h}{R_B} = \frac{\Delta g_L}{g_B},$$

т. е. высота прилива относится к земному радиусу так, как разница в силе лунного притяжения между центром земного шара и точкой его поверхности, обращенной к луне, относится к силе тяготения на земной поверхности. Эта пропорция в сущности ничем не обоснована и, конечно, неправильна, уже потому, что при образовании приливной волны гораздо большее влияние имеют тангенциальные ускорения, которые здесь совершенно не учитываются. Определив таким путем высоту прилива, Циолковский определяет его работу, считая ее пропорциональной произведению поднятой приливной массы на разность угловых скоростей Земли вокруг оси и луны на своей орбите, причем коэффициент вязкости при этом не учитывается вовсе.

Не входя в дальнейшее изложение деталей этого исследования, заметим в заключение, что оно представляет интересное использование различных космогонических факторов в интересах построения единой и связанной космогонической гипотезы, которую, однако, вследствие крайней сложности вопроса Циолковскому не удастся правильно разработать в количественном отношении. Впрочем попытки других исследователей в том же направлении не были по существу более успешны, чем и обусловлен тот печальный факт, что в настоящее время все еще отсутствует полностью обоснованная теория происхождения планет и развития солнечной системы.

В остальных работах того же раздела — «Образование солнечных систем» (1925—1928), «Образование двойных звезд», «Как образуются солнечные системы» — Циолковский еще более обобщает свои космогонические идеи, рисуя законченную картину эволюции простых и кратных звездных систем. Его взгляды заключаются в кратких чертах в следующем.

Из первоначального эфира, который он рассматривает как крайне разреженную первичную материю, при уплотнении возникают какие-то атомы обычной материи, которые, усложняясь, образуют водород и гелий. Последние постепенно образуют все остальные элементы. Как следствие усложнения материи, упругость газа уменьшается, что способствует конденсации вещества и образованию более или менее уплотненных туманностей. Поскольку моменты количества движения частиц, составляющих туманность, не могут уравновеситься, последняя приобретает вращение в определенном направлении, которое по мере сжатия возрастает. Из газобразных масс с быстрым вращением возникают двойные и кратные звезды; массы с умеренной скоростью вращения и способные к большому сжатию в центре образуют, согласно идеи Лапласа, кольца, периодически отделяющиеся на экваторе и дающие затем планеты. Наконец, при очень

малой скорости вращения образуются одиночные звезды, лишенные спутников. Любопытно, что процесс разделения первичной звезды на две сравнимые массы (что именно характеризует двойную звезду) ставится Циолковским в зависимость от степени ее неоднородности.

Таким путем Циолковский стремился связать в одну цепь разнообразные явления звездного мира, дополняя неясности и пробелы своими догадками. Нарисованная им грандиозная картина мироздания приводит к необычайно большим, но все же конечным промежуткам времени для завершения процесса эволюции в одном направлении. С этим не может примириться мысль Циолковского, требующая для вселенной, бесконечной в пространстве, также и бесконечного времени существования. Поэтому Циолковский постулирует, что в результате каких-то внутренних процессов охлажденные звезды испытывают грандиозные взрывы и снова возвращаются в состояние первичной туманности, повторяя этим тот же эволюционный цикл. Безусловно, Циолковский нарисовал несколько упрощенную картину, но сам подход к рассматриваемому явлению говорил о его неистощимом научном оптимизме.

Ко второму разделу работ Циолковского, по большей части позднейших, относятся его остальные статьи описательного характера, в которых ярко выражается его мировоззрение. Циолковский верит, что устройство вселенной соответствует требованиям разума и, следовательно, интересам высокоорганизованной жизни.

Поэтому вокруг звезд должно находиться множество планет, пригодных для органической жизни. Орбиты этих планет должны быть примерно круговыми («Органический мир Вселенной»), так как это благоприятствует развитию и сохранению жизни. Но так как планеты, находящиеся на разных расстояниях, получают в различной степени тепловую энергию от своих солнц и потому имеют различную температуру, то Циолковский допускает возможность построения организмов из различных элементов — в одном случае из золота, кремния, в другом из титана, хлора и т. п. («Температура планет»). При подобном представлении об органической материи область ее распространения чрезвычайно расширяется. Циолковский разбирает далее вопрос о возможности существования жизни на Солнце («Наше солнце»), но приходит к отрицательному выводу. По его мнению, этому должны помешать грандиозные взрывы и высокая температура Солнца. Напротив того, планеты нашей солнечной системы по большей части населены. Даже на Луне, которая, по-видимому, представляет из себя пустыню, лишенную воды и атмосферы и подверженную каждый месяц холоду межпланетного пространства, и там Циолковский допускает существование жизни в виде зоофитов («Картина вселенной»). Эти существа могут вечно перемещаться по лунной поверхности, стремясь за Солнцем, что вполне возможно, поскольку, как замечает Циолковский, скорость на экваторе Луны не превосходит 16 км/час . Что же можно сказать про жителей Марса? К жизни на Марсе Циолковский возвращался в ряде своих статей («Наша планетная система», «Картина вселенной», «Условия биологической жизни во вселенной и ее высота»). Поскольку только просторы

вселенной создают условия для неограниченного прогресса, органическая жизнь проводит на планетах лишь определенный этап своего существования. Планета нужна прежде всего как место зарождения жизни и дальнейшего ее развития до такой интеллектуальной высоты, когда сделается возможным преодолеть ее притяжение и овладеть космическим пространством. Очень малые планеты, как, например, астероиды, не представляют необходимых условий для зарождения жизни; очень большие планеты со значительной силой тяжести на поверхности ограничивают этим самым размеры живых существ, а также размеры их мозга и, кроме того, слишком затрудняют возможность отрываться от них в пространство. Поэтому наиболее благоприятные условия для развития высокоорганизованной жизни, призванной заселять космическое пространство представляются планетами с диаметром порядка в десяток тысяч километров. («Условия биологической жизни во вселенной и ее высота»). Подобных планет во вселенной множество. В нашей системе к ним относится, кроме Земли, также и Марс. Циолковский допускает («Наша планетная система»), что жизнь на Марсе отстала от земной, пойдя по пути узкой специализации, как например, у пчел, муравьев и т. п., хотя в другой своей работе («Картина Вселенной»), исходя из того, что Марс, по его мнению, старая планета и потому на нем должна быть древняя культура, он не ручается, что марсиане не основали уже своих поселений в эфире. Свою родную планету они, однако, не решаются оставлять без присмотра, из опасения, чтобы на ней не началось бы саморождение жизни, «сопровождаемое периодом животных мук».

Марсиане использовали астероиды в качестве материала для своих космических поселений, и в этом отношении будущность астероидов должна быть блестящей. Возможно также, что в прошлом марсиане уже неоднократно посылали к отдаленным звездам избыток своего населения.

Что же спрашивается можно ожидать от будущего человечества, которое сломает все национальные и расовые перегородки и устроит свою жизнь на началах разума? Циолковский считает, что при полной утилизации солнечной энергии, 4 га на Земле в теплом климате могут прокормить не менее тысячи человек. Таким образом, население земного шара может возрасти в совершенно невероятной пропорции («Условия биологической жизни во вселенной и ее высота»). Такое человечество сможет переделать буквально всю нашу планету и, конечно, будет совершать далекие космические путешествия.

Деятельная мысль Циолковского, нарисовав все эти фантастические картины, идет даже до представлений о помещениях, в которых могут жить животные и растительные организмы в междупланетном пространстве, помещениях, улавливающих солнечную энергию и очень мало ее теряющих, а затем переходит к более практическим вопросам улавливания солнечной энергии при помощи разного рода оптических систем.

Все эти соображения носят, однако, довольно общий характер.

Упомянутые работы Циолковского, относимые нами ко второму разделу, не имеют, конечно, какого-либо научного характера и воспринимаются скорее как фантастика на астрономические темы. Они являются, однако, ярким выражением глубокой веры Циолковского в мощь человеческого разума, в конечное торжество человека над природой, в неизбежность полного овладения ее самыми сокровенными тайнами и в подчинение себе всей вселенной, по крайней мере в пределах нашего «эфирного острова». Циолковский утешает себя надеждой, что человечество не одиноко в этих стремлениях переделать свою жизнь и даже свою природу на основах разума и что на других мирах этот путь уже победоносно пройден.

ТЯГОТЕНИЕ КАК ИСТОЧНИК МИРОВОЙ ЭНЕРГИИ *

1. ОБЩИЙ ПОДСЧЕТ ЭНЕРГИИ СГУЩЕНИЯ СОЛНЦА

По гипотезе Лапласа, солнце с его планетами образовалось из обширной туманности через ее сгущение.

Каждая частица этой туманности притягивалась в силу Ньютонова тяготения всеми другими частицами. Отсюда было: во-первых, сгущение туманности, во-вторых, увеличение частичной энергии **, являвшейся как результат работы тяготения (сгущения), и, в-третьих, усиленное лучеиспускание, т. е. рассеяние этой энергии в бесконечном эфирном пространстве.

Если бы ничто не мешало этому сгущению, то все точки туманности упали бы в один общий центр, и туманность быстро сгустилась бы в плотную массу, причем в короткое время выделилось бы все количество развитой при этом энергии. Но, во-первых, материя имеет упругость, которая еще более увеличивается при повышении температуры и которая препятствует до некоторой степени уплотнению материи, во-вторых, и эфирное пространство может принять на себя только ограниченное количество (в единицу времени) живой силы, уносимой ею в беспредельное пространство.

Из этого видно, что сгущение туманности могло совершаться только постепенно.

Определим работу тяготения, когда бесконечно разреженный туман сгущается в плотный шар.

У всякого видимо неподвижного тела частицы находятся в незаметном для глаз движении. Это — частичная энергия; она ощущается нами в виде света и теплоты. Атомы неподвижной туманности также могут иметь подобное движение. Скорость колебаний атомов сгущающейся материи может непрерывно уменьшаться вследствие того, что выделяется в пространство энергия в виде лучей (свет, теплота, химическое действие); она может увеличиваться, и тогда часть работы тяготения поглотится самою туманностью; между атомами и частицами может быть также особое сближение, которое называется то химическим соединением, то сгущением

* Напечатана в 1893 г. в 6-м выпуске сборника Нижегородского кружка любителей физики и астрономии (Ред.).

** Пояснение термина «частичная энергия» автор дает ниже (Ред.).

в жидкость, то отвердением и проч. Оставим пока в стороне энергию, выделяемую всеми этими сближениями второго порядка, а также энергию, поглощаемую или выделяемую туманностью при изменении скорости ее атомов, — определим лишь работу общего сгущения, основываясь на Ньютоновом законе всемирного притяжения и предполагая, что сгустившаяся материя достигла равномерной плотности.

Это последнее положение более или менее далеко от истины, так как в центре планеты или солнца давление, а следовательно, и плотность материи больше, чем в периферии. Но принять в расчет это обстоятельство невозможно, за неимением закона уплотнения материи с приближением к центру. Во всяком случае, действительно выделенная работа тяготения более той, которую мы определим, предполагая равномерное уплотнение.

Итак, на предыдущих основаниях выведем формулу, по которой вычислим работу тяготения, выделенную солнцем в форме эфирных вибраций от давно прошедших времен до настоящего времени.

Нашу задачу удобнее выполнить, идя обратным путем, а именно: имеем плотный шар — солнце, обратим его в туман, или разредим его материю до бесконечности. Какая потребуется для этого работа, такая и обратно выделится при сгущении тумана в плотную массу.

Возьмем сначала единицу массы с его поверхности и определим работу ее удаления в бесконечность.

Так как механика показывает, что шар в отношении притяжения действует так, как будто вся его масса была сосредоточена в его центре, то притяжение массовой единицы на расстоянии r от центра будет равно

$$\frac{jM}{r^2} = \frac{4}{3} \frac{\pi}{r^2} j\rho R^3, \quad (1)$$

где j — есть притяжение единицы вещества на расстоянии единицы, M — масса шара, R — его радиус, ρ — его плотность. Следовательно, дифференциал работы (dA) будет равен

$$dA = \frac{4}{3} \pi j\rho R^3 \frac{dr}{r^2}. \quad (2)$$

Интегрируя относительно r , найдем:

$$A = -\frac{4}{3} \pi j\rho R^3 \frac{R^3}{r} + \text{const}. \quad (3)$$

Если $R = r$, т. е. r равняется радиусу планеты, то $A = 0$; поэтому:

$$A = 0 = -\frac{4}{3} \pi j\rho R^2 + \text{const}; \quad (4)$$

вычитая из уравнения (3) уравнение (4), получим:

$$A = \frac{4}{3} \pi j\rho R^2 \left(1 - \frac{R}{r}\right). \quad (5)$$

Полагая тут $r = \infty$, найдем:

$$A = \frac{4}{3} \pi j\rho R^2. \quad (6)$$

Удалим с поверхности шара в бесконечность его тонкий наружный сферический слой и расположим удаленную в бесконечность материю в виде сферы, концентрической с шаром. При этом еще совершается второ-

степенная работа превращения малой сферы в большую, т. е. раздробление ее частиц и удаление их друг от друга; но так как эта работа есть бесконечно малое второго порядка, то величиною ее можно пренебречь. Затем удаляем также второй сферический слой и располагаем его, как первый, но не выходя из пределов предыдущего; затем — третий, и так далее. Заметим, что на работу удаления каждого слоя не могут иметь никакого влияния все вне его находящиеся слои, — сколько бы их ни было; это есть одно из следствий закона тяготения, разбираемых в курсах механики; так что работа удаления каждого слоя пропорциональна его массе, т. е.

$$4\pi\rho R^2 dR. \quad (7)$$

Таким образом, можем положить на основании (6), что дифференциал полной работы разложения шара в туман равен

$$dA = (4\pi R^6 \rho dR) \left(\frac{4}{3} \pi \rho R^2 \right) = \frac{16}{3} \pi^2 \rho^2 j R^4 dR. \quad (8)$$

Интегрируя это выражение, найдем:

$$A = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 j R^5. \quad (9)$$

(const = 0).

Из способа образования тумана, а также и из других соображений, не приводимых здесь, видно, что туманность наша в различных точках может иметь плотность весьма разнообразную, также и форма ее, будучи бесконечного объема, может быть совершенно произвольна: ни плотность, ни форма бесконечно разреженной материи не имеют никакого влияния на количество работы сгущения влиянием тяготения.

Применяя формулу (9) к Солнцу, вычислим

$$A = 25 \cdot 10^{36} \text{ т.м.} \quad (10)$$

На сколько бы времени хватило всей этой энергии солнца, выделенной в прошедшем, если бы оно и прежде ежегодно испускало то количество энергии, какое оно испускает теперь в виде тепла, света, химической энергии и т. п.?

Основываясь на числе Ланглея (30), которое показывает сумму калорий, получаемых квадратным метром освещенной солнцем поверхности, нормальной к направлению его лучей в продолжении минуты и, конечно, на расстоянии Земли, найдем, что ежегодный расход энергии солнца выразится числом

$$2 \cdot 10^{30} \text{ т.м.} \quad (11)$$

Столько энергии теряет солнце ежегодно, причем лишь ничтожная часть ее падает на планеты в форме лучей, а остальная ее громадная часть разползается в беспредельном пространстве.

Разделив всю энергию работы тяготения (уравнение 10) на ежегодный расход (уравнение 11), найдем:

$$(25 \cdot 10^{36}) : (2 \cdot 10^{30}) = 12,5 \cdot 10^6, \text{ т. е. } 12\frac{1}{2} \text{ млн. лет.} \quad (12)$$

Как я уже говорил, возможное изменение температуры при сгущении туманности, равно как физические и химические процессы, не приняты здесь во внимание; скоро я покажу их сравнительное значение. Эти процессы, по всей вероятности, будучи процессами соединения частиц, а не разложения их, равно как и уплотнение массы Солнца к центру, должны бы увеличить кинетическую энергию солнца и число лет его сияния.

II. ЗАВИСИМОСТЬ РАБОТЫ СГУЩЕНИЯ ОТ РАЗМЕРОВ СОЛНЦА

Обратимся к тому давно прошедшему времени, когда солнечный туман, сгущаясь, достиг размеров солнечной системы, которой, разумеется, в то время не было в настоящем ее виде.

Уж не совершил ли в рассматриваемый момент этот гигантский шар большую часть вычисленной нами работы тяготения?

Для решения этой задачи преобразуем формулу 9. Масса солнца или туманности, из которой оно образовалось, есть величина постоянная M ; поэтому положим:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho = M. \quad (13)$$

Откуда

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}. \quad (14)$$

Исключая ρ из уравнения (9), получим:

$$A = \frac{3j}{5R} M^2. \quad (15)$$

Следовательно, работа, совершенная более или менее сгустившеюся туманностью, имеющей постоянную массу (M), обратно пропорциональна ее радиусу R . А так как расстояние дальнейшей из известных планет в 30 раз больше расстояния Земли до Солнца, или в 6430 раз больше радиуса теперешнего Солнца, то туманность величиною в солнечную систему выделила в своем прошедшем работу в 6430 раз меньшую той, которую уже выделило современное нам Солнце и которой по вычислению хватает на $12\frac{1}{2}$ млн. лет равномерного лучеиспускания теперешней силы.

16. Стало быть, сгустилось ли солнце из туманности, буквально не имеющей границ, или сгустилось оно из туманности, имеющей размеры солнечной системы,— это почти совершенно безразлично в отношении количества выделенной им энергии.

17. Составляю таблицу, которая показывает:

- 1) относительные размеры Солнца по мере его сгущения;
- 2) соответствующие углы, под которыми видно солнце с Земли;
- 3) энергию, уже выделенную им в пространство;
- 4) энергию, которую осталось ему еще выделить до получения настоящей, известной нам величины ($30'$); энергия эта выражена числом тысяч лет горения солнца, или, точнее, его лучеиспускания, предполагая, что оно постоянно.

Радиусы Солнца в радиусах настоящего Солнца	Угол Солнца с Земли в минутах и градусах	Работа, выделенная в тысячах лет лучеиспускания	Работа остающаяся	Радиусы Солнца в радиусах настоящего Солнца	Угол Солнца с Земли в минутах и градусах	Работа, выделенная в тысячах лет лучеиспускания	Работа остающаяся
6130	—	2	12 498	10	5°	1 250	11 250
100	—	125	12 375	5	2½°	2 500	10 000
50	—	250	12 250	2	1°	6 250	6 250
20	10°	625	11 875	1½	45'	8 333	4 167
				1	30'	12 500	0

Основываясь на таблице и на гипотезе равномерного лучеиспускания, или постоянной ежегодичной потере энергии, можно сказать следующее.

С того времени, когда диаметр Солнца был в 1½ раза больше настоящего или когда он виден был с земли под углом в 45', — с того времени до настоящего, когда Солнце мы видим под углом в 30', прошло более 4 млн. лет, в течение которых планеты и другие окружающие солнце тела освещались с тою же силою, как и теперь. С того времени, когда диаметр Солнца был вдвое больше и когда он казался в 1°, до настоящего времени Солнце лучеиспускало 6¼ млн. лет; тут выделилось столько энергии, сколько оно уже выделило от бесконечно давно прошедших времен до начала горения этого одноградусного солнца. С того времени, когда диаметр был в пять раз больше и Солнце было видно под углом в 2½ градуса, — оно сияло до настоящего времени 10 млн. лет.

Итак, солнечная система около десяти миллионов лет освещается, в смысле относительном, довольно маленьким солнцем.

Впрочем, вычисленное нами время сияния Солнца нельзя считать даже приближенным уже по одному тому, что решительно невозможно предположить, чтобы и необъятный туман и современное Солнце излучали одно и то же количество энергии; быть может холодный туман скупо излучал энергию и медленно сжимался, и солнечная система в состоянии туманности жила не миллионы, а биллионы лет. Могло случиться и наоборот — необъятная туманность благодаря своей бесконечно большой поверхности теряла больше энергии в каждую единицу времени, чем современное Солнце. Тогда процесс сгущения протекал скорее, и число лет сияния Солнца следовало бы уменьшить. Здесь нет оснований для точки расчета...

Те же формулы мы можем применить к решению подобных вопросов относительно планет. Выбираю небесные тела, наиболее различающиеся между собою по размерам, массам и плотностям (18):

	Радиусы	Работа, тм	Время	
Солнце	112	25 · 10 ³⁶	12 500 000 лет	12 500 000 лет
Юпитер	11	23 · 10 ³¹	115 »	11 500 »
Земля	1	22 · 10 ²⁷	4 суток	138 »
Луна	0,27	11 · 10 ²⁴	2,88 минут	320 дней

Первый вертикальный столбец предлагаемой таблицы содержит радиусы небесных тел, причем радиус Земли принят за единицу; второй выражает в тонно-метрах работу тяготения небесных тел, уже совершенную при образовании их из туманностей; третий — показывает, на сколько лет, суток или минут хватило бы энергии, выделенной при сгущении, если бы планета испускала то же ежегодное количество энергии, как и Солнце (например: Земля бы горела всего четверо суток, а Луна только три минуты); четвертый — определяет время лучеиспускания планеты, если допустить, что количество испускаемой энергии в единицу времени пропорционально поверхности небесного тела. Тогда Земля сияла бы подобно маленькому солнцу уже не четверо суток, а целых 138 лет; Луна — почти год, а массивный Юпитер 11 500 лет.

Предположим, что лучеиспускание небесных тел, равное по интенсивности теперешнему лучеиспусканию солнца, началось одновременно; тогда почти мгновенно потухнут и отвердеют аэролиты и астероиды; затем сгорят Луна, Меркурий, Марс и другие малые небесные тела; лет через полтора сгорят Венера и Земля; по истечении 13 тыс. лет та же судьба постигнет остальные большие планеты: Уран, Нептун, Сатурн и Юпитер; а солнцу еще осталось лучеиспускать более 12 млн. лет. Если бы все было так просто, как мы предполагаем, то, конечно, планетная жизнь началась бы около 12 млн. лет назад. Впрочем, здесь основания для числового расчета слишком слабы для того, чтобы этот вывод принять безусловно.

III. РОЛЬ ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА В СУДЬБАХ ЭНЕРГИИ

В предыдущем не приняты в соображение ни вращение туманности, из которой образовались небесные тела, ни химическая энергия их, но я сейчас покажу, как мало изменятся приведенные мною числа таких тел, как Солнце или еще большей массы, если даже принять все эти пропущенные условия в возможно преувеличенном виде.

Солнце теперь имеет вращение, вероятно, потому, что туманность, из которой оно образовалось, имела вращение. Само же собою, т. е. без участия внешних сил, Солнце, как и всякое другое тело, не в состоянии приобрести вращательного движения. Но медленное вращение и без участия внешних, т. е. вне туманности находящихся, сил может сделаться очень быстрым, и обратно.

Механика учит, что угловая скорость вращения тела, изменяющего под влиянием внутренних сил свою форму и размер (но не массу), обратно пропорциональна его моменту инерции. Момент инерции туманного солнца был громаден, и потому туманность имела бесконечно слабое вращение.

Когда Солнцу оставалось лучеиспускать до настоящего времени 10 млн. лет, оно имело поперечник в 5 раз больший настоящего. Момент инерции шара постоянной массы по механике пропорционален квадрату его радиуса, следовательно, момент инерции тогдашнего солнца был в 25 раз больше момента теперешнего, поэтому и угловая скорость прежнего солнца была в 25 раз меньше угловой скорости нынешнего. Оно

делало полный оборот вокруг своей оси уже не в $25\frac{1}{2}$ дней, как теперь, а в 637 дней, т. е. почти в 2 года.

Механика также показывает, что работа вращения переменного тела, например Солнца, обратно пропорциональна моменту инерции его. А так как туманность, которую бы форму она не имела, должна иметь благодаря своим размерам огромный момент инерции в сравнении с моментом инерции современного нам солнца, то и энергия туманности, зависящая от ее вращения, должна быть чрезвычайно мала сравнительно с вращательной энергиею настоящего Солнца. Из этого видно, что и абсолютная вращательная скорость всех точек туманности была бесконечно мала, но по мере сгущения как абсолютная скорость ее, так и живая сила постепенно возрастали. Так, работа вращения Солнца 10 млн. лет тому назад была в 25 раз меньше, чем теперь, а абсолютная скорость частиц, говоря про механическую скорость, в 5 раз меньше.

Так как работу вращения туманности можно считать почти нулем, то спрашивается: из каких же источников получило Солнце свою теперешнюю, довольно значительную, живую силу вращения?

Она всецело приобретена за счет той работы тяготения, которой по нашему вычислению хватает на $12\frac{1}{2}$ млн. лет непрерывного лучеиспускания теперешней силы.

Часть этой работы пошла на сообщение известного нам вращения Солнца, и последнее вследствие этого не в состоянии лучеиспускать $12\frac{1}{2}$ млн. лет, а несколько менее. Но велика ли работа вращения солнечных частиц? Зная, что экваториальные точки Солнца имеют скорость около 2 км/сек, посредством небольшого вычисления найдем, что живая сила вращения Солнца равна $(18 \cdot 10^{31})$.

19. Т. е. она поглотила не более $\frac{1}{150\,000}$ части полной работы тяготения $(25 \cdot 10^{36})$.

Это уменьшит время сияния на 84 года, следовательно, на величину, сравнительно ничтожную.

Планеты также приобрели вращение за счет работы тяготения. Вращение Юпитера, например, поглотило $\frac{1}{38}$ часть работы его сгущения из тумана; вращение Земли поглотило $\frac{1}{888}$ часть работы сгущения Земли.

IV. СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОЛНОЙ ЭНЕРГИЕЙ СГУЩЕНИЯ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Химические процессы, конечно, должны увеличивать время лучеиспускания небесных тел.

Наибольшее количество тепла или энергии получается, насколько известно химикам, при соединении водорода с кислородом в пропорции, достаточной для образования воды.

При этом на тонну гремучего газа выделяется столько тепла, что его достаточно для нагревания 3830 т воды на 1°C , что соответствует механической работе в 1 624 000 тм. При образовании же Солнца из туманности влиянием одного всемирного притяжения одна тонна солнечной массы совершает в среднем работу, равную 12 126 300 000 тм. Следовательно,

работа тяготения при сгущении космического тумана в солнечный шар в 7467 раз больше работы сильнейшей из известных нам химических реакций.

Если бы Солнце состояло из гремучего газа, сжатого до плотности Солнца, то оно сгорело бы, допуская постоянный его объем и плотности, т. е. устраняя энергию тяготения, в 7467 раз скорее, чем силою одного последнего, или не более чем в 2000 лет. Впрочем, следует иметь в виду, что энергия сгущения, приходящаяся на единицу массы, вполне зависит от массы и размеров небесного тела, как это можно судить по прилагаемой таблице:

	Радиусы	Средняя работа сгущения единицы, тм	То же гремучего газа	Отношение
Солнце	112	12 126 300 000	1 624 000	7467
Юпитер	11	116 000 000	1 624 000	71,4
Земля	1	3 820 000	1 624 000	2,35
Луна	0,27	160 000	1 624 000	0,1

Второй столбец приводимой таблицы показывает среднюю работу сгущения массовой единицы (тонна) небесного тела влиянием одного тяготения; числа этого столбца получены через деление полной энергии сгущения тела на его массу; третий столбец содержит энергию химического сродства тонны гремучего газа; четвертый — показывает отношение второго столбца к третьему. Из таблицы этой видно, что малые небесные тела на каждую массовую единицу своего вещества выделяют при сгущении влиянием тяготения меньше энергии, чем большие, так что для луны работа сгущения выделяет энергии уже в 10 раз меньше, чем горение гремучего газа, взятого в массе, равной массе луны.

У. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭНЕРГИИ СГУЩЕНИЯ

Молекулярная работа, выделяемая или поглощаемая телом при каком-нибудь физическом или химическом процессе, прямо пропорциональна его массе, и на единицу последней приходится постоянное количество тепла или другой какой-нибудь молекулярной энергии. Например, на массовую единицу водяного пара при его сгущении в воду получается 537 кал, что эквивалентно 227 700 тм работы; на массовую единицу соединения кислорода и обыкновенного древесного угля при образовании углекислоты выделяется 2182 кал, что соответствует 925 000 тм работы. Не то с явлением образования плотной материи из космического тумана или вообще с явлением сжатия планеты в известное число раз. Здесь влиянием одного Ньютонова всемирного тяготения на массовую единицу сгущенной планеты выделяется энергия далеко не постоянной величины.

Представим себе ряд независимых друг от друга туманностей различных масс; каждая сгущается и выделяет энергию. Допустим, что они сгустились до одной и той же плотности (например, плотности Земли)

и образовали равноплотные по всей массе сферы. Можно доказать в этом случае, что: 1) количество энергии, выделенной каждой единицей массы сгустившейся туманности, пропорционально квадрату радиуса образованной сферы и 2) то же количество энергии, выделяемой единицей массы при одинаковом уплотнении (например в 2 раза) уже образованных сфер, пропорционально также квадрату радиуса образовавшейся планеты или же массе туманности в степени $2/3$.

1) Действительно, разделив уравнение (9) на массу (M) планеты, найдем:

$$A : M = \frac{4}{5} \pi j \rho R^2, \quad (21)$$

что и нужно было доказать.

2) Далее. Уравнение

$$A = \frac{3j}{5R} M^2 \quad (15)$$

показывает работу сгущения планеты постоянной массы (M) и переменного радиуса (R); положим, что космический туман сгустился до радиуса R_1 , тогда тяготение совершит работу

$$A_1 = \frac{3}{5} \frac{j}{R_1} M^2. \quad (22)$$

Положим, что тот же туман сгустился до радиуса R_2 , который больше R_1 . Тогда

$$A_2 = \frac{3}{5} \frac{j}{R_2} M^2. \quad (23)$$

Разница между той и другой работой

$$A_1 - A_2 = \frac{3}{5} j M^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (24)$$

покажет, очевидно, работу сгущения взятой массы от радиуса R_2 до радиуса R_1 . Разделив почленно уравнение (24) на массу M , которая равна

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho,$$

получим работу, приходящуюся на массовую единицу:

$$\begin{aligned} \frac{A_1 - A_2}{M} &= \frac{3}{5} j M \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{4}{5} \pi j \rho R^3 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \\ &= \frac{4}{5} \pi j \rho R^2 \left(\frac{R}{R_1} - \frac{R}{R_2} \right). \end{aligned} \quad (25)$$

Из этой формулы найдем, что при постоянстве отношений

$$\frac{R}{R_1} = a \text{ и } \frac{R}{R_2} = b$$

и, значит, при постоянстве отношения

$$\frac{R}{R_1} : \frac{R}{R_2} = \frac{a}{b} = \frac{R_2}{R_1} \quad (26)$$

работа массовой единицы планеты пропорциональна R^2 ; так что не только при сгущении планеты из тумана, но и при определенном сокращении уже готовой планеты работа тяготения, приходящаяся на массовую единицу, пропорциональна квадрату ее радиуса, т. е. массе в степени $2/3$.

Радиус планеты или масса туманности может быть так велика, что работа сгущения одной ее массовой единицы может превзойти коэффи-

циент работы всякой химической реакции. Так, мы видели, что масса туманности, из которой образовалось Солнце, так велика, что один фунт солнечного вещества при своем сгущении выделял в 7 467 раз больше энергии, чем фунт сторевшего гремучего газа. Наоборот, масса туманности может быть настолько мала, что энергия сгущения ее, приходящаяся на единицу ее массы, будет ниже энергии, развиваемой самой слабой химической реакцией*.

Причина сияния небесных тел заключается, вероятно, и в работе тяготения и в химической энергии; для масс, подобных Солнцу, можно пренебречь химической энергией; для малых же масс — можно пренебречь

* Всегда возможно решить задачу: какой радиус должна иметь планета, чтобы, сгустившись до определенной плотности, массовая единица ее выделила энергию, равную энергии данного физического или химического процесса.

Таблица № 27 содержит решения нескольких таких задач, при сгущении тумана до плотности Земли (5,5). Например, из первой горизонтальной строки видно, что воображаемая планета, сгущенная силою тяготения из тумана до плотности Земли, при радиусе в 4 151 км выделит такое же количество энергии, как равная ей масса сторающего гремучего газа; последняя строка показывает, что при радиусе планеты в 67 км и при той же плотности (5,5) массовая единица выделяет при сгущении из тумана такое количество теплоты, которое достаточно для нагревания массовой единицы только на 1°С (27):

Процесс	Число калорий, выделяемых массою единиц	Работа единицы, т.м	Радиус воображаемых планет, км	Замечания
Гремучий газ Н ₂ O . .	3830	1 624 000	4151	Меньше Земли (2/3), но больше Марса.
Углекислота СО ₂ . .	2182	925 000	3133	Величиною в Марс, но больше Меркурия.
Испарение воды . .	537	228 000	1555	Несколько больше Луны, но плотность, конечно, земная.
Таяние льда	79	34 000	500	$\frac{1}{10,5}$ радиуса Земли.
Нагревание	30 °С	12 700	367	$\frac{1}{17}$ радиуса Земли.
Нагревание	1 °С	424	67	Около $\frac{1}{100}$ радиуса Земли.

Можно думать, что когда Солнце наше покроется твердой оболочкой и потухнет, подобно Земле, другие звезды большей величины, чем Солнце, но находящиеся в настоящее время в одном возрасте с ним, могут сиять на небе, благодаря работе тяготения в продолжение еще многих миллионов лет.

В самом деле, время лучеиспускания (t) равно работе сгущения звезды

$$A = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 j R^5 = BR^5 \quad (B \text{ — пост. число}), \quad (9)$$

деленной на работу годового лучеиспускания, которая пропорциональна поверхности звезды BR^2 , где $B = 4\pi$.

Следовательно:

$$t = BR^5 : BR^2 = \frac{B}{B} R^3, \quad (28)$$

т. е. время лучеиспускания (t) пропорционально кубу радиуса звезды, или ее массе (К. Э. Ц.).

работою тяготения; так, сгущение силою тяготения туманности, имеющей при обращении в планету плотности Земли в поперечнике 134 километра, сопровождается энергией, едва достаточной для того, чтобы нагреть равную ей массу воды на 1°C .

В нашей обыденной жизни мы имеем в обращении множество предметов, взаимного притяжения которых мы совсем не замечаем, так что Ньютонова тяготения для них как бы не существует; напротив, другие их физические и химические агенты энергии нам резко кидаются в глаза.

Но та самая сила тяготения, которая притягивает два человеческих существа с напряжением, далеко не достаточным для разрыва паутинки и потому пренебрегаемая нами, — та сила заставляет пылать Солнце и звезды в продолжение многих миллионов лет.

VI. ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРИИ СЖАТИЯ СОЛНЦА

По принятой нами гипотезе для покрытия расходов лучеиспускания Солнца вся его масса должна сдаваться к центру и, значит, объем его и диаметр с каждым годом неминуемо должны уменьшаться. Результатом этого приближения солнечных частиц к центру будет ускорение вращательного движения Солнца, которое, как известно, совершает один оборот вокруг осей в $25\frac{1}{2}$ дней. Астрономы не замечают ни уменьшения диаметра, ни ускорения вращательного движения. Мы попытаемся сейчас разъяснить это противоречие.

1) **Сокращение Солнца.** Выведем формулу, которая даст возможность вычислить, на сколько должно Солнце сдаваться к центру, чтобы покрыть этим сжатием расход энергии, выражающийся числом $2 \cdot 10^{30}$ тм (уравнение 11) в год. При этом ту часть работы, которая пойдет на ускорение солнечного вращения, отбросим, как очень малую величину. Дифференцируя уравнение (15), получим:

$$dA = -\frac{3}{5} \frac{i}{R^2} M^2 dR \quad (29)$$

или

$$dA = -\left(\frac{3}{5} \frac{i}{R} M^2\right) \frac{dR}{R}.$$

Откуда

$$dR = -\frac{5}{3} \frac{R^2}{i} \frac{dA}{M^2}. \quad (30)$$

Вычисление упростится, если мы заметим, что в уравнении (29) множитель

$$\frac{3}{5} \frac{i}{R} M^2 = \frac{16}{15} \pi^2 j \rho^2 R^5$$

для Солнца уже был вычислен (уравнение 10), причем оказался равным $25 \cdot 10^{36}$:

Конечно, не только наружные точки Солнца, но и внутренние приближаются к центру, хотя и проходят меньшее расстояние и с меньшею си-

лою. По выведенной формуле найдем, что для покрытия расходов лучеиспускания в 1 год Солнце должно опадать на 59 м, в 1 сутки — на 162 мм, что соответствует скорости движения конца часовой стрелки дамских карманных часов; в 2000 лет это опадение солнечной поверхности составит 118 км, или $1/6042$ часть солнечного радиуса; так что астрономы могли бы заметить уменьшение видимого диаметра Солнца за 2000 лет лишь на 0,3 угловой секунды.

Даже при теперешнем высоком состоянии измерительной техники такую разность уловить довольно трудно; одно вспомним, что первые грубые зрительные трубы составлены в 1606 году, и только 5 лет спустя Кеплер мечтает о применении их к измерению углов. Значит мы имели возможность сколько-нибудь точно наблюдать Солнце не более 300 лет, а за этот период угловое изменение диаметра Солнца составит $1/22$ секунды = $= 0,045''$. Только в 6600 лет диаметр Солнца уменьшится на 1 секунду. Понятно после этого, что при такой медленной агонии солнце не очень-то скоро похудеет заметно для глаз наблюдателя. Значит, подтверждения или опровержения теории этим способом мы должны ждать по крайней мере тысячи лет.

2) **Вращение Солнца.** Оно открыто было Галилеем в 1610 г. Он увидел через свою слабую зрительную трубу солнечные пятна и заметил их движение от востока к западу. По этим пятнам впоследствии было определено время полного обращения солнца в $25\frac{1}{2}$ суток.

Впрочем, следует иметь в виду, что солнечные пятна так же не постоянны по форме и времени существования, как, например, земные облака; они так же, как и последние, имеют собственное движение по солнечной поверхности, почему вышеприведенное время обращения солнца следует считать лишь средним: в отдельных же случаях время обращения солнца, определяемое по наблюдению пятен, колеблется между 25 и 27 сутками, являясь величиной непостоянной.

Посмотрим теперь, не могут ли непосредственные наблюдения изменения периода обращения солнца выдать падение его диаметра.

Угловая скорость вращения обратно пропорциональна моменту инерции тела, т. е. в случае шара — квадрату радиуса его (одна из простых задач механики); следовательно, время обращения t_0 пропорционально квадрату радиуса (R) Солнца. Поэтому можем положить:

$$t_0 = BR^2. \quad (31)$$

Когда R равно радиусу R_1 Солнца, то $t_0 = t_1 = 25\frac{1}{2}$ суток. Значит:

$$B = \frac{t_1}{R_1^2} \text{ и } t_0 = \frac{t_1}{R_1^2} R^2. \quad (32)$$

Дифференцируя последнее уравнение относительно R и затем полагая $R = R_1$, найдем:

$$dt_0 = 2t_1 \frac{R}{R_1^2} dR = 2t_1 \frac{dR}{R_1}. \quad (33)$$

На основании этих формул мы найдем, что в течение 300 лет время обращения Солнца уменьшается всего только на 109 сек, или менее, чем на 2 мин. А потому ускорение солнечного вращения, колеблющегося между 25 и 27 сутками, астрономы абсолютно не могли заметить.

Первая горизонтальная строка приводимой ниже таблицы (34) показывает время в годах, а вторая — соответствующее ему уменьшение времени полного обращения Солнца в секундах, минутах и часах (в будущем).

1	100	300	1000	10 000	50 000	100 000	годы
0,36 сек.	36 сек.	1,8 мин.	6 мин.	5 сек.	1 час.	1 мин.	5 час. 4 мин. 10 час. 8 мин.

Из таблицы видно, что время обращения изменится на 5 часов только через 50 000 лет; поэтому при существующей точности наблюдения и по существу самой измеряемой величины — периоду обращения солнца — решительно нет надежды, по крайней мере в недалеком будущем, уловить уменьшение диаметра Солнца на основании изменения скорости его обращения.

Итак, лучеиспускание как результат работы тяготения, как результат уплотнения Солнца не имеет против себя никаких, ни теоретических, ни практических, возражений.

VII. ГИПОТЕЗА МЕЙЕРА

В заключение нельзя не упомянуть о падении аэролитов на солнечную поверхность, которое может служить также источником энергии Солнца (Мейер), как и сжатие Солнца (Гельмгольд).

Что аэролиты падают на Солнце, в этом нельзя усомниться, так как они падают и на Землю. Но можно усомниться вот в чем: достаточно ли их падает для покрытия расходов лучеиспускания солнца, как это думал Мейер. Не трудно прийти к отрицательному заключению следующим образом.

Работа удаления в бесконечность от солнечной поверхности массовой единицы (тонна) по уравнению (6) равна

$$A = -\frac{4}{3} \pi j \rho R^2; \quad (6)$$

следовательно, и наоборот: массовая единица, падающая на поверхность Солнца, выделяет энергию согласно уравнению (6). Обозначая толщину слоя аэролитов плотности воды, падающего на светило через δ , найдем, что работа этого слоя аэролитов равна:

$$4\pi R^2 \delta \cdot \frac{4}{3} \pi j \rho R^2 = \frac{16}{3} \pi^2 \delta j \rho R^4, \quad (36)$$

т. е. массу слоя мы умножили на работу единицы этой массы (уравнение 6).

Предполагая, что падение это ежегодное, мы должны приравнять эту работу работе ежегодного лучеиспускания, т. е. по уравнению (11):

$$\frac{16}{3} \pi^2 \delta j \rho R^4 = 2 \cdot 10^{30}. \quad (37)$$

Зная же, что

$$\frac{16}{15} \pi^2 \rho j R^5 = 25 \cdot 10^{36}, \quad (9) \text{ и } (10)$$

найдем:

$$\pi^2 j \rho R^4 = \frac{15 \cdot 25 \cdot 10^{33}}{16 \rho R}. \quad (38)$$

Из (37) и (38) получим:

$$\delta = \frac{2 \rho R}{125 \cdot 10^6}. \quad (39)$$

По этой формуле, зная R — радиус Солнца и ρ — его плотность, вычислим: $\delta = 15 \text{ м}$. Иначе сказать, на каждый квадратный метр поверхности Солнца ежегодно падает камень весом в 15 т, или 900 пудов с лишком.

Эта масса аэролитов, прежде чем упасть на Солнце, между прочим, проходит и воображаемую сферу, имеющую центром Солнце и касающуюся Земли. Но так как поверхность сферы в 48 400 раз больше поверхности Солнца, то и падение аэролитов в ее области должно быть в 48 400 раз реже; так что 15 т приходится на 48 400 м² ее области или на 193 600 м² поверхности Земли, ибо ее поверхность в 4 раза более наибольшего сечения ее воображаемой сферой.

На основании этих числовых выводов, найдем, что на квадратную сажень Земли ежегодно падает аэролит весом почти в 1 фунт; следовательно, на каждый двор, имеющий в длину и ширину по 14 сажень (ширина улицы), должен падать ежедневно аэролит весом в 1/2 фунта. Вывод совершенно несогласный с наблюдениями.

Итак, хотя и нельзя отрицать, что падение аэролитов на Солнце служит к поддержке его лучеиспускательной силы, но ни в каком случае нельзя допустить, что этим падением покрываются расходы лучеиспускания нашего светила. В противном случае мы приходим к выводу, очевидно, нелепому*.

VIII. СЖАТИЕ И ГОРЕНИЕ СОЛНЦА КАК ДВА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССА

Как ни ничтожна роль химических процессов в судьбах энергии, однако отрицать их влияние в процессах сгущения солнца невозможно. Посмотрим, в чем могла бы выразиться их роль в настоящем Солнце, причем для упрощения нашей задачи вообразим, что Солнце состоит из гремучего газа.

* Faye в своем сочинении «Sur l'origine du monde» несколько иначе и более ярко доказывает несостоятельность гипотезы Мейера. Для покрытия расходов по лучеиспусканию на Солнце должно ежегодно падать такое количество метеоров, которое составит $\frac{1}{26\,000\,000}$ часть массы Солнца. За 2000 лет, которые отделяют нас от времен лучших александрийских наблюдателей, масса Солнца таким образом увеличилась бы на $\frac{1}{13\,000}$ своей величины. Это изменение настолько значительное, что оно неминуемо отразилось бы в уменьшении времени обращения планет около Солнца, чего, однако, не наблюдается при сравнении современных наблюдений с александрийскими (Прим. ред. первого издания).

Если бы не было тяготения, то Солнце сгорело бы в какие-нибудь две тысячи лет. Но, во-первых, существует тяготение, во-вторых, упругость паров воды (H_2O) несравненно меньше (раза в полтора) упругости гремучего газа; поэтому солнце влиянием тяготения должно значительно уплотниться, а это уплотнение, по предыдущему, вызывает громадное количество частичной энергии. Вот эта частичная энергия, или повышение температуры, вновь разлагает водяной пар на кислород и водород.

Разумеется, такого скачка на самом деле быть не может: частицы газов стремятся соединиться, вследствие чего материя Солнца стремится уплотниться и уменьшить свой объем, а энергия, выделяющаяся при работе тяготения, препятствует этому соединению и уплотнению. Но лучеиспускание непрерывно разгоняет скопляющуюся энергию, и упругость газов или паров падает; это уменьшение упругости — есть шаг к химическому соединению, так что частицы все-таки соединяются с тем, чтобы, выделив известное количество энергии, задержать и дальнейшее химическое соединение и самую работу тяготения. Таким образом, благодаря совместному действию тяготения, процессам химических соединений и лучеиспусканию, две тысячи лет горения Солнца растягиваются на десятки, сотни... миллионов лет.

Также сгущался и космический туман, который, вероятно, есть крайняя степень разрежения материи и крайняя степень ее упругости и — кто знает — может быть, это был эфир, наполняющий пространство между теперешними небесными телами. Бесконечная упругость космического тумана давала ему громадный объем и поразительно малую плотность. Первые, быть может, молекулярные соединения атомов этого первобытного, однородного вещества образовали первые сложные тела, коэффициент упругости которых должен быть меньше упругости неразложимого тумана.

Вследствие уменьшения упругости туман мог сгуститься, но быстроте этого сгущения препятствовала энергия процесса сгущения (работы тяготения). Из сложных тел первого порядка образовались, быть может, сложные тела второго порядка, что опять вызывало сгущение тумана и выделение как химической энергии, так и энергии тяготения, которая также превращалась в химическую энергию и выделялась в мировое пространство лучеиспусканием.

Может быть, сумма этих последовательных неизвестных нам химических процессов развивала энергию, которая значительно превышает энергию соединения веществ гремучего газа и увеличивала время лучеиспускания не на две тысячи лет, а гораздо более; но об этом судить трудно.

IX. ЧТО МЫ МОЖЕМ ЖДАТЬ ОТ СОЛНЦА В БУДУЩЕМ

Не только Солнце, звезду, или планету, но даже всякое земное маленькое тело можно было бы считать неисчерпаемым источником энергии, если бы допустить, что оно в состоянии бесконечно уплотняться. Это следует из уравнения (24); положив в нем $R_1 = 1/\infty = 0$, найдем, что энергия,

подлежащая выделению, при уплотнении от радиуса R_2 до R_1 равна бесконечности (∞), как бы ни была мала масса (M) тела.

Эта энергия есть результат того же Ньютонова притяжения, которое удерживает планеты близ Солнца и не позволяет Земле удалиться от теплого очага в холодное пространство; упрямая Земля, побуждаемая силою инерции, тотчас бы ушла, если бы не доброе Солнце, которое держит этого волка на цепи и насильно согревает, одевает и кормит.

Всякая планета или всякий равноплотный шар, маленький или большой, данного радиуса, уплотняясь в 8 раз, или, что одно и то же, уменьшая свой диаметр вдвое, выделяет такое же количество энергии, которое он уже выделил, когда из тумана получил вид плотного шара данного радиуса.

Деля уравнение (24) на уравнение (23), получим

$$\frac{A_1 - A_2}{A_2} = \frac{R_2}{R_1} - 1; \quad (35)$$

полагая $R_2/R_1 = 2$, найдем, что отношение работы уплотнения ($A_1 - A_2$) к работе сгущения тумана (A_2) равно единице, что и нужно было доказать. Например, если Солнце уменьшит свой поперечник вдвое, т. е. до 15 угловых минут и, значит, уплотнится равномерно в 8 раз, так что его плотность будет равна плотности свинца (11), то оно должно выделить энергию (благодаря работе одного тяготения) в количестве, достаточном для неослабного лучеиспускания в течение $12\frac{1}{2}$ млн. лет.

Новое уплотнение в 8 раз (плотность 88), когда радиус уменьшится опять вдвое, вызывает энергию, равную всей выделенной, т. е. в таком количестве, которого хватило бы на 25 млн. лет равномерного излучения энергии. Всего же это составит 50 млн. лет. И так до бесконечности*.

Таким образом, приписывая физическому телу способность безгранично сжиматься, мы должны были бы признать его бесконечным источником энергии; солнце при таких условиях могло бы светить вечно. Но наши математические выкладки узко ограничены известными свойствами физических тел, так как на практике все тела имеют определенную плотность; мы, например, не видим тел плотнее осмия (21,4).

Для решения задачи о времени будущего лучеиспускания Солнца примем некоторые ограничения: планеты по мере приближения к Солнцу имеют все большую и большую плотность; однако само Солнце имеет, сравнительно со своим центральным положением, плотность очень малую (1,37 воды), что можно объяснить его высокой температурой и упругостью вещества, не успевшего еще образовать сложных тел, мало упругих; допу-

* Рассматривая формулу (35), можем найти иное выражение для определения энергии уплотнения силою всемирного тяготения, а именно: при уменьшении радиуса планеты в n раз выделяется энергия, которая в $n - 1$ раз больше уже выделенной в пространство энергии при образовании планеты из космического тумана. Так, уменьшение поперечника Солнца в 21 раз вызывает энергию в 20 раз большую уже выделенной; значит, ее хватило бы на 500 млн. лет равномерного лучеиспускания ($12\frac{1}{2} \times 20$) (К. Э. Ц.).

стим, что Солнце, потухая и покрываясь корою подобно планетам, достигнет и плотности этих последних, например, плотности Земли (5,5) или плотности Меркурия (6,7), т. е. будет по крайней мере в 4 или 5 раз плотнее настоящей своей плотности (1,37); хотя ввиду центрального положения светила мы могли бы рассчитывать на возможность большего его уплотнения. При четырехкратном уплотнении работа тяготения выражается 7 375 000 годами непрерывного и равномерного лучеиспускания. Это с $12\frac{1}{2}$ млн. лет составит около 20 млн.; тогда радиус Солнца уменьшится на 0,37 своей теперешней величины и будет наблюдаться с Земли под углом в $9,5'$. Итак, по принятым основаниям в будущем ждет Солнце медленная агония.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЛУЧЕИСПУСКАНИЯ СОЛНЦА *

ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ ЗВЕЗД (СОЛНЦА) И СЖАТИЕ ИХ В СВЯЗИ С УПРУГОСТЬЮ МАТЕРИИ

I

Мы не имеем никакого понятия о законе распределения вещества в массах небесных тел; одно только очевидно: постепенное возрастание плотности небесного тела по мере приближения к его центру. Тут две причины: более плотные вещества опускаются книзу — к центру солнца или планеты; кроме того, эти самые вещества еще более уплотняются благодаря страшному давлению, которому они подвергаются в центральных частях небесного тела.

Когда температура тела еще достаточно высока, как, например, Солнца, все вещества, находясь в жидком или газообразном состоянии, имеют полную возможность расположиться по естественному закону плотностей. Затем, когда некоторое понижение температуры в связи со страшным давлением обращает многие из них в твердое состояние, упомянутый закон не должен нарушиться, и его в общих чертах мы можем, значит, применять и к таким телам, как Луна, Земля и другие небольшие планеты. Весьма вероятно, что в центрах их лежат громадные массы иридия, платины, золота или тел еще более плотных, но неизвестных нам; на этих массах толстыми сферами располагаются вещества все менее и менее плотные по мере их приближения к поверхностям планет. За металлами следуют более легкие соединения их с металлоидами; наконец — вода и воздух. Слои металлов и других веществ, конечно, не разграничены строго: в промежутке между ними, вероятно, расположены их сплавы и соединения. Кроме этого, все вещества, когда еще были в парообразном состоянии, проникли отчасти друг в друга. Даже пары самых плотных веществ доходили, в крайне, разумеется, незначительном количестве, до наружных пределов Солнца или раскаленной планеты. Эти пары посредством спектроскопа мы видим теперь на Солнце и эти сгустившиеся в крупинки пары мы собираем теперь на поверхности Земли (золото в россыпях).

* Впервые напечатана в журнале «Научное обозрение», 1898 г. Печатается по оттиску этого издания (Ред.).

Одно обстоятельство должно препятствовать отчасти сгущению вещества, опускающегося в газообразном состоянии к центру Солнца: повышение температуры при его переходе от низшего давления к высшему. Это подобно тому, как воздух при своих вертикальных передвижениях то нагревается, то охлаждается, смотря по тому, опускается он или поднимается: повышение температуры (при опускании) увеличивает упругость воздуха, препятствуя отчасти сжатию.

Такие передвижения паров и газов в массе солнц должны дать страшную разницу температур между внутренними и наружными частями небесных тел. Но если бы их и не было — все равно температура центральных частей всякого солнца и всякой планеты должна быть выше их периферии. В самом деле, вообразим себе где-нибудь внутри планеты быстро вибрирующую частицу материи; пусть температура одинакова, т. е. все частицы вибрируют с одинаковою скоростью. Возможно ли при этом равновесие? Никогда. Действительно, поднимаясь, наша вибрирующая частица уменьшает скорость своего движения и понижает в теле температуру той частицы, от которой оно отталкивается, чтобы лететь вниз. Опускаясь, наша частица увеличивает скорость своего движения и повышает тем температуру той частицы, от которой она отталкивается, чтобы лететь вверх.

Чтобы было равновесие, необходимо, чтобы две частицы при встрече имели одинаковую скорость, но ведь вообще одна поднимается, а другая опускается; стало быть, скорости, а следовательно, и температуры их, когда они разойдутся, будут разные. Отсюда даже получаем способ для определения разности температур двух слоев воздуха, жидкости или твердого тела. Однако и при этом условии равновесия не будет соблюдено, потому что страшно нагретые центральные области планеты будут передавать свою теплоту менее нагретым частям, путем лучеиспускания и теплопроводности. Таким образом, разность температур будет меньше, чем это следует из нашего грубого представления. Кроме того, для каждого слоя она будет различна в зависимости от степени теплопроводности и теплопрозрачности его.

Если бы масса небесного тела была распределена равномерно, так что плотность его была бы везде одинакова, как снаружи, так и в центре, то давление в последнем было бы меньше, чем при непрерывном уплотнении к центру.

Определим это наименьшее давление в центре светила. Еще Ньютон доказал, что притяжение внутри равноплотного шара пропорционально удалению от центра шара и равно

$$\frac{3}{4} \pi \rho G r, \quad (1)$$

где r — есть расстояние рассматриваемой массы от центра планеты, ρ — плотность ее и G — притяжение единицы массы единицей массы на расстоянии единицы; расстояние между этими сферическими массовыми единицами считается от их центров; или самые массы предполагаются сосредоточенными в две точки.

Вообразим себе от центра Солнца до его поверхности прямолинейный столб, нормальное сечение которого есть квадратная единица. Тогда, очевидно, дифференциал давления dP этого столба на центр Солнца выразится

$$dP = \frac{4}{3} \pi G \rho r (\rho dr) = -\frac{4}{3} \pi G \rho^2 r dr. \quad (2)$$

Откуда, интегрируя, получим:

$$P = -\frac{4}{3} \pi G \rho^2 \int r dr = -\frac{2}{3} \pi G \rho^2 r^2 + C.$$

Давление (P) у поверхности, конечно, нуль, причем $r = r_1$, т. е. радиусу Солнца. На этом основании из уравнения (2) найдем постоянное C .

$$C = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 r_1^2. \quad (3)$$

Вставляя его в уравнение (2), получим:

$$P = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 (r_1^2 - r^2). \quad (4)$$

Центральное давление определим из этой формулы, если положим в ней $r = 0$:

$$P_1 = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 r_1^2. \quad (5)$$

Или условно

$$P = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 r^2.$$

Отсюда следует, что центральное давление пропорционально квадрату плотности планеты и квадрату ее радиуса.

Так, принимая, что плотность Солнца вчетверо меньше плотности Земли, а радиус (r) его в 110 раз больше радиуса последней, найдем по этому закону, что давление в центре Солнца в 750 раз больше, чем в центре нашей планеты.

Интересно знать, как увеличивается центральное давление светила при его сжатии без изменения массы (M).

Масса его выразится формулой

$$M = \frac{4}{3} \pi \rho r^3. \quad (6)$$

С ее помощью мы можем по желанию выключить из уравнения (5) r или ρ . Сделав то и другое, получим:

$$P = \frac{3M^2G}{8\pi r^4} \quad (7)$$

и

$$P = G \rho \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} M \rho}. \quad (8)$$

Из первой формулы следует, что центральное давление внутри Солнца при его сжатии прямо пропорционально четвертой степени уменьшения его линейных размеров (r); так, если бы диаметр нашего Солнца от сжатия уменьшился вдвое, центральное давление увеличилось бы в 16 раз

($2^4 = 16$), если бы вдесятеро, — то в 10 000 раз. Из другой формулы (8) видна зависимость этого давления от возрастания плотности неизменного по массе (M) светила. Видно, что центральное давление (P) возрастает не только пропорционально сжатию (ρ), но даже быстрее: P пропорционально $\rho \sqrt[3]{\rho}$.

Так, если бы Солнце уплотнилось в 8 раз (отчего поперечник его уменьшится только вдвое), то центральное давление увеличилось бы в 8 раз и еще в 2 раза ($\sqrt[3]{8} = 2$). Отсюда можно сделать чрезвычайно любопытные выводы.

Масса Солнца страшно накалена, особенно в центре; но известно, что все тела в накаленном состоянии превращаются в газы, или перегретые пары, почти строго следующие закону Мариотта — Бойля относительно сопротивления сжатию. Не можем ли мы на этом основании с некоторою степенью вероятности считать массу Солнца газообразной и подчиняющейся, при определенной достаточно высокой температуре, вышеупомянутому закону: плотность газа пропорциональна производимому на него давлению? Давление же в центре светила, по уравнению (8) возрастает быстрее сжатия (ρ). Вместо центрального давления (P) можем взять какое-нибудь среднее где-нибудь между центром Солнца и его поверхностью. И такое среднее давление выразится той же формулой. Итак, видим: предполагая для вещества солнца и других подобных звезд, в силу их чрезвычайной накаленности, закон Мариотта — Бойля, найдем, что при постепенном сжимании их и соответствующем рассеянии энергии сгущения давление (P) возрастает быстрее сжатия (ρ), и потому начавшееся уплотнение никогда не может кончиться; мало того, чем более сокращается светило, тем скорее идет процесс сгущения, потому что тем более перевес давления (от тяготения) над силою упругости вещества. Спрашивается, почему же на этом основании Солнце и другие звезды не сгустятся почти моментально в точковые безумно-сияющие массы?

Препятствий этому несколько. Приведу некоторые.

1) Сгущение массы Солнца, производимое с ужасною силою, выделяет громадную работу, которая превращается в молекулярное движение, т. е. в тепло, повышающее температуру Солнца, а стало быть, и упругость его вещества — до тех пор, пока упругость эта не уравновесит давление от тяготения. Вычисления показывают, что достаточно сравнительно незначительного сокращения солнечного диаметра, чтобы температура поднялась на тысячи градусов выше нормы. И этого, быть может, вполне довольно, чтобы замедлить сгущение.

2) Другая причина — известная медленность охлаждения небесного тела. Небесные тела, окруженные космическим эфиром, могут охлаждаться только лучеиспусканием. Лучеиспускание же это опять-таки отнимает ежегодно сравнительно очень маленькую часть работы сгущения, отчего оно и идет довольно медленно. Незначительные по объему небесные тела, у которых внутреннее давление не так велико, покрытые корою, почти не проводящей тепло и абсолютно не выпускающей свет, не могут

выделять энергию сгущения, почему не могут и сжиматься. Они сжались настолько, насколько нужно, чтобы увеличенная от сжатия и повышения температуры упругость вещества уравнивала внутреннее давление.

3) В этом состоит третья причина, замедляющая и даже останавливающая сгущение небесных тел на громадные периоды времени: несмотря на чрезвычайно высокую температуру внутри планет или Солнца, на поверхности его могут образоваться вещества чрезвычайно тугоплавкие, способные существовать в твердом виде и при температуре солнц. Новообразованная кора эта сначала только немного замедляет охлаждение тела, затем по мере ее утолщения — все более и более; далее она становится темной, покрывается наносами, размельченными частицами, покрывающими планету, как теплой шубой, окончательно прекращающей выделение энергии и сжатие. Светило замирает. Не так ли замирали наши планеты, несмотря на внутреннюю ужасающую, но скованную температуру?

4) Вращение звезд (солнц) представляет также обстоятельство, препятствующее неограниченному их сжатию. Едва ли есть хоть одна звезда, не имеющая вращения; сжатие звезд ускоряет его; центробежная сила, происходящая от вращения, берет все более и более перевес над силою тяготения, сжимающего сначала солнце в гигантский шар.

По мере сжатия звезды, по мере уплотнения ее вещества она все более и более сжимается по направлению оси вращения, превращаясь в лепешку. Но и равновесие такой лепешки в большинстве случаев нарушается и она разрывается на две неравные части, превращающиеся в две звезды, быстро крутящиеся одна вокруг другой. Может быть, так и образовались «двойные» звезды. Может быть, то же будет и с нашим Солнцем: оно раздвоится, станет двойной звездой, и планеты нашей системы будут иметь два солнца, как это уже есть во множестве других уголков мира.

Это расплющивание звезды уменьшает среднее давление, которому подвергается ее масса; то же делается и от раздвоения светила.

Теоретически раздвоенное светило может вновь раздвоить свои части. Такие последовательные раздвоения уменьшают внутреннее давление и делают его более соответствующим упругости вещества.

5) Наконец, есть и еще причина, и даже самая главная: действительно ли вещество, даже чрезвычайно накаленное, превращается в пар и следует закону Мариотта — Бойля при том невообразимом давлении, которому оно подвергается внутри звезд? Есть основание предполагать, что большая часть земного шара состоит из твердых веществ, несмотря на несомненно высокую температуру, которую они имеют в глубинах Земли.

Стало быть, высокое давление, несмотря на столь же высокую температуру, способно расплавленные тела, а может быть, и всякие жидкости, пары и газы превращать в твердое состояние, при каковом, понятно, едва ли можно применять закон Мариотта.

В самом деле, упругость жидких и твердых тел, т. е. сопротивление их сжатию, представляется нам чуть не беспредельной, каковой она и считалась долгое время (Флорентийские академики); только сравнительно

недавно (1762 г. Кантон) убедились в их сжимаемости. Затем уже многие ученые производили опыты над сжимаемостью многих тел, даже стали. К описанию полученных результатов в применении к нашим целям мы и приступим, заимствуя все основания из книги профессора Тета (Tait, есть русский перевод) «Свойства материи».

Возьмем, например, воду при обыкновенной температуре. Большинство экспериментаторов нашли ее сжимаемость в 48 миллионных долей на атмосферу (0,000048), т. е. приблизительно при давлении в 1 атм вода сжимается на $\frac{1}{20000}$ первоначального объема. Перкинс (1826 г.) нашел, производя давление до 2000 атм, что сначала сжатие воды идет несколько быстрее, затем медленнее, колеблясь, однако, весьма незначительно (от 60 до 42 миллионных). Однако другие исследователи (Эрстед, Реньо и Калльете), производя давление до 705 атм, нашли сжатие довольно постоянным и равным около 0,000048 на атмосферу (давление атмосферы — 103,36 кг/дм²).

Чем же в таком случае вода отличается от газов: воздух, содержащийся в пузыре или в цилиндре с поршнем и уравновешенный давлением внешнего воздуха (атмосферы), подчиняется при сжатии совершенно тому же закону, как и вода?

Разница только та, что воду сжимали лишь на $\frac{1}{10}$ ее первоначального объема (Перкинс), воздух же и другие газы можно сжать в 100, даже в 1000 раз. Имеем ли мы право утверждать, что вода сжимается только до известного предела, например до $\frac{1}{10}$ ее первоначального объема?

Очень может быть, что предел этот существует, но во сколько сотен или тысяч раз при этом сократится объем воды, мы не знаем; не знаем также, какое состояние примет такая сгущенная вода: обратится ли она в твердое тело или в ту особую жидкость с увеличенной упругостью, но опять-таки со свойствами газа сжиматься пропорционально давлению. Мы знаем только одно: насколько позволяют опыты, мы видим, что свойства воды аналогичны свойствам газов.

Принимая эти свойства, вычислим, что вода сжимается вдвое при давлении в 2 млн. кг/дм² ее поверхности, или при давлении вертикального столба воды в 200 верст высоты!

Сгустите водород до плотности воды — и он выкажет даже большую упругость, чем вода; действительно, небольшие расчеты покажут нам, что в этом случае давление водорода будет равно (сохраняя теоретически для него свойства газа) 2,3 млн. кг/дм² сжатого газа.

Воздух при тех же условиях выкажет давление в 14 раз меньшее водорода. Итак, упругость жидкостей, даже в количественном отношении, не особенно отличается от упругости постоянных (т. е. я хочу сказать: теоретических) газов.

Давление в центре Земли [на основании предыдущего и формулы (5)] способно теоретически сжать воду в 90 раз, т. е. сделать ее в 9 раз плотнее серебра. Центральное давление Солища еще может увеличить эту плотность (минимум) в 750 раз, доведя ее до плотности 67 500 плотностей воды в обыкновенном состоянии.

Заметим, что для вычисления давлений в центрах планет и звезд в формуле (5) $G = 1 : (1,466 \cdot 10^6)$ кг силы для расстояния в 1 дм двух шаровидных тел, каждое из которых имеет массу в 1 кг.

Формулу (5) легко преобразовать ради упрощения вычислений: действительно, означая притяжение у поверхности небесного тела через g , найдем коэффициент G .

$$G = \frac{3g}{4\pi r} \quad (9)$$

Выключая теперь из (5), получим

$$P = \frac{1}{2} \rho g r. \quad (10)$$

По ней узнаем, например, давление в центре Земли: $180 \cdot 10^7$ кг/дм².

II

Ну, а как же твердые тела? Неужели и они сжимаются с такою же легкостью, как водород или вода?

Взгляните на следующую таблицу (11), составленную мною на основании того, что дает профессор Тет в своей книге «Свойства материи».

(11) Воздух	100	152 000	1	1/13
Водород	100	2 328 000	14	11/13
Водяной пар	100	$26 \cdot 10^4$	1,7	1/8—1/9
Вода	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	13	1
Стекло	$30 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$	65	5
Медь	$160 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	117	9
Железо	$150 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	117	9
Сталь	$190 \cdot 10^6$	$25 \cdot 10^6$	162	12 1/2

Первый вертикальный столбец этой таблицы показывает в кг то давление, которое нужно приложить при обыкновенных условиях, т. е. при давлении одной атмосферы на каждый дм² поверхности вещества, чтобы сжать его вдвое.

Второй показывает то же давление, но приведенное к единице плотности (вода).

Третий указывает отношение этих давлений, или упругостей, предполагая для сжатия воздуха единицу. Наконец, четвертый выражает эти упругости по отношению к упругости воды (1).

Рассматривая последние два столбца, видим, что упругость металлов почти одинакова (9—12), упругость стекла раза в два менее, а упругость воды в 5 раз менее упругости стекла и раз в 10 менее упругости металлов; водород немного упруге воды, последняя же в 8—9 раз упруге водяного шара, приведенного, конечно, к одной температуре и плотности; стекло раза в 4 упруге водорода, а металлы упруге водорода раз в 8—10.

Эти числа, очевидно, не представляют ничего поразительного в количественном отношении. Добавим, что и другие тела, с которыми производили опыты сжатия, не дали также ничего поразительного касательно величины упругости.

Так, упругость жидкой углекислоты оказалась лишь немного больше упругости воздуха (13:10). Приняв упругость воды за единицу, упругость эфира, сернистого углерода и сернистой кислоты выразим следующими числами: $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$, т. е. она не очень отличается от упругости воздуха и значительно менее (в 2—6 раз) упругости сжатого до той же степени водорода.

Возьмем наиболее упругое из испытанных тел — сталь и посмотрим, что может сделать с нею то давление, которому подвергаются вещества внутри нашего солнца.

Принимая постоянную плотность светила, мы тем, может быть, чрезвычайно умалюем истинное давление внутри звезды. По уравнению (10) или (5) вычислим: $P = 13 \cdot 10^{10}$ кг/дм² центрального сечения.

Положим упругость стали (табл. № 11) в $200 \cdot 10^6$ кг и, сравнив ее с найденным давлением, узнаем, что сталь должна сжаться внутренним давлением солнца в 650 раз. Зная же, что вещества Солнца в 6 раз менее плотны, чем сталь, найдем сжатие их при пропорциональной упругости в 3900 раз. Другие, не центральные части светила, понятно, подвержены меньшему давлению.

Если мы, в среднем, примем давление в 4 раза меньшее, то и тогда от этого уплотнения диаметр Солнца должен бы уменьшиться в 10 раз.

Раз же начавшееся уплотнение при условии постоянной температуры и неизменной упругости (т. е. пропорциональной сгущению вещества), никогда не может кончиться. Как же должна быть высока температура центральных частей звезды, чтобы выдерживать это гигантское давление, стремящееся уплотнить сталь в 650 раз?

Если бы то была не сталь, а водород, сжатый до средней плотности Солнца, то эту центральную температуру вычислили бы немногим менее $15\,000\,000^\circ$ С. Но мы уже видели в начале статьи, что температура с углублением в силу ускоренного падения частиц к центру должна страшно возрасти и, таким образом, явиться естественным противовесом ужасному центральному давлению.

Хотя плотность центральных частей Солнца несомненно больше средней его плотности, а потому и противодействия их сжиманию, но зато и сила тяготения, или сжимающая сила, от этой же причины, должна возрасти еще более. Так как перевес тут на стороне тяготения, то температуру вообще из-за одного этого возражения умалить нельзя.

Общепринятое представление о твердых и жидких телах, как о чем-то несокрушимом в отношении сжимаемости, есть заблуждение. Напротив, опыты показывают, что все испытанные тела, даже самые, по-видимому, твердейшие, обладают совершенно определенной способностью сжатия. Только благодаря их громадной плотности в сравнении с плотностью газов нам в наших опытах сжимать их крайне трудно, и даже вода при давлении в 2000 атм сжимается лишь на $\frac{1}{10}$ своего первоначального объема.

Но что для нас трудно или невозможно, то, быть может, осуществимо при действии тех сил, которые проявляются в центрах светил; упругость

стали, кажущаяся нам громадной, совершенно ничтожна при давлении внутри Солнца, которое способно сжать этот металл в 650 раз.

Наши представления о том, что светила не могут сжиматься далее известного предела, представляемого твердыми телами, совершенно ложно, потому что противоречат опытам, довольно, правда, ограниченным по причине наших слабых сил.

Безграничное же сжатие светила дает чрезвычайно важный вывод: столь же безгранично выделение энергии в виде тепла и света.

III

Вообразим для примера наше Солнце. Пусть оно уменьшило свой диаметр вдвое, т. е. сжалось в 8 раз. Допустим, что температура осталась без изменения, упругость же материи внутри светила по закону Мариотта — Бойля возросла, по крайней мере, в 8 раз. Спрашивается, может ли сжатое до такой степени светило силою взаимного тяготения своих частиц удержать эту возросшую силу упругости?

Из формулы (7) мы видим, что внутреннее давление (от тяготения происходящее) пропорционально четвертой степени уменьшения радиуса, т. е. оно возросло в 16 раз ($2^4 = 16$).

Итак, тяготение не только в состоянии сдержать упругость вещества, следующего в этом отношении закону Мариотта, но и упругость, возрастающую против этого закона пропорционально уменьшению поперечника светила. Следовательно, если бы даже упругость вещества возросла пропорционально произведению из уменьшения объема Солнца и уменьшения его радиуса, то и тогда бы сжатие Солнца никогда не прекращалось.

Вопрос только в выделении избытка температуры, происходящего от сжатия.

Так, сжатие вдвое сопровождается такою работою тяготения, которой хватит на $12\frac{1}{2}$ млн. лет («Тяготение, как источник мировой энергии» К. Циолковского, 1893) непрерывного лучеиспускания теперешней силы. Медленность выделения этих работ через посредство эфира ограничивает быстроту сгущения светил.

Но мы видели, что упругость вещества обязана возрастать быстрее, чем уменьшение объема, т. е. быстрее, чем следует по закону Мариотта — Бойля, для того чтобы при постоянной температуре уравнивать силу тяготения. Если же свойства материи не выказывают этой прогрессирующей упругости, то температура солнц должна непрерывно возрастать при сгущении материи. Только такое возрастание температуры может составить противовес силе сжатия, пропорциональной четвертой степени уменьшения радиуса.

Таким образом, найдем, что если вещество солнц в отношении упругости подчиняется закону Мариотта, то температура солнц ради увеличения упругости их вещества должна непрерывно возрастать пропорционально уменьшению их диаметра.

Этот вывод имеет некоторое правдоподобие. Действительно, мы не видим, чтобы туманности — родоначальники планетных систем — блистали с тою интенсивностью, с какою блистают солнца. С другой стороны, есть звезды поразительно блестящие. Так, блеск Арктура по некоторым расчетам (беру из Лёббока) в 8000 раз сильнее солнечного (при одинаковом расстоянии, конечно). Нельзя ли объяснить это явление не только большей величиной светила, но и большим уплотнением его, при котором температура обязательно повышается, чтобы противодействовать силе тяготения.

Итак, сжатое в 8 раз светило (наше солнце) не только не расширяется вновь, как сжатая пружина, но стремится еще более сжаться, против чего необходимо (тем или другим способом) непропорциональное увеличение упругости вещества. Допустим, что этого достигли двойным повышением температуры светила, и равновесие соблюдено. Сожмем теперь наше солнце еще в 8 раз, т. е. уменьшим диаметр вдвое — очевидно, повторится та же история: выделение в течение миллионов лет гигантской энергии и новое двойное увеличение температуры. Есть ли этому конец? Вероятно, есть, но конец не полный.

Мы уже перечисляли причины, препятствующие неограниченному сгущению материи; это — вращение солнц, побуждающее их многократно дробиться (в результате — сложная звезда), упругость, возрастающая быстрее четвертой степени уменьшения радиуса, причем дальнейшее сгущение будет возможно только при понижении температуры; понижение же это может повлечь за собой сгущение паров на поверхности светил, образование корок, не проводящих тепло и все более и более утолщающихся и препятствующих дальнейшему понижению температуры, а следовательно, и сжатию. Образование коры возможно и при крайне высокой температуре, если допустить, что непрерывные химические процессы между элементами солнца способны образовать из них твердые вещества, неподдающиеся даже действию высокого жара.

Если бы допустили это последнее обстоятельство, то имели ли бы мы право сказать, что наступил конец? Как бы ни была толста и малотеплопроводна образовавшаяся на звезде темная кора, понижение температуры звезды, хотя бы и очень медленное, несомненно будет продолжаться. Но кто поручится, что это понижение не расплавит кору вновь, чтобы опять дать ход процессу лучеиспускания и сжатия звезды в течение миллионов лет.

Свойства материи крайне прихотливы и, по-видимому, периодичны. Упругость веществ в зависимости от давления то возрастает, то падает, то опять возрастает, чтобы, может быть, с возрастанием сжатия снова упасть. В такой же периодической зависимости, может быть, находится и состояние данного тела (твердое, жидкое и газообразное) в зависимости от непрерывного повышения или понижения температуры (и даже давления).

Для водорода, например, найдено, что упругость его сначала более нормальной, т. е. при начале сжатия возрастает быстрее, чем следует по

закону Мариотта — Бойля, затем уменьшается до сгущения в жидкость, чтобы снова возрасти в этом состоянии. Понизится ли упругость при достаточном сгущении жидкости — это нам неизвестно из-за ограниченности наших средств в производстве необходимых громадных давлений. Нам известно только то, что в пределах опыта упругость не постоянна. Судя по периодичности свойств, нужно ожидать понижения упругости.

Тем же свойствам подчиняются и другие газы, по крайней мере, при температуре несколько возвышенной (Тет, «Свойства материи»).

Почему же замерли планеты, замер сам могучий Юпитер, и Солнце покрывается пятнами, хотя и исчезающими, но, по-видимому, указывающими на его печальный конец, постигший уже планеты! Планеты затвердели вследствие недостаточно большой их массы, внутреннего давления, недостаточно большого, чтобы бороться против упругости тел, подобных металлам. Но мы уже видели, как ничтожна их упругость в сравнении с давлением внутри солнц. Давление в центре Юпитера лишь раз в 25 больше давления внутри Земли [уравнение (5)]. Чем больше небесное тело, тем больше шансов сжиматься и лучеиспускать многие сотни миллионов лет.

IV

Попытаемся формулировать вышеприведенные мысли.

Уравнение (8) выражает центральное давление светила в зависимости от его сгущения (ρ). Среднее давление положим в n раз меньше; так что среднюю величину силы тяготения, производящей сжатие светила, выразим:

$$P = \frac{G}{n} \rho \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} M \rho. \quad (12)$$

Теперь выразим среднюю величину силы расширения материи, противодействующей силе тяготения. Упругость вещества, приведенного к единице плотности и к единице температуры, по закону Мариотта — Бойля можем считать постоянной. Обозначим ее через K_1 ; тогда величина упругости при иной абсолютной температуре (t) и при иной плотности выразится:

$$K = K_1 \rho t, \quad (13)$$

где ρ — есть средняя плотность сжатия, происходящая при среднем давлении P . Так как сила тяжести должна уравновешиваться упругостью материи, то на основании двух последних уравнений получим:

$$\frac{G}{n} \rho \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} M \rho = K_1 \rho t,$$

откуда

$$t = \frac{G}{n} \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} M \frac{\rho \sqrt[3]{\rho}}{K_1}. \quad (14)$$

Заметим, что в этой формуле K_1 было бы только тогда постоянным, если бы соблюдался закон Мариотта — Бойля. Но так как он вообще не

соблюдается ни при изменении давления, ни при изменении температуры, то должны положить

$$K_1 = K_2 F(\rho, t), \quad (15)$$

где упругость (K_1) мы выражаем произведением постоянного на некоторую неизвестную функцию температуры и плотности ρ вещества. Понятно, это произведение то больше, то меньше единицы.

Главное, обуславливающее процесс сжатия небесного тела и его лучеиспускание, — это температура. Раз понизилась температура до образования непроводящей тепло и свет коры, лучеиспускание и сжатие прекращается — небесное тело замирает, по крайней мере, надолго. Вот поэтому, уравнением (14) мы и выразили температуру светила, наиболее ею интересуясь. Прежде исследования формулы (14) решим вопрос, возможно ли вообще равновесие между силою тяготения вещества и силою его упругости.

Разберем два случая. Положим, сила упругости более силы тяготения; тогда светило расширяется и увеличивает свой объем; причем упругость уменьшается не только от разрежения материи, но и, главное, от страшного понижения температуры, благодаря совершаемой при расширении громадной механической работе, поглощающей тепло светила. Если теперь положим, что сила тяготения более силы, расширяющей вещество, то понятно светило сжимается, от чего выделяется механическая работа, превращающаяся в тепло, которое до тех пор увеличивает упругость вещества, пока она не уравновесит силу тяготения.

Итак, равновесие обязательно и наступает весьма быстро в случае его нарушения. Но мы не приняли при этом в расчет силу лучеиспускания, стремящуюся нарушить это равновесие. Впрочем, сила лучеиспускания небесных тел сравнительно так ничтожна, что равновесие нарушается только чрезвычайно медленно. Если бы не было лучеиспускания или если бы оно было преграждено твердой корой или хоть искусственно, то равновесие соблюдалось бы вечно, без изменения объема светила, которое вечно бы хранило свою бесконечную потенциальную энергию. Надо содрать непроводящую тепло кору, надо дать толчок, чтобы снова иметь возможность пользоваться этой энергией.

Но что же произойдет от лучеиспускания? Чтобы видеть это яснее, предположим, что оно совершается не одновременно с изменением объема светила, а попеременно. Пусть сначала идет лучеиспускание без сжатия и расширения звезды. Потеря тепла, конечно, уменьшит упругость вещества солнца. Является тенденция к сжатию; дадим ему ход; оно, во всяком случае, хотя бы отчасти, восстанавливает температуру светила. Далее повторяется то же до тех пор, пока не прекратится от какой-нибудь причины излучение тепла. Итак ясно, что лучеиспускание вызывает, до известных пределов, сокращение светила.

Обратимся теперь к формуле (14). Переменную величину в ней имеет только множитель $\frac{\sqrt[3]{\rho}}{K_1} = \frac{\sqrt[3]{\rho}}{K_2 F(\rho, t)}$ [на основании уравнения (15)], от которого и зависит температура светила.

Итак, напишем:

$$t = C \frac{\sqrt[3]{\rho}}{K_2 F(\rho, t)}. \quad (16)$$

Если $F(\rho, t) = 1$ (17), т. е. если вещество подчиняется закону Мариотта — Бойля (или обладает свойствами теоретических газов), то температура (t) солнца, при его сжатии, непрерывно возрастает пропорционально кубическому корню из уплотнения материи ($\sqrt[3]{\rho}$) или пропорционально уменьшению радиуса (r) светила. В этом случае трудно ожидать на его поверхности темной коры, и потому звезда тогда должна сиять вечно, неисчислимые миллиарды лет. Но наше Солнце, имеющее вращение вокруг оси (скорость экваториальных точек около 2 км/сек), от сжатия все более и более возрастающего и превращающего Солнце благодаря центробежной силе в лепешку, — должно при уменьшении его диаметра в несколько десятков тысяч раз (по моим вычислениям) образовать двойную звезду, т. е. разделиться на два солнца, подчиняющихся тому же закону, как и само Солнце.

Когда числитель $\sqrt[3]{\rho}$ [уравнение (16)] возрастает пропорционально знаменателю $F(\rho, t)$, то t остается постоянной. Иначе говоря, если упругость материи не постоянна (K_2), как следует по закону Мариотта — Бойля, а возрастает пропорционально кубическому корню из уплотнения вещества звезды ($\sqrt[3]{\rho}$) или пропорционально уменьшению ее радиуса (r), то температура небесного тела не повышается и не понижается, причем тоже довольно трудно ожидать образования на поверхности светила не проводящих тепло и свет корок. Таким образом, и в этом случае сияние звезды вечно.

Когда вообще $\sqrt[3]{\rho}$ возрастает быстрее, чем $F(\rho, t)$, т. е. когда отклонение от закона Мариотта — Бойля в сторону увеличения упругости возрастает медленнее $\sqrt[3]{\rho}$ или уменьшения радиуса сжимающей планеты, то получим результаты, подобные разобранным, которые поэтому и опускаем.

Наконец, когда отношение $\sqrt[3]{\rho}/F(\rho, t)$ непрерывно уменьшается, или когда $\sqrt[3]{\rho}$ увеличивается медленнее, чем $F(\rho, t)$, то температура светила обязательно понижается, и как только она понизится до образования корок на поверхности звезды, — последняя замирает.

V

Применим уравнение (16) к объяснению потухания планет и постараемся приложить его же к решению вопроса о времени сияния Солнца в связи с известными нам свойствами материи.

Упругость вещества, подобная упругости газов и перегретых паров, т. е. следующая приблизительно закону Мариотта — Бойля, выражается прямой линией параллельно оси абсцисс ($y = a$).

Действительно, приведенная к единице плотности и температуры, она имеет постоянную величину (K_1) для каждого данного вещества.

Упругость, уклоняющаяся от закона Мариотта — Бойля на величину $\sqrt[3]{\bar{\rho}}$ выразится уже кривой, показывающей зависимость между сгущением Солнца (ρ) и упругостью его вещества, возрастающей пропорционально $\sqrt[3]{\bar{\rho}}$ (уравнение кривой: $y = a\sqrt[3]{x}$).

Как же мы выразим упругость металлических паров и газов, сгущающихся под влиянием давления (внутри солнц и планет) в жидкости и твердые тела?

Пока пары металлов еще не имеют плотности их в обыкновенном твердом или жидком виде, они обладают упругостью довольно постоянной, которая быстро падает по мере приближения к роковой точке капельно-жидкого или твердого состояния. После этого, как мы видели, она почти внезапно подымается, увеличивается в несколько десятков раз, чтобы опять стать довольно постоянной. Действительно, насколько позволяют опыты, мы видим это постоянство упругости в твердых и жидких телах. Что будет далее, если бы мы могли сжимать их более, мы не знаем, но на основании того, что говорят опыты, мы не имеем права утверждать, что упругость твердых и жидких тел не следует закону Мариотта — Бойля.

Итак, упругость металлических паров и дальнейшую их упругость при сгущении их в твердое состояние графически приходится выразить кривой довольно сложной.

Теперь у нас есть данные, чтобы представить себе процесс сгущения планет и звезд. Рассмотрим сгущение Земли или иной планеты. Пока планета в парообразном состоянии, температура ее непрерывно повышается, следуя закону $\sqrt[3]{\bar{\rho}}$ (17).

В переходном состоянии температура сначала быстро повышается, затем еще быстрее начинает понижаться. В самом деле, в формуле (16) K_1 или $K_2 \cdot F(\rho, t)$ сначала быстро уменьшается, потом еще быстрее увеличивается, от чего, очевидно, t сначала быстро возвышается, потом еще быстрее падает. Если предшествующая температура поразительно высока, как например, у Солнца, то уменьшение абсолютной температуры не настолько велико, чтобы образовать на поверхности светила непронускающую тепло и свет кору, — и Солнце продолжает сгущаться, т. е. продолжает быть солнцем, потому что упругость устанавливается, делается постоянной, и температура светила при этих новых условиях опять будет понемногу восстанавливаться по мере его сгущения (17).

Но если первоначальная (т. е. предшествующая) температура невелика, какова она у планет (потому что раз центральное давление невелико по малости небесного тела, оно, это внутреннее давление, уравновешивается не очень накаленными газами), то, уменьшенная в несколько раз вследствие понижения упругости, она настолько уменьшается с поверхности планеты, что уже образует малопроводный для света и тепла слой туманов и даже жидкой или твердой коры. Тогда перед нами холодная с поверхности планета.

Но что скажем мы про наше Солнце, этот огненный океан? Что ожидает его в будущем? Неужели судьба планет?

Вообразим себе, что вещество нашего Солнца достигло плотности металлов. Это приблизительно будет тогда, когда объем его уменьшится в 8 раз, а поперечник, стало быть, в 2 раза.

Давление внутри его, происходящее от силы тяготения, будет по уравнению (7) или (8) в 16 раз больше, чем в настоящее время. А в настоящее время это давление способно холодную сталь сжать в 650 раз (гл. II). Значит, тогда оно сожмет ее в 10400 раз. Между тем, ради соблюдения равновесия, это страшное давление не должно сжимать сталь. Как же быть? Очевидно, температура стали или живая сила движения его частиц должна быть больше чем обыкновенно в 10400 раз.

Положив абсолютную температуру (от -272°C) стали в 300°C , найдем, что температура ее внутри Солнца для противодействия силе тяготения должна быть в $3\,120\,000^{\circ}$. Вывод, конечно, приблизительный, но делая его для планет, получим числа несравненно меньшие: для Земли, например, получим 3000°C .

Понятно после этого образование планетной коры; но образование коры при внутренней температуре в $3\,000\,000^{\circ}\text{C}$, как кажется, очень и очень сомнительно.

Итак, при сгущении Солнца до плотности металлов его высокая температура не допускает образования коры и, стало быть, нужно ожидать его дальнейшего сгущения. Дальнейшее же сгущение, насколько предвидят наши опыты, совершается при упругости, следующей закону Мариотта — Бойля, т. е. при упругости постоянной. А при упругости постоянной нет конца сгущению и выделению энергии тяготения в виде тепла и света, льющихся с возрастающею энергией на планеты (17).

Мы не хотим сказать, что это так и будет непременно. Мы хотим только сказать, что оно так будет до тех пор, пока упругость сжимающихся металлов снова не сделает скачок, снова не будет увеличиваться, превращаясь в какое-нибудь новое состояние. Мы даже так и думаем, что именно упругость сжимающихся во много раз металлов сделает скачок и даже более резкий и величественный, чем это она сделала при сгущении металлических паров в расплавленные и затем отвердевающие тела. Раз он был (даже 2 раза), он должен повториться; повторение это, на основании предыдущих рассуждений и уравнения (16), должно сопровождаться новым понижением температуры и — кто знает — может быть, его будет достаточно для образования туманов и коры на нашем Солнце, которое тогда и замрет, сохраняя свои запасы энергии неизвестно для кого и для чего.

Но тут уже начинается область гипотез — и настолько смелых, что мы умолкаем.

ОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ *

(извлечения из большой рукописи 1924—1925 гг. Ноябрь 1925 г.)

С десяток лет тому назад я писал статью об образовании солнечной системы с точки зрения Лапласа, но встретил затруднения. С этих пор мною завладела мысль — выяснить этот вопрос. Но только два года назад у меня назрело решение серьезно присесть за это дело. Мне казалось, что я скоро с ним покончу, но конец не приходил, и я все более и более погружался в противоречия. Все утра, все свои силы я посвящал солнечной системе. Исписаны томы бумаги. Много раз переходил я от отчаяния к надежде. Многократно поверял все сначала, работал до полного одурения, до невменяемого состояния, много раз бросал, опять принимался и только в конце 1925 г. пришел к определенным, хотя и приблизительным, выводам. Теория приливного действия (Д. Дарвин, Р. Боль) давала невероятно большие числа. Так, для возраста планетной системы я нашел число в $361 \cdot 10^{15}$ лет. Изменение массы Солнца выделением альфа- и бета-частиц сокращало эти времена до нескольких миллиардов лет, но давало сомнительно большое изменение массы Солнца. Наконец, меня выручило число Эйнштейна, выражающее ежегодную умеренную потерю вещества нашим Солнцем. В связи с приливной теорией это сократило возраст планетной системы в 10 000 раз. Сколько гипотез перепробовано, какие горы формул и чисел получены, прежде чем мне удалось придти к тем простым выводам, которые изложены в предлагаемом конспекте. В нем я даю только окончательные результаты **. Для общества этого вполне довольно, астрономы же могут и сами все проверить и дополнить.

Все мои вычисления произведены совершенно самостоятельно. Я не имел первоисточников и ничего не мог от них заимствовать. Что дал я в этом труде нового, покажет время и указания ученых, хорошо знакомых с работами этого сорта.

* * *

Вот примерные обозначения. Расстояние между солнцем и планетой — r . Радиус Солнца — R_{\odot} . Притяжение тонны тонною на расстоянии одного метра $G_1 = 67 \cdot 10^{-9}$. В основу мер положены: метр, тонна, секунда или год. Масса Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{27}$. Момент годового движения всех планет

* Издана в Калуге автором в 1925 г. Печатается по тексту этой брошюры (Ред.).

** См. статью «Дополнение к образованию солнечных систем» (стр. 65), где выводятся некоторые формулы (Ред.).

нашей системы (формулы относятся только к ней) $I = 30634 \cdot 10^{36}$. Момент планет может быть больше, если есть еще планеты за Нептуном. Поэтому я ввожу поправочный коэффициент K . Обыкновенно, я принимаю его за единицу. Момент вращательного движения Солнца $I_{\odot} = 1128 \cdot 10^{36}$. Предполагается равноплотное Солнце; но так как его масса плотнее в центре, то этот момент значительно меньше. С этой целью вводится поправочный коэффициент K_{\odot} . Для Солнца K_{\odot} я принимал в 0,6, а для Земли в 0,7, (сделаны обширные вычисления относительно момента газообразных масс)*. Тяжесть на поверхности Солнца, выражаемая в метрах ускорения, $g_{\odot} = 270$. Время (в годах чаще) — T . Средняя плотность Солнца — $\rho_{\odot} = 1,37$. Годовая потеря массы Солнца в настоящее время — A . Далее эта потеря у меня предполагается пропорциональной поверхности светила. По Эйнштейну, если допустить для солнечной постоянной 20 ккал. мин/м^2 , $A = 2,76 \cdot 10^{14}$. Заметим, что число Эйнштейна можно получить независимо от его гипотезы, если вообразить, что энергия солнечного лучеиспускания выражается потоком его материи, удаляющейся от него радиально со скоростью света. Некоторые величины тут переменны. Частные их значения означаются приставками к ним (1, 2, 3).

* * *

Вообразим себе планетную систему с упрощенными круговыми путями (орбитами), лежащими в одной плоскости с солнечным экватором. Помножим массу какой-нибудь планеты на годовую (по орбите) скорость ее движения, а это произведение еще на расстояние ее до Солнца. Получим то, что называется моментом движения тела (относительно Солнца). Сделав то же со всеми планетами нашей системы и взяв сумму этих произведений, найдем общий момент движения всех планет относительно светила. Момент вращательного движения Солнца получим, если отыщем сумму произведений (интеграл) скоростей всех его частиц на их массы и на их расстояния до центра Солнца. Также можем найти моменты вращательного движения (суточного) всех планет относительно их осей. Из этих расчетов видно (смотри таблицу, строки 1—6): 1) моменты суточного вращения планет совершенно ничтожны (строка 6) в сравнении с моментом вращательного движения Солнца; 2) моменты поступательного, или годового, движения планет громадны (строка 3) по отношению к моментам их суточного обращения; 3) моментами вращательного движения всех планет мы можем пренебречь, также моментами поступательного движения малых планет; 4) момент поступательного движения больших планет (строка 5), напротив даже больше момента вращательного движения Солнца (так, у Юпитера этот момент в 18 раз больше солнечного момента); 5) в вопросе о движении планет в течение миллионов лет важную роль играют только моменты Солнца и моменты поступательного (годового) движения больших планет.

* См. работу К. Э. Циолковского «Моменты инерции» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. I, д. 253) (Ред.).

Если масса частей движущейся системы не изменяется (например, от лучеиспускания), то общий (суммарный) момент системы также неизменен, несмотря ни на какое взаимодействие и перемещение частей. Таков закон механики. Мы можем применить эту истину, чтобы доказать непрерывное удаление планет от Солнца.

Как наша Луна производит приливы на Земле, так и любая планета возбуждает приливы на Солнце. Вследствие этого его вращательное движение тормозится, и момент его уменьшается. Отсюда следует, что момент планет должен увеличиваться. Но увеличиться он может только через удаление планет от Солнца. Действительно, при этом, как известно из астрономии, скорость планет не так быстро уменьшается, как увеличивается расстояние, а пропорционально квадратному корню из него. Итак, планеты сейчас удаляются от Солнца и значит раньше были ближе к нему. Такое взаимодействие планет и Солнца я буду называть приливным действием (Д. Дарвин и Р. Боль).

Кроме того, Солнце теряет массу по причине лучеиспускания. Так, Аррениус допускает истекающий от Солнца поток электронов. Д. Дарвин, Аббот, А. Ферсман думают, что Солнце радиоактивное тело. Деламабр, Брюстер, Принсгейм, А. Эйхенвальд предполагают то в короне, то в протуберанцах Солнца истечение альфа-, бета- и гамма-лучей. Нернст, основываясь на Эйнштейне, думает, что Солнце через 10^{13} лет обратится в ничто, т. е. потеряет всю свою массу.

Результатом этого является также удаление планет. В самом деле, уменьшение массы Солнца сопровождается уменьшением силы его тяготения, между тем как центробежная сила планет остается без изменения. Перевес будет на стороне последней. Это и заставляет планеты удаляться от Солнца по спирали. Наоборот, раньше, когда Солнце имело большую массу, все планеты были ближе к нему (если даже исключить приливное действие).

Две силы (два фактора) заставляют планеты непрерывно удаляться от центрального светила. Невольно напрашивается вопрос, не отделились ли планеты от самой поверхности Солнца и не составляли с ним некогда одно целое? Если это так, то естественно предположить, что планеты отделились там, где их угловая скорость (число оборотов в единицу времени) сравнивается с угловой скоростью Солнца, короче, там, где вся система вращалась, как свинченная. В прошедшем планеты были ближе, момент их годового движения был меньше. Поэтому скорость вращения Солнца была больше. Где же и при какой угловой скорости они сравнялись? Исследование этого вопроса дает для нашей системы такую приближительную формулу:

$$\frac{r}{R_{\odot}} = \left[\frac{0,4 \sqrt{G_1 R_{\odot} M_{\odot}^3}}{g \left(\frac{K}{K_{\odot}} + \frac{J_{\odot}}{J} \right)} \right]^{2/3}; \quad (1)$$

$$\frac{J_{\odot}}{J} = \frac{1}{28,8}. \quad (2)$$

Пренебрегая этой дробью, получим:

$$\frac{r}{R_{\odot}} = \left[\frac{0,4K_{\odot}}{JK} \sqrt{G_1 R_{\odot} M_{\odot}^3} \right]^{2/3}. \quad (3)$$

Для Солнца (K_{\odot}) не менее 0,6. Тогда вычислим $r/R_{\odot} = 3$.

Мы тут не могли принять в расчет изменение массы Солнца и планет. Но из формулы (3) видно, что изменением их масс отчасти сглаживается вывод. Во всяком случае, его можно принимать только как грубое приближение к истине.

Следовательно, планеты оторвались от Солнца в среднем на расстоянии от их поверхности примерно двух его теперешних радиусов (от центра расстояние равно 3 радиуса Солнца). Промежуток в 2 радиуса отчасти был занят массой планет, отчасти был заполнен утерянной теперь массой Солнца. Тогда Солнце вращалось гораздо быстрее, было сплюснуто и, судя по промежутку, имело массу в $8 = (3^2 - 1)$ или в $26 = (3^3 - 1)$ раз больше теперешней. В среднем же, ввиду сплюснутости, в 17 раз больше теперешней.

Увидим, подтвердится ли это.

Время обращения возрождающейся планетной системы, в часах, определяется по формуле:

$$t = \frac{\pi}{1800} \frac{r}{R_{\odot}} \sqrt{\frac{r}{g_{\odot}}}. \quad (4)$$

Положим тут $r = 3R_{\odot}$ и $g_{\odot} = 270 \text{ м/сек}^2$. Получим $t = 14,6 \text{ час}$. Значит, эта система в стадии зарождения вертелась в 41 раз быстрее, чем теперь вращается Солнце (25 суток).

Мы видим, что планеты удалялись от Солнца вследствие двух причин: 1) от приливного действия и 2) от потери массы Солнцем.

Годовая радиальная скорость удаления от приливного действия зависит от приливной работы на Солнце. Это замедляет его вращение. От замедления же вращения Солнца планеты от него удаляются.

Таким образом, мы приходим к следующей формуле: *

$$\frac{dr}{dt} = 4K \left(\frac{R_{1\odot}}{r_1} \right)^{5/2} \sqrt{\frac{G_1 \rho_{\odot}}{3\pi} \left(\frac{r_1}{r} \right)^{5/2}}. \quad (5)$$

Здесь производной выражена секундная скорость удаления планеты в метрах. Значками (1) обозначены современные астрономические величины.

Скорость от потери массы имеет наибольшую важность и выводится очень просто. Поэтому мы имеем тут возможность привести способы вывода.

* Формула (5) исправлена согласно указаниям автора, содержащимся в работе «Дополнение к образованию солнечных систем» (см. стр. 74) (Ред.).

Предполагается сферичность Солнца, постоянная его плотность и потеря энергии и массы, пропорциональная переменной его поверхности. На этом основании:

$$\frac{v^2}{r} m = \frac{G_1 m M_{\odot}}{r^2}, \quad (6)$$

откуда

$$v^2 = \frac{G_1}{r} \cdot M_{\odot} \quad (7)$$

Тут v — секундная скорость планеты; m — масса планеты и M_{\odot} — масса Солнца.

Далее:

$$R_{\odot} = R_{1\odot} - bt, \quad (8)$$

где b — есть толщина ежегодно удаляющегося поверхностного слоя Солнца.

Следовательно:

$$b = \frac{A}{4\pi R_{1\odot}^2 \rho_{\odot}}, \quad (9)$$

где A — есть годовая потеря массы Солнцем. По Эйнштейну*, $A = 2,74 \cdot 10^{14}$.

Из (8) имеем:

$$t = \frac{R_{1\odot}}{b} \left(1 - \frac{R_{\odot}}{R_{1\odot}}\right) = \frac{R_{1\odot}}{b} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{M_{\odot}}{M_{1\odot}}}\right). \quad (10)$$

Из формулы (7) легко выведем:

$$\frac{M_{\odot}}{M_{1\odot}} = \frac{v^2 r}{v_1 r_1}. \quad (11)$$

При уменьшении массы Солнца силы притяжения остаются центральными. Поэтому Кеплеровский закон площадей дает:

$$r \cdot v dt = r_1 v_1 dt. \quad (12)$$

Отсюда и из (11) получим:

$$\frac{M_{\odot}}{M_{1\odot}} = \frac{v}{v_1} = \frac{r_1}{r}. \quad (13)$$

Это и (10) дает:

$$t = \frac{R_{1\odot}}{b} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{r_1}{r}}\right). \quad (14)$$

Отсюда, дифференцируя, найдем:

$$\frac{dr}{dt} = 3b \frac{r}{R_{1\odot}} \cdot \sqrt[3]{\frac{r}{r_1}}. \quad (15)$$

Тут первая производная и выражает искомую годовую скорость удаления планет от потери массы Солнцем.

* По-видимому, К. Э. Циолковский принимает энергию равной $1/2mc^2$; на самом деле A вдвое меньше (Ред.).

Обе составляющие скорости (5) и (15) действуют в одном направлении и удаляют планеты. Вычисляя скорость от приливного действия, увидим, что она вблизи Солнца очень велика и потом быстро падает и становится почти незаметной. Скорость же от потери массы, наоборот, вблизи светила очень мала, а с удалением от него сильно возрастает, приведя обе скорости к году (первая секундная), и, сравнивая их, получим: *

$$\frac{r}{r_1} = \sqrt[23]{B^6 \cdot \left(\frac{R_{1\odot}}{r_1}\right)^{21}}, \quad (16)$$

т. е. на этом относительном расстоянии обе скорости сравниваются.

Тут:

$$B = \frac{4K}{3b} \sqrt{\frac{G_1 \rho_{\odot}}{3\pi}} \cdot 31,56 \cdot 10^6. \quad (17)$$

Здесь $31,56 \cdot 10^6$ означает год в секундах.

Нам интересно знать, когда планеты оторвались от Солнца, сколько лет тому назад.

Будет очень незначительная ошибка, если мы будем определять время удаления планет от Солнца сначала до сравнения скоростей, по одному приливному действию (5), пренебрегая потерей массы, а после сравнения радиальных скоростей — по одной массовой потере, пренебрегая ослабевшим приливным действием. Интегрируя (5), для приливного действия получим приблизительно:

$$t = \frac{R_{1\odot}}{14K} \sqrt{\frac{3\pi}{G_1 \rho_{\odot}}} \left(\frac{r}{r_1}\right)^{4,75} \left(\frac{R_{1\odot}}{r_1}\right)^{2,5}. \quad (18)$$

Формулы (16), (17), (15) и эта (18) дают нам возможность составить часть прилагаемой таблицы, касающуюся времен отделения планет от Солнца.

Но необходимо еще вычислить изменения массы Солнца: до сравнения скоростей, после сравнения и полное относительное изменение массы сравнительно с массой Солнца в настоящее время. Для этого могут послужить последующие формулы. Из (8) получим:

$$\frac{R_{\odot}}{R_{1\odot}} = 1 - \frac{b}{R_{1\odot}} t. \quad (19)$$

Время тут, конечно, прошедшее, т. е. отрицательное. Из этого:

$$\frac{M_{\odot}}{M_{1\odot}} = \frac{R_{\odot}^3}{R_{1\odot}^3} \left(1 - \frac{b}{R_{1\odot}} t\right)^3. \quad (20)$$

Эти формулы мы применим к относительному изменению радиуса и массы Солнца от начала планеты до сравнения радиальных скоростей. После сравнения, когда приливным действием пренебрегаем, для определения изменения массы, воспользуемся формулой (13):

$$\frac{M_{\odot}}{M_{1\odot}} = \frac{r_1}{r}.$$

* Показатель радикала в формуле (16) исправлен на 23 (вместо 28) согласно указаниям К. Э. Циолковского (см. стр. 75) (Ред.).

Тут отношение масс и расстояний относится: от сравнения скоростей до настоящего времени. Полное изменение массы Солнца от отделения планеты до настоящего времени, следовательно, выразится:

$$\left(1 - \frac{b}{R_{1\odot}}\right)^3 \frac{r_1}{r}. \quad (21)$$

Полное же относительное изменение радиуса будет

$$\left(1 - \frac{b}{R_{1\odot}}\right)^3 \sqrt{\frac{r_1}{r}}. \quad (22)$$

Седьмой ряд таблицы * (7) — (15) показывает, на каком относительном расстоянии (16) и (17) от Солнца каждая планета (1-й ряд) имеет радиальную скорость от приливного действия такую же, как от умаления массы Солнца. Чуть далее Земли и ближе можно (как видно из 7 ряда) принимать в расчет одно приливное действие и вычислять время по формуле (5), для чего надо произвести в ней простое интегрирование. Получим:

$$t = \frac{R_{\odot}}{14K} \sqrt{\frac{3\pi}{G_1 \rho_{\odot}}} \left(\frac{r_1}{R_{\odot}}\right)^{7/2}. \quad (23)$$

Тут время выражено в секундах. В таблице оно вычислено в годах. Так, для Земли по этой формуле получим $2,3 \cdot 10^{12}$ лет, а по таблице $2,2 \cdot 10^{12}$ лет, т. е. почти то же. 8-й ряд — есть время в миллиардах лет, прошедшее от зарождения планеты до сравнения скоростей **. Далее (9) — время от сравнения скоростей до настоящего момента. Наконец, стр. 10 выражает полное время в миллиардах лет. Например, Нептун отделился от Солнца (в виде газообразной круглой массы) почти 31 миллиард лет тому назад. Это время можно считать за возраст планетной системы, не считая время кольцеобразного ее состояния (вроде Сатурна). Юпитер возник 11 с лишком миллиардов лет до нашей эры. Меркурий родился 84 млрд. лет назад.

Стр. 11 показывает относительное изменение радиуса Солнца (при шарообразной форме и постоянной плотности), а 12 — относительное изменение массы Солнца — до равенства скоростей. 13-й ряд выражает относительное изменение массы Солнца от уравнивания скоростей до настоящей эры. 14-й — полное относительное изменение массы, а 15-й — полное относительное изменение радиуса Солнца. Полное изменение массы с начала образования планетной системы соответствует 16 (стр. 14).

Заметим, что формула (1) привела нас к тому же. Это служит лучшим подтверждением наших вычислений.

Мы еще видим из 14 строки таблицы, что относительное изменение массы Солнца до сравнения радиальных скоростей планет не превышает 30%, и потому ошибка в определении времени не может быть очень большой, в особенности для отдельных планет, где главную роль играет потеря массы, а не приливное действие.

* См. стр. 64 (Ред.).

** Здесь и далее миллиард соответствует 10^{12} (Ред.).

Можно ли однако допустить, что для сформирования планет нужен такой огромный промежуток времени?

Жизнь каждой солнечной системы, ее период, находится в зависимости от преобразования химических элементов. Торий дает половинный распад (разрушение элемента) в течение 18,1 млрд. лет, т. е. в одну шестидесятую биллиона. Сколько же нужно биллионов лет для разложения элементов, которые не выказывают никаких заметных следов радиоактивности (т. е. разрушения)? Очень может быть, что период полураспада неактивных элементов много более 31 биллиона лет. А в таком случае не удивительно допустить этот период и для жизни планетной системы.

Еще возникает вопрос. Неужели Солнце в прошедшем могло сиять уже 31 биллион лет? И это возможно. Насколько велики времена распада атомов, настолько же могут быть велики и времена свечения. Нернст, основываясь на Эйнштейне, дает для свечения Солнца 10 биллионов лет. Но ведь его масса, как мы видим, была в начале в 16 раз больше. Что же мудреного, что ее хватило на 31 биллион лет. Рождение планет сопровождалось 30-ю биллионами оборотов Земли кругом Солнца. Но электроны вокруг ядра делают в тысячи раз больше оборотов в секунду.

Мы добрались до тех отдельных времен, когда Солнце было подобно Сатурну и начало разрывать свои кольца и отделять их от себя в виде газообразных планет (лун тогда еще не было). Тогда Солнце вертелось в 41 раз быстрее, чем теперь, и имело диаметр по крайней мере в 3 раза больший настоящего.

Что же было раньше до этой дифференциации — 40, 50, 100 биллионов лет тому назад? Вероятно, тогда не было и колец, а было гигантское очень сплюснутое Солнце (Рессел и Майкельсон). Еще раньше оно было шаровидно, вращалось чрезвычайно медленно и светило слабее. Еще раньше оно имело вид планетарной туманности округлой или неправильной формы с зачаточным вращательным очень неправильным движением частей (что потом порождало аномалии в солнечных системах).

Во всяком случае, я с глубоким убеждением могу сказать, что колебали каждой планетной системы и многократных солнц лежат в бесчисленных гигантских Солнцах. Это девственные светила, не родившие еще пока своих птенцов. В настоящее же время странно было бы искать источники солнечных систем в спиральных туманностях (Мультон, Чемберлин). Теперь все более и более приходят к убеждению, что они вне Млечного пути и составляют отдельные группы солнц, подобные нашему Млечному пути и состоящие сами из бесчисленного множества солнц (или звезд).

Выясним, когда из гигантских солнц или газообразных туманностей образуются двойные или многократные солнца, когда планеты, когда их много, когда мало, когда кольца, когда совсем ничего не получается, кроме солнца.

Вот едва видимое газообразное скопление материи. Форма неправильная. Имеем в этой массе зачатки поступательного и вращательного движения. Движение частей, составляющее круговорот, сначала очень

неправильно. В массе происходят радиоактивные явления, т. е. из легких элементов (например из гелия) получаются тяжелые (например, азот). От этого масса сжимается.

Вращение ускоряется и упорядочивается под влиянием трения. Масса становится правильнее, шарообразнее, сильнее светится и превращается в гигантское почти сферическое солнце с едва заметным вращением. Образование тяжелых элементов продолжается, а стало быть и сжатие. Скорость увеличивается, масса уже имеет полярный диаметр гораздо короче экваториального. Сокращение полярного поперечника непрерывно растет.

Дальнейшие явления зависят от того, насколько плотность центральных частей гигантского солнца отличается от плотности краевых (периферических). Это же различие обуславливается обширностью массы и ее зачаточной скоростью вращения. Сейчас мы разберем только значение скоростей. Если она была велика, то туманность (или солнце), не дождавшись центрального сгущения, делится на части, как бактерия (вычисления Якоби, Пуанкаре и Джинса для равноплотных масс). Тут нет причины одной части сильно превосходить другую по величине. Тогда получаются двойные солнца.

Чем меньше угловая скорость и больше отличаются плотности центральных частей от краевых, тем меньше и отделяемая масса. Тогда получаются двойные солнца не равной величины.

Чем меньше будет зачаточная скорость и, следовательно, чем больше центрируется масса, тем меньше будет отделяемое солнце. Оно по своей малости скоро остывает и дает планету (с холодной поверхностью).

При еще меньшей начальной скорости вращения, когда центральное сгущение достигает большей силы, отделяются кольца, подобные кольцам Сатурна. Возможно и так: сначала отделяются большие части в виде светящихся планет, а затем, при большем уплотнении центра, кольца. Так было, вероятно, в нашей солнечной системе. Если начальное вращение туманности близко к нулю, то гигантское солнце почти не имеет угловой скорости и потому не сплющивается; тут не может произойти отделения планет, так как отсутствует центробежная сила. Это случай очень редкий: Солнце без планет. Ясно, что чем больше начальная скорость вращения туманности, тем больше отделяется планет.

Пусть скорость вращения велика и образуется двойное солнце из равных или неравных товарищей. После отделения они продолжают сжиматься, сиять и терять массу. От потери массы они должны удаляться друг от друга, а от сжатия их угловые скорости вращения увеличиваются и не сходятся с годовой (по орбите) угловой скоростью. Начинается приливное действие, которое еще более способствует удалению компонентов. То же справедливо, конечно, и относительно удаления планет.

Теперь положим, что скорость настолько мала, что образуются кольца (вычисления Роша). Одно приливное действие не может их удалить, так как кольца не могут его производить. Они почти не тормозят вращения центральных тел. Значит, предел Роша (примерно $2\frac{5}{11}$ радиуса Солнца

или другого центрального тела) не был бы нарушен, если бы не потеря массы блистающим светилом. Без потери им массы кольца должны бы остаться на своих местах, как это мы видим на Сатурне, масса которого уменьшается незаметно мало. Но наше Солнце сияет во всю, масса его уменьшается, от чего кольца должны удаляться. Когда будет превзойден предел Роша, то кольца разорвутся, образуются планеты с лунами и начинается приливное действие, которое быстро удаляет планеты от центра.

Возможно, что наше Солнце проделало эту категорию явлений (или смешанную, т. е. сначала образовалось несколько планет, а потом кольца), значит, я предполагаю, что зачаточное вращение газообразной массы, из которой сформировалась наша планетная система, была довольно мала. Тогда одни солнечные кольца были дальше двух радиусов Солнца от его поверхности, другие ближе. Эти кольца, удаляясь и разрываясь одно за другим, и образовали все планеты с их спутниками. Действие потери Солнцем вещества, вблизи колец, было чрезвычайно слабо и потому, вероятно, что сверх вычисленного мною времени, будущие планеты немало повертелись вокруг светила в виде колец, прежде чем был нарушен предел Роша и вмешалось могучее сначала приливное действие. В особенности это справедливо, как увидим, в отношении планетных спутников (лун), так как планеты скоро остыли, почти не теряли массу, и потому было очень мало поводов для удаления лун и нарушения предела Роша (за которым следовал разрыв колец и превращения их в шаровую массу).

Итак, планеты вследствие их относительно большой поверхности, должны скоро остыть и почти прекратить потерю массы. Поэтому наши формулы приливного действия (1) — (5) и (23) в большей степени применимы к планетам с их спутниками. Начальное лучеиспускание блестящих планет, конечно, уменьшило время формирования спутников, вычисленное по формуле одного приливного действия.

По формуле (23) для нашей Луны вычислим минимум времени, прошедшего от образования Луны до настоящего времени. Оно составляет от 295 до 690 млн. лет (Д. Дарвин дает от 50 млн. до 10 млрд. лет). Едва ли оно более миллиарда лет. А так как возраст Земли 2 биллиона лет, то возраст Луны составляет лишь тысячную долю возраста Земли. Огромную часть времени Луна составляла одну газообразную массу с Землей и затем долго вертелась в виде кольца вокруг уже остывшей Земли. Во время образования кольца кольцо и Земля имели приблизительно равные угловые скорости. Время оборота этой системы было близко к 3 час (4). Значит, Земля тогда вертелась в 8 раз быстрее чем теперь. Среднее расстояние кольца от центра Земли было близко к 1,67 радиуса Земли. Очевидно, предел Роша мог быть нарушен только через долгий промежуток времени.

По той же формуле найдем, что последний спутник Сатурна (Феба) отделился 270 млрд. лет назад, а восьмой спутник Юпитера — 1,2 биллиона лет назад. Последнее число составляет менее 10% возраста Юпитера. Видно, и эти планеты биллионы лет были в соединении со своими спутниками и много, много времени удерживали их в образе колец, как продолжает это делать до сих пор Сатурн.

* * *

Итак, планеты удаляются от Солнца, движутся медленнее, и время их годового обращения непрерывно увеличивается. Нельзя ли это замедление подтвердить наблюдениями?

Величину современного радиального удаления планет в единицу времени мы можем узнать по формулам (5) и (15).

16-я строка таблицы дает годовые радиальные скорости в *мм* от приливного действия, а 17-я — от потери солнечной массы. Скорость от первой причины велика вблизи Солнца. Для Меркурия она достигает 200 *мм* в год (земной год). Но уже на расстоянии Юпитера оно уменьшается чуть не в 1000 раз. Скорость от второй причины, напротив, мала для Меркурия и достигает 628 *мм* для Нептуна. Это обстоятельство послужило нам для наших приблизительных вычислений возраста планет. (Оно особенно мало для колец. Легко вычислить, что они должны вращаться миллиарды лет, прежде чем будет нарушен предел Роша.) 18-я строка даст полную скорость удаления в земной год. Она, идя от Солнца, сначала уменьшается, близ Марса достигает своего минимума, а затем непрерывно и неограниченно растет. Все это относится к настоящему времени. В другое время масса Солнца иная, и радиальные скорости другие.

Формула (24) укажет нам на замедление (в *сек*) в движении планет в течение земного года.

$$dt = 4\pi \sqrt{\frac{r}{G_1 M_{\odot}}} dr_1. \quad (24)$$

Здесь dr_1 — есть суммарное удаление, взятое из таблицы и выраженное в метрах. Результаты вычислений выражены в таблице строкой 19, где показано замедление в секундах в течение тысячи лет. Наибольшее оно для Нептуна, но и тут достигает только одной секунды в 1000 лет. Понятно, что подметить его пока нет возможности.

* * *

На движение планет имеют еще влияние: 1) сопротивление эфира; 2) световое давление и 3) падение метеоров. Докажем, что эти влияния не могут заметно изменить наших выводов.

Сопротивление эфира заставляет каждую планету спирально приближаться к Солнцу. По моим расчетам, это давление на Землю примерно составляет 2 *т*. От этого скорость приближения планеты к солнцу не будет более 1 *мк* в год (0,001 *мм*). Другие силы оказываются гораздо больше. Например, в настоящее время одно приливное действие заставляет удаляться Землю на 19 *мм* в год. Значит, последняя сила в 19 000 раз значительнее.

Давление света на землю равно 862 000 *т*, т. е. оно в 44 000 раз более сопротивления эфира. Но оно действует по закону всемирного притяже-

ния и потому сливается с ним, чуть-чуть его ослабляя. В результате этого слияния планета двигается по тому же эллипсу, незаметно мало растянутому. Непрерывного удаления быть не может.

Падение аэролитов на планеты лишь приближает луны к планетам, но не имеет влияния на расстояние планет от Солнца. Только падение их на Солнце приближает к нему планеты. Предполагают, что в год на Землю падает метеорная масса в 20 000 т. Если допустить, что пропорциональная масса падает и на Солнце, то для нее получим около $240 \cdot 10^6$. Эта величина совсем ничтожна в сравнении с числом Эйнштейна ($274 \cdot 10^{12}$), которое мы принимали в нашей теории. Другое получим, если допустим, что метеорная масса, падающая на Землю, извергается самим Солнцем. Если она не падает обратно, то светило должно терять ежегодно $40 \cdot 10^{12}$ т вещества. Но и это число составляет лишь одну седьмую принятого нами для вычислений. Следовательно, и оно помимо своей гипотетичности, не может сильно влиять на наши вычисления.

* * *

Ближайшее прошлое планет таково: 84 млрд. лет назад Меркурий только отделился от Солнца; Венера и все другие планеты были немного ближе к нему. По таблице (16—18) легко рассчитать, что Земля была ближе к Солнцу всего только на 3 млн. км, или на 2% теперешнего расстояния, и получила тепла примерно на 4% более, чем теперь. Может быть, тогда не было ни человека, ни животных. Земля находилась в газообразном состоянии. Луна еще от нее не отделилась. Венера была такая же, а прочие планеты — как в настоящее время. 736 млрд. лет назад и Меркурий, и Венера составляли кольца вокруг Солнца, хотя кольцо Венеры уже начало разрушаться. Земля находилась от светила на 20% ближе, чем теперь. Солнце жарило на 40—50% сильнее, чем в настоящее время. Абсолютная величина его, сила свечения и вращение были немного больше, чем сейчас. Марс был ближе на 30% и получал теплоты на 60—80% больше теперешнего. Он был в самом благоприятном положении для развития жизни. Видим на тогдашнем Марсе сходство условий с теперешней Землей. Положение других планет мало отличалось от современного, только были они ближе к светилу, да вращалось оно быстрее; Юпитер и Сатурн, может быть, и не начинали еще своей органической жизни, так как были газообразны и горячи.

* * *

Странно и обидно, что миллиарды лет лучеиспускание гигантского и еще бездетного Солнца было бесплодно. Затем 31 миллиард лет прошли в рождении планет. И тогда большая часть энергии светила шла мимо планет. Из этих крох человек извлек какую-нибудь миллионную долю. Также и Марс, и Меркурий, и Венера. Другие планеты совсем не могли воспользоваться крохами энергии, падающей на них. Так ли это? Возможно, что

всякое блистающее солнце, даже и беспланетное, эксплуатируют переселенцы с других угасающих солнечных систем. Для использования лучистой энергии вовсе нет надобности в планетах (особенно громадных). Довольно очень небольшого количества вещества, которое могли привести эмигранты с собою. Они могли воспользоваться остатками материи, всегда бродящей вокруг солнц. Этого требует разум, а потому так и должно быть: еще до рождения планет солнца уже обильно используются разумными существами.

Сознательные организмы жили и вокруг нашего Солнца с тех пор, как оно стало источником интенсивной энергии. Высасывают ли они и сейчас мощность светила, или переселились к другой звезде, предоставив нам остатки ослабевшего и истощенного Солнца, близкого к катастрофе угасания и взрыва?

* * *

Проследим прошедшее солнечной системы от зарождения Нептуна до настоящего времени. 31 миллиард лет назад (строка 10) разрывается первое кольцо Солнца. Его диаметр в 3—4 раза больше, чем теперь. Светит оно раз в 9—10 сильнее настоящего. Вращается в 41 раз быстрее, оно сильно сплющено и окружено десятком крупных колец наподобие Сатурна. Крайнее кольцо настолько уже удалилось от Солнца (нарушается предел Роша), что разрывается, образуя округлую газообразную раскаленную массу, из которой потом должна образоваться система Нептуна с его лунной. Начавшееся после разрыва приливное действие заставляет планету быстро удаляться от других колец. Планета блещит, как маленькое солнце в течение 1200 млрд. лет (см. табл. стр. 20), и отделяет кольцо, из которого потом образуется спутник. Затем блеск Нептуна слабеет, переходит в красный, далее свечение прекращается, но планета долго еще дышит жаром.

Остывшая и газообразная планета служит источником особой своеобразной жизни, которая, может быть, приняв подходящую к новым условиям форму, продолжается и теперь.

Через $5\frac{1}{2}$ миллиардов лет второе кольцо от потери Солнцем массы настолько от него удаляется, что разрывается и дает начало Урану с его четырьмя спутниками. Повторяется история Нептуна, и даже сияет он солнечным блеском почти столько же. После отделения Урана, через 7 миллиардов лет, так же возникает Сатурн с его 10-ю спутниками. Ближайшие его кольца и до сих пор не нарушили предел Роша и потому сохранились. Сатурн сиял подобно Солнцу 800 млрд. лет.

После него, через 3 с лишком миллиарда лет разрывается 4-е солнечное кольцо. Из него получается газообразная сияющая масса Юпитера с его 8 лунами. Блещит он как небольшое солнце 880 млрд. лет.

Не забудем, что в течение всего этого космического фейерверка Солнце непрерывно уменьшается в массе и диаметре, что вращение его непрерывно замедляется и что все планеты одновременно удаляются от цен-

гального светила: сначала очень быстро, потом медленнее, затем опять все быстрее и быстрее (см. табл., стр. 15—17). Все они сначала блестят, как маленькие солнца, затем слабеют, тухнут, долго еще испуская теплоту и формируя кольца и луны. В общем огромная часть их жизни проходит в личной темноте, и только Солнце не перестает их освещать до сего времени. За Юпитером, примерно через 3 биллиона лет, разрывается 5-е солнечное кольцо. Оно образует очень маленькую планетку, гораздо меньше нашей Луны. Радиоактивные или другие явления заставили ее разорваться на тысячи кусков (Ольберс) и таким образом дали начало астероидам, блуждающим теперь между Марсом и Юпитером. Еще через 3—4 биллиона лет отделяется от Солнца шестое более массивное кольцо; разрываясь, оно дает Марс с его крохотными спутниками. По своей малости он погас уже через 81 млрд. лет, а может быть и ранее.

Через 2 с лишком биллиона лет после Марса родилась Земля в газобразном образе. Она светила, вероятно, не менее 142 млрд. лет, но остывала очень долго. Чуть не через 2 биллиона лет ее кольцо, нарушив предел Роша, разорвалось и родило Луну. Под влиянием приливного действия в течение какого-нибудь миллиарда лет она достигла настоящего положения и состояния.

(Вообще кольца планет формировались рано, еще до погасания планет, но луны из них получались сравнительно лишь недавно. Так показывают вычисления, о которых мы говорили.)

Также произошли Венера и Меркурий. Первая через $1\frac{1}{2}$ биллиона лет после Земли, а второй через 2 с лишком после нашей планеты. Венера светила 75, а Меркурий — 32 млрд. лет.

* * *

Таково прошедшее солнечной системы. Каково же будущее?

Солнце должно слабеть и уменьшаться в массе. Планеты от него удаляются. И то и другое способствует понижению средней температуры поверхности скоро остывших планет.

Для органической жизни Меркурия и Венеры это благоприятно. Для Земли и Марса — в конце концов губельно. Для других планет, где едва ли есть жизнь, безразлично.

Удаление планет совершается страшно медленно. Так, через миллиард лет Земля удалится от Солнца только на 40 тыс. км, или на одну сороковую процента всего расстояния. Значит, даже 40 млрд. лет увеличат расстояние всего на 1%. При этом количество излучения светила уменьшится почти на 2%. Также ничтожна и потеря массы ($\frac{1}{200}$) Солнцем за это время, а стало быть, и абсолютная сила его лучеиспускания. Бело думает, что благодаря распаду атомов его хватит на 1600 млрд. лет, а Бослер и Нернст доходят даже до 10000 млрд.

Значит беспокоиться людям пока нет оснований. Все же через несколько биллионов лет Солнце должно остыть и покрыться твердой коркой, как Земля. Потеря массы прекратится, удалять планеты будет только

приливное действие. Но к тому времени планеты очень уйдут от светила, само оно уменьшится в массе, делается вязким и приливное действие сойдет к нулю... Человечества уже нет. Достигнув совершенства и используя солнечную энергию, оно давно ушло к другой звезде... Но что же станет с омертвевшей планетной системой?

Во всякого рода материи одновременно происходят два процесса: распад атомов и образование их из более простых элементов. Это одинаково справедливо как для химических явлений, так и для радиоактивных (Бертоле, Гумдберг, Вааге, Вильгельмини). Если материя сложная, то господствует распад; если простая, то исключительно совершается соединение (синтез, интеграция). И то и другое — дело случая, т. е. результат редкого сочетания движения и положения частиц материи. Нужна ли энергия для этого преобразования, или она, напротив, выделяется — это безразлично. Если нужна энергия, то она поглощается из окружающей среды.

На этом основании в газообразных или планетарных туманностях, даже в гигантских, очень разряженных солнцах (например в гелиевых солнцах) должно происходить образование более сложной, плотной и менее упругой материи (тяжелых элементов). Сила тяготения заставляет ее скопиться в центре и освободить от себя краевые массы туманности. Эти области будут свободны от тяжелых элементов и потому будут представлять беспрепятственное поле для непрерывного образования сложных атомов. Они будут все более и более накапливаться в центре туманности, где дадут начало будущему светилу. В этом центре, напротив, преобладает распад атомов, так как простых элементов там меньше.

Когда же вследствие остывания и увеличения вязкости выделение простой материи затрудняется, то она накапливается в темных солнцах все более и более. Будучи легкой и очень упругой, в один прекрасный день она преодолевает силу притяжения частей солнца (и их сцепления) и производит грандиозный взрыв. Появляется новая звезда (Солнце), которая через некоторое время обращается в планетарную туманность. Один из периодов жизни Солнца (звезды), таким образом, будет закончен, чтобы повториться в том же порядке.

То же, но гораздо раньше, должно произойти и с планетами. Значит, планеты тем легче растворятся и сольются со взорванным Солнцем.

Еще буддисты учили о периодичности миров. О возрождении Солнца мечтали Демокрит и Кант. Аррениус и Инес более определенно говорят о взрыве угасших солнц.

К мысли о конечном слиянии Солнца с планетами также пришли, хотя и иным путем, Кельвин и Пуанкаре.

Все-таки воскресает Солнце, уже сокращенное в своей массе. Так, наше Солнце в течение одного времени рождения планетной системы уменьшило свою массу через лучеиспускание в 16 раз. Спрашивается, где же тут равновесие, если каждое оживление Солнца сопровождается огромной потерей его массы? Дело в том, что обширные вследствие своего разрежения и упругости туманности поглощают или задерживают гораздо более исте-

кающую из блестящих солнц (т. е. от окружающих со всех сторон звезд) материю, чем сами ее испускают. Так что уменьшенная масса Солнца, перейдя в туманность, опять восстанавливает свою массу, и, следовательно, равновесие не нарушается. Какое количество вещества потеряло Солнце, такое обратно оно получит, будучи в форме туманности.

Повторение открытий, уже сделанных ранее другими, конечно, имеет ограниченное значение, как проверка. Оно также ободряет автора, но для человечества оно ничто.

Я думаю, что новы в этом труде следующие мысли и вычисления: 1) гигантские газообразные солнца — суть матери планетных систем; 2) одновременное применение к планетам принципов приливного действия и потери массы Солнцем; 3) определение возраста всех планет и планетной системы; 4) выяснение зависимости между угловой скоростью газообразной массы и ее дальнейшим формированием; 5) связь между периодом жизни Солнца и преобразованием химических элементов (распад и интеграция атомов). Об этом было еще в моей книжке «Кинетическая теория света» (1919); 6) применение принципа приливного действия к определению возраста планетных спутников (сателлитов). Вопрос же о нашей Луне исчерпан Д. Дарвином. Насколько ново прочее — судить не решаюсь.

* * *

Хронология вселенной развивалась постепенно. Евреи и потом христиане ограничивали время существования космоса 7—8 тыс. лет. Антропологи и археологи давали для одного исторического периода (письменные памятники) человека 10—20 тыс. лет. Полуисторический период (рисунки, орудия, слепки, остатки культуры) продолжался уже до сотен тыс. лет, даже до миллиона. Биологи и геологи для органической жизни и наносных пород земной коры должны были дать многие десятки миллионов лет. Возраст земной коры и морей определялся уже в сотни миллионов годов. Но физики (Гельмгольц, Томсон, я и другие) тогда для самого существования солнечной системы не могли одолжить более 10—20 млн. лет. Геологи возмутились, однако были усмирены. После открытия радиоактивности физики должны были расширить пределы возраста земной корки до миллиарда лет.

Джон Дарвин для возраста нашей Луны дошел до десятка миллиардов лет. Я даю в этой книжке для времени отделения Луны от земли не менее миллиарда, а для спутников других планет до биллиона лет. Возраст Земли более двух биллионов лет, а планетной системы — более 30 биллионов годов. Период, или возраст, нашей солнечной системы никому неизвестен. И говорить о нем что-нибудь очень рискованно. Только когда будет известен период распада всех химических элементов — только тогда можно будет сказать, что он соответствует и одному периоду солнечной жизни. Но периодов этих без числа, и потому космос не имеет ни начала ни конца. Конечно, это субъективно, но человек иначе и мыслить не может.

1.	Планеты	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
2.	Момент годового движения планет, в 10^{28}	0,96	17,4	26,6	3,61	20,704	7,740	1608	2424
3.	Момент суточного движения, $10^{27} J_{\odot}$ - ($1128 \cdot 10^{26}$)	—	5616	7004	2100	$640 \cdot 10^6$	$133 \cdot 10^6$	—	—
4.	Отношение этих моментов в 1000	—	3100	3800	1720	32,4	58,2	—	—
5.	Относительные моменты годового движения к моменту Солнца	0,00086	0,015	0,0235	0,0032	18,3	6,75	1,43	2,15
6.	Отношение момента суточного движения к моменту Солнца, уменьшенное 810^3	—	0,0000054	0,0000065	0,000002	0,62	0,13	—	—
7.	Где сравниваются радиальные скорости	1,98	1,24	0,975	0,713	0,283	0,180	0,107	0,0757
8.	Время приливного действия до сравнения скоростей в 10^{12} лет	—	—	2,04	1,94	1,83	1,74	1,68	1,58
9.	Второй период времени от потери массы, в 10^{12} лет	—	—	0,193	2,36	9,58	16,50	23,90	29,40
10.	Полное время с отделения планет до настоящего времени, в 10^{12} лет	0,084	0,736	2,233	4,300	11,410	18,24	25,58	30,98
11.	Относительное изменение радиуса Солнца до сравнения скоростей	—	—	1,094	1,089	1,084	1,080	1,077	1,073
12.	Относительное изменение массы Солнца от начала до сравнения скоростей	—	—	1,282	1,267	1,252	1,240	1,231	1,219
13.	Относительное изменение массы Солнца от сравн. скоростей до наст. врем.	—	—	1,0256	1,403	3,534	5,556	9,346	13,21
14.	Полное относительное изменение массы Солнца	1,012	1,102	1,310	1,78	4,41	6,88	11,5	16,1
15.	Полное относительное изменение радиуса Солнца	1,004	1,033	1,09	1,21	1,64	1,90	2,26	2,57
16.	Скорость от приливного действия, мм в год	200	42,7	18,8	6,61	0,309	0,0677	0,0119	0,0038
17.	Скорость от потери массы Солнца, в год	8,13	15,1	21,0	31,9	108,8	169,0	400,0	628,2
18.	Полная скорость, мм в год	208,13	57,8	39,8	38,5	109,11	199,07	400,01	628,20
19.	Замедление в годовом движении планет в 1000 лет, сек	0,04	0,0154	0,0125	0,0149	0,078	0,181	0,548	1,069
20.	Время блистания планет в миллиардах, если оставшееся блистание Солнца принять в 1600 млрд. лет	32	75	142	81	1272	804	884	1200

ДОПОЛНЕНИЕ К ОБРАЗОВАНИЮ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ*

В моем конспекте 1925 г. формулы приливного действия (1) — (5) приведены без доказательства. Теперь из старых записок 1924 г. привожу опущенное**.

Я начал свои расчеты с Луны по отношению к Земле. Потом нетрудно применить те же формулы к любому спутнику по отношению к его планете и любой планете — по отношению к Солнцу.

Величины и числа. За основные единицы приняты метр и производные от него. За единицу времени — секунда и год. G_1 — есть Ньютоново притяжение между единицами масс на расстоянии единицы, выраженное в единицах секундного ускорения: $G_1 = 67 \cdot 10^{-9}$.

Массы Луны, Земли, Солнца и совокупности планет означены: M_{ζ} , M_{δ} , M_{\odot} , M_{Σ} . Принимаем круглые числа: $M_{\delta} = 80$; $M_{\zeta} = 6 \cdot 10^{21}$ т, $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{27}$ т, $M_{\Sigma} = 2,6 \cdot 10^{24}$ т. Радиусы Земли и Солнца принимаются постоянными и означаются R и R_{\odot} или $R_{\delta 1}$ и $R_{\odot 1}$. $R_{\delta 1} = R_{\delta} = 6,37 \cdot 10^6$ км, $R_{\odot} = 0,7 \cdot 10^9$ км. Год в секундах означен: $T_s = 31,56 \cdot 10^6$.

Расстояние между Луной и Землей $r_1 = 60 R_{\delta} = 3,8 \cdot 10^8$ км. То же переменное расстояние r . Постоянное и переменное расстояние между Солнцем и планетой и суммой планет будет r_1 и r' . Скорости планет, Луны будут: v_1 , $v_{\zeta 1}$ — это современные, а переменные v_1 , v_{ζ} . Скорости по экватору Солнца и Земли переменные и современные будут v_{δ} и v_{\odot} и $v_{\delta 1}$ и $v_{\odot 1}$. Угловые скорости Луны, Земли, Солнца и планет современные будут $\omega_{\zeta 1}$, $\omega_{\delta 1}$, $\omega_{\odot 1}$, ω_1 , а постоянные: ω_{ζ} , ω_{δ} , ω_{\odot} , ω' . Моменты суточного и годового движения планет и Солнца приведены в таблице «Образования солнечных систем».

Зависимость между расстоянием (r и r_1) нашей Луны и центром Земли, абсолютной скоростью Луны (v_{ζ} и $v_{\zeta 1}$) и угловою (ω_{ζ} и ω_{δ}) скоростью Луны и Земли при круговых орбитах выразим на основании известных законов формулами (центробежная сила равна силе тяготения):

$$G_1 M_{\delta} : r^2 = v_{\zeta}^2 : r, \quad (1)$$

* Напечатана в Калуге в 1928 году. Печатается по тексту этой брошюры (Ред.).

** См. «Образование солнечных систем (переписка важнейших формул)» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. I, д. 254) (Ред.).

откуда

$$r = \frac{G_1 M_{\text{З}}}{v_{\text{З}}^2}, \quad (2)$$

$$v_{\text{З}} = \sqrt{\frac{G_1 \cdot M_{\text{З}}}{r}}. \quad (3)$$

$$r_1 = \frac{G_1 \cdot M_{\text{З}}}{v_{\text{З}1}^2}, \quad (4)$$

$$v_{\text{З}1} = \sqrt[3]{\frac{G_1 M_{\text{З}}}{r_1}}. \quad (5)$$

Далее:

$$\omega_{\text{З}} = v_{\text{З}} : r = \sqrt{\frac{G_1 \cdot M_{\text{З}}}{r^3}}, \quad (6)$$

откуда

$$r = \sqrt[3]{G_1 \cdot M_{\text{З}} : \omega_{\text{З}}^2}, \quad (7)$$

$$\omega_{\text{З}1} = \sqrt{\frac{G_1 \cdot M_{\text{З}}}{r_1^3}}, \quad (6_1)$$

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{G_1 \cdot M_{\text{З}}}{\omega_{\text{З}1}^2}}. \quad (7_1)$$

Тут G_1 означает притяжение между единицами масс на расстоянии единицы, выраженное секундным ускорением. $M_{\text{З}}$ — есть масса Земли. Далее:

$$\omega_{\text{З}} = v_{\text{З}} : R_{\text{З}} \quad (8)$$

и

$$\omega_{\text{З}1} = v_{\text{З}1} : R_{\text{З}1}. \quad (8_1)$$

Здесь по порядку — угловая скорость вращения Земли, скорость экваториальных точек Земли и ее радиус.

Если Земля изменяет скорость своего вращения от приливного действия Луны, то последняя не может остаться на том же расстоянии от планеты. Так как момент количества вращательного движения системы Земля — Луна от приливного действия должен остаться неизменным, то составим такое уравнение. K означает поправочный коэффициент к радиусу инерции (0,4) Земли вследствие ее центрального уплотнения. Он меньше единицы.

$$0,4KM_{\text{З}}v_{\text{З}1}R_{\text{З}1} + M_{\text{Л}} \cdot v_{\text{Л}1} \cdot r_1 = 0,4KM_{\text{З}}v_{\text{З}}R_{\text{З}} + M_{\text{Л}}v_{\text{Л}}r. \quad (9)^*$$

Тут указатель внизу буквы означает постоянную современную величину ($v_{\text{З}1}$ и r_1). Первая часть уравнения выражает хотя бы теперешний момент, а вторая — величину момента в другое время, хотя бы через миллионы лет.

Выключая отсюда $v_{\text{Л}1}$ и $v_{\text{Л}}$ посредством уравнения (3) и (5) и определяя $v_{\text{З}} : R_{\text{З}1}$, получим:

$$\frac{v_{\text{З}}}{R_{\text{З}1}} = \frac{v_{\text{З}1}}{R_{\text{З}1}} + \frac{\sqrt{G_1} (\sqrt{r_1} - \sqrt{r}) M_{\text{Л}}}{0,4KR_{\text{З}1}^2 \cdot \sqrt{M_{\text{З}}}}. \quad (12)$$

* Здесь и далее у Циолковского имеются пропуски в нумерации формул (Ред.).

Можем отсюда выключить r_1 и r посредством формул (7₁) и (7). Тогда, принимая еще во внимание формулы (8) и (8₁), найдем:

$$\omega_{\delta} = \omega_{\delta 1} + \frac{G_1^{3/2} \cdot M_{\zeta} (\omega_{\zeta 1}^{-1/2} - \omega_{\zeta}^{-1/2})}{0,4KR_{\delta 1} 2M_{\delta}^{1/2}}. \quad (13)$$

Мы выясняли в «Образовании солнечных систем»*, что прежде благодаря приливному действию вращение Земли было скорее, как и угловое поступательное движение Луны. Она была и ближе. Естественно предположить, что Луна отделилась от Земли на таком расстоянии, на котором обе угловые скорости были равны, т. е. где вся система вращалась как одно тело (как свинченная). Тогда надо допустить в (13), что

$$\omega_{\zeta} = \omega_{\delta}, \quad (14)$$

т. е. что угловые скорости обоих тел равны. Найдем:

$$\frac{\omega_{\delta}}{\omega_{\delta 1}} = 1 + \frac{G_1^2 M_{\zeta} (\omega_{\zeta 1}^{-1/2} - \omega_{\delta}^{-1/2})}{0,4KM_{\delta}^2 R_{\delta 1}^2 \omega_{\delta 1}}. \quad (16)$$

Мы тут получили зависимость угловой скорости системы ($\omega_{\delta} = \omega_{\zeta}$) от постоянных. Решение этого уравнения относительно ω_{δ} приводит к решению уравнения четвертой степени. Но так как в уравнении (16) второй член в скобках раз в 5 меньше первого числа, то, пренебрегая им, получим такое первое приближительное решение:

$$\frac{\omega_{\delta}}{\omega_{\delta 1}} = 1 + \frac{M_{\zeta}}{0,4KR_{\delta 1}^2 \omega_{\delta 1}} \cdot \sqrt[3]{\frac{G_1^2}{M_{\delta} \cdot \omega_{\zeta 1}}}. \quad (17)$$

Если выключить отсюда $\omega_{\zeta 1}$ и ω_{ζ} с помощью уравнений (6₁) и (8₁), то найдем:

$$\frac{\omega_{\delta}}{\omega_{\delta 1}} = 1 + \frac{M_1}{0,4KR_{\delta 1} v_{\delta 1}} \cdot \sqrt{\frac{G_1 \cdot r_1}{M_{\delta}}}. \quad (18)$$

Если $K = 1$, то $\omega_{\delta} : \omega_{\delta 1} = 5,05$; если же $K = 0,5$, то $\omega_{\delta} : \omega_{\delta 1} = 9,1$.

Второе приближение найдем, подставив в формулу (13) полученные величины для $\omega_{\delta} = \omega_{\zeta}$. Тогда вычислим для угловой скорости системы 4,39 и 7,78. Значит, во столько раз оно было быстрее теперешнего вращения Земли.

Третье приближение близко к этим числам. Значит, время вращения системы близко к 6—3 час.

Определим соответствующее расстояние между Луной и центром Земли r . Имеем

$$r = \sqrt{G_1 M_{\delta} : \omega_{\zeta}^2}. \quad (7)$$

Но

$$\omega_{\zeta} : \omega_{\delta 1} = \omega_{\delta} : \omega_{\delta 1} = B. \quad (19)$$

т. е. постоянным (мы вычислим B от 4,39 до 7,78).

Еще имеем

$$\omega_{\delta 1} = v_{\delta 1} : R_{\delta 1} \quad (8_1)$$

* См. стр. 50 данного тома (Ред.).

Из уравнений (7), (19) и (8₁) получим:

$$\frac{r_1}{R_{\dot{\delta}1}} = \sqrt[3]{\frac{G_1 M_{\dot{\delta}}}{B^2 v_{\dot{\delta}1}^2 R_{\dot{\delta}1}}} = 6,63 : A^{2/3}. \quad (28)$$

Так как B известно, то, вычисляя, найдем для места отделения Луны от Земли от 2,48 до 1,69. Расстояние же от поверхности Земли будет от 1,48 до 0,69 радиуса Земли. Едва ли K далеко от единицы, так что ближе к истине первое число — 1,48. Но мы при этих расчетах предположили неизменность объема Земли. Объем ее был в момент рождения Луны гораздо больше, так как она простиралась до тогдашней Луны, именно: объем был в 15—4,8 раз больше. При равномерной плотности вращение бы ее замедлилось в 6—3 раза, и, следовательно, Луна отделилась бы гораздо дальше. Но дело в том, что газообразная масса Земли была и тогда вследствие центрального громадного давления сосредоточена в центре, а ближе к Луне была масса очень разреженная. Так что момент инерции и тогдашней Земли немного отличался от теперешнего. Притом замечается на Солнце, а значит и на других газообразных телах, какой была тогда Земля, превышение скорости вращения центральных частей сравнительно с окраинными. Все это в совокупности не дает для места рождения Луны расстояние больше вычисленного, т. е. от 2,5 до 1,7 радиуса Земли, или от ее поверхности от 1,5 до 0,7 радиуса.

Время обращения системы будет:

$$T_{\dot{\delta}} : \frac{\omega_{\dot{\delta}}}{\omega_{\dot{\delta}1}} = \frac{T_{\dot{\delta}}}{B} = \frac{24}{B}.$$

Получим от 5,4 до 3,09 час. Приблизительно еще менее, чем ранее, из (18) найдем:

$$\frac{\omega_{\dot{\delta}}}{\omega_{\dot{\delta}1}} = B = \frac{M_{\zeta}}{0,4 K R_{\dot{\delta}1} v_{\dot{\delta}1}} \sqrt{\frac{G_1 r_1}{M_{\dot{\delta}}}}. \quad (31)$$

Из этого и уравнения (28), выведем (приблизительно):

$$\frac{r}{R_{\dot{\delta}1}} = \sqrt[3]{0,16 K^2 \left(\frac{R_{\dot{\delta}1}}{r_1}\right) \left(\frac{M_{\dot{\delta}}}{M_{\zeta}}\right)^2}. \quad (32)$$

Следовательно, Луна родится тем ближе к Земле:

1) чем K меньше, т. е. чем плотнее центральные части Земли по отношению к краевым; 2) чем начальное расстояние Луны больше по отношению к размерам Земли; 3) чем больше масса Луны по отношению к земной. К этому надо еще прибавить: 4) чем периферические скорости Земли меньше (как на Солнце) по отношению к центральным.

Для Земли (современной) я вычислил K в $^{9/11} = 0,793$. Если принять K в $^{3/4}$ или $^{3/4}$, то по формуле (32), вычислим:

$$r : R_{\dot{\delta}1} = 1,92. \quad (37)$$

Для Сатурна и его колец сейчас имеем: радиус Сатурна = 1; радиус внутреннего кольца 1,59; радиус внешнего кольца 2,37; средний будет 1,98.

Значит, Земля с Луной когда-то были в положении Сатурна с его кольцами, но Сатурн сохранил их, Земля — нет. Из этого, впрочем, видно, что кольца, из которых образовалась Луна, были сравнительно дальше, чем Сатурновы.

Узнаем время удаления Луны от места ее рождения до теперешнего ее положения. Работа прилива в 1 сек на Земле от действия одной Луны выражается произведением следующих величин.

1. Средней приливной поверхности, которую приблизительно примем в $\frac{1}{3}$ поверхности Земли. Значит, она будет:

$$\frac{1}{3} s_{\text{З}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{З}}^2. \quad (40)$$

2. Высоты прилива сравнительно с высотой отлива.

3. Плотности океана или средней плотности жидкой Земли.

4. Силы притяжения на поверхности Земли.

5. Разности числа оборотов Земли и Луны (по орбите) в 1 сек.

6. Поправочного коэффициента меньше единицы. Притяжение Луны будет:

$$g_{\text{Л1}} = \frac{g_{\text{Л}} R_{\text{Л}}^2}{r^2}. \quad (41)$$

Тут в числителе тяжесть у лунной поверхности и радиус Луны. Дифференциал лунного притяжения, при изменении расстояния, получим из (41):

$$dg_{\text{Л1}} = g_{\text{Л}} \frac{R_{\text{Л}}^2}{r^3} 2dr = 2g_{\text{Л}} \left(\frac{R_{\text{Л}}}{r}\right)^2 \frac{dr}{r}. \quad (42)$$

Ищем абсолютные величины и потому знаков не меняем; $g_{\text{Л}}$, и вообще тяготение, мы будем выражать секундным ускорением падающих тел. Единица силы есть та, которая тонне сообщает в секунду прибавку скорости (ускорение) в 1 м/сек. Далее:

$$g_{\text{Л}} = \frac{G_1 M_{\text{Л}}}{R_{\text{Л}}^2}, \quad (43)$$

поэтому

$$dg_{\text{Л1}} = 2G_1 M_{\text{Л}} \frac{dr}{r^3}. \quad (44)$$

Выразим высоту прилива:

$$h = \frac{dg_{\text{Л1}}}{g_{\text{З}}} R_{\text{З1}}. \quad (45)$$

т. е. приливное действие пропорционально радиусу Земли, а для получения высоты поднятия надо приливное действие разделить на Земное ускорение. Оно равно:

$$g_{\text{З}} = \frac{G_1 M_{\text{З}}}{R_{\text{З1}}^2}. \quad (45_1)$$

Теперь из (45), (45₁) и (44), полагая

$$dr = R_{\text{З1}}, \quad (46)$$

получим:

$$h = 2 \left(\frac{M_{\zeta}}{M_{\delta}} \right) \frac{R_{\delta}^4}{r^3}. \quad (47)$$

Для проверки вычислим высоту прилива. Получим 0,74 м, что недалеко от истины. Мы опустили тут объяснение того, почему ($dg_{\zeta 1}$) множим на (R_{δ}), а не на ($R_{\delta} : 2$).

Значит, высота прилива не зависит от силы тяготения (G_1), но пропорциональна отношению ($M_{\zeta} : M_{\delta}$), быстро возрастает с отношением ($R_{\delta} : r$), т. е. с приближением Луны к Земле, и пропорциональна радиусу Земли.

Разность угловых скоростей вращения Земли и движения Луны по ее орбите узнаем из уравнений (6) и (8).

$$\frac{\omega_{\delta}}{2\pi} - \frac{\omega_{\zeta}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{v_{\delta}}{R_{\delta 1}} - \sqrt{\frac{G_1 M_{\delta}}{r^3}} \right]. \quad (51)$$

Этим мы выразили, на сколько число оборотов Земли в 1 сек больше числа оборотов Луны по орбите в то же время. Конечно, на практике получится в 1 сек очень малая часть полного оборота; ω_{δ} знаем из (11).

Теперь у нас все готово, чтобы определить работу прилива или потерю энергии (превращаемой в теплоту и лучеиспускание) в течение дифференциала времени (dt). Единица работы будет тоннометр, деленный на 9,8.

Итак, получим по сокращении:

$$dA = \frac{3}{4} G_1 K_1 \rho_{\delta}' M_{\zeta} \left(\frac{R_{\delta 1}}{r} \right)^3 \left[\omega_{\delta} - \left(\frac{R_{\delta 1}}{r} \right) \sqrt{\frac{G_1 M_{\delta}}{r}} \right] dt. \quad (53)$$

Поправочный коэффициент (K_1) относится и к поверхности и к тому, что часть приливной работы возвращается; ρ_{δ}' — есть плотность океана.

Видим, что эта работа (dA) пропорциональна силе мирового тяготения, плотности океана (Земли), массе Луны и возрастает с отношением ($R_{\delta} : r$), т. е. с приближением Луны к Земле.

От приливного действия скорости движения Земли и Луны изменяются. Луна удаляется. Надо учесть соединение с этим работы, чтобы составить уравнение, необходимое для определения времени рождения Луны или отделения ее от Земли.

Приступим к этому. Кинетическая энергия движения Луны и Земли будет:

$$E_{\zeta \kappa} = \frac{v_{\zeta}^2}{2} M_{\zeta} \quad (55)$$

или по (3)

$$E_{\zeta \kappa} = \frac{G_1 M_{\zeta} M_{\delta}}{2r}. \quad (56)$$

Далее, с помощью (11):

$$E_{\delta \kappa} = 0,4 K M_{\delta} \cdot 0,5 v_{\delta}^2 = 0,2 K M_{\delta} \left[v_{\delta 1} + \frac{\sqrt{G_1 M_{\zeta}} (\sqrt{r_1} - \sqrt{r})}{0,4 K \sqrt{M_{\delta} R_{\delta 1}}} \right]^2. \quad (57)$$

Дифференцируя обе энергии относительно r , получим:

$$dE_{\zeta \kappa} = - \frac{G_1 M_{\zeta} M_{\delta}}{2r^2} dr \quad (58)$$

II

$$dE_{\delta K} = - \frac{\sqrt{G_1 M_{\delta} M_{\zeta}}}{2R_{\delta 1} \cdot \sqrt{r}} \left[v_{\delta 1} + \frac{\sqrt{G_1 M_{\zeta}} (\sqrt{r_1} - \sqrt{r})}{0,4K \sqrt{M_{\delta} R_{\delta 1}}} \right] dr. \quad (59)$$

Не забудем, что здесь K — есть поправочный коэффициент к моменту инерции сгущенного в центре земного шара. Минусы тут показывают, что с возрастанием расстояния r скорость небесных тел и работа их движения уменьшаются (и обратно).

Дифференциал работы тяготения при удалении Луны от Земли будет:

$$dA_g = 2dE_{\zeta} = \frac{G_1 M_{\zeta} M_{\delta}}{r^3} dr. \quad (60)$$

Мы не объясняем очень простую вещь, выражаемую этой формулой, а именно, что работа удаления вдвое больше работы потерянной скорости.

Теперь у нас все данные для составления необходимого нам уравнения. Заметим только, что потеря работы системой (Луна — Земля) от уменьшения скорости Луны и Земли должна равняться приобретению работы от прилива (которая частью теряется, превращаясь через трение в теплоту) и от удаления Луны от Земли. Изменением работы поступательного движения Земли по маленькой орбите вокруг центра тяжести системы пренебрегаем вследствие ее малости (1 : 80).

Значит, получим:

$$dE_{\delta K} + dE_{\zeta K} = dA + dA_g \quad (61)$$

или, если сохранить отрицательные знаки дифференциалов:

$$dE_{\delta K} + dE_{\zeta K} + dA + dA_g = 0. \quad (62)$$

Тут первые два слагаемые отрицательны.

Теперь с помощью этого и уравнений (59), (58), (53) и (60) после сокращения найдем:

$$dt = \frac{3 \sqrt{M_{\delta} r^5}}{8 \sqrt{G_1 K_1 \rho_{\delta}^4 R_{\delta}^4}} dr. \quad (64)$$

Чтобы удобнее сократить, мы в уравнении (59) выражение в средних скобках предварительно заменили на основании (12) величиною (v_{δ}) .

Интегрируя (64) и определяя постоянное, получим:

$$t = \frac{3 \sqrt{M_{\delta}}}{28 K_1 \rho_{\delta}^{\frac{1}{2}} \sqrt{G_1 R_{\delta 1}}} \left[\left(\frac{r_1}{R_{\delta 1}} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{r}{R_{\delta 1}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (69)$$

Знак меняем на обратный, так как ищем абсолютную величину прошедшего с момента рождения Луны времени. Формула же без этого выражает прошедшее время, если r меньше r_1 , и обратно.

Второй член в средних скобках обыкновенно мал в сравнении с первым. Поэтому можем положить:

$$t = \frac{3 \sqrt{M_{\delta}}}{28 K_1 \rho_{\delta}^{\frac{1}{2}} \sqrt{G_1 R_{\delta 1}}} \left(\frac{r_1}{R_{\delta 1}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (70)$$

Отсюда видно, что время удаления спутников быстро возрастает с их отдаленностью в настоящее время. Если (M_{δ}) выразить в зависимости от ее радиуса и плотности, то нашли бы по (70), что это время также обрат-

но пропорционально радиусу Земли в степени 2,5. Положим еще в (70): $K_1 = 1$ и $\rho'_{\dot{\circ}} = 1$.

Тогда

$$t = 412 \sqrt{\frac{M_{\dot{\circ}}}{R_{\dot{\circ}}}} \left(\frac{r_1}{R_{\dot{\circ}}}\right)^{7/2} \text{ сек.} \quad (71)$$

Теперь по известным данным найдем по (71):

$$t = 21080 \cdot 10^{12} \text{ сек} = 782 \cdot 10^6 \text{ лет.} \quad (72)$$

Не забудем, что этот вывод может считаться только грубым решением. Действительно, радиус Земли в момент рождения Луны был раза в 2 больше, приливное торможение было гораздо сильнее и потому при той же массе Земли (70) вычисленное время должно сильно сократиться. Хотя, с другой стороны, возвращение работы приливной волны (K_1) и малая плотность первого газообразного океана (ρ) должны это время удлинить. Вообще, найденное число максимальное. В применении формулы (70) к Земле и Солнцу нашли бы около 4 миллиардов лет ($4 \cdot 10^{12}$). Но и тут и по той же причине получим преувеличенное число.

Явления, касающиеся планет и Солнца, сложнее. Тут мы употребили не совсем сходные приемы.

Главное уравнение, определяющее место отделения планет от Солнца, основано на теореме: момент вращательного движения изолированной системы есть величина постоянная, несмотря на всевозможное взаимодействие частей этой системы.

Таким образом, получим:

$$JK_2 + J_{\odot}K_{\odot} = M_{\Sigma}r'v'K_2 + 0,4K_{\odot}M_{\odot}R_{\odot}v_{\odot}. \quad (88)$$

Здесь по порядку величины: момент планет, поправочный коэффициент на случай, если есть еще планеты (за Ураном), момент Солнца, поправочный множитель момента вследствие сгущения материи внутри светила, масса планет (M_{Σ}), расстояние, на котором отделились планеты (r'), соответствующая скорость, масса Солнца, его радиус и скорость его экваториальных частиц.

Далее имеем формулы аналогичные (1)—(8):

$$v' = \sqrt{G_1 M_{\odot} : r'}, \quad (89)$$

$$v'_1 = \sqrt{\frac{G_1 M_{\odot}}{r'_1}}, \quad (90)$$

$$r' = G_1 M_{\odot} : v'^2, \quad (91)$$

$$r'_1 = \frac{G_1 M_{\odot}}{v'^2_1}, \quad (92)$$

$$\omega' = \frac{v'}{r'}, \quad (93)$$

$$\omega'_1 = \frac{v'_1}{r'_1}, \quad (94)$$

$$\omega' = \sqrt{\frac{G_1 M_{\odot}}{r'^3}}, \quad (95)$$

$$\omega_1' = \sqrt{\frac{G_1 M_\odot}{r_1'^3}}, \quad (96)$$

$$r' = \sqrt[3]{\frac{G_1 M_\odot}{\omega'^2}}, \quad (97)$$

$$r_1' = \sqrt[3]{\frac{G_1 M_\odot}{\omega_1'^2}}, \quad (98)$$

$$\omega_\odot = \frac{v_\odot}{R_\odot}, \quad (99)$$

$$\omega_{\odot 1} = \frac{v_{\odot 1}}{R_{\odot 1}}. \quad (100)$$

Теперь из (88), (99) и (93) получим:

$$JK_2 + J_\odot K_\odot = M_\Sigma r'^2 \omega' K_2 + 0,4 K_\odot M_\odot R_\odot^2 \omega_\odot. \quad (101)$$

Отсюда с помощью (97) найдем:

$$JK_2 + J_\odot K_\odot = M_\Sigma K_2 \sqrt{G_1 M_\odot^2 : \omega'} + 0,4 K_\odot M_\odot R_\odot^2 \omega_\odot. \quad (102)$$

Возможно, что масса планет отделилась в том месте, или на таком расстоянии от центра Солнца, где угловая скорость вращения Солнца равнялась угловой скорости планет (по их средней орбите).

Чтобы определить из последнего уравнения (102) эту общую угловую скорость, мы должны в нем положить: $\omega' = \omega_\odot$, т. е., что обе угловые скорости равны. Найдем из (102):

$$\omega_\odot = \frac{JK_2 + J_\odot K_\odot}{0,4 K_\odot M_\odot R_\odot^3} - \frac{M_\Sigma K_2 G_1^{2/3}}{0,4 K_\odot M_\odot^{1/3} R_\odot^2 \sqrt[3]{\omega_\odot}}. \quad (103)$$

Нашли среднюю угловую скорость всей системы. Из (97) имеем:

$$\omega' = \omega_\odot = \sqrt{\frac{G_1 M_\odot}{r'^3}}. \quad (104)$$

Исключая из (103) ω_\odot , с помощью (104) получим:

$$\frac{r'}{R_\odot} = \left[\frac{5(JK_2 + J_\odot K_\odot)}{2K_\odot \sqrt{G_1 R_\odot M_\odot^3}} \left(1 + \frac{G_1 K_2 M_\odot M_\Sigma}{R_\odot (JK_2 + J_\odot K_\odot)} \sqrt{\frac{r'}{R_\odot}} \right) \right]^{-2/3}. \quad (105)$$

Положим во втором члене в скобках (что с единицею):

$$K_2 = 1; K_\odot = 1; J + J_\odot = 318 \cdot 10^{38}; M_\odot = 33 \cdot 10^4 \cdot M_\delta = \\ = 198 \cdot 10^{25}; M_\Sigma = 436 M_\delta = 262 \cdot 10^{22}.$$

Тогда найдем для второго члена крайне малую величину по отношению к единице. Следовательно, вторым членом в скобках можем пренебречь. Вместо (105) получим:

$$\frac{r'}{R_\odot} = \left[\frac{0,4 K_\odot \sqrt{G_1 R_\odot M_\odot^3}}{JK_2 + JK_\odot} \right]^{3/2}. \quad (106)$$

При вышеприведенных условиях вычислим: $r'/R_\odot = 4,26$. Вообще, приблизительно: $\frac{r'}{R_\odot} = \left(\frac{8,8 K_\odot}{K_2} \right)^{3/2}$.

Неизвестна степень центрального сгущения Солнца (K_{\odot}), также неизвестен и момент неведомых планет. Поэтому ограничиваемся приводимой тут таблицей:

K_{\odot}	K_2	r'/R_{\odot}	$r/R_{\odot} - 1$
0,25	1,5	1,29	0,29
0,5	1	2,69	1,69
0,5	1,5	2,05	1,05
1	1	4,26	3,26

Возможное расстояние от центра Солнца в 2,7 радиуса Солнца, или от его поверхности в 1,7.

В чем же может быть погрешность нашего учета? Главная погрешность в потере массы Солнцем и планетами. Эта погрешность согласно формуле (106) хоть отчасти сглаживается. Вторая погрешность в том, что периферические части раскаленной системы в своем вращении отстают от центральных, как это мы видим на примере нашего Солнца. В таком случае надо принять для рождения планет место более удаленное от Солнца, чем мы нашли, например 2—3 радиуса от центра, даже до 4 радиусов.

Формулы (1) — (3) «Образования солнечных систем» тождественны с формулой (106). В «Образовании солнечных систем» для вычисления времени рождения лун мы пользовались выведенной тут формулой (70). Но она тождественна с формулой (23) («Образование солнечных систем»), если в (70) заменить систему Земля — Луна системой Солнце — планета и массу выразить в зависимости от радиуса и плотности, уравнение (64) дает нам продвижение планеты или Луны в единицу времени, т. е. скорости радиального удаления Луны. Именно:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{8 \sqrt{G_1} K_2 \rho'_{\odot} R_{\odot}^4}{3 \sqrt{M_{\odot}} r^5}. \quad (107)$$

Но эту же формулу можем применить к планете и Солнцу. Заменяем ρ'_{\odot} плотностью Солнца ($\bar{\rho}_{\odot}$), радиус Земли R_{\oplus} — радиусом Солнца (R_{\odot}), массу Земли — массой Солнца (M_{\odot}), расстояние между Луну и Землею — расстоянием между планетой и солнцем (r').

Тогда вместо (107) найдем:

$$\frac{dr'}{dt} = \frac{8 \sqrt{G_1} K_2 \bar{\rho}_{\odot} R_{\odot}^4}{3 \sqrt{M_{\odot}} r'^5}. \quad (108)$$

Заменяв тут еще M_{\odot} через $4/3 \pi R_{\odot}^3 \bar{\rho}_{\odot}$, получим формулу (5) (стр. 51 в «Образовании солнечных систем»):

$$\frac{dr'}{dt} = 4K_2 \sqrt{\frac{G_1 \bar{\rho}_{\odot}}{3\pi}} \left(\frac{R_{\odot}}{r'}\right)^{5/2} = 4K_2 \sqrt{\frac{G_1 \bar{\rho}_{\odot}}{3\pi}} \left(\frac{R_{\odot 1}}{r'_1}\right)^{5/2} \left(\frac{r'_1}{r'}\right)^{5/2}. \quad (109)$$

(Видим, что в формуле (5) опечатка: пропущен у последнего отношения показатель.) Кстати, в «Образовании солнечных систем» надо считать из-

лишними 6 строчек, начиная с 8 страницы внизу со слов: «интегрируя (5) до слов на странице 9: «но необходимо»*.

В формуле (16) «Образования солнечных систем» также опечатка: показатель радикала не 28, а 23. Из (16) и (23) «Образования солнечных систем» найдем вместо (18), которую можно выбросить:

$$t = L \left[B^3 \left(\frac{r_1'}{R_{1\odot}} \right) \right]^{7/23}, \quad (110)$$

где

$$L = \frac{R_{1\odot}}{14K_2T_s} \sqrt{\frac{3\pi}{G_1 \cdot \rho_{\odot}}}, \quad (111)$$

а B известно по формуле (17) «Образования солнечных систем».

Несмотря на опечатки, все вычисления были сделаны в рукописи по верным формулам и числа таблицы на стр. 64 («Образование солнечных систем») совершенно верны, как и другие вычисления, приведенные в этой книжке. Это мною проверено много раз раньше и теперь, когда переписывалось это дополнение.

Для облегчения желающих сделать проверку, привожу тут численное значение некоторых величин

$$G_1 = 67 \cdot 10^{-9}; \quad b = 313 \cdot 10^{-7};$$

$$\sqrt{\frac{3\pi}{G_1 \rho_{\odot}}} = 10120; \quad 1 = 16293; \quad B = 130 \cdot 10^6; \quad \sqrt{\frac{G_1 \rho_{\odot}}{3\pi}} = 0,99 \cdot 10^{-4}.$$

До сравнения радиальных скоростей планет (от двух причин) мы не принимали в расчет изменения массы и радиуса Солнца, но в этом и не было особенной необходимости. Действительно, из 11 строки таблицы («Образование солнечных систем») видим, что изменение радиуса Солнца до сравнения скоростей не превышает 9%. Значит, ошибка при вычислении времени, когда принимается в расчет одно приливное действие, совершенно ничтожна в сравнении с возможностью других ошибок.

После же сравнения скоростей принимается во внимание при составлении расчетов только изменение массы Солнца, так как сравнительное приливное торможение близится к нулю.

Из напечатанного конспекта («Образование солнечных систем») видно, что на одно рождение планет надобно около $30 \cdot 10^{12}$ лет. Но ведь надо еще время на сгущение газообразной массы до состояния гигантского Солнца, надо время на разложение и взрыв остывшего светила. Выходит, что полный цикл Солнца гораздо более 30 миллиардов лет. Этому не противоречит медленность разложения тяжелых атомов. Действительно, первое разложение тория совершается в 18 млрд. лет. Сколько же требуется времени для разложения «нерадиоактивных» элементов! Но эти неизвестные и, конечно, громадные времена разложения обуславливают и соответствуют времени полного солнечного цикла.

Кроме того, если бы времена эти были во много раз меньше, то вычисленное мною замедление в годовом обращении планет было бы больше и могло бы быть замечено, чего нет. Не противоречит этому также время

* Ссылки даются по изданию 1925 г. В наст. издании согласно указанию автора исправления внесены (Ред.).

удаления спутников Юпитера и Сатурна приливным действием, которое определяется мною в сотни миллиардов лет.

Но, с другой стороны, если принять возникновение трех новых солнц в столетие и число светлых, темных и невидимых солнц нашего млечного пути в 3 миллиарда, то найдем, что весь Млечный Путь обновляется в 100 млрд. лет. Такова будет и продолжительность солнечного периода. Это будет, по крайней мере, в 1000 раз меньше того, что мы определили. Отсюда видно, что появление новых солнц не есть в действительности конец периода, не есть последний взрыв, а простая вспышка, что-то вроде грандиозного извержения или землетрясения, борьба с отвердевающим, цепенеющим солнцем и радиоактивными внутри него силами. Такие вспышки должны повторяться на каждом солнце, в течение его полного периода, тысячу раз. Как можно ограничиться для солнечного цикла миллиардами лет, когда одно образование земной коры поглощает до тысячи миллионов лет!...

Цикл Млечного Пути отчасти определяется временем слияния всех его солнц. По моим расчетам, на это надо, примерно, 10^{25} лет. В этот промежуток солнца Млечного Пути должны почти все слиться. Оно неизбежно. На то надо только достаточно времени.

Мы видели, что на образование планет надо $30 \cdot 10^{12}$ лет. Если примем полный цикл Солнца в тысячу миллиардов лет (10^{15}), то и тогда он окажется в 10^{10} раз меньше Млечного Пути. Это значит, что каждое солнце повторит свою жизнь 10 миллиардов раз, прежде чем звезды Млечного Пути сольются в одну звезду (Большое Солнце).

Вероятное время слияния двух солнц при средних условиях составляет около $5 \cdot 10^{21}$ лет. Это также больше принятого нами периода солнечной жизни в $5 \cdot 10^6$ раз, т. е. солнцу должно пять миллионов раз вспыхнуть и потухнуть, прежде чем оно столкнется с другим. Подразумевается столкновение на протяжении одного радиуса (радиус на радиус). Центральное столкновение требует бесконечного времени. Еще вопрос в том: сольются ли при радиальном или даже более тесном столкновении солнца. Не разлетятся ли они после столкновения и не образуют ли вновь два солнца или несколько небесных тел. Но несомненно, что если не первое, то повторное, многократное столкновение положит предел существованию Млечного Пути в его теперешнем виде. Тогда его период окажется больше мною вычисленного.

Теперь наблюдают гораздо большее число звездных вспышек, что только подтверждает нашу мысль о временных звездах, как о чем-то многократно повторяющемся. Может быть этими бесчисленными вспышками и рассеивается постепенно умирающее Солнце, а не одним могучим взрывом. Даже наше светило подвержено 11-летнему периоду слабых вспышек. Потом его вспышки должны быть реже, но сильнее.

Есть пояснение. Потерю материи Солнцем я не понимаю буквально. Как озеро испаряется и высыхает, так и светило разлагается на простейшую материю, которая выделяется в окружающее пространство, производя свет. Ни там, ни сям нет потери массы. Я не думаю также, что частицы Солнца летят со скоростью света; они только колеблются с такою скоростью.

ЭФИРНЫЙ ОСТРОВ *

Под Эфирным Островом мы подразумеваем всю известную вселенную **. Хотим дать ее размеры, вид и устройство.

В сущности, вся она состоит из блестящих солнц, окруженных погасшими с поверхности шарами, подобными нашей Земле. Они называются планетами. Можно и так сказать про космос. Он составлен из бесчисленного множества больших и малых тел самого разнообразного размера. Часть больших тел — это солнца в периоде их блеска. Другая часть — меньшего размера и массы — это солнца в периоде их угасания. Они темны. Малые тела светили не долго, скоро остыли, и большая часть их времени проведена в темноте. Это планеты, их спутники — луны и бесчисленное множество мелких тел. Наконец, мы видим еще громадные газообразные очень разреженные туманности. Они даже больше солнц, светятся слабо. Это солнца в периоде их зарождения.

Вообще замечаем: чем меньше масса тела, тем чаще она повторяется во вселенной, т. е. маленьких тел больше, чем громадных. Так, в данном пространстве больше всего пылинок, меньше камней (падающие звезды), еще меньше болидов (небесные камни); далее, в порядке их числа, следуют: малые астероиды и такие же луны, средние астероиды и такие же спутники, большие астероиды и такие же луны, малые планеты, средние планеты, большие планеты, солнца и газообразные туманности.

Солнце, связанное тяготением с близкими к нему другими солнцами и небольшими остывшими шарами — планетами, называется солнечной системой. Мир наполнен солнечными, или планетными, системами. Они находятся друг от друга очень далеко, они как бы уединены, изолированы пространством. Солнечная система вообще состоит из нескольких солнц и множества планет, т. е. темных шаров, подобных Земле.

Всякая солнечная система была сначала неправильной, очень разреженной газообразной массой. Откуда же она явилась? Всю известную вселенную окружает прозрачная и страшно разреженная материальная среда, называемая эфиром. Во всех частях ее через сгущение образуется

* Написана в 1928 г. Печатается по машинописному тексту, хранящемуся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 267), на котором рукою автора помечено: «Исправлено 1933 г. 4 февраля» (Ред.).

** То, что в современной астрономии называют Метагалактикой (Ред.).

обыкновенное вещество, состоящее из известных нам атомов или их частей. Поэтому масса эфира не вполне прозрачна. Она утыкана атомами. Тяготение собирает образовавшиеся части вещества, или атомы, в кучи, в неправильные газовые туманности. Итак, первая стадия солнечной системы — эфирное состояние, вторая — неправильная, еле видимая туманность. Сгущаясь все более и более, она уплотняется и принимает округлую форму туманности. Это — третья стадия.

Сгущение продолжается, свечение увеличивается, температура растет. Мы получаем 4-й возраст звезды — гигантское одинокое красное солнце — без товарищей и планет.

Начальная туманность имела слабое, случайное, неправильное движение, которое в гигантском солнце перешло в поступательное и вращательное. Откуда же вообще явилось начальное, едва заметное движение? Во-первых, имело влияние взаимное притяжение частей газообразной массы, во-вторых, тяготение соседних масс, т. е. таких же туманностей и солнц. Под влиянием того и другого получилось неправильное движение, которое в результате сложилось в два простых: вращательное и поступательное. Конечно, и оно никогда не было вполне правильным, что и послужило потом причиною некоторых аномалий (при рождении планет).

Гигантская звезда вращается еще очень медленно и образует шарообразную массу. Но это вращение по мере сжимания звезды (от образования все более и более сложной материи, имеющей тем меньшую упругость, чем она сложнее) ускоряется, ось вращения укорачивается, экваториальная линия расширяется, шар звезды все более и более сплющивается, превращаясь в лепешку. Дело кончается разрывом солнца.

Тут могут быть два случая. 1) Когда зачаточное вращение было слабо, вследствие чего до разрыва (или перед разрывом) звезда должна была в центральных своих частях сильно сгуститься, или уплотниться, сравнительно с наружными частями. Тогда от гигантского солнца отделялось кольцо, какое видим у Сатурна. 2) Во втором случае зачаточное вращение газообразной массы было гораздо значительнее. Тогда перед разрывом звезда имела почти одинаковую плотность, потому что не могла сильно сжаться, чему мешало быстрое вращение. В этом случае от центробежной силы она удлинялась в одном направлении и разрывалась подобно делящейся бактерии. Обе части были близки по объему и массе. В этом случае получалось два солнца, близкие по объему и массе.

Что же происходило в первом случае, что делалось с блестящим солнечным кольцом? От лучеспускания масса центрального шарового тела уменьшалась, кольцо от этого удалялось и дело кончалось разрывом кольца: сначала продольным (на несколько колец), потом поперечным — образовались шарообразные, разреженные, блестящие, сравнительно маленькие солнца.

Это есть рождение планет — детей. Дети эти — несколько десятков или сотен — от потери массы центральным светилом и приливного действия все более удалялись от своей матери, образуя блестящую планетную систему. В сущности, получилась куча больших и малых солнц.

Но вот меньшие из них остывают, покрываются твердой корой и теряют весь свой блеск. Если они еще видны, то только потому, что освещены Солнцем. За маленькими планетками остывают в порядке их величины следующие. Получается обыкновенная планетная система, подобная нашей.

Но прежде чем остыть, планеты народили себе спутников или лун совершенно так же, как их папаша (главное Солнце) произвел на свет их самих.

Понятно теперь, почему все планеты, спутники и само солнце движутся и вращаются в одну сторону. Все эти движения получены ими от Солнца. Понятно также, почему планеты теперь так далеки от Солнца. Они удалялись от него все время, как и теперь, вследствие потери массы солнцем и приливного торможения.

При отделении планет и их удалении от светила вращательные силы его все более и более истощались. Они уходили на движение и удаление планет. После более или менее обильного деторождения всегда наступает момент, когда от ослабшего и устарелого Солнца уже нельзя было ожидать дальнейшего плодотворения. Кольцо, вероятно, отделяется один раз. Потом уже оно делится продольно и поперечно, образуя планеты.

Во втором случае части разорвавшегося солнца, почти равные, вследствие потери ими масс от лучеиспускания и вследствие приливного торможения, также удалялись друг от друга, образуя двойную звезду, двойное солнце.

С каждым из последних при дальнейшем сгущении могло произойти то или другое из вышеописанного (согласно условиям): или планетные системы, или двойные солнца.

Таким образом, получились в небесах, связанные тяготением, тройные и многократные солнца. Больше всего видим двойных солнц (30%), меньше тройных, еще меньше четверных и т. д. На практике дело доходит до сложного солнца, состоящего из семи блестящих членов.

Мы рассмотрели два крайних случая или, вернее, два типичных явления. Но между ними множество второстепенных, промежуточных. В сущности, имеем почти непрерывную цепь явлений. Разберем только некоторые звенья этой цепи.

Вообразим ряд газообразных туманностей одинаковых масс и объемов, но с разной зачаточной скоростью вращения. Начиная с нулевой скорости, закончим возможной наибольшей. Получим следующие в жизни звезды.

1. Одинокое солнце без вращения и планет. Оно не имеет детей, а потому и внуков. Раз нет вращения, неоткуда взяться и центробежной силе (причины разрыва массы). Такое бесплодное солнце — очень редкий, мало вероятный случай; но нельзя отрицать его возможности в беспредельном космосе.

2. Слабое вращение и оттого сильнейшее центральное сжатие. Кольцо не могло отделиться, потому что остывшее и маленькое солнце не успело получить достаточную скорость вращения, одолевающую силу тяготения.

3. Отделяется одно немассивное кольцо, которое потом удаляется и превращается в планету.

4. Отделение более массивного кольца. Из него потом получается много колец и планет (более массивных).

5. Больше колец и планет еще массивнее.

6. Множество колец и планет значительной массы.

7. Двойное солнце. Отделившееся имеет меньшую массу. Дальнейшее сжатие каждого солнца может дать все, что описано выше.

8. Двойное солнце с равными массами.

9. Тройное солнце.

10. Многократное солнце. Каждое из солнц четырех последних категорий может дать описанное выше для одиночного солнца. Общая масса планет получается вообще тем более, чем категория выше, или чем зачаточная скорость вращения газообразной туманности больше.

Но что же происходило дальше с солнечными системами, т. е. с солнцами и планетами.

И в тех и других было гораздо более сложной материи, чем элементарной, эфирной или менее простой (электроны, например). Поэтому в них преобладал процесс разложения. Он производил сначала в телах равномерное лучеиспускание, потом неравномерное, потом взрывы. Промежутки между взрывами удлинялись и самые взрывы были все ужаснее и ужаснее по своей силе. Откуда они — мы постараемся объяснить.

Пока материя была газообразна и подвижна, взрывов не было. Но вот центральное давление, сгущение материи, ее охлаждение стали препятствовать непрерывному выделению электронов, эфира или другой какой-нибудь элементарной и потому необыкновенно упругой материи. Тогда это стало периодическим. Т. е. упругая материя накапливалась в небесных телах до тех пор, пока ее сила не одолевала препятствия в виде трения, густоты, твердости и т. п. Тогда происходил взрыв. Чем сильнее было препятствие от охлаждения и сгущения материи, тем более требовалось времени, чтобы одолеть его. Поэтому как сила взрывов, так и их период постепенно у каждой звезды удлинялся с ее возрастом, с ее старостью.

Есть особый класс звезд (цефеиды). Чем они громаднее, тем ярче (про истинную яркость, а не кажущуюся) и тем давление и сгущение в центре больше. Тем, значит, и больше препятствий для взрыва, тем больше его период и сила. Даже доказано, что промежуток между взрывами (период) пропорционален абсолютной яркости*. Это дало средство определять абсолютную яркость, а стало быть, и расстояние звезды от нас.

Так-то, каждая устаревшая звезда начинает взрывать все сильнее и сильнее, все реже и реже. Так, она сначала теряет свою материю равномерным лучеиспусканием, а потом — все более и более могучими взрывами.

Цефеиды дают порой такие взрывы, при которых в одну секунду лучеиспускается более энергии, чем у нашего Солнца в течение многих лет.

* Имеется в виду период пульсации (изменения блеска) (Ред.).

Итак, с одной стороны, всюду образуются из эфирной среды туманности и солнца, с другой же, — последние разлагаются, рассеиваются в эфире и служат отчасти дополнением к самостоятельному зарождению туманностей из эфира.

Не минует судьба взрывов и маленькие тела — планеты. Их даже прежде солнц должна постигнуть эта катастрофа. В самом деле, их центральное давление не велико, поэтому и меньше препятствий для торжества упругости разложившейся материи над тяготением. Может быть, и наши планеты не раз взрывались, как, например, Земля. Но взаимное тяготение их частей опять собирало их в одну массу.

Маленькая планетка (меньше гораздо нашей Луны) между Марсом и Юпитером, вероятно, когда-то взорвалась, части ее не соединились обратно, и вот происхождение роя наших угловатых астероидов.

Части могли не соединиться снова в планету вот по какой причине. Планета разорвалась не сразу на множество частей, а примерно так: она разорвалась пополам, половинки дали второй взрыв немного позднее и т. д. Явление могло быть так сложно, что при влиянии еще Юпитера и других планет, астероиды сделались самостоятельными маленькими планетками.

Вследствие всего вышеизложенного гибель также царствует во вселенной, как и возрождение. Общий же вид ее остается неизменным.

Эфирный Остров постоянно содержит в себе:

- 1) зачатки материи во всех частях эфира; она образуется самостоятельно из среды или выбрасывается небесными телами;
- 2) неправильные газообразные туманности, как результат тяготения;
- 3) планетарные (т. е. шаровой формы, как планеты) туманности, родоначальники солнц;
- 4) гигантские одинокие красные солнца;
- 5) желтые солнца меньшей массы и размера, но большей плотности и температуры;
- 6) белые солнца еще меньшего размера и массы, но еще большей плотности и температуры;
- 7) синие солнца еще меньшего размера и массы, но высшей плотности и температуры;
- 8) белые солнца; температура убывает, масса и размер еще меньше, но плотность растет;
- 9) желтые солнца; температура еще ниже, также объем и масса, но плотность еще увеличивается, взрывы часты и слабы;
- 10) красные солнца — карлики; объем, масса, температура еще понижаются и только плотность увеличивается; взрывы реже и сильнее;
- 11) тусклые звезды; взрывы еще сильнее;
- 12) невидимые солнца, остывшие с поверхности, как планеты, и периодически взрывающиеся до рассеяния в эфире (впрочем, взрываются все солнца, кроме гигантских молодых).

С какого момента этого возраста звезды, с какого ее периода начинается рождение детей (солнц и планет) — неизвестно. Оно, впрочем, зависит от зачаточной скорости родоначальной туманности.

Обращая внимание лишь на виту солнц, на их потомство, встретим такие планетные системы (сияющие или темные):

- 1) солнца без планет; они могут быть всех возрастов, если нет вращения;
- 2) солнца с одной единственной планетой;
- 3) с двумя;
- 4) с несколькими;
- 5) со многими;
- 6) солнце с меньшим солнцем (двойное) и со многими планетами у каждого;
- 7) солнце с равным товарищем (другим солнцем); у обоих планеты;
- 8) тройное солнце с планетами;
- 9) многократное — с планетами.

Впрочем, это не все формы: есть много промежуточных. Так, есть желтые солнца с несколькими вечными кольцами. Есть и такие, которые наделены и кольцами и планетами. Но и те и другие умерли вследствие остывшего уже Солнца. Конечно, и это состояние временное: смерти вечной никогда и нигде не бывает.

Наичаще повторяются средние условия, средняя зачаточная скорость вращения и среднее число планет. Нельзя утверждать, что наша планетная система относится к среднему случаю, ибо около 30% всех солнц принадлежат к двойным. Скорее, она относится к системе бедной планетами и их величиною. В самом деле, самая массивная наша планета — Юпитер — в тысячу раз по массе меньше своего солнца (матери). Да и общая масса всех планет нашей системы раз в 700 меньше центрального светила. Вероятно, большинство солнечных систем после периода деторождения богаче планетами, чем наша: их семейства обширнее, особенно двойных солнц. Все же мы знаем порядочно (со всей ее мелочью — астероидами) только нашу планетную систему. Диаметр орбиты (поперечник годового круга) нашей крайней планеты Нептуна менее 10 млрд. верст. Это и есть размер нашей планетной системы. Расстояние ближайших солнечных систем близко к 40 биллионам верст, т. е. оно с лишком в 4000 раз больше размера нашей системы. Вообще же расстояние соседних солнечных систем в среднем около 400 биллионов, т. е. в 40 000 раз больше нашей системы (пока мы упоминали о расстояниях в центре Млечного Пути). Отсюда видно, что размеры солнечных систем очень малы по сравнению с разделяющим их пространством. Между ними ужасающие эфирные пустыни.

Мы имеем примерно от 10 до 500 млрд. солнечных систем, обнаруженных телескопом или фотографией. Они составляют группу, называемую Млечным Путем. (Название, по-видимому, странное.) Форма его — лепешка или завитушка. В центре ее звезды ближе друг к другу, но чем дальше к ее краям, тем реже.

Для определения размеров Млечного Пути и дальнейших обратимся к другой единице протяжения, называемой световым годом. Он несколько меньше десяти биллионов км, но мы примем его ровно в 10 биллионов

верст. Такое расстояние свет пробегает в течение года (по 300 тыс. км/сек). Размер нашей планетной системы в таких единицах выразится 10 час, т. е. свет пробежит весь поперечник нептонового годового пути в 10 час.

Так вот, на расстоянии трех тысяч таких единиц от центра Млечного Пути солнца становятся уже в 10 раз реже, т. е. отстоят друг от друга в два с лишком раза дальше. На расстоянии 15 000 световых лет звезды почти прекращаются. Тут они реже всего. Поперечник Млечного Пути и принимается в 30 тыс. световых лет. Это диаметр лепешки Млечного Пути. Ее толщина в 6 раз меньше, т. е. 5 тыс. световых лет.

Но Млечный Путь на этом не кончается. В окружающих его безднах виднеются еще кучи солнц. За звездами Млечного Пути в эфирной пустоте идут еще группы солнц, называемые звездными скоплениями. Они составляют как бы продолжение лепешки Млечного Пути и потому принадлежат ему. Они расширяют ее поперечник, но не толщину. В этих группах звезды расположены даже чаще, чем в центре Млечного Пути. В иных в 3000 раз чаще, т. е. там солнца в 14 раз ближе, чем в центре нашего Млечного Пути.

В центре кучи звезды чаще, чем по ее окраинам, как и в Млечном Пути. Размер куч довольно сходен, что дало возможность узнать их расстояния до нас. Поперечник их около 500 световых лет. Но они расположены гораздо дальше окраин Млечного Пути. Последний вместе со своими солнечными скоплениями имеет в поперечнике уже до 300 000 световых лет.

Звезды и звездные кучи двигаются по разнообразным направлениям. Как будто путь их прямой. Причина движения — конечно, притяжение совокупности звезд Млечного Пути. Иные замечают в движении солнц некоторые правильности, а именно: два, три потока звезд. Скорость звезд и их групп, обыкновенно, от 10 до 100 км/сек.

Звездные кучи, будучи на окраинах Млечного Пути, давно уже им тянутся и имеют скорость до 100 и более верст в сек. Впрочем, и звезды иногда двигаются необычно быстро, делая до 500 верст в сек.

Я говорил, что звездные кучи большей частью расположены в одном направлении, или в одном плане с завитушкой Млечного Пути, и потому составляют с ним одну группу. Но замечаются еще туманные пятнышки, расположенные равномерно по всему небу. В. Гершель думал, что это иные млечные пути, но потом усомнился. Долго после этого их считали частями нашего Млечного Пути, газообразными туманностями, зачатками солнц. Но вот с усовершенствованием телескопов и фотографии в них стали замечать отдельные звезды и взрывы солнц. Чрезвычайно слабая сила их дала возможность догадываться о громадных их от нас расстояниях. Оказалось, что эти спиральные пятнышки находятся далеко за пределами нашего Млечного Пути и звездных куч, на расстоянии миллионов световых лет. Понятно стало, почему долго не могли отличить их от газообразных туманностей. Теперь все более и более убеждаются в том, что эти пятнышки, имеющие часто вид завитушек и называемых потому спи-

ральными туманностями,— ничто иное, как отдаленные млечные пути, подобные нашему. Стало быть, и они содержат миллиарды планетных систем.

Число иных млечных путей определяют миллионами. Расстояние их друг от друга — миллионами световых лет, а поперечник всей группы новых млечных путей — сотнями миллионов световых лет.

В своем сочинении «Кинетическая теория света» я доказал, что эфир распространяется только на несколько сотен миллионов световых лет, т. е. захватывает только замеченные млечные пути. Далее он безмерно разрежается, как разрежаются высшие слои нашей атмосферы. За границами эфира начинается какая-то другая материя, безмерно реже его. Поэтому я известную группу млечных путей назвал Эфирным Островом. За ним, вероятно, лежат другие подобные острова, но о них мы не можем получить никаких сведений, так как свет не может проходить через безэфирные между ними пространства.

Наш Эфирный Остров мчится со всем своим эфиром с неизвестною громадною скоростью и неизвестно куда. Эта скорость и не может быть определена, так как других эфирных островов мы увидеть не можем.

Скорость спиральных туманностей, т. е. иных млечных путей, достигает тысячи *км/сек.* Но это относительная скорость, т. е. по отношению к эфиру или эфирному острову, считаемому неподвижным.

Итак, планетная система — есть группа небесных тел, состоящая из одного или нескольких солнц и множества планет, подобных нашей Земле. Расположены они в одной плоскости, двигаются и вращаются в одну сторону. Вся система мчится прямолинейно со скоростью от 10 до 100 и более верст в секунду. Размеры ее определяются миллиардами *км.* или десятками световых часов.

Млечный Путь состоит из миллиардов газообразных туманностей и солнц: бездетных, семейных (т. е. планетных систем) и угасающих. Взрывы последних наполняют мировое пространство множеством комет и помогают образованию новых газообразных туманностей.

Кометы, по всей вероятности, суть солнечные плевки. Большинство их падает обратно на солнца, но немногие, наиболее удачные, имеют скорость, которая одолевает силу тяготения солнц, и составляет кометы с длинным периодом обращения или бродячие, без периода, мчащиеся между солнцами от одного светила к другому, пока не потеряют свою скорость и где-нибудь не застрянут.

Солнца всех возрастов разделены в Млечном Пути безднами пространств, измеряемых сотнями биллионов верст или десятками световых лет. Эти бездны в сотни тысяч раз больше размеров планетных систем. Двигаются они по всем направлениям прямолинейно, и только биллионы лет искривляют их пути. Пронизывая Млечный Путь, они колеблются в нем и не могут выйти из сферы его тяготения.

На окраинах Млечного Пути как его продолжение имеем звездные кучи. Это как бы маленькие млечные пути. Размер их — сотни световых

лет. Расстояние — тысячи световых лет. Их не очень много. Двигаются они быстро и как бы падают к своему Млечному Пути.

Эфирный Остров составлен из ограниченной шарообразной массы эфира и плавающих в нем млечных путей, между которыми находится и наш. Их, т. е. спиральных туманностей, миллионы. Размеры их подобны размерам нашего Млечного Пути. Расстояние ближайших измеряется миллионами световых лет. Так что бездны, их разделяющие, в десятки раз больше их размеров. Весь Эфирный Остров заключает многие миллионы миллиардов солнц всех возрастов и миллиарды миллиардов планет.

Но и Эфирный Остров только малая (даже бесконечно малая) частица неизвестной вселенной. Как капля мала в сравнении с океаном, как атом ничтожен в сравнении с Землей или Солнцем, так и Эфирный Остров незаметен в сравнении с неведомым космосом. Но и это не верно, он еще бесконечно величественнее.

Эфирный Остров есть только атом какого-то организма. Последний — есть атом высшего организма второго порядка. Организм второго порядка составляет атом организма третьего порядка, и так без конца.

Про ограниченность нашего знания можно сказать то же, что и про Землю, Солнце, Млечный Путь и Эфирный Остров: оно неизмеримо мало.

ОРГАНИЧЕСКИЙ МИР ВСЕЛЕННОЙ*

Прежде всего нужно знать, какие мы имеем места для жизни, в каких они условиях и как изменяются эти условия с течением времени.

Мы имеем солнца в разном возрасте — от детского, газообразного и невидимого, состояния до твердого, темного, остывшего с поверхности. Этих солнц миллионы миллиардов (по астрономическим данным — не менее).

Далее у нас имеется в сотни раз более планет самых разнообразных размеров и температур (см. мою работу «Температура планет»)**. Их возраст также очень различный: от горячего, даже блестящего солнечного состояния, до темного и остывшего с поверхности (последних — большинство).

Стало быть, они подобны солнцам, только время их блестящего состояния короче.

Про спутников планет или Луны принуждены сказать то же.

Наконец, в тысячи, миллионы и миллиарды раз больше тел малого размера — от величины лун до микроскопических пылинок. Они тоже подобны планетам и солнцам, если не обращать внимание на их малость.

Какие же из этих небесных тел пригодны к жизни и когда?

Солнце и планеты в раскаленном, газообразном или жидком состоянии к тому не годятся. Бурные движения жидкостей и газов не только разрушили бы нежные зачатки организмов, но и готовые совершенные уже существа.

Животное — есть сложное сочетание из твердых, полутвердых, жидких и газообразных тел. Невообразимо сильное волнение разорвало бы на части такой механизм.

Можно, конечно, вообразить, что, несмотря на высокую температуру в тысячи, даже миллионы градусов (в центре), есть тут же вещества не плавящиеся: отчасти благодаря давлению, отчасти — своей тугоплавкости. Они и могут пойти на твердые и полутвердые органы животных. Но что сохранит их от бурных движений и волнений, от газообразных потоков, от страшных взрывов.

* Печатается впервые по рукописи, хранящейся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 270) (Ред.).

** Данная работа Циолковского хранится в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 272) (Ред.).

Кто знает про факелы и протуберанцы нашего Солнца, тот хорошо поймет меня. Ведь скорость военных снарядов совершенно ничтожна в сравнении со скоростью движущихся частей Солнца! Ведь наши химические взрывы — нуль в сравнении со взрывами на звездах!

Итак, главное препятствие к зачатию и развитию жизни на раскаленных солнцах и планетах — это не температура их, а буйные движения жидкостей и газов. Если они невыносимы для готовых и сильных организмов, то тем более для их слабых зачатков.

Искать жизнь мы должны на остывших хотя бы с поверхности телах, где уже нет чрезмерно быстрых разрушительных движений материи...

Есть два рода жизни. Одна сама начинается на небесном теле и достигает известной степени развития, другая заселяет небесные тела и пространства путем переселения.

Положим, что у нас, на Земле, жизнь зародилась где-нибудь в Центральной Азии, откуда распространилась по всему земному шару, т. е. перешла в Африку, Европу, Австралию и Америку. В Америке она будет переносной, а в Азии самодельной. Так и во вселенной: в одних местах она зарождается, достигает сознания и могущества и отсюда переселяется в такие места, где она зародиться не могла и может поддерживаться только искусственно — техническим могуществом разумных веществ или особым устройством их тела. Таковы малые планеты без атмосфер и подобные же луны, таковы же пространства, окружающие бездетные или детные солнца, где устраиваются особые жилища...

Мы в этой работе имеем в виду разбирать только самозарождение и развитие жизни, т. е. места, пригодные для этого. Однако мы не можем тут избежать узкой, земной точки зрения, хотя и будем стараться иметь космический взгляд на вещи...

Пустыни эфира, хотя и освещенные горячими лучами светил, не могут служить для жизни за неимением подходящих материалов.

Остывшие с поверхности солнца пригодны лишь для переносной жизни. Притом, остывшие планеты не могут дать им живительных лучей, потому что остыли ранее солнца.

Туманности, как газообразные тела и зачатки звезд, имеют бурные движения, недостаток разнообразия в элементах и потому, как солнца, едва ли в состоянии зародить жизнь.

Блуждающие и периодические кометы также не пригодны, потому что температура их меняется от -273° до нескольких сотен, даже тысяч градусов жары (при прохождении поблизости солнца), если животные и растения на этих кометах приспособятся для низкой температуры, то высокая их разрушит и обратно.

Остаются планеты с умеренным эксцентриситетом, т. е. планеты с круговым почти движением, каковы большинство из них.

Цикл планеты интереснее и разнообразнее цикла центрального светила, погасающего после планет. Каков же этот планетный цикл?

Большей частью Солнце, сжимаясь, отделяет на экваторе от своей поверхности широкое кольцо. Потом уже кольцо расщепляется на ряд кон-

центрических колец (подобие Сатурна). Из этих накаленных и газообразных колец и образуются потом планеты. Кольца, удаляясь, лопаются, образуют шаровидные массы, постепенно уходят от центрального светила, охлаждаются, сжимаются, вертятся быстрее, образуют луны, затвердевают с поверхности и тогда становятся ареною органической жизни.

Вообразим себе одну из планет и проследим это явление от начала до конца.

Существование колец, их разрыв и охлаждение продолжаются многие миллиарды лет. Явление протекает медленно. Многие миллиарды лет зачатие жизни невозможно на планете: мешают газообразное состояние, движения, взрывы и высокая температура.

Но вот, наконец, все это прекратилось, планета покрылась корой, бурные течения иссякли, наступил покой, солнце так далеко, что действие его лучей слабо и не производит уже буйных ветров, смерчей, разрушительных волн и течений.

Какие же планеты и когда достигают этого состояния? Ответ будет сложен. Начнем издалека.

Во всей известной вселенной мы пока знаем только 92 элементарных вещества, хотя их, конечно, несравненно больше — в недоступных для наблюдения центральных частях солнц. Из них образуются все растения, все животные и все, что мы знаем и не знаем — как живое, так и мертвое.

На всякой планете во всяком теле, земном и небесном, можно найти следы всех этих веществ. Но пропорция их самая разнообразная. Отношение их количеств выражается разными числами — от нуля до определенных величин, т. е. некоторых из них незаметное количество.

Каков же состав планет, т. е. каково это отношение для элементарных материй, на них находящихся?

Надо обратиться для решения этого вопроса к солнцу — отцу планет и дедушке их лун.

По известным физическим законам все газообразные вещества солнца распределяются так, как будто других не было, т. е. в центре каждое вещество будет очень плотно, даже иногда жидко или твердо, а чем выше, чем дальше от центра, тем все разреженнее и разреженнее. Это подобно распределению воздуха в атмосфере.

Таким манером каждый газ образует свою атмосферу и все они проникают друг друга, т. е. смешиваются между собою.

Но физика показывает, что все вещества эти при одинаковых условиях имеют самую разнообразную плотность.

Вследствие этого более тяжелые преимущественно скопляются в центре, а легкие и более упругие — на поверхности. Из этого видно, что всякая часть солнца содержит все 92 вещества, но в разных пропорциях: в высших слоях будет более легких элементов и менее тяжелых, но чем ближе к центру, тем тяжелых будет больше, а легких меньше (хотя абсолютное количество всех веществ к центру возрастает).

Теперь понятно, что первые отделившиеся от Солнца планеты будут иметь больше газообразных материй, а последние — более жидких и твер-

дых. Одним словом, чем дальше планеты от Солнца, тем более преобладают в них газы. Это все случилось бы, если бы все планеты имели одинаковую массу. Но масса их очень разнообразна, и потому дело осложняется. Разберем влияние массы.

Посмотрим, как образуется планета до получения ею твердой корочки, океанов и атмосфер.

Пока планета имеет солнечную температуру, составные ее вещества не действуют друг на друга, т. е. не соединяются химически, а пребывают в элементарном состоянии. Потом влиянием давления и охлаждения в центре образуются жидкие и даже твердые вещества. Различная плотность разделяет их друг от друга. Химическому действию подвергаются только пограничные слои, ибо подвижность и перемещения замедлены. Да и высокая температура глубоких частей планеты мешает химическим процессам.

Выходит, что множество металлов и других более плотных тел планеты изолированы от химического соединения с газами: газов на планетах при одном и том же составе их будет тем больше, чем сама планета обширнее. В маленьких планетках металлы доступнее для соединения с газами. Последние поглощаются у них металлами, и потому атмосфер на небольших планетах и спутниках не образуется.

Итак, чем старше планета, чем дальше от Солнца и чем массивнее, тем больше остается свободных газов и тем богаче их атмосферы. Этому еще способствует большая тяжесть на массивных планетах, которая способна удерживать на своей поверхности быстро движущиеся газовые частицы. Напротив, малые планеты с малою тяжестью на это неспособны: их газы, если бы они и случились, удалились бы от них и рассеялись в пространстве. Сначала они образовали бы кольца по орбите планеты, а потом от сопротивления эфира упали бы на Солнце и слились бы с ним. Возможно и слияние их с более массивными иными планетами*.

Проследим судьбу первой малой планеты, отделившейся от Солнца. Она содержит самые легкие вещества. Она быстро охлаждается и ее газы

* Далее в рукописи следует текст, вычеркнутый автором в одной из последних редакций (*Ред.*).

«Но большая величина планеты препятствует их быстрому охлаждению. На такой планете атмосфера горячее, скорость газовых гипотез больше, и потому рассеяние частиц увеличивается. Впрочем, то обстоятельство не имеет значение, потому что в начале температура всех небесных тел была высока и потому, если газы не рассеялись вначале, то при охлаждении — тем более.

К чему же мы приходим? А вот к чему.

1. Старые и дальние планеты содержат в себе более легкие вещества.
2. Температура на планете [снижается] (от старости и солнечного удаления и потому температурные газы сжижаются или отвердевают. От сего атмосферы умяются).
3. Большие диаметры планет сохраняют им обилие газов и высокую температуру, что способствует величю атмосфер, а большая тяжесть еще способствует их сохранению.
4. Вообще, удаление планет от Солнца помогает поверхностному охлаждению и потому уменьшает атмосферы вследствие сжижения газов».

поглощаются химически металлами и другой материей. Она тверда, но на ней нет атмосферы. Такова она уже на близком расстоянии от Солнца. Оно жарит ее поверхность. С удалением от Солнца эта жара спадает. От таких планет нельзя ждать зачатия жизни. Твердость вещества, голые солнечные лучи, не смягченные атмосферой, препятствуют этому.

Вообразим теперь, что первая планета имеет среднюю массу. Она также содержит более всего легких материалов, но дольше остается горячей. Уже на большом расстоянии от Солнца она покрывается еще горячей коркой. Атмосфера на ней умеренная. Солнечные лучи не очень жгучи, а, главное, смягчены и обезврежены атмосферой. Начинается развитие жизни при сравнительно высокой температуре.

Но время идет, планета охлаждается, лучи Солнца менее жарят. Жизнь приспособляется к пониженной температуре. Даже когда планета страшно ушла от Солнца и лучи его едва согревают поверхность планеты, возможна еще жизнь. Действительно, она могла приспособиться и к тяжелым условиям, благодаря медленности перемен: многие миллиарды лет протекают в этих изменениях.

Теперь представим себе первую планету громадных размеров.

В ней много легких веществ и сравнительно богатейшая атмосфера. Достаточное охлаждение тела планеты получается тогда, когда она ушла на большое расстояние от Солнца. Притом, она почти не согревается им, а только едва освещается.

Тут жизнь зарождается не столько участием лучистой энергии, сколько теплотой самой планеты и неизрасходованной еще ее химической энергией.

Вот еще вторая, третья и т. д. планета, отделяющаяся от Солнца. Они содержат менее легких веществ. При малости — их ожидает участь первой. При средней величине их атмосферы беднее первых, так как в них более будет тяжелых газов. При очень большой — можем сказать то же самое (по сравнению с первыми большими).

Все планеты отличаются между собою следующими свойствами.

1. Размерами, плотностью и массой.
 2. Разной тяжестью на их поверхности.
 3. Океанами и атмосферами.
 4. Отношением элементарных веществ, входящих в их состав.
 5. Собственной температурой коры и атмосферы. Она с течением времени уменьшается.
 6. Силою лучистой энергии, исходящей из центрального светила. Она тоже уменьшается как от естественного ослабления светила, так и от удаления от него планеты.
 7. Продолжительностью суток и года.
 8. Наклоном оси к головной орбите.
 9. Эксцентricностью движения (уклонение от кругового движения).
- Как же все это отражается на развитии органической жизни?

Будем, конечно, говорить о таких планетах, где уже нет разрушающих организмы бурных потоков, взрывов и чересчур высокой температу-

ры, при которой планета находится в газообразном или жидком состоянии, кроме центральных частей.

Планета предполагается сравнительно успокоившейся средней величины, ее поверхность уже имеет твердую корку, океаны и атмосферу. Одним словом, все условия, необходимые для возникновения жизни. При этом высокая температура еще не может служить препятствием к зачатю своеобразной жизни.

Известные нам миллионы миллиардов планет разделим на категории. Множество их сходно с Землей во всех отношениях. О возможности на них жизни нечего и говорить. Рассмотрим вопрос вообще.

Вот категория сходных по величине и по всем условиям группа планет, которую условно обозначим № 1. Их, вероятно, тысячи, и, конечно, сходны они только приблизительно. Полного тождества никогда быть не может, как между двумя людьми или другими предметами на Земле.

У группы планет № 1 определенное отношение между элементами их состава, определенная их температура и другие определенные условия, которые тоже обозначим номером первым. Например, одна и та же тяжесть, состав падающих на них лучей, одни сутки, времена года, наклон оси и прочее.

Определенное отношение между элементами коры и атмосферы в связи с температурой дают совершенно определенные физические и химические свойства имеющихся элементов. Это, в свою очередь, определяет биоэлементы, или те вещества, которые наиболее пригодны при данных условиях к образованию растений и животных. Эти жизненные элементы означим номером первым (№ 1).

Их свойства и численность вызывают создание органического мира, который тоже выразится номером первым (№ 1).

С течением времени на каждой планете он становится все более и более сложным, пока не дойдет до высшей ступени, дальше которой идти уже невозможно вследствие совершенства полученной жизни. Все прочее ликвидируется как негодное.

Возьмем в пример хоть велосипед. Он появился сначала без шариковых подшипников, без пневматических шин, с четырьмя, тремя и, наконец, двумя колесами. Одно колесо было малым, и он кувыркался. Теперь он достиг определенного устройства и много лет конструкция его остается неизменной.

Также и всякая машина изменяется, пока совершенствуется. Достигнув его, она остается постоянной, а прочие несовершенные типы обрастают в лом, ибо они убыточны.

В развитии живого мира планеты происходит то же. Она, в конце концов, даст совершенный продукт в форме, подобной образу будущего совершенного человека. Все же уродливые его подражания сами собой или искусственно, силою разума, иссякают. Говорю о подобии будущему человеку только в смысле познания истины и целесообразности, а не в смысле тождества размеров, состава, органов, чувств и т. д.

Берем другую группу планет — № 2. У нее имеем.

1. Отношение между простыми телами — № 2.
2. Условия, которым они подвергаются (температура, давление, тяжесть и прочее), означим условно через № 2.
3. Физические и химические свойства, зависящие от условий, будут № 2.
4. Новые жизненные элементы выразим через № 2. Например, для группы планет типа Земли биоэлементы будут: азот, кислород, углерод, сера, фосфор и т. д. — всего 12—20 элементов. Для других типов это будет иная группа.
5. Высший тип растений и животных пусть будет № 2 (под высшим типом растений подразумеваем наиболее полезные высшему животному растения).

Так же определим группу планет № 3 и прочие.

Сколько же получится этих групп, если считаться только с открытой, т. е. известной частью вселенной? Это зависит от того, насколько мы допустим разницы между членами одной и той же группы. Чем меньше эта разница (полного сходства быть не может), тем больше будет групп и меньше членов в каждой, и обратно.

Члены одной группы как будто должны дать и одинаковые результаты, т. е. сходный органический мир: не полное тождество, а такое сходство, которое, например, не препятствует существованию одной планеты жить на всех других планетах одноименной группы. Даже более. В самом деле, на Земле животные могут переносить любой климат, хотя и страдают от его перемены. Значит, и тип одной группы может перенести условия ближайших групп. Подобно этому житель экватора может существовать и в умеренном поясе Земли.

Какие же мы можем допустить различия между совершенными животными разных планетных групп?

Перечислим их.

1. Разный состав тела. Вещества, которые на Земле, например, считаются элементами не жизненными (70 элементов), войдут в состав органического мира иных планетных групп. Обратно, во многих из них наши биоэлементы окажутся мертвыми, т. е. будут уделом мира неорганического.

2. Разная температура животных и растений: от очень низкой (наши морозы) до нескольких сотен градусов жары. Твердые части животных могут быть составлены из веществ чрезвычайно тугоплавких, которых мы даже пока и не знаем. А полутвердые их ткани и жидкости — на Земле были бы твердыми телами.

3. Механика показывает, что размеры сухопутных животных могут быть тем больше, чем меньше тяжесть на планете. Конечный органический продукт поэтому будет зависеть от тяжести и даст при малой тяжести огромные тела. Естественный подбор наделяет большими телами животных, так как в борьбе между собою такие побеждают.

Водные существа или живущие в очень плотной атмосфере, давление

которой уравнивает тяжесть, могут быть неопределенно больших размеров. Но плотная среда мешает им сделаться победителями. Поэтому совершенный органический продукт оставляет жидкую и даже газообразную среду как невыгодную для жизни и живет в разреженной газообразной среде — даже в пустоте.

4. Умственная сила имеет возможность быть больше при малой тяжести (от общего увеличения размеров).

5. Чем плотнее атмосфера, тем размеры летающих животных будут больше, а следовательно, и их умственная сила. Но размер мозга все же больше у существ, которых поддерживает плотная почва. Победа будет на стороне сухопутных. Впрочем, главная причина победы сухопутных — развитие индустрии.

6. И в одной группе планет могут быть совсем разные результаты не только вследствие некоторого малого несходства в условиях, но и вследствие каких-то непонятных причин, как бы случайности. Это нам подтверждает жизнь Земли. Правда, она еще не скоро нам даст конечный совершенный продукт, но и он может быть не однообразен. Действительно, органический мир какой-нибудь одной местности, какого-нибудь, например, острова, где условия строго неизменны, все-таки порождает самые разнообразные существа. Еще это заметнее для изолированных друг от друга островов. Так же может быть несходен и конечный продукт. По крайней мере, за постоянство или однообразие его ручаться трудно.

Но мы все же считаем вероятным, что конечный продукт планет не только одной группы, но и разных, даст не очень разнообразные результаты.

Возьмем в пример хотя бы Землю. Каков ее конечный органический мир, т. е. как мы его себе воображаем?

Животные как страдальцы и вредные для человека существа постепенно угаснут. Человек же будет существовать, питаясь растениями... Человечество — эта богато одаренная раса — будет путем подбора и браков совершенствоваться сама себя. Останутся члены с глубоким умом, истинными познаниями и множеством хороших физических и умственных качеств. Поневоле получится однообразие и обширный ум. То же будет совершаться и на планетах одной группы: знание вселенной и обширный разум приведут к одной цели — к счастью. Организмы, достигнувшие одного результата, не могут быть очень различны.

Теперь возьмем планеты разных групп. Мы уже говорили о неизбежном их различии. Но какое же может быть между ними сходство?

Развитие ума и познаний должно дать нечто общее. В самом деле, космос один, его законы однообразны, вещества одни и те же. Следовательно, познания жителей планет разных групп должны быть одинаковы. Вот и общее между всеми существами, достигшими совершенства: у них один ум, одно познание и одна цель — всеобщее и вечное счастье. Повторяю: понимание одного и того же космоса делает их самих сходными...

Их размеры разны, умы — неодинаковой силы, состав тел различный, температуры их также. Но характер их ума и познаний отражает одну и ту же вселенную*. Поэтому они сходны у всех зрелых существ вселенной.

Какова же форма их тел, каковы органы движения и чувств? Насколько они разнообразны по силе и числу?

Размеры, состав, температура не могут быть сходны. Ну, а как же формы, члены и чувства?

Разберем органы движения. Так как сухопутные должны взять перевес, то плавающих и летающих мы в виду иметь не будем.

Сначала у животного много пар ног и нет органов работы, потому что оно только наступало добычу и ело ее: довольно было для этого одной пасти. Но вот приходилось доставать пищу выше, производить сначала так сказать примитивную работу, и несколько пар ног уделялись на эту работу: часть органов ходьбы специализировалась (превращалась в руки).

Большое число ног оказалось излишним. Равновесие и движение получалось и при четырех ногах, при двух парах. Передняя пара шла все более и более на работу. В конце концов животное ограничивается одной парой для передвижения и одной парой конечностей для работы. Только при малых размерах животного можно переносить множество пар ног, т. е. обременять себя излишним грузом и сложностью. Там механика это допускает. Но по мере увеличения размера и массы животного число пар ног неизбежно доходит до двух, причем одна пара превращается в орган работы. Пальцы на ногах могут атрофироваться, на руках же достигнуть особенного совершенства. Число их неизвестно...

Не на всех ли планетах это должно совершаться! Таким образом, есть большое вероятие, что у совершенных существ всех планет одна пара конечностей служит органом передвижения, а другая органом работы.

Не будут ли члены, при большей тяжести, неуклюже толсты, а при малой — некрасиво тонки? И это едва ли возможно. Рост животных в филогенетическом своем развитии увеличивается ради мускульной мощности и значительного объема мозга настолько, насколько это позволяет тяжесть. Так что ноги и руки не могут быть неуклюже толсты или тонки. Отставшие и несовершенные организмы Земли нам не указ.

Конечно, тождества организмов не будет, но и не будет безобразия.

Животное зарождается в газовой или жидкой среде. Их колебание воспринимает слух. Число колебаний в секунду может быть весьма разнообразно. На одной планете животное воспринимает такие-то колебания, а на другой совсем иные. Группа № 1 может ничего не слышать, когда отлично слышит группа № 2 и т. д.

То же можем сказать про восприятие эфирных колебаний: от громадных электрических волн до космических лучей Миликена и дальше.

* Яркий пример, свидетельствующий о материалистичности взглядов К. Э. Циолковского (Ред.).

Возможно восприятие всех волн при одном или (вернее) многих специальных органах. Человек и животные на Земле воспринимают лишь небольшую долю лучей из всего их запаса в природе. Человек — такие-то, называемые световыми. Животные от этой гаммы уклоняются немного. Так, некоторые насекомые способны к восприятию ультрафиолетовых лучей, которых человеческий глаз не видит (термиты и разные породы муравьев).

У существ разных планет может быть множество специальных органов чувств (подобных зрению животных) для восприятия эфирных колебаний разной длины.

Итак, числом чувств совершенные существа могут очень отличаться друг от друга.

Что говорим про зрение, то можем сказать и про осязание, обоняние, вкус и прочее (познание состава веществ).

Где должны разместиться главные органы чувств? На одном ли месте сосредоточиться, в высшей части тела, как у человека, или как-нибудь иначе? С высоты лучше все видно и слышно, с высоты легче достать высоко висящие плоды. Органы борьбы, т. е. зубы и руки тоже должны быть спереди, куда движется животное: хвостом бороться нельзя. Отсюда ясно, что главные органы чувств и борьбы должны занять верхнюю и переднюю часть тела.

Но с чувствами связаны память и ум. Естественно, что и мозг должен находиться поблизости органов восприятия.

Я не хочу сказать, что голова настоящего или будущего человека тождественна с головою существ иных планет, а только то, что требования совершенства тела и ума приводят природу к формам до некоторой степени сходным, но никак не тождественным.

Мы говорили, что сухопутные должны взять перевес над водными и летающими: над океаническими — по причине трудности их передвижения в плотной среде, поглощения ею солнечной энергии, невозможности обширной индустрии и множеству других причин; над летающими же — потому, что их массивность очень ограничена, а вместе с тем объем и сила мозга.

Но и над сухопутными будут преобладать внепланетные существа, свободные от тяжести, ночной темноты и множества других отрицательных прелестей планетной жизни.

Это — существа особые. Они, например, не нуждаются в органах перемещения, вследствие отсутствия тяжести. Они непроницаемы для газов, потому что переносят пустоту и проницаемы для эфирных лучей, потому что живут солнечной энергией.

Ввиду отсутствия тяжести, они приближаются в некотором отношении к водным существам, у которых тяжесть уравнивается давлением воды.

О форме и устройстве этих эфирных существ говорить здесь не будем, потому что это уже жизнь переносная, жизнь в тех местах, где она возможна, но сама не зарождается. Колыбель организмов — планеты. О них мы и рассуждали...

Заметим только, что переносная жизнь имеет начало на планетах. Преобразовываясь на них и в новых местах жительства, ранее не обитаемых, она постепенно приобрела чудные, необыкновенные, малопонятные нам формы.

Все же последние имеют некоторое сходство с типами водных животных, где также отсутствие тяжести, вследствие уравнивания ее давлением жидкости. Однако будет и громадная разница. Большое сопротивление водной среды породило органы передвижения, в которых внепланетное существо не нуждается. Кроме того, водные существа не достигли предела своего развития и совершенства. У них постоянный обмен материи между телом и внешней средой. Этого у внепланетных существ нет. И многое другое несходно.

Конечно, все сказанное в этой статье на самом деле бесконечно сложнее и разнообразнее. Мы позволили себе лишь сделать попытку мысленно погрузиться в эту трудную область космической биологии и неизвестных истин.

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАНЕТ *

Мы имеем в известной вселенной миллионы миллиардов планет. Они суть колыбели органической жизни. Большое значение для ее развития и существования имеет температура твердой поверхности планеты, соприкасающейся с атмосферой.

Условия жизни таковы. 1. Существование на застывшей поверхности планеты жидкостей и газов, потому что органическая жизнь сопровождается движением, которое в твердых телах затруднительно. Жидкость уничтожает разрушительную силу тяжести. Она же вместе с атмосферой обезвреживает и солнечные лучи. 2. Умеренная температура; ибо в противном случае образуются чересчур бурные движения, разрушающие нежные зачатки сложных органических соединений, т. е. зачатки жизни.

Только планеты в несколько тысяч верст или более диаметром имеют газовые оболочки и жидкость. Дело в том, что легкие вещества больших планет не имеют возможности проникать в центральные их части и химически соединяться с ними, а потому избыток их остается свободным. Он образует атмосферы и океаны. Кроме того, газы малых планет, если они и не успели соединиться с металлами, если они и есть, не могут удержаться малой тяжестью малой планеты.

Чем она больше, тем больше остается свободных газов и тем богаче ее атмосфера.

Обильнее газами также и первые отделившиеся от солнца планеты, так как они отделились от поверхностных, наиболее легких частей солнца. Все же при малости планет они не удержат это газовое богатство — не хватит силенки.

Чересчур большие планеты не благоприятны для органической жизни по следующим причинам. 1. Они медленно остывают и потому, когда достаточно остынут, так удаляются от солнца, что его лучи становятся уже бесполезны и бессильны вызвать жизнь. 2. Густые атмосферы затемняют и этот слабый свет. Вечная и глубокая темнота не могут вызвать органической жизни. Если во мраке океанических глубин есть жизнь, то ведь ее основа поддерживается падающими на дно трупами поверхностных растений и животных. 3. Громадная атмосфера вследствие неравномерно

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 272, (Ред.).

нагретой почвы (например, красное пятно на Юпитере) служит причиной буйных ветров и волнений, убивающих жизнь. 4. Первые отделившиеся планеты газообразны и потому негодны (например Нептун). 5. Последние негодны по твердости материалов и неимения газов (например Меркурий).

Мы разберем тут только причины, от которых зависит температура твердой или океанической поверхности планеты и соприкасающихся слоев атмосферы.

Заметим, что высокая температура так же, как и низкая, не составляет еще препятствия для развития жизни. Действительно, при высоких температурах все физические и химические свойства элементов изменяются, и в состав животных и растений входят уже не те элементы, которые господствуют у нас на Земле: они не пригодны и не могли бы дать жизнь. Подходящие для нее простые вещества и их химические соединения будут уже иные. Биоэлементы каждой планеты зависят от ее температуры. В зависимости от нее все 92 элемента или часть их могут входить в состав тел животных и растений: на одной планете 12 таких-то простых тел, на другой — 15 совсем других, и так далее.

Резкие перемены температуры на планете также не благоприятны для зачатия сложных органических соединений, так как, помимо прочего, вызывают бурные движения в атмосфере и океанах. Выгодны: 1) небольшой эксцентриситет орбиты (круговое движение) — тогда не будет резких изменений температуры хоть на экваторе; 2) небольшой наклон оси планеты к эклиптике — это не вызовет зимних холодов и летней жары: большая эксцентрисичность годовой орбиты эти тепловые перемены сделает несносными; 3) полезен короткий год, который ослабляет резкость времен года; 4) короткое суточное обращение или короткая ночь также благоприятны, так как ночной холод убивает не приспособившиеся организмы (пример — Луна, Меркурий).

Если хоть одна часть планеты дает механический покой, мало колеблющуюся температуру и умеренное действие лучей центрального светила, мы все это найдем на экваторе, среди заслоняющих от ветра холмов, в небольших озерах. Но для этого еще необходимо: 1) чтобы был короткий день; 2) почти круговая планетная орбита; 3) малый наклон к ней планетной оси вращения.

Тут могут завестись сложные органические соединения и первая протоплазма под влиянием ослабленных атмосферой и жидкостью лучей солнца.

Зрелый организм, законченный, хотя бы и микроскопический, может вынести все перемены, но зачаток его совсем другое дело: тут именно нужны самые незначительные колебания и перемены. И для образования зачатков нужны миллиарды лет.

Повторим о значении температуры: она изменяет только выбор биоэлементов.

Пусть будет высокая температура. От нее будет зависеть только выбор жизненных элементов из тех 92, которые нам предоставляет вселенная. Но надо, чтобы эта температура не делала чрезмерных колебаний. Допустим

это. Какова же она, положим, на экваторе при указанных благоприятных условиях? От чего зависит ее средняя величина?

Это очень интересно знать, потому что температура определяет выбор биоэлементов, от них же зависит животный и растительный мир планеты. Может быть на одних планетах будут употреблены в дело золото, серебро, силиций, алюминий и т. д., на других — титан, осмий, тантал, хлор и т. д. (В своих интересных и научных сочинениях астроном Л. Л. Андренко доказывает, что углерод в органическом мире иных планет может быть заменен силицием, и вообще химически подробно развивает идею биоэлементов.)

Итак, получим в космосе бесконечное разнообразие как в температурах существ, так и в составе их и свойствах. О последних судить мы научно пока не можем, а только утверждаем их разнообразие. Остальное пока — в лучшем случае остроумная фантазия.

Планетная корка затвердела, но это не мешает ей быть очень горячей, даже накаленной до самосвечения. В таком случае можно пренебречь нагревающим действием центрального светила (солнца). Температура планеты будет очень высока независимо от солнечного расстояния. Постепенно она будет понижаться, пока не даст достаточного спокойствия подвижным частям планеты и не послужит причиной зарождения организмов.

Наступит и такой момент, когда собственное тепло планеты сначала сравняется с действием солнечных лучей, а потом будет и совсем незаметно, как у нас на Земле (как известно, температура последней определяется одним почти солнечным лучеиспусканием).

Этот момент мы и будем иметь в виду.

В своем спиральном движении каждая планета в течение биллиона лет удаляется от солнца и получает от него все менее и менее лучистой энергии. Понятно, что средняя температура планеты будет прежде всего зависеть от расстояния планеты до солнца. Значит, для одной и той же планеты температура зависит от времени ее бытия и от собственной энергии солнца.

Вообразим себе определенную планету с определенной атмосферой, океанами и проч. Получаемое ею количество солнечного тепла, а стало быть, и средняя температура еще зависят от свойств поверхности планеты. Часть падающих на нее лучей отражается твердой поверхностью, жидкой и газовой. При воображаемой идеальной зеркальной поверхности планеты все тепло солнца отражается, уходит безвозвратно в пространство, и температура планеты дойдет до абсолютного нуля, несмотря на близость солнца. Наоборот, при идеально черной поверхности планеты температура ее достигнет возможного максимума в зависимости от напряжения солнечных лучей.

На практике отражаемость планет (альbedo) изменяется примерно от 15 до 80%. Но искусственно ее можно сделать и больше и меньше. Однако это возможно только при многочисленном населении планеты и техническом ее могуществе, когда на каждый ар почвы или воды приходится не менее пары людей.

Такого могущества и такой густоты населения, вероятно, достигло большинство планет, так как Млечный Путь существует давно и планеты должны быть зрелы. Там распоряжаются температурой по желанию, вернее, по надобности. Во всяком случае, выгодно иметь прозрачную или разреженную атмосферу, чтобы использовать возможно большую часть энергии светила. Средняя температура планеты, при определенной поглощаемости, еще зависит от теплопроводности нагреваемых слоев. Так, при хорошей теплопроводности она наибольшая, при наименьшей и средней температура меньше, потому что будут резкие колебания температур и большая потеря тепла.

Если бы у планеты не было атмосферы, то тогда температура при одинаковых условиях почвы не зависела бы от высоты места: в низинах она была бы такая же, как на высочайших горах. Но атмосфера все дело меняет.

Действительно, во всяком весовом столбе материи, стало быть, и газа, сила тяжести повышает температуру нижних его частей и понижает — высших. Поэтому слои атмосферы тем холоднее, чем выше. Их холод охлаждает и горные высоты.

Культура и могущество в силах сравнять поверхность планеты, и тогда для нас будет иметь значение только нижний слой атмосферы, соприкасающийся с почвой или океаном. Какова же будет эта температура и насколько она будет зависеть от высоты атмосферы, ее плотности и состава?

Это отчасти разъяснено в моем сочинении «Второе начало термодинамики». Здесь я вкратце повторю только главное.

Предполагаем атмосферу прозрачной, т. е. без пыли и облаков, почву — однообразной, например черной или покрытой одинаковыми растениями, поверхность — равномерно освещенной.

Лучи Солнца нагревают поверхность Земли до той или другой температуры в зависимости от ее свойств. Такую же температуру получит и прилегающий к почве слой атмосферы. Выше, от действия тяжести, температура будет понижаться. Понижение это зависит от силы тяжести и теплоемкости газа. Оно мало зависит от плотности атмосферы и пропорционально высоте рассматриваемого слоя и силе тяжести. Оно обратно пропорционально теплоемкости газа.

Например, в водородной атмосфере понижение было бы в 16 раз меньше, чем в кислородной. На Юпитере оно было бы в 2,5 раза больше, чем на Земле, а на нашей Луне в 6 раз меньше, чем у нас. Чем выше слой газа, тем понижение будет значительнее.

Все эти выводы, однако, осложняются движением атмосферы, явлениями лучеиспускания и неодинаковой теплопрозрачностью разреженных и густых слоев атмосферы.

Так, для земной атмосферы, по моей формуле, мы нашли бы понижение на километр поднятия в 14°C . На практике же оно составляет около 5° . Кроме того, на высотах около 10 км оно уменьшается и делается близким к нулю, т. е. температура выше тропосферы не понижается.

Это объясняется тем, что два постоянных по силе потока теплых лучей нагревают верхние разреженные и холодные слои атмосферы. Один поток лучистой энергии исходит из Солнца, другой — от почвы и нижних нагретых слоев атмосферы. Возможно, что весьма разреженная атмосфера в силу своей разреженности нагревается сильнее, в особенности фиолетовыми и ультрафиолетовыми лучами солнца. Это днем. Но ночью, может быть, понижение температуры продолжается и в стратосфере, хотя и не очень сильно благодаря лучеиспусканию теплой Земли. Тем же объясняется георетическое уклонение понижения от 14°C до 5° , т. е. непрерывным потоком лучистой энергии, нагревающей верхние слои воздуха за счет нижних. Днем еще прибавляется влияние Солнца.

Итак, атмосфера отражает часть солнечных лучей и эта часть (альбедо) колеблется от 0 до 100% — в пределе. Если бы ее не было, то почва больше бы поглощала лучей и средняя температура планеты была бы выше. С другой стороны, верхние слои атмосферы поглощают некоторое количество солнечной энергии. Это поглощение может также колебаться от нуля до 100%.

Результатом поглощения может быть нагревание верхних границ атмосферы до некоторой температуры, ну, положим, до 0°C . Отсюда пойдет ее повышение в зависимости от силы тяжести и теплоемкости газа. Пусть это повышение составляет 5°C на 1 км углубления.

Ясно, что температура слоев атмосферы, соприкасающихся с почвой, будет тем выше, чем глубина атмосферы больше. Если, например, глубина будет 10 км, то температура нижайших слоев атмосферы составит 50°C .

Верхние весьма разреженные ее слои очень холодны и потому нагревание атмосферы, например, до нуля, будет не на ее поверхности, а на некоторой глубине. Поэтому в расчет повышения тепла поставим только нижнюю часть атмосферы (условно — тропосферу). Но ведь и тропосфера у разных планет может иметь самую разнообразную глубину в зависимости от ее массы и плотности.

Таким образом, мы видим, что чем выше атмосфера, чем она прозрачнее и чем чернее почва, тем температура нижних слоев ее (или поверхность планетной коры) больше. Так что у больших планет с богатыми атмосферами, удаленными от солнца, может быть более высокая температура почвы, чем у малых планет с разреженными атмосферами, малой тяжестью и близких к солнцу.

Помимо того, имеет влияние и состав атмосферных газов. Газы менее упругие (углекислый газ, хлор и многие сложные газы) с большей теплоемкостью дают большее понижение температуры на километр поднятия и, следовательно, более высокую температуру почвы. Помимо того, некоторые газы легко пропускают лучи высокой преломляемости (как и стекла) и задерживают обратные почвенные лучи низкой преломляемости. Это также способствует повышению планетной температуры.

Когда-то наша планета имела очень богатую атмосферу, состоящую почти из одной углекислоты. Тогда температура ее везде была высока, не-

смотря на полумрак и скудность проникающих до поверхности солнечных лучей. Альбеда было огромно, и немного солнечной энергии получала Земля: задерживала тепло атмосфера.

Известная степень тепла благоприятна для развития органического мира, но скудость солнечной энергии ослабляет растительный мир, а стало быть, и мир животных. Не очень-то выгодна для них и высокая температура, когда нет солнечной энергии или когда она поглощается еще верхними слоями атмосферы или отражается от нее.

Разумное существо, познавшее природу и изучившее ее законы, сумеет получить не только высокий процент солнечной энергии, но и желаемую температуру. Но этот предмет не составляет темы нашей настоящей работы.

ОБРАЗОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД *

Я обращаюсь с просьбой обратить внимание на мою работу, относящуюся к образованию двойных звезд и планетных систем. Желательно иметь категорическое заключение **.

Наглядное представление о своих выводах я даю с помощью чертежей и кратких к ним пояснений. Конспект же вычислений содержится в прилагаемых книжках ***.

Я желаю, чтобы мои выводы сделались достоянием ученых всех стран. Основую моих работ служит следующее.

1. Имеем обширную газообразную туманность неправильной формы из сильно разреженной простейшей материи (водород или еще более элементарное вещество).

2. Туманность имеет чрезвычайно малую зачаточную скорость вращения. Мы условно разделяем ее на малую, среднюю и большую.

3. Совершается медленное усложнение материи, т. е. получается постепенно: гелий, бериллий, бор и прочие простые тела.

4. От этого происходит уменьшение упругости вещества и сжатие туманности от действия всемирного тяготения.

5. От сжатия и уменьшения объема происходит ускорение вращательного движения массы по закону: сумма моментов вращательного движения изолированной системы — есть величина постоянная. Частный случай — Кеплеровский закон площадей (фиг. 0).

Кроме того, на помощь берем идеи:

1) Джинса — относительно влияния близко проходящих солнц постоянной плотности.

2) Лапласа — относительно образования системы мира.

3) Роша — касательно образования и разрыва планетных колец.

4) Д. Дарвина и Р. Боля — относительно приливного действия, т. е. трения небесных тел без их соприкосновения.

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 284) (Ред.).

** К. Э. Циолковский придавал большое значение этой работе, она была переведена на французский язык и разослана в различные научные учреждения, в том числе и зарубежные (Ред.).

*** Имеется в виду брошюра «Образование солнечных систем» и «Дополнение к образованию солнечных систем» (Ред.).

5) Эйнштейна — о потере массы через лучеиспускание. Затем я использую главным образом закон постоянства вращательного момента изолированной системы.

Как многократные звезды, так и планетные системы образуются из огромных разреженных газообразных масс, чрезвычайно слабо вращающихся. Эту ничтожную скорость мы делим: на малую, среднюю и большую.

ОБРАЗОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Двойные звезды образуются от газообразных масс, быстро вращающихся.

От усложнения материи происходит уменьшение ее упругости, сжатие и ускорение вращения. Получается гигантское солнце.

Дальнейшее усложнение материи сопровождается тем же уменьшением объема, увеличением скорости и изменением формы.

Но благодаря сравнительно быстрому вращению масса не может сильно сжаться. Объем ее будет большой, центральное сгущение невелико, плотность всех частей почти одинакова и очень мала (13).

Последовательное изменение формы таково (фиг. 1—7).

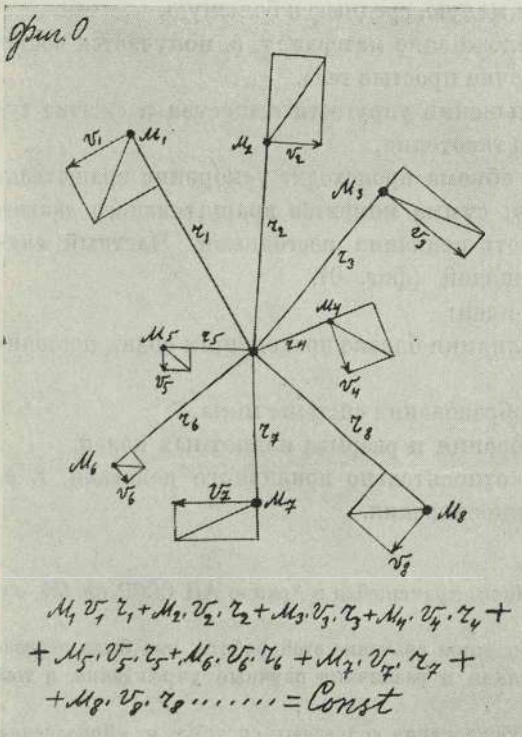
Потеря массы обоими телами вследствие лучеиспускания (Эйнштейн) заставляет их по спирали удаляться друг от друга. Так образуется двойная звезда. Несогласие времени оборота вокруг осей и по орбитам рождает приливное действие и индукцию,

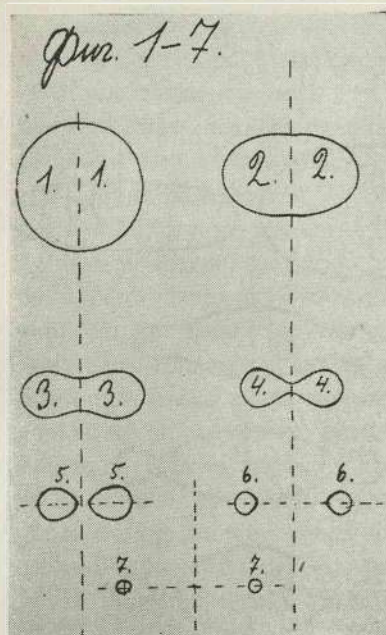
которые помогают удалению компонентов (Д. Дарвин и Р. Боль).

Компоненты могут так же разделиться и тогда получится многократное солнце.

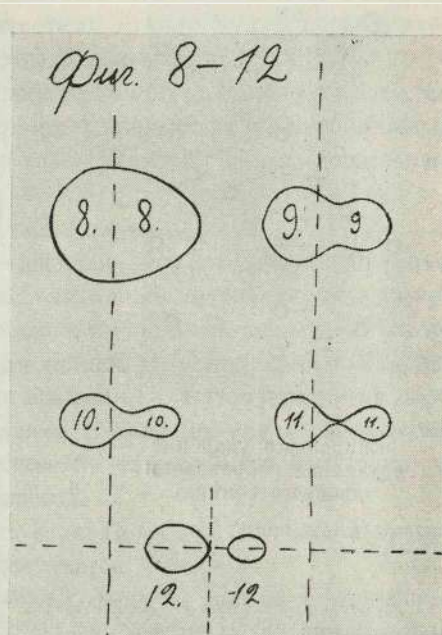
Чем меньше зачаточная скорость газообразной туманности, тем (при сгущении) получается большая разность плотностей. Тогда разделившиеся массы не будут равны. Вот так (8—12).

Потеря масс, приливное действие и индукция удалят их друг от друга, и мы получим два солнца разных объемов. Меньшее солнце скорее остынет. Получится светило с одной большой планетой. Вследствие потери массы и приливного действия оба компонента будут удаляться по спиралям (фиг. 13).





Образование двойной звезды.
Плотность близка к постоянной



Образование двойной звезды.
Заметное различие в плотности

ОБРАЗОВАНИЕ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ

При достаточно малой зачаточной скорости вращения будет большое сжатие и малый объем туманности. Центральное уплотнение будет так велико, что при сжатии и ускорении вращения отделится периферическое кольцо из неплотного материала, имеющего сравнительно небольшую массу. Примерно, так (фиг. 14—15).

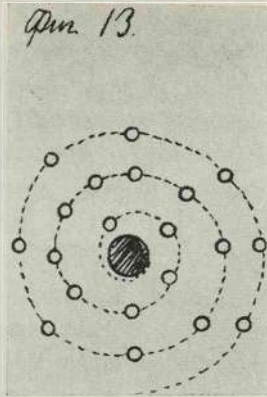
В поперечном же сечении последовательно увидим (фиг. 16—20).

Потеря массы центральным телом от лучеиспускания удалит кольцо. Внешние его части скорее уходят от светил вследствие ослабления тяготения с расстоянием. От этого оно делается шире и разделяется на несколько колец (фиг. 21).

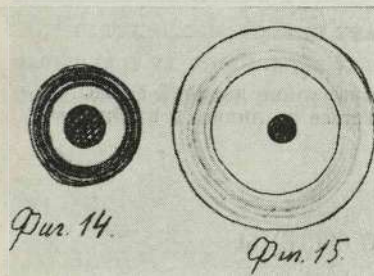
Они от потери массы светилом и уменьшения от этого притяжения продолжают удаляться друг от друга и от центрального тела (фиг. 22).

При достаточном удалении колец они разрываются (Рош) *, начиная с крайних, и образуют газообразные планеты (фиг. 22).

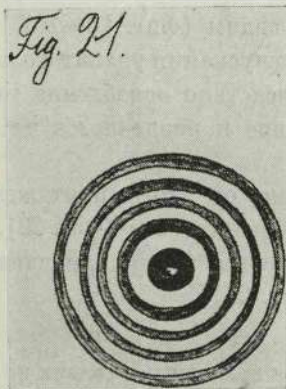
* Спутник становится неустойчивым и разрывается приливными силами не при удалении от планеты, а при приближении его менее, чем на $2^5/11$ радиуса центрального тела (предел Роша). В данном случае К. Э. Циолковский говорит о разрыве колец при удалении. Более подробные рассуждения, которые по его представлениям снимали это противоречие, приводятся в черновиках работы «Образование солнечных систем» (выводы):



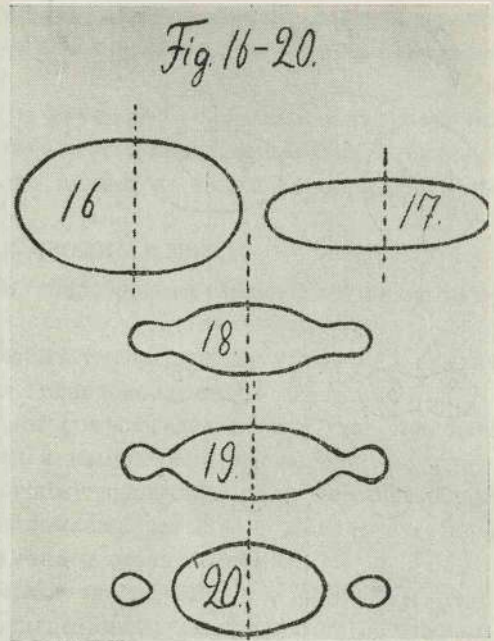
Спиральное удаление
спутника. (Образование
двойного солнца)



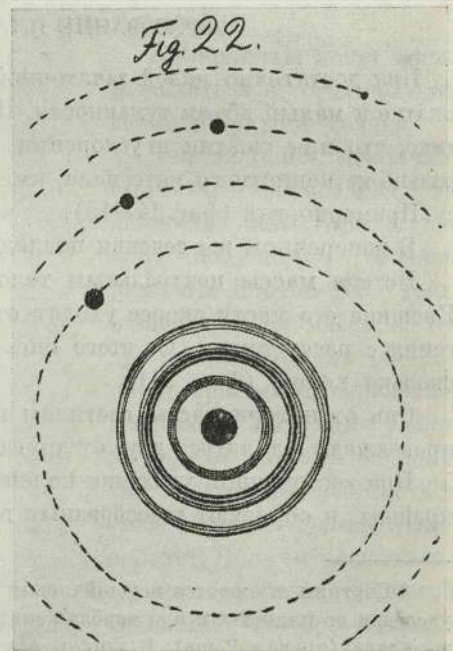
Образование плотной системы
(чрезвычайное уплотнение центра)



Образование планетной
системы: разделение одного
кольца на несколько колец.
Сильное центральное уплотнение



Образование планетной системы
в меридиональном (поперечном) сечении.
Огромная разность плотностей



Поперечный разрыв колец
и образование из них планет

С газообразными разреженными планетами по мере их сгущения делается то же, что с их родителем, т. е. они отделяют кольца и луны.

Если планета остыла при образовании ее колец, то так и остаются, потому что нет сильного лучеиспускания, нет удаления колец и причины их разрыва. Все же она действует хотя и слабо. Поэтому кольца должны когда-нибудь разорваться (Сатурн).

Так образуется планетная система, подобная нашей.

Как известно, третья доля солнц — двойные. Это указывает, что третья доля родоначальных газообразных масс имела значительную зачаточную скорость вращения. Другая треть, возможно, имела среднюю скорость и потому дала планетные системы, подобные нашей. Наконец, третья, или еще меньшая, часть имела малую скорость вращения и потому не могла образовать планет, а только сгущалась и сияла. В крайнем случае, зачаточной скорости совсем не было и тогда солнце не только было бесплодно, но и не имело вращения. Случай идеальный.

Мы видели, что последовательно, в зависимости от начальной вращательной скорости газообразных масс, получается:

- 1) спутник равной массы, т. е. двойное солнце из равных компонентов;
- 2) спутник меньшей массы, т. е. обыкновенное двойное солнце из неравных масс;
- 3) кольца планеты;
- 4) отсутствие колец и планет.

Вероятно, есть некоторая наиболее благоприятная зачаточная скорость вращения, при которой планетное плодоношение бывает наиболее обильным. Тогда получается громадное число планет.

ОБРАЗОВАНИЕ НАШЕЙ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Относительно нашей планетной системы я могу нарисовать следующую картину.

Была неправильная огромная разреженная газообразная масса. Зачаточная (чрезвычайно малая) скорость ее вращения была средней величины. Но образование более сложной, менее упругой материи и силы тяготения заставили ее сжиматься и вращаться быстрее. Получился малый объем, чрезвычайное уплотнение центральных частей, сплющивание массы и отделение кольца (Лаплас). Потеря вещества Солнцем от его лучеиспускания (Эйнштейн) заставляет кольцо удаляться, причем быстрее удаляются

«По расчету Роша на таком малом расстоянии (0,67) Луна не могла иметь форму планеты. Она должна рассеяться кругом и иметь вид кольца. Кольцо же приливным действием не могло быть удалено от Земли и потому Земля с Луной должна бы навеки иметь вид Сатурна. Как же могла образоваться Луна в настоящем ее виде? Дело в том, что Земля теряла массу в силу лучеиспускания. От этого тяжесть Земли уменьшалась, и кольцо, расширясь, удалялось от Земли. Это удаление должно было дойти до того, что сила тяготения частей кольца должна была нарушить его равновесие и преобразить в Луну. Тогда же вступило в действие приливное влияние и Луна стала удаляться не только от уменьшения массы Земли, но от приливного действия». (Архив АН СССР, ф. 555, оп. I, д. 259) (Ред.).

наружные его части. Результатом является расширение, утоньшение его и разрыв на несколько колец. Кольца продолжают удаляться от солнца и друг от друга. Последствием является разрыв (Рош) и образование газообразных планет. Тут является на сцену приливное действие (Д. Дарвин и Р. Боль) и индукция. Они способствовали удалению молодых планет от Солнца. Газообразные планеты образуют кольца и луны.

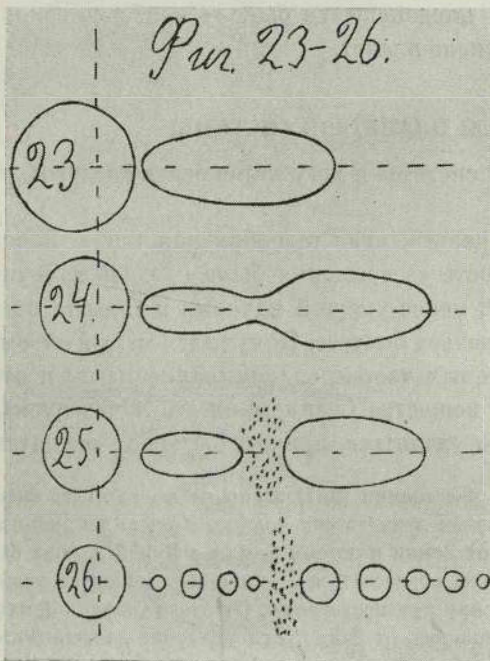
В момент отделения кольца диаметр Солнца был в 3 раза больше, чем теперь, а масса — в 17 раз. Светило вращалось в 41 раз быстрее и было сплюснуто, так что полярный диаметр был в полтора (1,5) раза меньше экваториального. Возраст планетной системы определяется в 30—60 миллиардов (10^{12}) лет. Земля прошла свой путь в 2—4 миллиарда лет. Остальное время она имела форму кольца и почти не удалялась от Солнца.

При образовании нашей планетной системы, судя по ее строению, кольцо, вероятно, сначала разделилось на два главных. Между ним образовался промежуток, заполненный остатками того и другого. Это — пояс астероидов между орбитами Марса и Юпитера.

Внешнее кольцо, разделившись на меньшие кольца, дало все наружные планеты, начиная с Юпитера. А внутреннее кольцо — все планеты от Меркурия до Марса.

Вот последовательная схема поперечного сечения колец нашей планетной системы (фиг. 23—26).

Пойдем назад, обратным порядком, от настоящего времени к давно прошедшему, в глубь времен, к рождению планет. Тогда нарисуем следующую картину.



Образование нашей планетной системы
(в поперечном сечении)

1) Масса Солнца увеличивается, вещество упрощается, упругость его возрастает, объем растет.

2) Планеты притягиваются сильнее и приближаются от этого к светилу по спиральям.

3) Приливное действие усиливается, Солнце вращается быстрее, вращательный момент его увеличивается, вращательный момент планет обязан уменьшаться.

4) Последнее возможно только при уменьшении их расстояния до Солнца.

5) Температура Солнца, планет и спутников возрастает. Они все ближе и ближе к светилу.

6) Наконец, они доходят до Солнца, температура их еще повышается, они переходят в газообразное состояние, преобразуются в кольца и сливаются со светилом.

7) Получается сильно сплющенное большое Солнце, которое вращается в 40 раз быстрее, чем теперь.

Конечно, это невозможно, как невозможен обратный ход человеческой жизни. Хотя он и совершается, но совсем не в том порядке, как идет жизнь. Мы хотели только уяснить еще более процесс образования планетной системы.

Образование планет, по Джинсу, от близкого происхождения солнц возможно, но мало вероятно. Действительно, оно требует $5 \cdot 10^{21}$ лет, между тем как возраст планетной системы определяется миллиардами (10^{12}) лет. Таким образом, последнее вероятнее первого в миллиарды (10^9) раз.

С другой стороны, Джинс готов согласиться, что двойные звезды образуются по Лапласу. Но третья (0,3) доля звезд суть двойные. А разве они не те же планетные системы? Остынут меньшие звезды, превратятся в темные — вот вам и планетная система. С другой стороны, и наша планетная система когда-то была многократной звездой*.

Цикл планетной системы находится в тесной связи с усложнением материи, т. е. с образованием из водорода 92 элементов. Но этот цикл близок и к циклу 92 элементов, который не превышает сотен миллиардов (10^{12}) лет.

Конечно, через каждые $5 \cdot 10^{21}$ лет возможно близкое прохождение солнц, но что при этом образуется — неизвестно. Вычисления Джинса до этого не доходят.

Ценные идеи Джинса касательно взаимного влияния проходящих по близости солнц относятся к постоянной плотности вещества, притом его вычисления не доходят до образования планетной системы.

Вероятность близкого прохождения солнц определяется числом $5 \cdot 10^{21}$, между тем как образование планетной системы выражается миллиардами (10^{12}) лет.

Значит, оно возможнее близкого прохождения солнц в миллионы раз. Близкое прохождение светил неизбежно случается, но мало вероятно. Притом мы не уверены, что тут образуется именно планетная система, а не что-нибудь другое. Напротив, зачаточное вращение газообразной туманности или гигантского солнца неизбежно влечет (по идеям Лапласа, Д. Дарвина и Эйнштейна) появление планетной системы. Время полного ее цикла тесно связано с временем образования 92 элементов из водорода: без усложнения материи невозможно рождение солнц и планет. Джинс готов согласиться, что двойные звезды образуются по Лапласу.

* Здесь опущены рассуждения, которые повторяются в дальнейшем (см. последний абзац стр. 110) (Ред.).

Но третья доля солнц — суть двойные звезды. А разве это не те же планетные системы? Остынут меньшие солнца: вот вам и планетная система.

Я объединяю образование планетных систем. Понимаю, что все они образовались одинаково. Если же некоторые солнца одинокие, то только потому, что малые спутники солнц успели погаснуть и мы их не видим. По малости своей они не могут колебать и спектральных линий. Это интересно, потому что говорит и о древности Млечного Пути.

ИЗ ПРОШЛОГО ЗЕМЛИ *

Возможно, что количество угольного газа в атмосфере было гораздо больше. Действительно, углекислой извести (каменные известняки, мел, мрамор и т. д.) было в земной коре меньше и, следовательно, ее углекислый газ был в воздухе. Дело в том, что при очень высокой температуре Земли, в период ее образования, осела окись кальция, а углекислый газ не мог с ней соединиться.

Когда уже температура сильно понизилась, стала с поверхности образовываться углекислая известь. Она прикрывала слои извести от дальнейшей химической реакции. Только понемногу образовывалась углекислая известь и поглощалась CO_2 , и теперь еще этот процесс не кончился.

Количество угольного газа стало еще убывать перед каменноугольным периодом. В самом деле расход на образование растений, запасов торфа, каменного угля, нефти и первых морских существ был довольно значителен. Расход много превышал приход. Поэтому количество этого драгоценного газа непрерывно убывало, пока не наступило равенство между прибылью и убылью.

Предполагают запас каменного угля в недрах Земли в 3000 млрд. т (другие дают для нефти в 10 раз меньше). Это в совокупности соответствует ровному слою угля, покрывающему сушу и воду на 4 мм (2 линии), а при плотности воды — на 6 мм. Запас очень ничтожный, но весь он, конечно, неизвестен. Главное количество угольного газа поглотил мел и образовавшиеся из него известняки и мраморы. Мы знаем, что толща их не менее 100 м, т. е. в десятки тысяч раз больше, чем слой угля. Итак, растения и их консервы поглотили сравнительно совершенно ничтожное количество газа из воздуха.

Возможно, что кислорода в атмосфере вначале, до растений, было очень мало. Образование их и их консервирование дало воздуху первый кислород и потому подготовило арену для развития животных. В каменноугольный период растительный мир достиг высшего распространения и пышности. Но он поглотил совершенно незаметное количество угольного газа из воздуха. Количество его еще было громадно, кислорода — относительно

* Статья написана в 1921 г. Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Архиве АН СССР (фонд 555, оп. 1, № 319), на которой рукой автора помечено: «читано 22 декабря 1931 г.» (Ред.)

мало. Тем не менее, мог появиться первый животный мир в виде животных-растений (зоофитов) и других морских существ, очень еще несовершенных. Они размножались, совершенствовались, переполняли океан и все более и более поглощали своими скелетами и раковинами угольный газ из атмосферы и воды. Поглощение совершалось и через непосредственное соединение горных пород и в особенности извести с углекислотой.

Но растения, истлевая, большей частью возвращали его в воздух, между тем как морские существа, отправляя на дно свои остовы, безвозвратно погребали углекислоту в ее твердом соединении. Они почти закончили дело поглощения угольного газа из атмосферы и дали меловую формацию, которая поневоле должна сократиться за недостатком углекислоты. Еще ранее поник и ослабился мир растений, еще ранее исчезла пышная угольная формация, или карбон. Но на то были другие причины.

Так как кислород в начале образования коры, по всей вероятности, весь был поглощен окислением металлов, водорода, серы и других веществ*, то отсюда можно сообразить о возможном первоначальном количестве углекислого газа, бывшего тогда в атмосфере и выделенного только растениями. Химики сообразят, что объем углекислоты был равен объему теперешнего кислорода, т. е. около одной пятой всего количества воздуха. На каждый м² поверхности Земли теперь приходится около 10 т воздуха; кислорода в нем около 2 т; прежде бывшей углекислоты будет около 3 т. Значит, углерода менее одной тонны. Этот углерод в виде каменного угля должен находиться теперь в земной коре. Слой угля был бы в полметра толщины. Но мы знаем, что известные запасы угля составляют слой примерно в 4 мм толщины. Могут быть еще неизвестные запасы. Все же, едва ли угля в 125 раз больше чем замечено геологами. Это дает надежду, что запасы каменного угля не обнаружены и в одном проценте. Огромные запасы угля могут найтись еще в глубине океанов. Когда океаны станут сушей, то этот уголь будет использован.

Напротив, средний слой углекальциевых (известковых) солей гораздо больше одного метра. Следовательно, другая часть атмосферы состояла из огромной толщи углекислоты. Количество ее было в сотни раз больше, чем кислорода в настоящее время. Тогда температура нижних слоев атмосферы была очень высокой. Возможно, что на экваторе не могли бы существовать современные животные и растения. Впрочем, температура была довольно равномерной, но и на полюсах должно быть жарко. Как же было жарко на экваторе? С полюсов и началось заселение земного шара жизнью.

Теперь нам ясна первобытная картина земного шара. Было огромное количество углекислоты, которое во много раз превышало теперешнюю атмосферу. Количество азота и подобных газов было как теперь, но сравнительно с ужасной толщей угольного газа ничтожно. Кислорода, вероятно, совсем не было или была самая малость. Лучи Солнца, едва пробиваясь через толщу атмосферы, дали сложные соединения, комбинации которых образовали первую живую материю и хлорофильных существ.

* Это представление полностью соответствует современным взглядам (Ред.).

Эти, т. е. первые растения, развиваясь, стали разлагать углекислоту, и таким образом появился в воздухе кислород. По мере распространения растений количество его все увеличивалось. Была подготовлена почва для возникновения бесхлорофильных или первых животных. Но сначала оно шло туго. Все богатство и разнообразие было на стороне растений.

Они достигли невообразимой теперь пышности и стали образовывать запасы торфа, нефти и каменного угля. Этот избыток растений и дал начало карбону (каменноугольная формация). Количество кислорода в конце этого периода достигло примерно теперешней степени.

Животный мир, сначала слабый, шел своим чередом и тоже к концу карбона достиг значительного развития в виде низших морских существ. Океаны и все воды были заполнены ими. Углекислоты оставались почти так же много, как прежде. Поэтому оба мира продолжали успешно развиваться и заполнять воду и сушу. Началась борьба между хлорофильными и животными. Победа оказалась на стороне более совершенных (бесхлорофильных). В результате — ослабление карбона.

Но огромное количество углекислоты еще мешало развитию высших родов животных, ибо они задыхались в ней. Растения, большею частью стгнивая, возвращали назад углекислоту. Морские же существа своими раковинами и скелетами поглощали ее безвозвратно, так как топили свои остовы в океане.

Результатом этого было извлечение углекислоты из воздуха и погребение ее в твердом соединении на дне вод. Угольный газ из атмосферы перешел в слой мела. Для завершения этого дела понадобилось три формации (юрская, триасовая и Пермская). Впрочем, CO_2 непосредственно поглощалась и раздробляемой почвой гор. Растениям было уже совсем плохо: и температура понижалась, и углекислого газа становилось все меньше. Сократились растения, ограничились и оставляемые ими запасы. Почти остановился карбон. Зато с поднятием некоторых частей земной коры выступили из морей слои мела, известняка и мрамора. Выступили кое-где и слои каменного угля.

Итак, громадная угольная атмосфера была почти целиком поглощена почвой, моллюсками, радиоляриями и другими полчищами водных существ. Плохо стало растениям, плохо и животным, так как многие из них питались растениями или животными, жизнь которых зависела от растений. Сократился не только хлорофильный (зеленый) мир, но и мир животных. Вот причина известного в геологии оскудения.

Возможно, что обильная гибель животных тел после меловой формации и истощения угольного газа дала запасы нефти.

Нам теперь совершенно становятся понятными распространение животных и растений на полюсах, всеобщий жаркий климат, богатство первобытного растительного мира, возникновение каменноугольного периода, образование кислорода, невообразимое богатство водных существ, поглощение ими углекислого газа, падение зеленого царства и карбона, ослабление низших водных и развитие высших животных. Ясно падение меловой формации вследствие отощания флоры и фауны от поглощения угольного газа.

Понятно, почему кислородная атмосфера ограничилась в своем развитии из углекислого газа. Если бы не образование раковин и мела, то кислорода теперь у нас в воздухе было бы гораздо (в сотни раз) больше. Также и растений и ископаемого угля. Но в том-то и дело, что водные существа стали при своем возникновении (еще с карбона) его усиленно поглощать и погребать преждевременно на дне морей в виде слоев мела. Максимум это достигло после триаса.

Богатый животный мир своим влиянием на атмосферу превзошел флору (растения). Последняя справилась с небольшим количеством углекислоты, обратив ее в теперешний кислород. Морская же фауна победила и похоронила в сотни раз большее количество углекислого газа. Но все же победа фауны над углекислым газом совершилась не так быстро: между карбоном и меловой формацией успели уместиться еще несколько промежуточных формаций, а именно: юрская, триасовая и пермская*.

Теперь наступает очередь человека, его технического могущества, извлечь снова этот газ из недр коры, наполнить им атмосферу, возвысить тем среднюю температуру Земли и восстановить всю древнюю пышность растительного мира — хотя и в ином роде, чем в эпоху карбона.

Эти новые растения будут питательны и послужат уже гораздо больше на пользу человека, чем прежние, которые жили для самих себя.

Количество угольного газа в атмосфере может быть без всякого вреда для высших животных и человека увеличено до 1%, т. е. в 30 раз сравнительно с теперешним.

Люди погибают только при содержании его в воздухе в 10—15%. Водные животные переносят его в большем количестве, лишь бы было хоть немного кислорода, который они способны поглощать без остатка.

Вот еще почему прежде сухопутных должны были появиться животные водные. Только они могли существовать в сгущенной атмосфере угольного газа.

* С точки зрения современной науки значение биосферы для эволюции атмосферы и даже всей планеты остается неоспоримым (Ред.).

БИОЛОГИЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
академика А. И. ОПАРИНА

Академик А. И. О П А Р И Н

РАБОТЫ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО
НАД ПРОБЛЕМОЙ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ

При одном лишь упоминании имени К. Э. Циолковского в уме каждого советского человека встает образ выдающегося ученого и замечательного изобретателя, посвятившего всю свою жизнь научному творчеству в области воздухоплавания и космонавтики. Но вряд ли многим известно, что широкий ум Циолковского не замыкался только в этих областях, что он упорно работал и над рядом других научных проблем, разрешение которых является необходимым для построения целостного научного мировоззрения. В частности, в рукописях Циолковского мы находим большое число работ, посвященных основным проблемам науки о жизни — биологии.

Этому вопросу посвящена едва ли не первая из его научных работ, написанная еще в 1882—1883 гг. под заголовком «Кое что из теоретической механики живых организмов». Впоследствии, когда Циолковский упоминает об этой работе, он называет ее «Механика подобных организмов». Эта работа не увидела света, но рукопись ее Циолковский посылал И. М. Сеченову, от которого получил весьма благоприятный отзыв. Основное содержание этой работы сводится к разрешению вопроса о том, как влияет сила тяжести на устройство и размеры живых существ и на их движение как на поверхности земли, так и в воздухе. Особенно много внимания уделено последней проблеме — о полете птиц и насекомых, о механизме этого полета, скорости движения крыльев, их размерам, размерам летающего человека и той работе, которую он должен при этом затратить. Отсюда, конечно, один шаг до вопросов воздухоплавания. Этим в дальнейшем и увлекается Циолковский, на многие годы оставляя биологические проблемы.

Несомненно, что мысль его и позднее продолжала работать над проблемой жизни, но только в 1916 г. он вновь возвращается к этим вопросам, но уже на совершенно иных основаниях. **Происхождение жизни** — вот та центральная проблема биологии, без которой не может быть построено законченное мировоззрение. Она-то и привлекает к себе пытливым ум Циолковского. В течение ряда лет Циолковским написано большое число работ, посвященных этой проблеме, но ни одна из них до сего времени не была опубликована в печати. Только в небольшой брошюре, изданной автором в 1929 г., на четырех страницах помещена заметка «Самозарождение»,

которая, конечно, ни в какой мере не может отразить всех тех идей, которые были развиты в этой области Циолковским.

Между тем, работы Циолковского над проблемой происхождения жизни представляют большой интерес. Они показывают, как светлый ум этого глубокого мыслителя позволил ему чисто умозрительно, без специальной подготовки, угадать правильные пути к разрешению поставленной проблемы. Особенно интересны первые работы, относящиеся к 1916 и 1919 гг. «Образование простейших живых существ» и «Начало растений на земном шаре и их развитие». Они содержат в себе результаты собственных глубоких размышлений Циолковского над проблемой происхождения жизни. В дальнейшем, по-видимому, Циолковский начинает более широко знакомиться с литературой по данному вопросу. Конечно, это в основном были популярные статьи, которые излагали главным образом механистические взгляды того времени и неправильно ориентировали автора, сводили его с того пути диалектической трактовки вопроса, на который он стихийно встал в начале своей работы. Поэтому последние статьи этой серии «Происхождение и развитие жизни на Земле» и «Происхождение живого», хотя с внешней стороны и являются более разработанными, однако по своему внутреннему содержанию менее интересны, так как в них уделяется много места изложению чужих популярных статей, только затемняющих собственные мысли автора.

Уже первая статья, помеченная 1916 годом, несмотря на внешнюю недоработанность и отрывочность изложения, носит на себе печать глубокой продуманности. Она, несомненно, является плодом длительных многолетних размышлений по вопросу о происхождении жизни. В ней прежде всего Циолковский категорически отвергает всякую попытку идеалистического разрешения этой проблемы, всякое участие таинственных жизненных сил в процессе зарождения организмов. Он прямо указывает, что эти силы не принимали здесь никакого участия.

Точно так же он отвергает и представления о заносе живых существ или жизнеспособных зародышей к нам, на Землю, из других миров. Особное внимание он уделяет критике этих представлений в начале второй своей работы из разбираемой нами серии, написанной в 1919 г. («Начало растений на земном шаре и их развитие»). Циолковский подчеркивает, что в межпланетных и межзвездных пространствах зародыши жизни безусловно должны были погибнуть. Это положение в настоящее время подтверждается целым рядом фактов, которые Циолковский еще не мог знать. Тем не менее, он правильно разрешил для себя указанный вопрос и категорически отверг панспермию, несмотря на свою горячую веру в возможность межпланетных путешествий. Но здесь мы не должны видеть противоречия. Сам Циолковский правильно пишет по этому поводу: «мои работы показали, что искусственно, особыми приемами, до осуществления которых еще не скоро дойдет человечество, можно отправить безопасно любое живое существо с Земли на другую планету и обратно». Но и такого рода перенос жизни «при участии разума» не мог иметь места, так как мы нигде и никогда не можем обнаружить сейчас следов таких высших живых су-

ществ, сознательно перелетевших к нам, на Землю. «Значит,— заключает Циолковский,— не перешла жизнь на Землю с планет даже путем разума».

Таким образом, Циолковский полностью и без всяких сомнений отвергает идеалистические пути разрешения проблемы происхождения жизни. Гораздо сложнее обстоит дело с преодолением механистических представлений. Эти представления являлись в то время господствующими в науке. Да и вся предыдущая деятельность Циолковского толкала его на этот путь. Он сам помечает свою первую работу как «попытку механика» подойти к биологическим проблемам. Поэтому вполне естественно, что в своих работах Циолковский отдает дань механистическим представлениям и иной раз несколько упрощенно толкует биологические явления. Так, он неоднократно уподобляет зарождение первичных живых существ простой кристаллизации, очень упрощенно трактует явление движения первичных живых существ, дает механистическое объяснение явления наследственности и т. д.

Особенно широкое развитие получают механистические представления в последних работах Циолковского по вопросу о происхождении жизни. Здесь мы находим и Геккелевские представления о самозарождении живых существ под влиянием каких-то внешних сил, внезапное возникновение простейших организмов подобно тому, как кристаллы выделяются из маточного раствора. Здесь идет речь также о случайном возникновении «живых молекул» и т. д. Но все эти механистические представления и теории не являются собственными представлениями Циолковского, они заимствованы им из популярной литературы того времени, почти сплошь носящей механистический характер.

Циолковский не имел возможность познакомиться с правильной диалектической трактовкой проблемы, которую так блестяще развил Ф. Энгельс в своей «Диалектике природы», так как этот труд Энгельса был опубликован на русском языке только в 1925 г. Поэтому особенно интересным является то, что он путем собственных глубоких размышлений весьма близко подошел к диалектической трактовке вопроса. Особенно отчетливо эти собственные взгляды Циолковского изложены им в первых работах, которые еще не засорены наносными, чужими мыслями.

В частности, уже в самом начале своей первой работы он подчеркивает значение эволюции материи в деле возникновения первичных живых существ. Первичные органические образования — «живые комочки», как их называет Циолковский, — превратились, по его мнению, в живые существа в результате постепенного усовершенствования своей организации на основании естественного отбора. В этих живых комочках должны были происходить взаимно-противоположные процессы созидания и разрушения. «Разрушение живого пропорционально объему его, потому что совершается во всей массе тела, пронизаемой газами», — пишет Циолковский. И далее: «Созидание же первых органических тел было пропорционально поверхности этих тел, так как происходило силою солнечных лучей...».

«И вот возникает борьба между двумя свойствами: долголетием, или временем существования зародившейся живой материи, и способностью ее

делиться на части, размножаться». «Какие особи имеют преимущество, какие поглотят всю окружающую пищу, не оставив другим необходимого для их существования?» — спрашивает Циолковский. И отвечает: «Конечно, те, в которых процессы созидания преобладают над процессами разрушения». «Наиболее выгодные из этих форм, — пишет далее он, — удерживают естественный подбор в борьбе за существование родов».

На этой основе у первичных органических образований возникают новые качества, новые более совершенные формы организации: делимость, способность к обмену, дыханию, к самостоятельному движению и т. д. Пусть все эти свойства выводятся Циолковским довольно упрощенно, но мы не должны забывать, что данные работы написаны не специалистом-биологом, не человеком, в деталях владеющим всеми фактами, относящимися к данному вопросу. Важен основной принцип, который Циолковский правильно кладет в основу своих представлений, принцип эволюционного развития материи на основе борьбы противоположностей.

С точки зрения диалектического материализма жизнь — это особая форма существования движущейся материи. Эта форма возникает как новое качество материи в процессе ее исторического развития. В противоположность механицизму диалектический материализм утверждает, что жизнь действительно некогда возникла, но возникла не в результате воздействия какого-то духовного начала или механического формирования из неорганических веществ.

Первичные живые существа возникли из безжизненной материи, но они могли сложиться лишь как результат длительной эволюции этой материи, лишь как определенная ступень, этап в ее историческом развитии. Еще Ф. Энгельс в «Диалектике природы» подверг сокрушительной критике как теорию самозарождения, так и представление о вечности жизни. Он показал, что появлению жизни должна была предшествовать длительная эволюция материи, причем в процессе этой эволюции возникали все новые и новые качества, подчиняющиеся все более и более сложным закономерностям.

«Может быть, — пишет он, — прошли тысячелетия, пока не создались условия, необходимые для следующего шага вперед, и из этого бесформенного белка... не произошла благодаря образованию ядра и оболочки первая клетка. Но вместе с этой первой клеткой была дана и основа для формообразования всего органического мира» (Ф. Энгельс. Диалектика природы, Партиздат, 1933 г., стр. 95).

В настоящее время наши знания в области астрономии, геологии, химии и биологии настолько возросли, что мы можем сейчас, исходя из этого обширного научного материала, не только убедиться в правильности основного диалектического принципа, но и довольно отчетливо нарисовать себе картину той последовательной эволюции материи, которая привела к возникновению первичных живых существ.

Подтвержденная громадным фактическим материалом дарвиновская теория происхождения видов наглядно показывает, как из этих примитивных, первичных организмов на основе борьбы за существование возникали

все более и более сложные и совершенные живые существа. Сперва образовались одноклеточные, затем появились и более сложно построенные живые существа. В конечном итоге эволюция привела к возникновению всех тех сложных и разнообразных растений и животных, которые населяют сейчас Землю, в том числе и к возникновению человека.

Мы не сомневаемся, что советский читатель с интересом познакомится с публикуемыми ниже работами Циолковского по проблеме происхождения жизни и найдет в этих работах много новых глубоких мыслей, которые явились результатом его упорных исканий в области этой центральной проблемы естествознания.

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ *

ПОЯВЛЕНИЕ ПЕРВОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАТЕРИИ. ПРЕДЕЛ РОСТА

Первое существо было микроскопическим комочком сложного химического соединения, которое под влиянием солнечных лучей и окружающей жидкой среды, пропитанной газами, частью разлагалось и выделяло из себя более простые газы и жидкости, частью образовывалось вновь. Оно разрушалось и создавалось одновременно. Началось с самозарождения.

Самозарождение сложных (органических) тел не так просто, как самообразование тел простых. Разве так называемыми «мертвыми» силами природы не образуются сложные тела земной коры, разве не преобразуются они непрерывно. В ретортах тоже в образовании иногда очень сложных тел таинственные «жизненные силы» не принимают никакого участия. Явления кристаллизации дают все, что наблюдают в «живых» телах (лишь в меньшем масштабе).

Понятно, что объем живого комочка должен расти до известного предела, иначе не было бы и самого комочка.

Разрушение «живого» пропорционально объему его, потому что совершается во всей массе тела, проницаемой газами. Созидание же первых органических тел было пропорционально поверхности этих тел, так как происходило силою солнечных лучей. Отсюда видно, что разрушение, с течением времени, т. е. с увеличением объема комочка, брало перевес над работою солнечных лучей, отчего наступало равновесие между приходом и расходом, и рост комочка останавливался.

БОРЬБА МЕЖДУ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ ЖИЗНИ И СПОСОБНОСТЬЮ РАЗМНОЖАТЬСЯ. ЗАНОС ЖИЗНИ ИЗ МИРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Одни из комочков самозарождались, росли подобно кристаллам и погибали с течением времени при неблагоприятных условиях среды; другие, при максимальных размерах, под влиянием внешних или внутренних воздей-

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 295). Рукопись датирована 21 февраля 1916 г. (Ред.).

ствий делились на несколько частей. Каждая из них обладала свойствами целого*.

И вот возникает борьба между двумя свойствами: долголетием, или временем существования зародившейся живой материи, и способностью ее делиться на части или размножаться. Какие особи имеют преимущество, какие поглотят всю окружающую пищу, не оставив другим необходимого для их существования? Для возникновения вновь живой материи из смеси неорганических веществ надо массу благоприятных условий, которые повторяются едва ли часто, как мы можем судить по бесплодности попыток создать искусственно условия для самозарождения. Но положим, что в данном бассейне это совершается раз в день. Через 30 дней их будет в бассейне 30 штук, — допустим, бессмертных. Но вот одна из них обладает способностью каждый день делиться пополам. Через 30 дней наша бактерия со своим потомством составит 2 или более миллиона особей. На каждую бессмертную придется более 30 000 способных медленно размножаться. Если бы даже 90% их вымерло, то и тогда на одну бессмертную останется 3000 смертных комочков.

Все-таки неблагоприятные условия должны когда-нибудь покончить и бессмертную. Так что у нас собственно борьба: между долгою жизни и способностью размножаться. Конечно, обе способности в борьбе за существование имеют значение, но большее значение имеет свойство делиться на части которое и водворяется прочно в среде первой живой материи.

ПРИЧИНА УДЛИНЕННОЙ ФОРМЫ И ДЕЛИМОСТИ

Но тут возникает вопрос: как могла возникнуть способность делиться на части? Мы видели, что разрушение органической материи при округлой ее форме возрастает быстрее ее возникновения, что ограничивает рост комочка. Но ничто не мешает ему после достижения наибольшего диаметра удлиняться, расти в сторону, пускать отростки, как кристаллы. В них создание, энергия солнечных лучей быстрее разрушения... Такие удлиняются и пускают отростки, пока волнение среды, ветер или другие внешние механические силы не разорвут длинное тело на части.

Вот источник примитивного размножения.

Конечно, могут быть и в самом комочке причины разрыва.

ВЛИЯНИЕ ДЕЛИМОСТИ НА УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РОДА

Существо делящееся распространялось течениями и ветром по большому пространству, подвергалось разным условиям — то хорошим, то плохим.

* В рукописи далее идет следующий абзац:

«Но тут возникает вопрос: как могло происходить это деление? Рост не мог происходить равномерно, так как лучи освещают одну часть тела более другой. Отсюда неправильная форма, удлинение тела. В более тонких частях живой палочки разрушение будет происходить быстрее»...

Затем весь этот абзац автором взят в скобки и зачеркнут и в конце его после многоточия добавлено: «Нет, темное дело» (Ред.).

Это изменяло свойства потомства то в хорошую, то в дурную сторону. Число его было громадно (геометрическая прогрессия). Но так как средства пропитания ограничены, то выживали только наиболее приспособленные. Остальные почти в бесконечном числе погибали. Отсюда видно, как делимость способствовала не только преобладанию, но и разнообразию, и усовершенствованию рода.

ДЫХАНИЕ И ПИТАНИЕ ПЕРВЫХ СУЩЕСТВ

Первое существо все способности свои соединяло во всем теле: дыхание, питание, рост, раздражимость и чувствительность. Эта раздражимость и чувствительность были настолько же выше таких свойств в мертвой материи, насколько она была проще живой, т. е. сложной. Не было отдельных органов, где бы по преимуществу сосредоточились эти способности. Спрашивается, какого рода эти свойства, т. е. какова их причина.

Причина — известные или неизвестные, но неизбежные фактические и химические явления.

Дыхание — это простое проникновение газов в полужидкое живое тело в силу диффузии и осмоса и обратное выделение новообразовавшихся газов из живого комочка.

Питание происходило в силу этого и естественной химической реакции между проникающими в комочек газами и жидкостями. В первых существах большое участие при этом принимали лучи солнца, конечно, проникали в тело кристаллоиды (простейшие тела), а образовывались коллоиды (сложные тела), которые поэтому выделялись медленнее из тела и потому увеличивали его объем. Происходил рост. Раздражимость есть распространение перемены одной части комочка к другой. Так же распространяются по «мертвому» телу теплота, электричество, свет, химическая реакция и т. д.

Первобытные ощущения комочка невозможно себе представить, но они есть и отличаются от более постоянного состояния материи, где нет заметных химических процессов.

БОРЬБА ЗА МАЛОСТЬ

Большие размеры простейших существ были не выгодны им (при одной форме, например, шарообразной), так как питание солнцем ослаблялось, будучи пропорционально поверхности, а не массе. Но и очень малые массы были невозможны, так как комочек сложной материи поневоле должен состоять из нескольких сотен тысяч атомов. Кроме того, малые комочки в случае голодовки скорее от нее погибали. Как известно, есть существа, недоступные по малости даже для ультрамикроскопа. Примитивные существа на заре жизни, вероятно, были еще меньше. Но такие не могли без сложного приспособления делиться и потому должны быть больше невидимых бактерий. Последние вероятно образовались или укрепились позднее.

КАК РОДИЛОСЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ У ПРОСТЕЙШИХ СУЩЕСТВ

Сначала наши живые комочки вроде коков, бацилл, бактерий и т. д. были неподвижны, но вот некоторые из них приобрели самостоятельное движение. Неподвижные усваивали только ближайший питательный материал, который подходил к существу средствами диффузии довольно медленно. Движущийся же комочек имел преимущество в питательном материале в отношении количества и разнообразия. Так что часть способных делиться стала размножаться быстрее и потеснила неподвижных. Кроме того, подвижные могли приставать к питательному источнику и после истощения его оставлять.

Почему отставшие не всегда вымирают.

Существа, отставшие в способности движения, должны вымереть. Но это не всегда совершается.

Во-первых, усовершенствование новой породы может сопровождаться уменьшением каких-нибудь способностей, например, размножения, во-вторых, отсталые существа в борьбе за существование могут приобрести новую способность или усилить старую, например, способность размножения. Таким образом, не прекращают своего существования бесчисленные роды самых разнообразных существ: недостатки их компенсируются достоинствами: большею частью даром размножения. Получается равновесие, и бактерия уживается с человеком и даже — иногда побеждает его.

СПОСОБЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Самостоятельное движение могло совершаться разными средствами. Ритмическая сократительность всего тела может вызвать движение только при отклонении от шарообразной формы. Поэтому естественный подбор должен покровительствовать не только ритмическому движению, но отклонению от шарообразной формы. Колебательное движение некоторых выдающихся частей тела, например отростков или волосков, может вызвать поступательное движение тогда, когда тело не шарообразно, когда движение волосков в одну сторону энергичнее, чем в другую, или когда волоски имеют форму ножей. Движение получается и взад и вперед, но вперед оно быстрее, чем назад, так что рождается в общем поступательное движение. Такое движение может быть вызвано еще червеобразным или волнообразным движением удлиненной бактерии.

Все это очень сложно. Но причины движения могут быть и проще, так это мы видим на искусственных амебообразных движениях мертвой материи. Выделение и поглощение веществ из комочка, если оно неравномерно, также может вызвать его движение. Также неодинаковость напряжения поверхности бациллы. Всякому известно движение кусочка калия или натрия в воде. Но ведь и в живом теле неизбежно идут химические процессы.

ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА РИТМИЧЕСКОЙ СОКРАТИМОСТИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Причина эта может быть следующая. Химическая реакция в комочке под влиянием солнечных лучей вызывает образование разнородных веществ.

Вначале, по малому их количеству, соединения с кислородом, проникающим комочек, нет; но вот их накопляется столько, что происходит взрыв, т. е. быстрое соединение с кислородом или с другими веществами комочка. Внезапное образование газов и развитие теплоты при химическом соединении распирает комочек. Но он опять сжимается от охлаждения и выделения, в силу диффузии продуктов взрыва. Накопление вещества и взрывание его повторяется многократно. Вот, может быть, и причина периодического расширения и сокращения. Конечно, не все вещества способны при смешании самостоятельно взрываться, но такие есть.

Причина взрывания может заключаться и в солнечных лучах. Лучи эти, встречая сферическую поверхность тела инфузории, преломляются и дают в фокус усиленное нагревание и взрыв. Мне однажды случилось наблюдать лампу, дающую непрерывно взрывы, как бензиновый мотор. Причина — проникновение в резервуар воздуха и плохо очищенный керосин. Нагревание от пламени проникало внутрь резервуара.

Комочки, имеющие не шарообразную форму, при ритмической сократительности тела двигались поступательно или вращательно (с симметричной формой), другие оставались на месте. Первые питались и размножались лучше, а потому потеснили имеющих неподходящую форму. Вырабатывается особая продолговатая форма, благоприятствующая быстрейшему поступательному движению.

Также могла возникнуть и специализация некоторых частей комочка с усиленною сократительностью, т. е. образование особых органов движения, вроде колеблющихся волосков. Движение могло быть при увеличении размеров, которое ослабляло быстроту размножения и было невыгодно. Но невыгода уравнивалась, а иногда превосходилась преимуществами движения. Борьба могла кончиться в ничью, а могла дать и победу двигающимся.

БОРЬБА В СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ. УВЕЛИЧЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА ПРИ ПРОСТЕЙШЕМ УСТРОЙСТВЕ НЕ УВЕЛИЧИВАЕТ СКОРОСТИ

Начинается борьба в скорости движения маленьких существ. Форма при этом имела значение, но масса тела — очень малое. Действительно, при первобытном устройстве тела энергия, выделяемая им, завися от солнечных лучей, пропорциональна поверхности тела. Сопротивление в жидкой среде движению живого тела тоже приблизительно пропорционально поверхности. Если, например, поверхность комочка увеличится в 10 раз, то во столько же раз увеличатся его энергия и сопротивление среды. Скорость, очевидно, останется неизменной. Следовательно, размер простейших существ не увеличится при борьбе за поступательную скорость.

НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И КОНЪЮНКЦИЯ

При размножении делением или почкованием, когда тело отделяет от себя половину или меньшую часть, естественно, что из этой части развивается целое, так как сложный состав части такой же, как и оставшейся (или другой половины). Это подобно тому, как из осколка кристалла в растворе восстанавливается целый кристалл, увеличиваясь непрерывно в объеме при благоприятных условиях. Так возникла наследственность или передача свойства родителей детям.

Но при таком размножении возникла все большая и большая рознь в физическом и химическом составе организмов. При каждом делении получалась хоть маленькая случайная разница. Очевидно, с каждым новым поколением она возрастала. В результате — вырождение и гибель рода.

В силу подвижности комочков некоторые из них случайно сталкивались и сливались в одно тело. Если они по составу взаимно дополняли друг друга, то утраченная цельность или ослабленные множеством делений способности снова возникали и давали сильный род. Так возникла конъюнкция, которая теперь в мире растений и животных играет такую важную роль. Но и без конъюнкций возможно существование и продолжение рода. Споровое размножение не портит род даже весьма сложных организмов. Также вегетативное размножение (корнями, клетками, ветками вообще частями существа) растений и животных не ослабляет род.

Действительно, из множества потомков должны же хоть немногие обладать нормальным составом. Размножение делением и почкованием или спорами только несовершенно, неэкономно, так как дает много отброса, который вырождается или погибает. Простейший способ размножения повторяет довольно точно своего родителя. В пример приведем прививки яблок и других фруктов.

УСЛОЖНЕНИЕ ТЕЛА, ИЛИ ОБРАЗОВАНИЕ ОРГАНОВ

Мы видели, что большой размер не рождает большую скорость движения*. Но когда, например, тело питается не только наружной своей поверхностью, но и внутренней, то результаты будут другие. Возникновение желудка или внутренней трубки, через которую двигается среда, дает преимущество.

Такие организмы, поглощая более мелкие существа, обладали большею энергиею, а потому и большею самостоятельную скоростью. В этом случае масса давала явные выгоды. Те же выгоды получаются, если энергия выделяется периодически. Запасается она солнцем, но выделяется всем телом, т. е. пропорционально кубу размеров. В таком случае должны быть периоды ослабления, истощения.

* Это не совсем точно; коэффициент трения должен хоть немного уменьшиться с увеличением размеров подобно изменяющемуся телу (К. Э. Ц.).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ХИЩНИКОВ

Образование желудка увеличивало энергию новым приходом: желудок легко задерживал живую мелюзгу, которой и пополнялась значительно энергия существа с желудком. Он был ловушкой. Хотя еще раньше появились коки, способные при столкновении поглощать себе подобных и усиливаться насчет их. Не то это была конъюнкция, не то питание. Во всяком случае желудок лучше улавливал пищу. Отсюда возникновение хищничества, которое вместе с увеличением скорости движения давало преимущество большим инфузориям с желудком.

Солнечные лучи уже стали играть в развитии энергии второстепенную роль, а иногда и вообще не играли роли. Трубки, проникающие тело, давали существу и кислород в усиленной порции. Так одновременно возникли и первые органы дыхания (подобие жабр).

Явление кристаллизации показывает (например на окне зимой, снежинки, сатурново дерево и т. д.), как причудливо слагаются кристаллы, образуя самые разнообразные формы, в зависимости от условий. И образование самых разнообразных форм живых комочков не более мудрено.

Наиболее выгодные из этих форм удерживают естественный подбор в борьбе за существование родов.

СКЛОННОСТЬ К СВЕТУ И СКЛОННОСТЬ К ТЕМНОТЕ

В открытых океанах первая жизнь должна поддерживаться влиянием света. Под его влиянием живые комочки могут находиться в покое или в вечном движении. И рост, и энергию движения дают солнечные лучи. С наступлением темноты естественно и прекращение движения. Простейшие должны бы двигаться при свете и останавливаться ночью или в тени. Но тени в океане нет, движение беспредельно и существо периодически (т. е. днем) и без конца пользуется светом. Не то в ограниченном бассейне озер и пресных вод. Остановка в тени невыгодна для существа, тени же кругом так много. Отсюда видно, что должна родиться способность жить хоть некоторое время и в темноте.

Вот тут-то рост простейших или масса их получает серьезное значение. Действительная масса комочка пропорциональна кубу его размеров. Это есть запас живой силы. Чем он больше, тем больше этим запасом может двигаться в темноте существо. Сопротивление же среды пропорционально квадрату размеров комочка. Так борьба за существование вырабатывает массу. Массивные менее погибают в тени, но зато они, естественно, медленнее размножаются.

Получается или может получиться при известных размерах равновесие между массивными и легкими; и те и другие породы существуют, не будучи в состоянии совсем уничтожить друг друга.

Как же происходит усиленное движение в тени, т. е. избегание тени?

Высокая температура комочка от действия лучей может способствовать быстрому росту, но не движению. На солнце такие существа будут

покоиться, а в тени придут в быстрое движение, которое и выведет их из тени.

Значит, движение пресноводных должно совершаться разложением самого живого комочка. Образующиеся в нем вещества дают периодические взрывы и движение. Свет это саморазложение останавливает. Конечно, достаточно и вечного движения как в темноте, так и при свете. Покой же в световых лучах уже будет усложнением, усовершенствованием*.

ОПРЕДЕЛЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ

Вернемся к океаническим существам. Там периодическое взрывание может происходить в одной какой-либо определенной части тела, имеющей сферическую форму и дающей нагревательный фокус. Отсюда видно, что тело преимущественно будет двигаться или в одном направлении, или в противоположном по отношению к солнцу (?).

БАКТЕРИЯ И СОЛНЦЕ

Существа, не нуждающиеся в солнце, живущие питательными запасами окружающей среды, паразитные, для которых солнце губительно, или гибнут в нем, или приходят в движение действием того же солнца, пока не попадут в тень.

Хищные сложного устройства, с желудком, органами хватания и т. п., нуждаются в солнце более, потому что в солнечных лучах больше материала для их ловли. Они, напротив, не избегают солнца. Там движение должно совершиться более запасами тела. Они двигаются и в тени и на солнце. Оно не должно парализовать органы движения**.

ВЛЕЧЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ИЛИ ЕЕ ПРИТЯГИВАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НА ЖИВОЕ

Положим, что в каком-нибудь месте среды находится питательный источник, почему существо, попав в питательную сферу, не отходит от нее. Может быть усиленное питание, как и солнце, иногда возбуждает рост, но не движение. Напротив, когда живой комочек отходит от питательного пункта, движение ускоряется и существо скоро возвращается в тот же пункт, где опять останавливается. Наблюдателю покажется, что существа стремятся к этому пункту, потому что тут собирается вследствие остановки или замедления движения громадная толпа.

* Выделенное дописано позднее, по новой орфографии, т. е. не ранее 1918 г. (Ред.).

** Против последних четырех фраз на полях рукописи рукою автора (по новой орфографии, следовательно, через 3—4 года) написано: «Как же все это получается?» (Ред.).

ПРЕСЛЕДОВАНИЕ ДОБЫЧИ

На этом рукопись «Образование живых существ» обрывается.

На обложке же ее, на третьей и четвертой страницах, набросан план работы — «Образование разных видов живых существ», который мы далее и приводим.

ОБРАЗОВАНИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ

(научная фантазия)

План

Система

Возникновение живой материи. Его трудность и редкость. Борьба между продолжительностью жизни и способностью размножаться. Значение массы, как запаса энергии, пригодной на трудный час. Массивные преодолели. Конъюнкция. Способность засыхать, высыхать и т. п.

Большие бактерии отставали в размножении, малые более выжили при неблагоприятных условиях, но были многочисленны.

Пример:

$$\begin{array}{l} \text{Б. б. 2 дня} \dots\dots\dots 2 \quad 4 \quad 8 \quad 16 \quad 32 \dots\dots \frac{2^n}{2^n} = 2^{-n} = \frac{1}{2^n} \\ \text{М. б. 1 день} \dots\dots\dots 4 \quad 16 \quad 64 \quad 256 \quad 1024 \dots\dots \frac{2^n}{2^{2n}} = 2^{-n} = \frac{1}{2^n} \end{array}$$

Возникновение многоклеточных; двухклеточная произошла оттого, что начала делиться, но не доделилась; также получились многоклеточные. Образование формы. Сократительность, пульсация. Значение формы, образование волосков. Возникновение движения. Получались подвижные и неподвижные. Как совершалось движение: движение придатков более энергичное в одну сторону, чем в другую. Червеобразное движение. Что не могло вызвать движение? Поверхность увеличивала энергию, что скорость этим путем не могла увеличиться. Массивность имела: разрыв волнами и т. д. Значение формы. Ловушка в виде воронки, трубы желудка. Усиление энергии, скорости. Возникновение хищных. Чистые хищники, любители темноты и полухищники — переносящие свет. Чувствительность к свету, к питательной среде.

Где-нибудь было усиленное сосредоточение лучей от преломления, которое вызвало усиленное движение — сократительность.

В темноте наступало успокоение. Свет, вообще, смотря по материи, мог возбуждать усиленную или ослабленную сократительность и потому мог в одних существах вызывать удаление от света и покой сравн. в темноте, в других — ослабленное движение и покой в свете. При поглощении мелких выгоднее иметь большие объемы: масса — запас, скорость. Размноженность усиливается, благодаря огромному числу поглощений. Питательная среда вызывает успокоение — меньшую скорость. Тогда они более времени будут пребывать в питательной среде, чем не в питательной. Густая толпа будет в пунктах наиболее богатых пит. веществ. Глаза. Нервы, как материя с особыми взрывчатыми свойствами.

НАЧАЛО РАСТЕНИЙ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ И ИХ РАЗВИТИЕ *

*(Оригинальный очерк. Цель — осмыслить происхождение
и развитие растений. Написано в 1919 г.)*

1. ВОЗМОЖЕН ЛИ ПЕРЕНОС ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЮ С ИНЫХ ПЛАНЕТ **

Многие думают, что жизнь так сложна, так загадочна, что начало ее не могло зародиться на таком ничтожном клочке, как Земля, что жизнь есть произведение безграничной вселенной, что она зародилась где-то на планетах, между далекими солнцами, в течение бесконечности веков и только перенесена случайно на Землю, где и дала роскошный букет. Конечно, это возможно. Но не преувеличивают ли загадочность жизни. Это — первое. Второе — перенос жизни через мировые пространства довольно трудно допустить. Разберем сначала первое.

Прежде всего заметим, что мертвое и живое составлено из одних и тех же веществ или элементов природы, число которых доходит до 90. Правда, на Земле в состав живого некоторые из этих элементов не входят. Но при других условиях жизни, на других планетах, возможно, что главную составную часть живых существ образуют, например, не углерод, водород, азот, сера, кислород, фосфор и т. д., а другие элементы, эти же исключаются.

Заметим еще, что по новейшим данным науки эти 90 элементов не элементы, а тела сложные, переходящие одно в другое и имеющие одно общее неизвестное пока начало, вроде водорода, электрона или атома эфира. Это особенно объединяет всю вселенную, все живое и мертвое и заставляет философов находить в космосе лишь одно живое.

Собственно, мертвого мы ничего не знаем. Говорит нам о себе только человек. Животное о себе ничего сообщить не может, — тем более то, что мы считаем за мертвое. Значит, если все едино, то все живо.

И живое и мертвое подчиняются одним и тем же законам механики, физики и химии: например законам сохранения вещества и энергии.

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 300). Рукопись датирована 1919 г. (Ред.).

** Раздел «Возможен ли перенос...» опубликован в журнале «В мастерской природы», 1922, № 1, стр. 13—17 (Ред.).

Мертвая природа нисколько не понятней природы живой и, кроме того, между явлениями той и другой наблюдается громадное сходство. Можно сказать, что нет явления, свойственного живой природе, которое не наблюдалось бы и в мертвой. Образование кристаллов также загадочно, как и образование животного из зародыша. Атом, молекула и электрон также непостижимы, как и живое существо.

Живое существо растет, но и кристаллы растут. Рост животного имеет предел, но и рост кристалла также. Замечено, что кристаллы, как живые существа, сначала усиленное растут, затем рост их замедляется и останавливается.

Животное рождается от зародыша, но и кристалл также: если из раствора или из воздуха не попадет в раствор хотя бы микроскопический кристаллик, то кристаллизация не начнется. От большого кристалла в растворе отваливаются микроскопические и они дают начало новым видимым кристаллам. Разве это не аналогично рождению. Низшие существа можно разделить на части и каждая из них образует целое существо. Кристалл также можно расколоть и обе половинки превращаются в насыщенном растворе в целые.

Удивительна способность даже более высоких животных восстанавливать пораненные органы и даже отнятые члены. Такою же способностью, как видно, обладает и кристалл: изуродованный кристалл восстанавливает свою форму в растворе.

Обмен веществ существует и у кристаллов, погруженных в насыщенный раствор: одни части его растворяются и переходят в раствор, другие из раствора осаждаются на кристалл.

Кристаллы размножаются, как колонии бактерий, образуя красивые формы в виде деревьев, кустарников и т. д. Микроскопические части их нередко отделяются, как споры существ, уносятся течением жидкости и дают начало новым неделимым или их колониям.

Вот только форма кристаллов угловата. Однако каждое вещество имеет свою определенную кристаллическую форму, изменяющуюся только в зависимости от условий кристаллизации, температуры, быстроты охлаждения раствора, испарения и т. п.

Но кристаллические колонии (друзы) имеют много разнообразных, очень сложных и красивых форм, каковы, например, снежинки. Но и тут разнообразие ограничено условиями.

Также и зародыши живых существ иногда дают несколько форм, как например: яичко, гусеница, куколка, бабочка. Аксолотль, в зависимости от условий, бывает то водным существом с жабрами, то сухопутным с легкими (амблистома). Водоземные — то рыбы, то наземные животные. Сам человек диморфен (мужчина и женщина), и каждое животное непрерывно изменяется. Полиморфны пчелы, муравьи и другие существа.

Есть полужидкие кристаллы, форма которых более или менее округлая, как живых клеточек. Они могут сливаться в один и образовать кристалл большого размера, но такого же вида. Это соответствует конъюгации существ.

Деление большого кристалла на части дает опять кристаллы той же формы, что соответствует размножению делением или почкованием.

Живое существо нередко двигается под влиянием внутренних или внешних причин. Буквально то же мы видим в мертвом мире. Ветер, вода, песок, глина и камни находятся в вечном поступательном или ритмическом движении, причины которого то лежат внутри самого тела, то вне его. Кусочек натрия или калия также двигается при химическом взаимодействии с водой. Самые молекулы и атомы находятся в вечном движении, а под влиянием их толчков — и более крупные пылинки и соринки.

В живом совершается непрерывное явление диффузии, осмоса, химической деятельности. Но того же мы никак не можем отнять и у мертвой ткани. Дерево истлевет, железо окисляется, масло тоже, камень химически изменяется, разваливается, соль растворяется, все газы, жидкости и твердые тела воздействуют друг на друга и более или менее проникаются взаимно.

Но мертвая материя может дать и движения, изумительно похожие на движения низших существ амеб, корненожек, инфузорий, как показали в последнее время Год, Квинке, Румблер и другие ученые. Бючли показал, что мертвая материя может принимать пенистую и ячеистую структуру, как и живая ткань.

Если взять простейшее живое существо, то и свойства его будут не очень разнообразны и очень близки к свойствам сложной, но не живой материи.

Даже болезнь не чужда ей. Так, можно заразить какую-либо оловянную вещь особой болезнью олова, и она начнет рассыпаться в порошок. Если изолировать или вырезать зараженное место, то вещь исцеляется, т. е. болезнь останавливается в своем развитии через операцию так же, как и в живом существе.

Высшее животное мыслит, соображает. Но исчислительные машины делают то же. С другой стороны — какое же соображение у инфузории или бактерии.

Животное чувствует радость и страдание. Но, во-первых, про ощущения низших существ мы ничего не знаем, во-вторых — не можем утверждать, что неорганическая материя лишена чувствительности.

Если жизнь так исключительна, то почему же она так легко уничтожается? Чуть условия для нее неблагоприятные — и она погасает: живая материя превращается в мертвую. С другой стороны, довольно ничтожного толчка в виде зародыша, чтобы хотя всю вселенную превратить в живую материю. Какое-нибудь семя лопуха в короткое время может всю мертвую поверхность земного шара покрыть цветущими плантациями этого растения. Какая-нибудь оплодотворенная икринка также в несколько лет может заполнить воды океана великолепной рыбой.

Как велика изменяемость живого! Биологи допускают, что род однопузырника (существо, состоящее из одного пузырька или клетки) в конце концов дал человека. Но какая разница между тем и другим, т. е. между какую-либо бактерию и человеком! Неужели она меньше, чем разница

между клеточкой однопузырника и неорганической материею. Если кака-нибудь бактерия могла превратиться в высшее существо, то тем более неорганическое могло дать бактерию!..

Теперь посмотрим, насколько допустимо перенесение жизни на Землю из иных миров. Жизнь может быть занесена к нам: с планет нашей же солнечной системы, с планет ближайшего солнца, с одной из планет Млечного Пути.

Планет в нашей солнечной системе так мало и условия жизни там так неблагоприятны, что зарождение на них существ так же вероятно, как и на Земле. Если же на Земле оно недопустимо, то невозможно допустить и на планетах нашей системы. Но, положим, все же, что жизнь зародилась на планетах нашей солнечной системы. Как же она перешла к нам? Каким образом, например, с Марса зародыш мог попасть на Землю? Вулкан мог, во время грандиозного извержения, выбросить с необычайной быстротой камень. Пролетая через атмосферу Марса, он накалится и убьет все встреченные им в атмосфере Марса зародыши жизни — не только ударом, но и своей высокою температурою. Но, допустим, что какой-нибудь зародыш не погиб, выхвачен живьем из атмосферы Марса и летит со своим камнем прямехонько на Землю. Действие непосредственных лучей солнца, влияние то высокой (100°C), то низкой (-273°C) температуры, абсолютно пустое пространство — наверно, моментально убьет самое простое и выносливое семя.

Мы, однако, предположим, что оно благополучно долетело до земной атмосферы. Тут камень со страшной быстротой ее проникает, накаливается добела и, конечно, убивает этой температурой несомый зародыш. Если бы он и остался цел, то падение камня в воду или удар в землю опять подвергнул бы его существованию значительному риску. Заметим, что даже от сопротивления атмосферы камень не только нагревается с поверхности, но и внутри во всей массе, как бы велика она ни была. Так что и внутри камня зародыш бы был убит.

Каким же путем еще могло бы попасть к нам живое семя? Какая-нибудь планета нашей солнечной системы под влиянием накопления в ней радиоактивных веществ могла бы разорваться на части. Одна из них могла бы попасть на Землю. Если эта часть мала, как наш выкинутый из вулкана камень, то неудачная история повторится. Если же падающая масса велика, то легко могло случиться, что внутри ее, охраняемые массой от межпланетных колебаний, совершенно сохранились зародыши живых существ. Пусть они благополучно долетят до Земли. Удар массы о Землю будет так ужасен, что не только сама масса накалится равномерно снаружи и внутри, но накалит и планету. Так что не только в упавшей массе, но и на всей Земле должна уничтожиться жизнь, если бы она была ранее на ней.

Мои работы показали, что искусственно, особыми приемами, до осуществления которых еще не скоро дойдет человечество, можно отправить безопасно любое живое существо с Земли на другую планету или обратно. Поэтому, если, например, на Марсе жизнь достигла высшей степени совершенства, — высшей чем на Земле, то оттуда, с помощью реактивных

приборов,— жизнь может расселяться по всем планетам солнечной системы. Но тогда бы мы и теперь получали гостей и исследователей с других планет нашей системы, чего мы, однако, не видим.

Если они могли сделать это раньше, то тем более могли бы сделать это теперь, так как техника и жизнь обыкновенно прогрессируют. Да и зачем им было начинать постройку существ с примитивных зародышей — каких-нибудь мошек или амеб,— когда они могли сами сюда переселиться или переправить к нам подходящую и высокую породу животных! Чем засеять землю дрянью и подвергать ее жизнь неисчислимым и бесконечным мукам взаимного истребления, не благоразумнее ли, минуя жизненный ад, основать сразу высшее. Значит не перешла жизнь на Землю с наших планет даже путем разума...

Ближайшее к нам солнце с его предполагаемыми планетами находится от нас на расстоянии 4-х световых лет (световой год составляет около 10^{13} км). Если допустить, что жизнь неслась тем или другим способом от планет этой новой системы со скоростью 300 км/сек, т. е. в 10 раз скорее движения Земли вокруг солнца или в 15 раз быстрее поступательного движения нашего Солнца к созвездию Лиры, то и тогда понадобится, чтобы одолеть это расстояние, 4 тысячи лет. Какой же зародыш, какое семя прорастет после такого солидного промежутка времени?

Тут опять — достижение Земли, одоление этого громадного пути и других препятствий — могут быть побеждены только искусственно: разумом выше человеческого. Тогда поезд с живыми существами может благополучно пробыть 4 тысячи лет в дороге. Бессмертные или смертные существа, запасшись необходимым, через 4 тысячи лет путешествия среди звездного неба, без одного солнечного луча, придут благополучно на Землю и привезут зародыши живых существ, самих себя или, вернее, свое потомство... Но и этого, по-видимому, пока не случилось.

Другие солнца еще дальше. Среднее расстояние солнц Млечного Пути до нас составляет тысячи световых лет и, следовательно, миллионы лет неустанного пути с невообразимой скоростью.

Млечный Путь содержит сотни миллионов солнц и биллионы планет, на которых могла бы зародиться жизнь. Мы даже несколько не сомневаемся, что она там уже есть и даже в более совершенной форме, чем на Земле (по крайней мере, на большинстве планет). Вот из такого-то разнообразия, из такого-то громадного числа их скорее могла истечь жизнь и перейти на планеты.

Если жизнь так чудна, так недостижима, что Земля недостойна ее произвести, то она могла быть произведенной Млечным Путем с его миллиардами планет. Может быть немногие из них обладают таким могуществом, которое мы себе не можем вообразить. Это могущество и помогло им рассеять совершенную жизнь, если не на Земле, то на других планетах. Без вмешательства разума неодолимо расстояние, которое должно быть пройдено спорами. Легко ли мчаться в звездной пустыне в течение миллионов лет.

Еще вероятнее возникновение жизни в группе млечных путей, в квадрилионах планет. Но опять препятствием будет служить ужасающий путь в течение биллионов лет.

Нам могут возразить так. Жизнь распространилась давно. С незапамятных времен, дециллионы лет тому назад, переходя от одного млечного пути к другому, от солнца к солнцу, от планеты к планете, — она дошла до Земли. Явившись сначала на одной из планет бесконечной вселенной — и только на одной, благодаря необыкновенному сочетанию чудных условий, — она шаг за шагом покрыла всю вселенную и не прошла мимо нашей планеты. Повторяю, что это всего вероятнее, — но если это случилось, то не без участия разума.

Может быть скажут, что зародыши или споры разносил между планетами свет с необычайной быстротой. Действительно перенос давлением лучей может теоретически совершаться, примерно с половиною скоростью света, т. е. споры могут быть перенесены от нас к ближайшей звезде в 8 лет. Через весь Млечный Путь они должны пролететь в 20 тысяч лет.

Допустим, что при этом они выдерживают и ультрафиолетовые лучи солнц и температуру в 273° холода. Но вот возражение: имея такую скорость, они со страшной силой ударяются в атмосферу какой-либо планеты. Это должно повысить их температуру на несколько миллионов градусов, чего, конечно, они не выдержат. Правда, может быть редкий случай, когда споры, отталкиваемые светом иного светила, замедляют свой бешеный ход и безопасно спускаются на планету. Допустим и это.

Но опять возражение дают точные расчеты. Чтобы лучи нашего солнца могли одолеть тяжесть Земли, спора должна иметь диаметр только в 7 раз больший диаметра водородного атома, что соответствует молекуле с частичным весом в 343. Такой малый вес не может иметь спора. Следовательно, перенос жизни с планет сомнителен.

Если бы надо осилить только тяготение Солнца, то спора могла бы иметь диаметр в 1 микрон (0,001 мм). Это возможно. Но откуда появятся живые зародыши в межпланетном пространстве? Разве с малых планет, имеющих ничтожную силу притяжения. Если и это допустить, то разнос спор возможен, хотя почти невероятен.

2. ЗАРОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Где-нибудь в тихом обширном пресноводном озере, защищенном горами от бурь, зародилась сложная материя, развивавшаяся непрерывно под влиянием благоприятных растворов, солнечного света и довольно равномерной температуры.

Сначала эта органическая материя росла сплошной массой во всех направлениях, потом более с краев, так как в глубину ее свет не проникал. Получились тела в виде шаров, нитей, лепешек и другой формы.

Одни были крепче и ветер и волнения не могли их разбить на части. Другие — слабее. Они легко разрывались (в особенности «нити»): маленькие их кусочки продолжали расти под влиянием света, как и большие. Но

они имели преимущество: их полная, общая или суммированная поверхность была больше, чем того тела, из которого они образовались. Геометрия доказывает следующее: если из шара с поперечником, положим, в 10 см образовалось 1000 шаров с диаметром каждый в один сантиметр, то поверхность этих тысячи шаров будет больше поверхности одного большого шара в 10 раз. Вообще, поверхность возрастает пропорционально малости полученных от раздробления частей.

Эти слабые, легко разделяющиеся организмы имели тем большее преимущество, чем они легче делились и чем мельче были эти части. Такие заполняли быстро озеро, заслоняли свет другим существам и губили этим неделящиеся организмы.

Но есть предел малости организма. Дальнейшее его уменьшение уже будет бесполезно и невозможно. В самом деле, эта живая материя очень сложного состава и основа ее, молекула, составлена из миллионов атомов. Такая молекула не может быть очень мала.

Раздробление же ее невозможно без нарушения деятельности живой материи. Кроме того, свет ее всю проникает и потому получаемая энергия для комочка, состоящего даже из многих молекул, пропорциональна массе комочка, а не поверхности, и потому дробление очень малых комочков, пронизываемых светом, бесполезно, так как не увеличивает прироста ткани при дроблении. Когда слой хлорофилла настолько утолщился, что не мог насквозь пронизываться светом, тогда уже выгодно было деление.

Дробление или разрушение ветром и волнением жидкости не давало очень малых организмов и не достигало цели. Те организмы, которые сами делились путем кристаллизационных сил, имели преимущество и потому вытесняли существа, делимые механическими силами. Химическое деление, или размножение делением, взяло перевес.

Такой же перевес имели и организмы, росшие в длину и имевшие вид очень тонких нитей. Также такие, которые росли в длину и ширину и имели вид тонких листочков. Последние с равным успехом отнимали свет и растворы у малоделящихся организмов. Они также легко рвались на части и таким образом распространялись. Вероятно, прежде всего появились нитеобразные организмы, так как легко рвались механически. Но нитеобразные имели преимущество, так как труднее попадали в свою сеть. И потому они первые дали начало механическому размножению. Потом уже появилось дробление химическое, кристаллизационное, или биологическое, которое вытеснило механическое, так как могло давать более мелкие организмы.

Деление не только было выгодно, как средство, образующее большую поверхность использования солнечной энергии, но как лучший способ распространения рода и его усовершенствования. В самом деле, из одной особи в короткое время получались дециллионы новых. Но выживали из-за недостатка места только те, которые в борьбе с природой и друг с другом имели какие-либо преимущества. Не могли быть все особи совершенно тождественны. Части одного и того же организма, хотя бы и простейшего, не были вполне равны ни по объему, ни по свойствам. Но эти части,

кроме того, изменялись силою обстоятельств, влиянием мертвой и живой природы.

Так и теперь любое существо, размножаясь делением или почкованием, не дает строго одинаковых потомков, так как не найдется на всем земном шаре даже и двух строго равных растений. Вот эти-то уклонения, эти ненормальности и удерживались потомством, если они были ему полезны в борьбе за существование. Чем больше число организмов, тем больше между ними будет всяких уклонений в ту и другую сторону. Полезные уклонения, накапливаясь в течение миллионов лет, дали усовершенствование, усложнение организмов, изменение их размеров и множество новых видов. Не будь деления, не было бы способов для усовершенствования, потому что не было бы подбора лучших.

Успешное распространение делящихся также очевидно: течения, волнение и ветер их уносили друг от друга очень далеко и тем еще способствовали их обильному питанию и размножению.

Озера, благоприятные для размножения, могут быть разных свойств. Некоторые из них могут не иметь истоков. В таких жизнь замыкается, распространяется до известных максимальных пределов, затем ослабляется, задыхаясь в собственных выделениях и в тесноте вымирающих тел. Тут возможна усиленная борьба за существование и возникновение новых пород, питающихся ослабевшими или их смертными останками.

Таких существ без хлорофилла мы условно будем называть животными. С этой точки зрения, в противоположность общепринятому, гриб, заразная бактерия — суть животные.

Существ с хлорофиллом, не поглощающих живую материю, но живущих энергиею солнца, назовем растениями.

Насекомоядные растения мы не можем причислять ни к животным, ни к растениям. Таких существ, содержащих хлорофилл и пользующихся энергиею солнца и энергиею поглощенных живых организмов, будем называть полурастениями, или полуживотными. Подобных существ множество на низкой и довольно высокой степени развития. По этой номенклатуре — медузы, онемоны, может быть даже некоторые земноводные и пресмыкающиеся, а также насекомоядные растения относятся к полурастениям.

Впрочем, таких, похожих на животных, проще именовать полуживотными, а похожих на растения — полурастениями. Так, насекомоядные растения назовем полурастениями, а евглену зеленую (инфузория с хлорофиллом) — полуживотным.

Вернемся к озерам. В озере без истока может установиться равновесие между хлорофильными и безхлорофильными. Если существуют одни первые, то они задыхаются в собственных выделениях. Если существуют одни вторые, то им нечем будет питаться. Такие озера переполняются солью и вскоре убивают этим свое население, так например Мертвое море. Большинство же озер имеют вытекающие из них речки, сообщающиеся с иными речками и озерами. Эти последние могут посредством истоков иметь сообщение с морями и океанами. Тогда вода будет непрерывно уносить из

быток населения, которое распространится по всему бассейну и дойдет до моря.

Растительные организмы в таком случае попадут в другие условия: одни на север, другие на юг, с иным климатом, с иным составом растворов, в океаны с горькосоленою водою. Большинство их будет гибнуть, но найдутся, рано или поздно, среди бесчисленных их полчищ и такие, которые перенесут иную температуру, иной состав воды, горькосоленую воду, холод, жар, волнение, бури и резкие перемены температуры.

Таким образом, простейшие, приспособившись к разным температурам и средам, не имея соперников, распространятся по всем водам земного шара и переполнят их — по крайней мере их поверхность (планктон). Только тогда начнется усиленная и мировая борьба за существование.

Мы можем не считать изолированные пространства воды, вроде луж или озер без истоков, хотя в них раньше будет переполнение и усиленная борьба за существование. Но размножение делением при неимении препятствий совершается так быстро, что все бассейны Земли переполняются этой жизнью почти одновременно.

Итак, что же тогда будет, как быть? Организмы рождаются, но тут же и погибают, так как вся солнечная энергия использована. Многие дециллионы их погибают каждую секунду.

У существ есть три выхода, чтобы продолжить жизнь и не оказаться в числе трупов. Во-первых, заимствовать энергию от умирающих тел, во-вторых, брать ее от живых тел, в-третьих, выйти на сушу. Первый и второй выход наиболее просты. Они порождают сначала водные полурастения, а затем, когда исчезает из их тел хлорофилл, и водных животных. Полурастения и животные, пожирая мертвых и живых, быстро очистят океан, дадут солнечный свет оставшимся в живых растениям и доставят тем возможность не только существовать им, но и совершенствоваться. Третий выход, более трудный, дает начало земным растениям, полурастениям и животным суши. В этом очерке будем иметь в виду главным образом растения.

3. ОБРАЗОВАНИЕ РАСТЕНИЙ НЕПОДВИЖНЫХ, ПРИКРЕПЛЕННЫХ К ПОЧВЕ. УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРОТИВ ХОЛОДА, ТЕМНОТЫ И Т. Д.

Простейшие существа в океанах и морях, будучи подвижны, сносились течениями и ветрами к берегу или в определенные узлы затишья, накапливались толстым слоем, заслоняли друг у друга свет и от этого погибали. Отсюда видна некоторая выгода неподвижности, прикрепленная к почве. Но очень малому существу, не имея органов, трудно прикрепиться к почве, ко дну реки или морской мели. Оно, кроме того, легко заносилось илом и теряло свой источник жизни — солнечный свет. Из этого видна польза увеличения размеров и создания органов прицепления. Такое существо, состоя из очень тонких частей (польза разветвления), мало теряло в свете и было гарантировано от уноса в теневую часть берега или в гниющую кучу других неволью блуждающих растений.

Даже существа, питающиеся живым, имели ту же выгоду — в значи

тельных размерах, если органы их движения не были достаточно сильны, чтобы противостоять течениям.

Значит первичные животные также имели некоторую выгоду в неподвижности, или укоренении. Действительно, слабых полуживотных и животных также легко сносило течение в узлы затишью, в тень или в глубину морскую, где могло и не быть достаточно питания или света (не отсюда ли начало нефтяных залежей).

Растения и полурастения, прикрепленные ко дну, имели и недостаток. В самом деле, они получали тем меньше света, чем глубже росли. Вверху их нежные тела разрывало волнение, внизу они лишались света. Кроме того, дно очень ограничивало область их распространения, в особенности в океанах, где страшная глубина их была совсем лишена света. И таких глубин было больше всего. Ведь уже на глубине 400 м так темно, как в безлунную звездную ночь на Земле. Между тем, средняя глубина океанов в 10 раз больше. Мелководие составляет в океанах и морях очень незначительный процент всей поверхности вод. Значит, с одной стороны, выгодны неподвижность и увеличение размеров существ, чтобы они не заносились илом, с другой, — выгодны свобода самостоятельного движения и малые размеры, при которых волнение не опасно существам.

Малые размеры и свобода первых растений давали им всю энергию солнца, падающую на поверхность морей, т. е. они могли воспользоваться всею поверхностью океана.

Таким образом, одни существа стали большими и неподвижными, другие — малыми и пассивно-свободными. Последних сносил ветер в кучу и губил их собственной теснотой. Зато они могли пользоваться большей поверхностью океана и большей солнечной энергиею. Впрочем, на значительном расстоянии от берегов они долго были в безопасности, так как течение и ветер не скоро их могли тогда собрать в груды и загнать в тесноте. Так, на расстоянии тысячи верст от берега надо течению несколько десятков дней, чтобы доставить существ к берегу. А в это время они могли дать множество поколений, часть которых останется существовать и поддерживать род. Надо еще заметить, что все постоянные течения замкнуты, или периодичны, так что часть бактерий хотя бы нижними, донными течениями выносятся к прежнему месту.

Некоторые из существ не столько от холода, сколько от лишения света в глубине должны были погибнуть. Но часть осталась живой и вынесла это испытание. Так что эти водоросли дали начало поколениям, способным, замирая, выносить долгое отсутствие света и тепла.

Следовательно, воды наполнились, с одной стороны, микроскопическими растениями, свободными, не боящимися волнений, а с другой, — растениями более или менее значительной величины, вросшими в дно или, лучше сказать, уцепившиеся за его камни и неровности.

И те и другие вырабатывают постепенно механизмы движения, размножения, питания, дыхания и т. д. и дают начало: сложным водорослям, полурастениям, полуживотным и разнообразным видам водных животных. Но мы обратимся к одним растениям, животный же мир, по возможности, в этой статье будем игнорировать.

4. ПОЧКОВАНИЕ

Способ размножения делением для больших существ уже не был экономным способом размножения, так как тогда должна сразу отделяться половина тела, тогда как могла бы та же половина дать множество зачатков, из которых потом могло получиться много жизней.

Одни организмы отделяли при размножении большую часть своего тела, другие малую. Какие же из них имели преимущества и вытесняли конкурентов?

Конечно, те, которые размножались почкованием, т. е. отделяли от себя, ради размножения, возможно малую часть.

Так, увеличение размеров существ дало начало размножению почкованием. Частицы эти уносились течением, увеличивались в размерах и внедрялись в почву своими отростками.

5. ВЫХОД РАСТЕНИЙ НА СУШУ

Мы видели, что у водных существ был еще способ спасения от избытка перенесения — выход на сушу. Вот как это могло быть. Закрытый случайно бассейн высыхал, влаги было все меньше и меньше, бесчисленное множество растений и их почек гибло. Из многих децимиллионов их, однако, нашлись такие, которые довольствовались небольшой влажностью, оставшейся в почве. Это были неподвижные растения, зацепившиеся за дно и имеющие сравнительно глубокие корни. Их наружные части были прикрыты оболочкой, задерживающей влагу, но пропускающей свет, тело их имело некоторую твердость, мешающую им полегать.

Разумеется, размеры этих первых болотных растений были крайне малы (вроде лишайников или мха).

Все это в совокупности достигло еще очень малой степени развития и едва отличалось от тех же свойств водорослей. В отношении же размеров они сильно отстали от водорослей, т. е. были гораздо меньше их. Но понемногу эти качества усиливались.

Множество болотных растений размножалось почкованием и давало бесчисленное множество особей. Но выживали только особи, задерживающие влагу, пускавшие корни и обладавшие некоторой твердостью частей. Собственно, они даже сначала не пускали корни, а цеплялись отростками за неровности, как водоросли.

Через тысячи лет болота покрывались растениями, подобными простейшим мхам. Мхи совершенствовались, были все выше и выше, становились ветвистей, довольствовались все меньшей и меньшей степенью влажности, распространялись все более и более почкованием, выходили далеко за пределы болота — туда, где почва еще не была очень суха. Выход на сушу растений мог произойти и из моря или океанов. Неглубоких его частей, годных для жизни прикрепленных растений, было немного. Не очень далеко от берега была уже недоступная глубина. Было тесно на небольшом пространстве мелей. Растения быстро его заполнили. Началась

усиленная борьба за существование. Большинство вымирало или душило свои же поколения. Вот тут-то некоторые водоросли ухитрились, как уже было описано, продвинуться на сушу, заливаемую два раза в сутки приливами. Их существование было полуводное. Потом они прошли дальше от моря и существование стало более сухим, к чему организация их должна была приспособиться в течение сотен тысяч лет.

Так как морские существа были многочисленнее, разнообразнее и совершеннее, то более вероятно, что первые сухопутные растения вышли именно из обширных бассейнов, т. е. океанов.

В других местах одновременно с мхами оставались на суше и бесхлорофильные существа, которых для краткости будем называть животными. Эти пользовались остатками отмиравших мхов, их кислородом. А мхи, в свою очередь, основывались на остатках бесхлорофильных (например, грибов), пользуясь выделяемой ими углекислотой, хотя углекислоты, как и кислорода, вероятно, было довольно и в атмосфере. Более сложные морские существа также постепенно приспособлялись к выходу на сушу, пока не сделались амфибиями, а затем и вполне сухопутными.

6. БОРЬБА МЕЖДУ РАСТЕНИЯМИ НА СУШЕ ЗА СОЛНЦЕ

Растения больше всего выходили в сопровождении с грибами, т. е. бесхлорофильными существами, которые, пожирая или усваивая мертвые останки растений, подготавливали для них удобренную почву. Это сожительство было выгодно и грибам, которые не могли бы существовать без материала, приготовленного хлорофильными существами.

Продвижение или выход на сушу мог произойти тремя путями: выход с помощью корневых и стебельных почек, выход через споры и выход случайный, вследствие обмеления озера или существования морского отлива. Последнее могло создать переходные растения, проводившие только половину времени на суше, а половину в воде. Кроме того, они часто заливались и волнением моря и повышением его уровня ветрами.

Те мхи, которые были выше, т. е. могли расти скорее в высоту, в конце-концов, перерастали своих соседей и оставались победителями, так как заслоняли свет более низким мхам. Последние влачили жалкое существование, медленно развивались и отчасти погибали. Однако нашлись и такие, которые сумели довольствоваться малою долей света и таким образом остались живы и даже в усовершенствованном виде дошли до нашего времени.

Но чтобы одни растения перерастали других, они должны были иметь особые свойства. Мхи были очень схожи с водорослями, отличаясь от них некоторою твердостью стволов и способностью задерживать влагу (хотя и менее, чем листовенные).

Водоросли называются ростцовыми растениями, мхи — листостебельными.

Тело водоросли, хотя иногда имеет громадный ствол, превышающий вдвое высоту самых высоких земных растений (фукус гигантский), но он

не имеет прочности и без воды бы полег. Его держит вода, где он становится как бы невесомым и даже, благодаря своим воздушным полостям (пузырям), стремится кверху.

Проводимость жидкости по стволу водоросли почти отсутствует, так как она в этом и не нуждается, будучи вся погружена в воду.

Подобными свойствами обладают и мхи. Поэтому они в воздухе, лишённые водяной опоры и её влаги, не могут быть высоки, не имея настоящих корней, прочных волокнистых стволов и проводящих воду каналов или сосудов. При большом росте они бы высохли или полегли.

Но вот некоторые из бесконечного множества чередующихся поколений мхов (листочкостебельных) оказываются с более развитыми корнями, с волокнистыми стволами, проводящими воду. Получая более влаги из почвы и имея возможность расти выше, они заглушают отставшие в своем развитии мхи, отнимают от них воду, свет и распространяются далее на сушу в более сухие места, где мхи уже не могут расти.

Прогресс идет все выше и выше, пока не образуются простейшие СОСУДИСТОВОЛОКНИСТЫЕ растения, подобные папоротникам, хвощам, плаунам и т. д.

Они, благодаря развитию стволов, корней, листьев и способности заимствовать из почвы и проводить вверх к своей кроне воду, образуют целые леса, совершенно отнимающие солнечную энергию от своих отставших предков — ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ, которые, также приспособившись к новым условиям, смиренно ютятся у ног этих исполинов, довольствуясь скудным светом и некоторою степенью влаги.

Сосудистоволокнистые сначала заселяют низкие и сырые места земли, а потом более сухую огромную часть суши, отнимая львиную долю солнечной энергии у своих предков.

Впрочем, в очень водных местах продолжают царствовать мхи, а в сырых и каменистых местах — лишай. Болота и мелководные озера также покрываются слоями густого мха.

Но протекают сотни тысяч лет, совершенствуются водоросли, лишай, мхи, папоротники и другие сосудистоволокнистые. Совершенствуются и бесхлорофильные (животные) существа суши и воды. Сосуды (каналы) распространяются на листья.

Размножение совершается отводками или почками: корневыми, стебельными и листовыми. Растения покрываются коробочками, где зреют споры (те же почки), распространяемые далеко ветром и течениями и дающие преимущество таким растениям.

Сначала коробочки одного вида существ одинаковы. Но вот между ними и их спорами получается некоторое различие. Споры одного вида, но различные, случайно сливаются и дают лучшее потомство. Разница между спорами все увеличивается.

Появляются три рода спор: бесполое, мужские и женские — неподвижные.

Итак, часть водорослей, оставшись на суше, не погибла, а приспособи-

лась к новым условиям. Другая же, осталась в водах, так как не была в силах измениться или не имела в себе зачатков, которые бы могли поне-много, путем естественного подбора, преобразить их в сухопутные растения. Когда же последние сформировались, т. е. дали определенные виды, разница между сухопутными и водными так оказалась громадна, что переступить эту пропасть было уже не по силам ни тем, ни другим. Попытки оставшихся водорослей завоевать сушу оказались бесплодны в борьбе с хорошо вооруженными сухопутными растениями. Последним также не было основания возвращаться вспять, т. е. обратно в море (хотя то и другое было в редких случаях).

Взаимная война между сухопутными растениями за свет и место кончилась победою сосудисто-волоконистых (папоротников и т. п.) над листовыми (мхами).

Эти притаились и ограничились в своих претензиях. Но борьба между наземными растениями продолжалась так же, как и между водорослями. Как те, так и другие сначала размножались только отводками, т. е. делением и почкованием. Для очень малых и микроскопических растений этот способ размножения был хорош, но для больших водорослей и наземных растений он не был совершенен.

У некоторых крупных водорослей почки были меньше, а число их, понятно, больше, чем у других. Такие размножались быстрее, потому что потомство было многочисленнее и мелкие споры дальше уносились течением воды. Часть их, правда, погибала в больших глубинах, но плавающая их часть распространяла царство таких растений с необычайной быстротой.

Особенно микроскопические отрывающиеся почки были полезны наземным растениям. У водорослей и крупные почки могли плавать и уноситься далеко, но у наземных растений тяжелые почки ложились тут же, у корней растения, и отнимали пищу у своих родителей. Напротив, очень мелкие и легкие почки, подобно пыли, разносились ветром и обеспечивали победу потомкам таких растений.

Значит, понемногу среди наземных растений преобладание получили те, которые имели возможно мелкие почки. Последние мы будем называть бесполовыми спорами. Таковые образовывались на корнях, стволах, ветках и листьях наземных и водных растений. На них вырастали особые сосуды, или коробочки (спорангии), наполненные мелкими спорами. Коробочки при созревании спор раскрывались, семена из них высыпались и разносились далеко ветром или течением, давая роду преобладание. Их противники были побеждены и почти вытеснены. Но совершенствование существ на этом не остановилось.

Надо заметить, что течения не всегда благоприятствовали развитию и размножению водорослей посредством спор. Течения уносили их в глубину, течения мутили воду, делали ее непрозрачной и заслоняли тем самым свет даже на небольшой глубине. Они отрывали слабые водоросли от дна и уносили в кучу, где они загнивали, или в море и в иные условия жизни, при которых они погибали. Напротив, тишь способствовала отстою и про-

зрачности воды, споры ложились неподалеку, на достаточно мелком месте и понемногу, но верно заселяли бассейн. В такой тиши было одно плохо: споры ложились близко от своих производителей и заглушались ими. Но из бесчисленного множества водорослей некоторые из них производили подвижные споры (зооспоры),двигающиеся самостоятельно. Такие не имели этого недостатка. Они уплывали от родителей и занимали свободные места. Может быть, они автоматически двигались до тех пор, пока яркий солнечный свет не останавливал их движения, указывая на незанятые места. Здесь они падали на дно и прорастали. По берегам океанов и морей, даже в довольно значительных глубинах, было довольно света и спокойствия. Тут также подвижность спор давала преимущество водорослям.

Движение спор, ввиду их малости, не могло быть быстрым. Поэтому они не могли справиться даже со слабым течением. Оно их губило и подвижность спор при этом была почти бесполезна. Она бесполезна была и для наземных растений, так как ветер неодолим был бы для летающих спор. Притом полет в воздухе гораздо труднее достижим, чем в воде, где тяжесть споры почти уравнивается весом воды.

Размножение почками и бесполоыми спорами имеет дурную сторону. Зачатки существ в виде спор не вполне однородны с родителями. Каждое деление увеличивает эту разницу. Потомство ухудшается и может даже ослабнуть, выродиться, исчезнуть или быть побежденным другим более совершенным родом.

В результате борьбы (за однородность) выработались у низших существ споры, которые при своем развитии НИЧЕМ не отличались от родителя. Мы и сейчас имеем множество растений, которые размножаются почкованием или отводками, т. е. бесполом путем, без всякого ущерба для рода.

Но это было другой крайностью и также было плохо. Оно остановило развитие и усовершенствование вида, так как дети мало отличались от родителя. Полезны бесчисленные и быстрые изменения в свойствах видов. Они возможны больше всего при половом размножении. Вот повод проявиться новому способу распространения рода путем полового размножения. Оно давало очень разнообразное по своим свойствам потомство. При этом оставались жить и размножаться наиболее приспособленные к условиям среды. Они побеждали менее приспособленных, вытесняли их или ограничивали их распространение.

Сначала споры одного вида были одинаковы и бесполоы. Но вот между ними обнаруживается некоторая разница: одни из них остаются в коробочках дольше, другие высыпаются из них скорее и с помощью ветра, течения или самостоятельно попадают в коробочки ближайших спор — созревших, но не вышедших из своих спорангий. Происходит слияние двух не совсем одинаковых, но близких по строению спор. Недостатки их заглаживаются (а иногда усиливаются, но потомство таких устраняется в борьбе), образуются более совершенные споры, которые при развитии создают порою, лучшее потомство.

Чрезвычайное разнообразие комбинаций при соединении спор дает иногда уклонения от родителей, полезные для борьбы за существование.

Замечательно, что сливаются и образуют потомство только споры одного вида или разновидностей. Споры разных родов не соединяются, не дают потомства или дают его в уродливом виде (вскоре погибающем от бесплодия или других причин).

Малая степень разнородности способствует соединению, чрезмерная — нет. Может быть это подобно тому, как не сходные по форме, не приложенные друг к другу фигуры, не складываются друг с другом, не сливаются, не склеиваются, не сходятся. А может быть тайна соединения в химическом или физическом сродстве. Например, капли однородных жидкостей всегда сливаются между собою и образуют одну большую каплю, разнородных же — не всегда. Только физическая близость разнородных веществ способствует их слиянию...

Разница между неподвижными и подвижными спорами все увеличивается. Они превращаются, наконец, в мужские и женские споры. Впрочем, на многих растениях остаются и коробочки с бесполоыми спорами. Так что растения размножаются тремя способами: почками или отводками (вегетативное размножение), бесполоыми спорами и половыми. В последнем случае на растениях находятся коробочки со спорами трех сортов: бесполоыми, мужскими и женскими.

Сначала мужские и женские споры образуются не только на одном растении, но и рядом, так что мужские споры непосредственно выбрасываются на женские. Это хорошо, но чересчур мало разнообразия между частями одного и того же растения, и потому мало шансов на полезные уклонения и усовершенствование вида. Поэтому разнополюе споры стали вырастать дальше друг от друга, иногда на разных особях, но зато должны были больше выделять спор, чтобы хоть одна из них была занесена течением, ветром или физиологическими силами в коробочку с женскими спорами. Такие растения, давая более уклонений, быстрее и совершенствовались.

У водяных растений споры в воде не падали на дно, а могли плавать и легче попадать куда следует (обладая еще хемотропизмом). Те растения, споры которых могли самостоятельно двигаться, чувствовать выделения женских спор и направляться к ним, имели особенное преимущество. Такие водоросли оплодотворялись наверняка и могли иметь разнополюе коробочки далеко друг от друга, — даже на разных растениях. Они получили преобладание. Они получили, благодаря разнообразию потомства, разные улучшения для борьбы за существование. Они вытесняли растения с неподвижными спорами, без химической чувствительности и самостоятельного движения. Потомство же с ухудшениями погасалось, будучи побежденным в борьбе.

Земным растениям трудно было приобрести летательные приспособления для спор, но они сначала пользовались порывами ветра, который разносил споры и соединял случайно разнополюе.

Полуводные существа, основание которых покоилось в воде, или заливалось дождями, переносили свое бракосочетание в воду, для чего давали особое половое потомство, будучи само бесполом: от бесполого — половое, от полового — бесполое и т. д.

Уже потом, много времени спустя, наземным растениям в деле оплодотворения пришли на помощь животные.

7. БОРЬБА РАСТЕНИЙ С МЕРТВОЙ ПРИРОДОЙ: ТЯЖЕСТЬЮ, ТЕМНОТОЙ, СУХОСТЬЮ, БЕСПЛОДИЕМ ПОЧВЫ, С ВЕТРОМ, ХОЛОДОМ, ЖАРОМ, БЕСКОРМИЦЕЙ

Водоросли окружены довольно однообразными и благоприятными условиями: почти постоянной температурой (в особенности в экваториальных странах и в глубине вод), обильной и неистощимой влагой. У них нет борьбы с тяжестью, которая должна бы клонить их вниз и унижать рост. Напротив, вторые воздушные пузыри или полости водорослей поднимают их и ставят совершенно вертикально. Течения и волнения в глубине, доступной для водорослей, почти нет, или они слабы и безвредны. Обильный питательный раствор всегда к их услугам.

Поэтому устройство неподвижных водных растений сравнительно просто. Они не нуждаются ни в крепости ствола и стеблей, ни в трубках и сосудах для провода воды из нижних частей в верхние, ни в глубоких, сложных и крепких корнях, ни в питательных почвах, ни в сложных органах, без которых наземные растения погибли бы. Вот почему начало всякой жизни, ее колыбель есть вода, и не даром «море» и «мать» у некоторых народов означаются одним и тем же словом (хотя, впрочем, это сходство имеет другую более прозаическую причину).

Совсем другое дело в жизни сухопутных растений. Спора наземного растения падала как попало и куда придется. Надо еще бороться с силою и направлением тяжести, надо бороться с темнотою. Вырабатываются механизмы, которые, как бы ни лежала спора, корень направляют в землю, а ствол кверху. Это загадочный механизм: устройство его, может быть, подобно механизму животных, который заставляет их принимать всегда вертикальное положение и мешает им падать или валяться вверх ногами. Действительно, полости с песчинками (болитами) встречаются даже на очень низкой ступени живого. Отчего почва зеленый отросток растения превращает в корень, а воздух корень — в зеленую часть. Это также непонятно.

Спора иногда попадает в тень. Надо выкарабкаться как можно скорее из темноты на свет. То приходится для этого тянуться кверху, то в сторону, чтобы найти выход к солнцу. Опять вырабатывается путем подбора чувствительность к свету: те части растений, которые находятся в тени, получают способность расти быстрее, отчего растение наклоняется в сторону света.

Однако этого свойства недостаточно для объяснения строго отвесного роста множества растений: тут еще скрывается какой-то новый механизм.

Если все растение в тени, то оно растет в высоту тем быстрее, чем темнота гуще. Конечно, есть пределы этому приспособлению: рост совершается в таком случае больше всего за счет запасных частей растения, заложенных в корне или семядолях. Поэтому тянущееся быстро к свету растение тонко, слабо и тянется не вечно, а пока хватает запасных материалов в плоде или семени. Если их не хватило, то растение без света некоторое время влачит жалкое существование, а затем погибает. Рост растения в высоту, когда оно окружено и стеснено другими, понятен. Верхние части получают более света и потому питательный материал тут обильнее и откладывается.

Те растения, которые не имели всех описанных приспособлений, пропадали со всем своим родом: то оттого, что не имели корней, глубоко погруженных в почву, то оттого, что клонились к ней и затемнялись случайно какими-либо предметами или более сильными прямыми и отвесными соперниками.

Отсюда также видна важность иметь в плоде как можно более обильный питательный материал, который позволял растениям долго обходиться без солнца и выбиваться из тьмы. Особенно он был важен для высокорослых растений, из среды которых труднее было выбраться на вольный свет.

Давление ветра, тяжесть заставляют растение быть трубчатым, крепким, с твердой опорой (ветвистый толстый корень), толстым стволом иногда сложного ажурного строения. Иначе растение сваливается тяжестью или бурей, а в лучшем случае, ложится, лишается света, засыхает и пропадает. Переживают же их более совершенные, с гибкими или крепкими стволами.

Сухое время года или вообще сухость климата заставляет покрываться листья и стебли прозрачным для света материалом, не пропускающим или задерживающим влагу и испарение. (В особенности этот покров совершенен у кактусов, жителей сухих пустынь.) Излишняя теплота, напротив, ради понижения температуры образовала на нижних сторонах листьев отверстия, через которые происходит испарение воды, умеряющее жар. Эти отверстия, или устья, служат также и для дыхания. (Таково общепринятое мнение. Я же думаю, что для этого достаточно диффузии. Иначе трудно объяснить, каким образом некоторые кактусы, не испаряя почти воды, успешно растут, накапливая углерод из уксусной кислоты воздуха.)

В холод устья должны бы прикрываться, а в жар — раскрываться. И такой механизм уже существует. В жарком и сухом климате или в сухое и теплое время они также должны расширяться, а в сырую и холодную погоду — наоборот. Так это и есть и происходит вот как. Каждое отверстие устья покрыто двумя полуданными пластинками, обращенными друг к другу очень гигроскопическими немного вогнутыми краями. При излишнем холоде и сырости внутренние края этих дужек расширяются, распрямляют дужки, и отверстие (щель) между ними от этого уменьшается. В сухое и жаркое время происходит обратное — дужки от

потери влаги искривляются, и щель между ними увеличивается, отчего более раскрывается и устьице.

Итак, наземное растение не может не терять влаги, так как не в силах обойтись без дыхательных отверстий и регулирования столь переменчивой в воздухе температуры. Заметим, что этот общепринятый взгляд не совсем верен. Без дыхательных отверстий растения могут обойтись, так как на помощь имеем диффузию. Не имеют же наши легкие отверстий в кровь. Это еще доказывают и растения сухих пустынь, например кактусы. Некоторые из них могут десятки лет жить без корней и влаги в абсолютно сухом воздухе. Значит они воду совершенно задерживают в себе и, стало быть, отверстий не имеют. Но дыхание, очевидно, продолжается, иначе прекратилась бы и жизнь. Принято говорить про устьица, как про дыхательные органы, но едва ли это верно. Дыхание вообще обуславливается диффузией и только усиливается каналами и альвеолами, т. е. только зависит от величины поверхности.

Потеря воды вознаграждается корнями, всасывающими ее из почвы. Чем меньше в ней воды, тем больше поверхность корней. При бездождии растения бы погибали, если бы не углубляли своих корней глубоко в землю, где было больше влаги. В сухих местностях или с продолжительными засухами корень бывает в отвесном направлении очень длинный. Он погружается глубоко в почву, где всегда найдутся остатки воды. Отсюда видна чрезвычайная важность не только высоты растений, отнимающих свет у соперников, но и отвесная длина корней, спасающих растение от недостатка воды в сухие годы. Корни также одновременно полезны для борьбы с тяжестью и ветрами.

Небольшие растения не могут очень углублять корни. Поэтому такие, на случай засухи или вообще в местностях скудных водою и дождями, сохраняют запасы воды в листьях, превратившихся в мясистые комки, как у кактусов: поверхность делается небольшой, а запас влаги огромный. Корнями же они стараются занять все окружающее пространство, чтобы на случай редкого дождя, забрать всю выпадавшую кругом влагу. Иногда влага запасается и в мясистых корнях (корнеплодные).

В больших растениях запасы воды сохраняются не только корнями, но и очень толстыми стволами, каковы гигантские секвойи, баобабы, смоковницы и тому подобные гигантские деревья.

Растения и при бескормице продолжают жить и совершать свои химические отправления, которые сопровождаются тратой запасных питательных материалов. Так бывает ночью и зимой. На счет этих запасных материалов часто растения одеваются листвою, цветут и дают плоды. Растения, не имеющие запасов, не могли конкурировать с более запасливыми и уступали им место на жизненной арене. Отсюда способность растений на зиму, на ночь, на сухое время, на пасмурную погоду накапливать в более благополучное время — при обилии влаги и солнечного света — запасы пищи в корнях, плодах, листьях, стволе и всех других частях растения. Значит, величина растений имела еще другую выгоду, выносливость на случай не только засух, но и бескормиц и зимней темноты. Холода также

должны выдерживать лучше растения большого объема с дурной теплопроводностью своей массы. Отсюда полезность ячеистого многокамерного строения. Вырабатывается защита в виде коры с дурной теплопроводностью.

Семена растений разносятся далеко ветром. При истощении почвы это может служить для спасения вида. Некоторые из семян попадают на богатую или девственную почву, и растение как бы переселяется, само погибает, а потомство его переходит в благоприятные условия питания. Таким образом, легкие семена, хорошо разносимые ветром, составляют приспособление против бескормицы или истощения почвы. (Хотя истощение дикой почвы, как будто, и не может быть, но возможен такой случай: местность сильно удобряется наносами. Вследствие геологических причин наносы останавливаются и приток питания прекращается. Почва может также выщелачиваться и истощаться обилием текучих вод.)

Разбрасывание семян тем действительнее, чем дальше они разносятся. Поэтому семена снаряжаются крылышками, зонтиками, пухом, волосками и другими орудиями, мешающими им быстро падать. Лучшее средство, конечно, легкость, малость семян. Но, с другой стороны, их малость невыгодна или невозможна, так как сложность организма производителя не может допустить его зародыши быть чересчур мелкими. Также, чем больше запас их питательного материала, тем это выгоднее для первого укрепления и разрастания молодого растения. Не забудем, что ему еще нужно выбраться из темноты окружающих его разных растений и соперников. Не многие могут это сделать и при большом запасе питательного вещества. Поэтому-то более тяжелые семена, более надежные в этом отношении — снабжаются хитрыми летательными приспособлениями. Летать-то они не летают, а все же ветер их проносит дальше с крыльями, чем без них. Притом семена остаются слегка связанными со своими плодниками, так что только при сильном ветре могут отрываться. Это приспособление заносит их, благодаря буре, очень далеко от жительства родителей...

Мы видели, что у водорослей появились споры разных сортов: сначала бесполое, потом мужские и женские. В текучих водах споры уносились течением. Соединение разнополых было мало вероятным и всего возможнее было на самом растении, производившем мужские и женские споры. Самостоятельное же движение, ввиду его слабости сравнительно с течением рек, было бесполезно и не могло служить для оплодотворения вне общего производителя. Напротив, в стоячих бассейнах, в глубине вод, в океанах и морях были полезны споры, самостоятельно двигающиеся, привлекаемые особыми выделениями женских спор, менее подвижных или совсем неподвижных. Движение последних только затруднило бы соединение с мужским элементом, так как оно оказалось бы еще невероятней.

Из озер и болот растения с зооспорами (т. е. самостоятельно движущимися, как животные) переносились реками в спокойные воды береговых глубин океанов. Там одна часть их приспособилась к новым условиям существования, другая погибла.

Когда растения, выдержавшие борьбу, вышли из воды и преобразовались постепенно в мхи, папоротники и плауны, то соединение разнополюх спор вне воды оказалось невозможным. Поэтому долго размножение их шло бесполом путем, бесполоми спорами. Но это не могло служить к их усовершенствованию, и потому такие роды вымирали, пока не выработали другое орудие борьбы. Те части преобразованных водорослей, которые содержали разнополюые споры, как бы слились в одну коробочку, дававшую одного рода споры. Они отрывались в виде простых спор, падали в болотистую залитую водой почву и давали особое растение, более первобытное, называемое предростком. На нем-то, уже в воде, появлялись сосуды, или коробочки (спорангии), с разнополюыми элементами. Оплодотворение уже совершалось легко обычным путем, потому что происходило в воде, к чему растение было ранее приспособлено. Одно растение (сложное) давало простую спору. У простой споры появлялся двухполюый предросток (простое). Он опять давал однополюое (сложное) растение, а оно двухполюое (простое) и т. д.

Итак, хотя преобразованная водоросль (предросток) сама вырастала в воздухе, но оплодотворение происходило обычным порядком в воде, т. е. созревшая мужская сперма из коробочки, находящейся на нижней стороне листа, расходилась во все стороны, пока не встречала тут же, в женской коробочке, неподвижные женские элементы и не оплодотворяла их.

Если место произрастания таких растений (тайнобрачных) было слишком сухо, то соединение (брак) могло произойти только во время дождя, заливающего основания предростков.

Одним словом, оплодотворение совершалось не на первом, довольно сложном растении (которое размножалось бесполом путем), а переносилось в воду и происходило отдельно от материнского растения, на предростке, которому и суждено было размножаться половыми средствами.

Вероятно, этому приспособлению предшествовало обычное оплодотворение, но в нижних частях растения, залитых еще водой. Когда ее, по мере распространения растения на суше, оказалось уже чересчур мало, природе пришлось прибегнуть к предростку.

Оплодотворение в нижних частях растения было невыгодно (при недостатке воды), так как новые растения поселились бы тут же у материнского и потому заглушались бы им. Зачаток же предростка (семя, спора) мог относиться далеко ветром. Так произошло небольшое преобразование водных растений в болотные, земные. Разница была невелика. Водоросль атрофировала свое половое размножение, так как оно было невозможно или невыгодно на суше. Но второе поколение, происшедшее от спор, было уже половым. В сущности преобразование состояло в том, что растение передало способность полового размножения детям...

Растения уходили все дальше и дальше от берегов морей и озер. Влажности было все меньше и меньше. Предростки гибли, так как за недостатком воды оплодотворения не могло быть или было очень редко — в периоды обильных дождей. Бесчисленное множество растений размножалось бесполо. Но это было невыгодно, и потому они или погибали или отсту-

пали обратно на болотистые, влажные или дождливые места. Конечно погибали слабейшие, другие же и до сего времени остались бесполоыми. Однако не все их бесчисленные миллиарды исчезли и в сухих местностях. Часть успешно оплодотворялась в воздухе следующим образом.

Самостоятельное движение зооспор было в воздухе невозможно и бесполезно, так как ветер эти, слабо летающие споры все равно уносил бы, куда хотел. Притом растения были далеки еще от хитрости (или сложности) летающих существ. Но течение воздуха (ветер) иногда переносило их пассивно на женские споры других растений, и тогда образовывались оплодотворенные споры (оосперма).

Таким образом, способность к самостоятельному движению мужских спор исчезла, но зато растения, ради возможности соединения разнополых своих элементов, стали развивать громадное количество очень мелких, пылеобразных мужских спор, крайне ничтожная доля которых порывами ветра доносилась до спор женских и достигала цели.

Так-то образовались зачатки первых цветковых растений, подобных хвойным, но более простые.

Когда громадные пространства покрылись первобытными лесами, то уже не так было полезно иметь легко переносимые ветром споры и семена, ибо все места кругом были заняты, а какая-нибудь свободная площадка могла быть и поблизости. Кроме того, густота леса ослабляла ветер, а вместе с тем и дальность полета семян. Падая в глуши леса, в темноту, в среду более рослых или зрелых собратьев, они должны были еще выкарабкаться к свету, для чего был выгоден запас строительного материала в семени, значит и его возможно большая массивность. Теперь природа уже должна была преследовать другой принцип. Нужно было вооружить каждое семя или спору обильным материалом для питания. Чем больше было этого запасного вещества, тем скорее и выше поднимался в лесу росток. Он выходил из полутемноты на свет и заглушал там менее быстро растущие зачатки других растений, т. е. невооруженных так обильно питательным материалом.

В борьбе за существование споры становятся больше, мясистее, становятся семенами и плодами довольно значительных размеров, как например, орехи. Обильная мякоть плодов, быстро гнивая, удобряет почву новорожденному растению. Вот, может быть, причина хорошей переваримости плодов: их легкая загниваемость, неустойчивость, легкая переваримость для бактерий, а следовательно, и для других существ.

8. БОРЬБА РАСТЕНИЙ МЕЖДУ СОБОЮ И С ЖИВОТНЫМИ

О первой борьбе мы уже говорили. Растения беспоощадно отнимали друг у друга место, плодородную почву и свет солнца: продолжительностью жизни, массивностью, высотой роста, крепостью ствола и других частей — быстрым поднятием благодаря обильным запасам материалов плода, — чувствительностью к свету, многочисленным семенем, их летательными приспособлениями, скорым размножением (всеми способами),

разнообразием свойств, силою и качеством потомства, выносливостью к резким изменениям погоды.

Одновременно с растениями появились и животные, под которыми мы будем подразумевать всех бесхлорофильных существ.

Сначала возникли низшие в виде гнилостных бактерий, грибов, инфузорий, потом — высшие в форме многоклеточных: лучистых, червей, членистоногих, моллюсков и хордовых.

Последние последовательно дали: рыб, земноводных, гадов, птиц и млекопитающих (между прочим — человека).

Сначала борьба растений была только с бактериями и низшими паразитами. Вырабатываются отравляющие их вещества: танин, хинин, опиум, кураре и другие растительные яды. Но и бактерии служили растениям, разлагая ослабевших и неприспособленных и тем подготавливая почву для молодых, сильных и приспособленных.

Затем появились черви и насекомые. Началась более серьезная война с ними. Действовали яды. Раны зализались смолой. Образовались новые яды, убивающие насекомых, хотя одновременно вырабатывались породы животных, не боящихся этих ядов. Но новые роды насекомых поглощали безнаказанно и эти.

На растениях появлялись острые колючки, волоски, западни, даже появились насекомоядные растения с двигающимися целесообразно органами. Особенно защищались половые органы и семена.

Последние одевались твердой и непроницаемой для большинства насекомых оболочкой. В борьбе создавались все большие и большие предосторожности и приспособления у растений. Но и насекомые не отставали, и также между ними появлялись роды, одолевавшие все преграды и хитрости растений. И сейчас есть насекомые, одолевающие челюстями свинец, олово и даже прогрызающие цинк.

9. ОБРАЗОВАНИЕ ЦВЕТКОВЫХ ОРГАНОВ С ЯРКОЙ ОКРАСКОЙ, КРАСИВОЙ ФОРМОЙ, ЗАПАХОМ, МЕДОМ, САХАРОМ И ДРУГИМИ ПРИМАНКАМИ ДЛЯ НАСЕКОМЫХ

Цель первых скромных цветковых растений — надежный способ оплодотворения в воздухе, к которому вышедшие на сушу водоросли не были приспособлены.

Переходной ступенью было отдаление половых органов, этих зачаточных цветков, от растения вниз, ближе к земле, в водное болотистое основание, где и происходило оплодотворение. Тогда как раньше, в море, оно большею частью производилось на материнском растении.

Далее растения, вырабатывая громадное количество мелкой цветени, или оплодотворяющего пылеобразного вещества, воспользовались для оплодотворения порывами ветра, который тучей подымал пыльцу и переносил ее — между прочим и на женские органы растений. (Вероятно одна часть водорослей преобразилась в этом духе, а другая — в другом.) Не

было только это оплодотворение достаточно экономным и верным. Кроме того, дожди, смывающие цветень, и тихая погода иногда мешали успешному бракосочетанию.

Но растения скоро воспользовались насекомыми для перенесения цветени на рыльца пестиков, или на женские половые органы. Насекомые уничтожали растения, но скоро стали и полезны им. Перебираясь по разным растениям и летая с одного на другое, они невольно переносили пыльцу с одного цветка на другой, иногда и на женскую плазму (ооплазму). Так происходило оплодотворение и без посредства ветра. Таким путем мужская плазма (спермоплазма) могла быть переносима очень далеко и надежно.

Однако насекомые не отличали цветковых органов до тех пор, пока они не приняли ярко окрашенную и красивую форму, подобную форме самих насекомых, особенно для растений полезных. Листья их понемногу теряли обычную зеленую окраску, располагались иначе, сливались, разделялись, преобразовывались и стали напоминать по цвету и форме бабочек и других летающих.

Тогда насекомые, побуждаемые половым чувством и обманутые видами этих новых цветковых органов, прямо к ним направлялись. Тут они обсыпались мужской плазмой, как мукой, затем летели дальше, снова привлекаясь цветком, похожим на подобное им насекомое.

Повозившись напрасно на цветке, они лапками наносили цветень на сосуды с женскими органами и так производили оплодотворение.

Цветы были и раньше и потом (и скромно зеленые, и красивые и яркоокрашенные) трех сортов: у одних мужская и женская плазма помещалась рядом, на одном стебельке или цветке, у других — на разных цветках одного растения, у третьих — не только на разных стебельках, но и на разных растениях одного вида (однодомные и двудомные).

Легче всего оплодотворялись ветром первые, труднее всего — третьи. Оплодотворение на одном цветке было не выгодно для потомства вследствие близкого родства плазм, но было всего вероятней. Поэтому некоторые растения вырабатывают цветы, разнополюе органы которых на одном цветке созревают одновременно, так, чтобы оплодотворение было возможно с помощью ветра или насекомых, прибывших только с отдаленных цветков.

Если оно этим способом как-нибудь не случилось, то некоторое время спустя, когда на цветке созревает уже и другой пол, бракосочетание все же происходит благодаря скручиванию или наклонению мужских органов к женским, т. е. тычинок к рыльцам пестиков. Это тоже механизм, выработанный борьбою за существование.

Насекомые упростили эту задачу и дали лучшее ее решение, перенося пыльцу издалека с одного цветка на другой. Но чтобы не произошло самооплодотворения, созревание у большинства однодомных цветков не одновременно для разных полов.

Заметим, что оплодотворение возможно только цветенью растения того же вида или близкого. Комбинации близких видов давали растения с укло-

нениями иногда очень значительными (мутации) и полезными для растений.

Так происходило, скачками или постепенно, усовершенствование вида, приспособление его к внешним условиям к победе над собратьями и к образованию новых видов.

Комбинации семейств, родов и типов — или давали уродов, скоро погибавших, или совсем ничего не давали.

В обманчивой и привлекательной форме нарядных цветов насекомые должны были, однако, разочароваться, хотя половой инстинкт упрям и долго сохранялся в пользу растений. Но вот у некоторых растений на цветах образуются капли сахарного сока. Это давало насекомым хорошую пищу и уже не было только грезой.

Для привлечения иных насекомых, равнодушных к форме, было также полезно выделение растениями эфирных масел, испаряющихся и дающих на значительном расстоянии запах, который привлекал лакомок и указывал им путь к запасам пищи.

Растения с цветами, запахом и медом одерживали лучшую победу в сравнении с теми, которые не могли дать этих приманок.

10. ЗАБОТА О ПОТОМСТВЕ. БОРЬБА С ПОЗВОНОЧНЫМИ

Мы видели, что в лесах немного было пользы в перелете легких семян на большие расстояния, ибо везде был лес, и молодые растения заглушались.

Гораздо полезнее была забота о потомстве в другой форме, именно: хорошо было его снабжать запасами питательных или удобряющих почву материалов. Но тяжелые плоды, падая чересчур близко к дереву, отнимали у родителей пищу и сами не вырастали, затемняясь ими.

Эта беда устранилась, когда вслед за насекомыми на земле появились крупные животные, как птицы, звери и обезьяны.

Все эти существа были большею частью такими же врагами растений, как и насекомые. Они поедали листву, цветы, почки, семена и их запасные материалы, целиком уничтожали молодые растения и деревца, вырывали их с корнем и уничтожали самый род их, но в то же время были и успешными распространителями некоторых растений на ОГРОМНЫЕ расстояния.

Птицы поедали вкусные плоды, но иногда, унося их от соперников довольно далеко, роняли на землю и, конечно, часто не подбирали, так как их было обилие. Срывался новый плод и съедался. Но многие ронялись и давали всходы далеко от родителя, иногда на свободных и тучных почвах.

Обезьяны швырялись плодами друг в друга и в неприятелей, переносили их в руках и в защитных мешках, прятали от соперников и врагов, причем много плодов терялось и уносилось далеко, чтобы иногда дать всходы.

Самые косточки или самое существенное для растений — семена — нередко выплевывались и давали начало молодым растениям, порою в благоприятных условиях.

А если косточки и проглатывались, то не всегда могли быть переваренными и потому не теряли при извержении всхожесть, а напротив, удобрялись целую кучей богатого азотом материала.

Растения боролись с животными разными способами против уничтожения своей листвы, корней, цветов и стволов. Действительно, хорошо вооруженными когтями, зубами, клювами, руками и другими органами, животные много делали зла растениям. Хлорофильные покрывались крупными и мелкими колючками, шипами, листья их целиком все превращались в острия. Имели они и стрекающие органы и отвратительный вкус, были даже ядовиты для некоторых или для многих видов животных.

Так защищались стволы, корни, ветки и листья. Так же защищались цветы и плоды до их созревания. Но и созревшие плоды от более слабых животных предохранялись толстой и прочной броней, которая защищала их механически и противодействовала пищеварительным сокам проглотивших их животных. Это тоже способствовало распространению видов.

Однако мускульный желудок птицы и зубы млекопитающих преодолевали это препятствие, кроме случаев исключительной крепости скорлупы и большой величины плодов.

Но для первых травоядных млекопитающих это препятствие было преодолимо, да они притом предпочитали траву, хищные же пренебрегали часто и плодами. Таким образом, не все семена уничтожались, часть их спасалась и от желудка и от зубов, попадала в почву и давала ростки. Животные были их разносителями, так что невольно служили растениям.

Другие растения употребляли иные хитрости, чтобы пользоваться животными. Семена таких растений имели крючки, прицепки, были вымазаны клейкими веществами и этими разными способами прикреплялись к покровам или шерсти животных и разносились далеко, безопасно и надежно.

Обезьяны, попугаи и другие высшие классы животных, по своему разумию, не охраняли и не культивировали полезные им растения, напротив, поедали их плоды, и только некоторые из них распространялись по окрестностям, вырастали и заглушали растения с невкусными плодами, не распространяемыми животными.

В общем выигрывали растения, все части которых, кроме созревших плодов, были несъедобны или недоступны для животных. Зато созревшие плоды таких растений были привлекательны и питательны для существ. Плоды съедались, но семена их спасались своей оболочкой и выброшенные с калом далеко от своих родителей произрастали, удобренные навозом. Итак, высшие растения вырабатывают доступные и привлекательные плоды с недоступными семенами и остальными частями растений. Ничего, что плоды росли высоко. Созревшие, они падали и были доступны даже для нелетающих и нелетающих.

Когда же на арену жизни появился человек, он не только невольно рассеял питательные растения, но впоследствии, по мере развития своего разума, и охранял их от животных, других растений и мертвых сил природы: от холода, сухости, истощения почвы, грызунов и других вредителей. Далее, не только охранял, но и рассаживал, заполнял ими луга, вырубал леса и уничтожал с корнем ненужные им растения. Мало того — даже улучшал эти полезные ему породы, т. е. добивался получения все более и более вкусных, питательных и обильных плодов.

Вообще, все растения, нужные ему в каком-либо отношении, например, для получения одежды, лекарств, для домашних животных — он берег, распространял и культивировал. Так, искусственным подбором, скрещиванием, заботами, он создал теперь много новых разновидностей хлебов, овощей, фруктов, плодов, цветов и т. д.

Со времени появления размышляющего человека полезные ему растения нашли в нем могущественного защитника, и потому существование их и распространение, несмотря на их слабость в борьбе с природой и животными, было обеспечено навсегда. Ум человека, опыт, наука — все пошло теперь на службу этим растениям. Они покорили не только современное человечество, но и гений давно умерших людей, создавших науки, ибо они немало отдали сил изучению растений.

Сначала семена снабжались питательными материалами для них самих, и мясистыми легко разрушающимися плодами ради удобрения почвы и, следовательно, также непосредственно для них. Потом, эти запасные вещества растительных зародышей пришлось по вкусу разным животным, которые сделались невольными распространителями этих растений. Чем вкуснее и питательнее были плоды, тем успешнее и дольше распространялись породившие их растения. Значит, одолевали растения с наиболее вкусными плодами. Качество это оказалось полезно растениям непосредственно и посредственно. Естественный подбор давал преимущество таким растениям и понемногу развивал его. Для самого прихотливого и разборчивого существа — человека — эти свойства плодов путем искусственного отбора еще должны были улучшиться.

11. ПОПЫТКИ РАСТЕНИЙ ПЕРЕЙТИ В СОСТОЯНИЕ ЖИВОТНОЕ, Т. Е. ПРИОБРЕСТИ ЧУВСТВА, ДВИЖЕНИЕ И РАЗУМ. БУДУЩАЯ СУДЬБА РАСТЕНИЙ

На первой стадии развития жизни оба царства — растительное и животное — были смешаны, имели один источник, шли параллельно и обнаруживали изумительное сходство. Так что по своим свойствам и даже виду почти не отличались друг от друга. Несходство было только в присутствии или отсутствии хлорофилла (в его относительном количестве и значении). Но по мере развития тех и других разница между ними проявлялась все более и более: в сложности формы, в развитии питательной, дыхательной, сосудистой и нервной систем, в особенном прогрессе двигательных органов, живости движений. Последнее у животных брало перевес, благодаря

поглощению или огромного количества собратий, дававших более обильную энергию по сравнению с той, какую могли дать растениям солнечные лучи. Энергия растения в общем пропорциональна квадрату его линейных размеров. Энергия же сложных животных пропорциональна кубу этих размеров. Поэтому чем больше были существа, тем значительно было преобладание животных над растениями.

Затем большая часть растений, будучи сначала подвижной, нашла выгодным прикрепиться к месту, зацепиться придатками за камни, за дно бассейна, вросли корнями в почву. Только как сон, как далекое воспоминание осталась подвижность зооспор разных водорослей. Это младенческое состояние водорослей указывает на быт их предков, когда все они были малы и подвижны.

Солнечная энергия давала растениям такую незначительную самостоятельную скорость движения, которая не могла одолевать течений, не могла поддерживать их в воздухе и никак не могла конкурировать со скоростью животных, имевших неистощимый источник энергии в поглощаемых ими существах и их трупах. Поэтому понятно, что самостоятельная перемещаемость растений была им мало полезна и потому была природой в большинстве случаев уничтожена. Она уничтожена была больше всего конкуренцией животных.

Тем не менее как водные, так и сухопутные растения получили зачатки чувств, движений и даже хищничества. В особенности наземные. Им судьба предоставила более трудную борьбу с мертвой и живой природой.

Ночной холод заставлял их складывать и опускать листики и ветки, закрывать лепестками половые органы, солнце и свет притягивали их к себе, вернее — они научились искать его, идти к нему навстречу, поворачивать к нему головки цветов и их соцветия, располагать листья горизонтально, вертикально или нормально к свету, смотря по климату.

Назойливость насекомых выработала у некоторых органов растений способность внезапным движением листьев и веточек спугивать их. Недостаток в азотистой пище, в болотистых местностях, делает некоторые растения даже плотоядными. Они вооружаются западнями для ловли насекомых, которых они переваривают, и так восполняют пробелы в своем питании.

В них уже проявляются зачатки органов зрения и у всех имеется чувство тяжести, благодаря которому растения правильно располагают ствол, корни, листья и цветы.

Но все же это были робкие попытки природы, которые не могли дать обильных плодов и сделать растения разумными и сильными существами, так как энергия лучей солнца не была для этого достаточна. Такие поползновения легко подавлялись конкуренцией животных, сильно опередивших растительный мир и имеющих обильный приток энергии в поглощенных ими существах: борьба была возможна раньше, но не теперь, когда растительное царство так отстало от животного.

Теперь эта пропасть, по-видимому, непереходима. Но все же нельзя наверняка предсказать будущую судьбу растений. Покамест на земле

существуют животные и, в особенности, человек, до тех пор хлорофильным трудно перейти разделяющий их от животных провал. Чересчур велика разница между их строением, образовавшаяся в течение сотен тысяч лет, чтобы можно было ее перешагнуть.

Но если бы животные и человек стали регрессировать и исчезли, то растениям был бы предоставлен простор совершенствоваться. Они могли бы дойти до приобретения более совершенных чувств, разума и движений. Может быть они бы постепенно оставили свою привязанность к земле и застраивали по ней, как странствуют их семена и зооспоры. Правда, солнечная энергия не настолько велика, чтобы дать растениям очень быстрое движение. Однако расчеты показывают, что зооспоры и самодвижущиеся водоросли не утилизируют на движение и одной биллионной (10^{-12}) падающей на них энергии солнечных лучей. Утилизация ее могла бы увеличиться и растительные существа могли бы приобрести вполне приличную скорость движения, достаточную для жизненного обихода, хотя и недостаточную для конкуренций с животными. Может быть растения стали бы поглощать друг друга: мыслящие и сильные — слабых, немслящих и отставших в своем развитии. Но тогда они уже превратятся в полуживотных, а со временем и в безхлорофильных существ. История эволюции живого повторится и будет подобна той, которая уже превратила когда-то водорослей в животных и человека.

Но едва ли возможно исчезновение человека прежде исчезновения растений и животных. Напротив, его судьба, как и судьба всего сущего, — идти вперед, совершенствоваться еще более и дать начало высшим породам. Разве человек не имеет бездну физических, умственных и социальных недостатков, чтобы оставаться с тем, что имеет! Если он уже теперь распоряжается так могущественно судьбою растений, то что же будет дальше? Он преобразует и самые растения, но преобразует односторонне — на пользу самому себе, а не для победоносной борьбы их с ним самим...

Приспосабливаясь, растения распространились по всей Земле в таком порядке. Вначале вследствие внутреннего жара Земли и огромной атмосферы из углекислого газа климат был довольно ровен и тепел по всей поверхности Земли. Низшая, сносная для живых существ температура была на полюсах. На экваторе было чересчур жарко для начатия жизни. Поэтому первые органические соединения появились, вероятно, в полярных странах, откуда и пошла жизнь.

Отсюда, из тихих пресноводных озер ровного климата, по мере охлаждения Земли, жизнь перешла в реки, из рек в океаны.

Шла она и другим путем: из водных бассейнов — в болота, влажные места, на сушу, на горы, в песчаные и каменистые пустыни, — даже туда, где жизнь казалась бы невозможной. Вследствие охлаждения полярных и умеренных широт, она ослабевала и вымирала, заполняя более подходящие места. Потом она шла обратно в остывшие уже полярные области, на вершины гор, покрытых теперь уже вечным снегом, на дно океанов.

Обратное движение (возможно) повторялось не раз: усовершенствованные растения суши в борьбе за существование с еще более совершен-

ными породами переселялись в воду болот, озер, рек и океанов. Некоторые свои органы они утрачивали или преобразовывали. Они исчезли как бесполезные в воде или оставались в зачаточном состоянии. Этим легко объяснить существование сложных, например, цветковых растений в воде. При цветении они даже выставляют свои половые органы на воздух, чтобы могло произойти оплодотворение привычным для них путем.

Но с другой стороны, если не слабые зимние холода, то полугодовое отсутствие света не способствовали началу жизни в полярных странах. Мы думаем, что скорее она началась в экзотических странах. Борьба с природой за существование тут была легче, повышенная же температура не могла быть препятствием для низшей жизни; и сейчас бактерии легко привыкают к 70° Цельсия.

МЕХАНИКА В БИОЛОГИИ *

ПОДОБИЕ ОРГАНИЗМОВ И УКЛОНЕНИЕ ОТ НЕГО **

1. Определение подобия

Слово «подобие» организмов означает их геометрическое подобие. Представим, например, себе ряд человечков разных размеров, но геометрически подобных между собою. Они похожи друг на друга, как две капли воды, как портреты с одного и того же лица, как художественно сделанные статуэтки, больших и малых размеров, скопированные с одной личности. Смотря на одну из них, на любую, мы узнаем и называем самую личность. Так могут быть подобны львы, обезьяны, рыбы, птицы, улитки, инфузории, бактерии и т. д.

Подобие может быть одно наружное и наружное вместе с внутренним. Не могут быть подобны молекулы и атомы, так как размеры их постоянны и не увеличиваются с увеличением организма. Не могут быть подобны и клеточки, так как размер их также не зависит от размеров существа.

Внутренние органы только отчасти могут быть подобны. Это можно допустить только теоретически, до известных размеров. Еще менее возможно подобие между микроскопическими частями тела, состоящими из клеток.

Одна и та же особь при своем росте не остается подобной самой себе. Так дитя не подобно самому себе через несколько лет жизни. Подобие относится к одной и той же позе существ. Так, если я буду принимать разные позы, то геометрического подобия между ними не будет.

У подобных существ мы замечаем соответственные или одноименные точки. Таковы, например, кончики носов, концы мизинцев правых рук, оптические центры левых глаз. Вот нестрогое определение одноименных

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 301). Рукопись датирована 3 января—12 марта 1920 г. (Ред.)

** Работа эта начата автором еще в 1882 году. Тогда же известный профессор Сеченов отозвался о ней так: «Труд Циолковского, несомненно, доказывает его талантливость. Автор солидарен с французскими биологами-механистами. Жаль, что он не закончен и не готов к печати...»

Только теперь, через 38 лет, ему суждено появиться в свет. Он даже не переделан, а вновь написан, но дух его остался неизменным. Начатое сочинение еще хранится, если не считать потерю немногих листков (К. Э. Ц.)

точек. Одноименные точки в каждом из подобных организмов соединяются одноименными или соответственными прямыми линиями. Одноименные линии у подобных, или одноименных тел пропорциональны. Это значит, что размеры всех органов одного тела в одинаковое число раз больше одноименных размеров органов другого подобного ему тела. Если, например, рост в 10 раз больше, то и рука, и нога, и одноименные пальцы одного существа в 10 раз больше по длине, чем у другого. Основываясь на пропорциональности одноименных линий у подобных тел, геометрия доказывает, что одноименные углы равны (например, углы носов), что одноименные площади, сечения и поверхности подобны, что также подобны и все одноименные органы и соответствующие их части. Также у подобных тел длина соответствующих линий, расстояний, периметров и обводов пропорциональна размеру подобно изменяющегося тела, площади, сечения и поверхности пропорциональны квадрату этих размеров, а одноименные объемы пропорциональны кубу линейных размеров. Так, если высота животного в 10 раз больше высоты ему подобного, то линейный размер всех соответствующих органов первого также будет в 10 раз больше, чем у второго; поверхности же этих органов будут в 100 (10^2) раз больше, а объемы — в 1000 (10^3) раз. Плотности одноименных материальных точек и их свойства считаются у подобных тел неизменными, или одинаковыми.

«Подобных» организмов вообще не существует. Мы только их воображаем подобными и сейчас же математически приходим к выводу, что они и не возможны. Необходимы и целесообразны отклонения от подобия, которые мы и находим в природе, предугадывая их и объясняя их причину.

2. Формулы периметра, площади, поверхности, объема, массы и веса

Представим себе ряд подобных существ разных размеров. Пусть подобны все их органы, за исключением клеток и микроскопических частей. Можно также вообразить, что одно и то же существо изменяется в размерах, увеличиваясь или уменьшаясь, но оставаясь всегда подобным самому себе. Это существо может быть обитателем воздуха, земли, воды или пустоты.

На основании подобия организмов длина какого-либо периметра или кривой линии в организме будет $L = lH$, где l — есть длина линии при росте H в единицу. Площадь одноименного сечения любого органа (F_0) выразится $F_0 = F_{01}H^2$, где F_{01} — есть площадь сечения органа при единице роста организма (высота или длина), а H — самый рост или другой линейный размер. Эта формула, например, относится к сечению костей (F_R), хитина (F_X), сухожилий (F_C), мускулов (F_M), крыла, кишек, мозга, печени, легких и т. д. Также поверхность всякого органа S_0 равна $S_0 = S_{01}H^2$, где S_{01} — есть поверхность органа у существа при линейном росте его в единицу. Объем всякого органа V_0 будет $V_0 = V_{01}H^3$. Масса органа

$$m_0 = m_1H^3 = S_{01}\rho H^3,$$

где ρ — средняя плотность органа, а m_1 — масса органа при росте H в единицу. Вес органа (G) будет $G = gm_0 = gm_1H^3 = gS_{01}\rho H^3$, где g — сила тяжести планеты, которой подвержено животное или растение. Конечно, эти формулы относятся и к сумме одноименных органов, и к целому организму.

3. Сопротивление дроблению и разрыву.

Напряжение мускула и сила двигательного органа

Сопротивление дроблению ($R_{сж}$) сечения костей, хитина, хрящей или других опорных органов выразится

$$R_{сж} = \sigma_{сж}F_0 = \sigma_{сж}F_{01}H^2,$$

где $\sigma_{сж}$ — коэффициент дробления, или то усилие, которое нужно употребить, чтобы раздробить кость или другой орган при поперечном сечении его в единицу площади. Если орган должен быть прочнее в K раз, то формулу напомним так:

$$R_{сж} = \sigma_{сж}F_{01}H^2 : K.$$

Здесь K — прочность, выражаемая числом, бóльшим единицы. Также сопротивление разрыву (R_p) органа, например сухожилий, мускулов, костей, кожи и тому подобного выразим

$$R_p = \sigma_2F_{01}H^2 : K.$$

Напряжение мускула при его сокращении будет

$$R_m = \sigma_mF_{01}H^2,$$

где σ_m — напряжение мускула при площади его сечения в единицу.

Напряжение или сила двигательного органа, например руки, ноги или другого члена, почти всегда меньше напряжения мускулов, приводящих его в движение, потому что орган, выигрывая в пространстве и скорости движения, столько же проигрывает в силе. Эту потерю выразим отвлеченным числом $1/\eta$, которое большею частью превышает единицу. Тогда предыдущая формула преобразится так:

$$P = \sigma_mF_{01}H^2\eta,$$

где P — есть сила члена, например крыла, руки, хвоста и т. п.

4. Мощность и энергия

Энергия, мощность существа, или количество выделяемой им механической работы в единицу времени (например, в секунду) зависит, между прочим, не только от совершенства мускула или другого двигательного механизма, но и от количества поглощенного кислорода, переваренной пищи, воспринятой солнечной энергии (для существ с хлорофиллом), от количества и скорости негодных выделений и т. д.

Рассмотрим дыхательный орган: кожу, легкие, жабры, трахеи, дыхательные мешки, устьяца листьев и т. д.

Количество поглощенного в единицу времени кислорода пропорционально, между прочим, соприкасающейся с кислородом поверхности. Если орган дыхания, увеличиваясь и уменьшаясь остается подобным самому себе во всех своих мельчайших частях, то эта поверхность, как и все поверхности подобных тел, будет пропорциональна квадрату размеров тела (H^2).

Также количество выделяемой углекислоты и других газов и паров. Но дело в том, что размер элементарных органов дыхания и органов выделения имеет ограниченные размеры. Чем они меньше, тем успешнее действуют. Докажем это. Пусть у нас элементарный орган дыхания имеет вид шарообразной альвеолы. Ее поверхность равна $S_a = 4\pi r_a^2$, где π — отношение окружности к диаметру, а r_a — радиус альвеолы. Ее объем $V_a = (4/3)\pi r_a^3$. Объем легких $V_{л} = V_{л1}H^3$. Число альвеол в легких будет

$$n = \frac{V_{л}}{V_a} = \frac{V_{л1}H^3}{(4/3)\pi r_a^3}.$$

Поверхность всех альвеол равна

$$S_{ва} = nS_a = \frac{S_a H^3}{(1/3)r_a}.$$

Из последней формулы видно, что при одном и том же росте существа (H) и неизменных относительных размеров легкого ($V_{л1}$) действующая их поверхность обратно пропорциональна r_a , т. е. тем больше, чем линейный размер (r_a) альвеолы меньше. Из той же формулы ясно, что при постоянном размере альвеолы их полная поверхность или поверхность дыхательного органа пропорциональна кубу размеров (H^3) организма.

Когда организм растет, но не совершенствуется, то органы его дыхания, может быть, остаются подобными, т. е. линейные размеры альвеол также растут. Тогда дыхательная поверхность будет возрастать в квадрате, т. е. невыгодно для существа. Если же они совершенствуются, то размер альвеол будет неизменным и поверхность легких будет возрастать пропорционально кубу роста животного. Что же принять? Совершенствование могло идти и не идти или быть постепенным. Кроме того, легкие, состоящие из множества мелких альвеол, требовали тем больше трубок бронх и были тем сложнее своими придаточными частями, чем размер животного был больше. Это показывает, что поверхность легких могла только в идеале быть пропорциональной кубу размеров тела. Итак, мы примем, что она равна $S_{ва} = \frac{V_{л1}}{(1/3)r_a} H^k$, где показатель k заключается между 3 и 2 и скорее близок к трем, а при особом преобразовании дыхательного органа может быть даже больше трех (3). Так, у птиц во время их полета и сокращения грудных мускулов благодаря воздушным мешкам образуется особый периодический поток воздуха, который сильно способствует поглощению кислорода и выделению из легких и тела негодных газов. В таких исключительных случаях k может быть даже гораздо больше 3.

Также у некоторых насекомых (пчелы, жуки) есть нечто подобное дыханию птиц. Но дыхательный процесс зависит также от кровообращения, т. е. деятельности сердца, величины и количества сосудов (трубок) и их клапанов. Те же рассуждения приведут нас к тому же выводу, т. е. что вообще количество поглощений и выделений будет, приблизительно, пропорционально кубу линейных размеров существа (с нарушением подобия в мелких гистологических частях животного). Подразумеваю определенный минимальный и постоянный размер кровяных шариков, волосных сосудов и тому подобного. Но при особом усовершенствовании органов кровообращения показатель k опять-таки может сделать скачок и стать больше трех (3). Например, появление сердца, т. е. более или менее совершенного насоса у существа, подвигает его вперед в этом отношении. Также — клапаны разного рода и движение крови в одном направлении.

Перейдем теперь к количеству поглощенных и переваренных источников энергии животного, оставив растение пока в стороне. Это количество имеет предел в органах пищеварения, дыхания и т. д. Если у существа избыток пищи, то он все равно не усваивается и выбрасывается бесполезно, если не считать ограниченного накопления запасных материалов и половых выделений. Наоборот, при недостатке питания животное ест некоторое время самого себя, выделяя даже усиленную энергию, которая не отягчается работою переваривания в такой степени, как при обременении пищеварительных органов.

Положим опять, что размер элементарных органов пищеварения, разных ворсинок и железок постоянен так же, как и число их на квадратном сантиметре. Допустим также, что органы пищеварения подобны, т. е. что поверхность кишек, желудка и т. п. пропорциональна квадрату линейных размеров существа. Тогда и пищеварительная сила также будет пропорциональна тому же. Но это не выгодно организму, который увеличивается в своих размерах. Поэтому сложность органов пищеварения увеличивается. Появляется больше частей и другие усовершенствования. Допустим, например, неизменную толщину кишек и для больших и для малых размеров животного. Тогда их длина и поверхность будет пропорциональна объему существа, или кубу его размеров (H^3). В таком случае увеличение размера наружно подобных существ усложняет организацию пищеварительных органов, а уменьшение — упрощает, сводя сложную пищеварительную трубку высших животных на короткий мешочек. На деле этого не бывает, так как тогда сложность органов пищеварения у больших существ будет чересчур велика: сложность у них увеличивается, но гораздо умереннее. Итак, мы опять приходим к выводу, что пищеварительная сила, как и выделяемость негодных веществ и поглощаемость кислорода, пропорциональна H^k , где k более 2 и менее 3. Только при особом улучшении органов ассимиляции k может сделать скачок и превысить 3. Таковы: мускульный желудок птиц, перистальтическое червеобразное движение кишек, пищеварительные железы и другие усовершенствования высших животных. Имеет огромное значение и самый материал питания, травы, мясо и т. п.

Мы видим, что все, от чего зависит выделяемая в единицу времени энергия или работа животного, его мощность,— пропорционально одной и той же степени роста H^k . Эта мощность выражается работою мускулов и равна $N_0 = N_1 H^k$, где N_1 — работа или мощность организма при его росте в единицу.

Энергиею организма мы назовем его работу в секунду, приходящуюся на единицу его массы.

По предыдущим формулам можем вычислить мощность и энергию разных существ, принимая в основание, что нормальный человек при росте в два метра (для простоты принимаем круглое число) весит 80 кг и выделяет в секунду при работе 10 кгм.

Вот таблица.

Рост, м	1/100	1/25	1/16	1/9	1/4	0,5	1	2	3	4
Мощность, кгм . .						0,317	1,78	10	28,2	56,3
Энергия, кгм . .	1,78	0,89	0,71	0,53	0,36	0,25	0,178	0,13	0,1	0,089

Чем меньше рост, тем меньше и абсолютная мощность; но величина ее, приходящаяся на единицу массы существа, или энергия, напротив, увеличивается с уменьшением существ. Она равна $W = N : m_0 = (N_1/V_{01\rho})H^{k-3}$. Так как k вообще меньше трех, то $H^{k-3} = 1 : H^{3-k}$. Следовательно, истинная энергия уменьшается с увеличением роста и увеличивается только при усовершенствовании органов движения, дыхания, пищеварения, выделения и т. д. Все же k близко к 3 и потому истинная энергия организма почти постоянна.

5. Уклонение от внутреннего подобия при изменении размеров

Мы видели, что при соблюдении подобия внутренних органов мощность пропорциональна квадрату размеров, а энергия (мощность единицы массы) уменьшается с увеличением размеров (H) существа, и обратно.

Возьмем в пример простейшее животное, одноклеточное, не имеющее обособленных или специальных органов дыхания, кровообращения и т. д. Пусть оно увеличивается в своих размерах, оставаясь себе подобным и простейшим.

Его энергия будет уменьшаться с увеличением его размеров, ибо относительная поверхность дыхания, питания и т. д. будет непрерывно сокращаться, возрастая не в кубе, как масса тела, а в квадрате. Выиграет ли существо при этом от увеличения его размеров? Раз энергия уменьшается, то и выигрыш очень сомнителен. Но пусть то же существо уменьшается в своих размерах. Тогда произойдет обратное, т. е. энергия будет возрастать с уменьшением размеров. Тут преимущество очевидно. Поэтому-то простейшие имеют такие ничтожные, большую часть микроскопические,

размеры: они им выгодны, так как энергию увеличивают до возможной минимальной величины тела. Она определяется простотою устройства; чем она больше, тем размеры могут быть меньше. Сложность строения требует значительного количества сложных веществ, совокупность которых не может быть меньше определенной величины. Поэтому, чем больше сложность, тем больше минимальные размеры существа.

Но вот не инфузория какая-нибудь, а более сложное многоклеточное существо, обладающее некоторыми органами. Если эти органы остаются подобными при изменении размеров животного, т. е. не упрощаются и не усложняются, то вывод окажется тот же, как и для простейшего, т. е. обнаруживается выгода возможно малых размеров. Но так как существо сложнее, то и эти наиболее выгодные размеры будут больше, чем у инфузории.

Когда существо, оставаясь наружно подобным самому себе, увеличивается в размере, то это оказывается только тогда сносным, когда органы усложняются и совершенствуются. Только тогда их энергия не падает в такой быстрой степени, как при соблюдении подобия. Энергия тогда может даже оставаться постоянной, т. е. пропорциональной массе и даже более. В этом случае, если не выгодно, то возможно увеличение размеров. Наоборот, при уменьшении их, без нарушения подобия, энергия будет расти, что дает возможность таким регрессирующим в размерах животным упростить конструкцию их тела, без ослабления энергии.

Мы видим подтверждение всему этому в биологии: чем крупнее существо, тем строение его сложнее, и наоборот. Кроме того, уменьшение размеров, их микроскопичность не совместима со сложностью, так что упрощение произойдет поневоле. Напротив, большие размеры допускают и большую сложность, хотя последняя и необязательна.

6. Работа мускула при одном сокращении.

Число этих сокращений, или частота их

Работа мускула, при каждом его сокращении, равна (см. 3): $A_{M1} = R_M \Delta l_M$, где Δl_M — есть величина линейного сокращения мускула. Обыкновенно, она составляет около $1/3$ всей длины мускула и, следовательно, равна $\Delta l_M = 1/3 l_{M1} H$, где l_{M1} — есть длина мускула при росте животного в единицу. Итак, $A_{M1} = R_M \Delta l_M = \sigma_M F_{O1} 1/3 l_{M1} H^3$. Но $l_{M1}/3$ можем заменить Δl_M , т. е. величиною сокращения мускула при росте в единицу. Тогда $A_{M1} = \sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3$. Напомним, что σ_M — есть напряжение мускула при площади его поперечного сечения в единицу, а F_{O1} — площадь сечения мускула при росте существа в единицу.

Если число сокращений мускула в секунду обозначим через n , то работа мускула будет: $A_{Mn} = \sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3 n$. Но эта работа по предыдущему пропорциональна (в единицу времени) H^k ; так что будет равна $k_{p1} H^k$, где k_{p1} — есть работа мускула в секунду при росте H в единицу. Следовательно, $\sigma_M F_{O1} \Delta l_M H^3 n = k_{p1} H^k$. Отсюда получим

$$n = \frac{k_{p1}}{\sigma_M F_{O1} \Delta l_M} H^{k-3}.$$

Так как k близко к 3, то число сокращений в секунду для всех подобных организмов (с означенными ограничениями в подобии) будет одинаково. Но так как вообще k меньше 3 и может даже дойти до 2, то в последнем случае число сокращений в единицу времени будет обратно пропорционально размерам организма, т. е. чем меньше организм, тем мускульные вибрации будут чаще. Вообще, частота эта обратно пропорциональна H^{3-k} .

Так, при $k = 2,5$, эта частота обратно пропорциональна \sqrt{H} . Если, например, существо в 1 м ростом делает в секунду одно сокращение каким-либо мускулом, то подобное ему, но ростом в 1 см, делает в ту же секунду 10 ($\sqrt{100} = 10$) сокращений. Конечно, предполагается подобие мускулов.

Из того обстоятельства, что частота сокращений двигательных членов, например ног, крыльев и т. д., у разных размеров в животном мире тем больше, чем организм меньше, — уже отсюда видно, что энергия существ не постоянна, но уменьшается с увеличением размеров, что мы и вывели теоретически ранее. Не забудем, что когда энергия и другие величины, от которых она зависит, пропорциональна H^2 , то все органы существ подобны, например пищеварительные, дыхательные и т. д. Т. е. если они сложны у больших животных, то также будут сложны и у малых, — если примитивны у этих, то также просты и у громадных.

В биологии этого нет, не может быть и нет в том надобности.

7. Стояние, наибольший рост и наибольший груз

Кости, хитин, ствол или другие опорные части существа, при стоянии его, выдерживают тяжесть тела, при падении — удар о почву, при носке грузов — их тяжесть, при борьбе или работе — сопротивление материалов, подлежащих разрушению или обработке. Напряжение мускулов, при работе их, которое гораздо больше силы членов, тоже посягает на целостность костей и других опорных частей.

Рассмотрим стояние, наибольший рост и наибольший груз, зависящие от крепости опорных частей существа. Приравняем сопротивление дроблению костей тяжести тела. Получим уравнение:

$$\sigma_{сж} F_{01} H^2 : K = g V_{01} \rho H^3,$$

из которого найдем: $\sigma_{сж} F_{01} : k = g V_{01} \rho H$. Отсюда видно, что рост H пропорционален: коэффициенту дробления $\sigma_{сж}$, или крепости опорного материала сравнительной площади, поперечному сечению кости F_{01} при росте в единицу (это есть, собственно, относительная толщина кости). Значит, чем она сравнительно тоньше, тем рост меньше; при относительной ее тонкости сопротивление дроблению или, скорее, изгибу падает непропорционально, поэтому природа делает кости трубчатыми или заменяет их внешним твердым покровом, т. е. скорлупой, раковинной и т. д., также делает кости сложного строения, как башня Эйфеля. Впрочем и к этому прибегать природе почти не приходится, так как относительный вес опорных

частей и при всей простоте их строения будет ничтожно мал в сравнении с весом тела. Поэтому у самых малых позвоночных кости должны быть сплошны или с малой пустотой (вообще — самого элементарного строения). Далее, рост обратно пропорционален желаемой прочности K , т. е. чем кости или другой опорный материал мы желаем сделать надежнее, тем рост организма должен быть меньше; рост обратен относительному объему тела V_{01} , т. е. чем сравнительно тоньше, «эфирнее» существо, чем меньше на нем жира, мускулов и других органов, кроме костей, тем рост может быть в высоту больше. Рост обратен средней плотности тела ρ — смысл тот же. Рост обратен силе тяжести: так, на Луне организм при том же устройстве будет в 6 раз выше, на астероидах — в сто, тысячу раз выше, на Солнце — в 27 раз ниже, на Юпитере — в $2\frac{1}{2}$ раза меньше, чем на Земле; где нет тяжести, там он беспределен, если принимать во внимание одну борьбу с тяжестью.

Из той же формулы можем сделать еще другие выводы. Так, видно, что при одном и том же росте H сила тяжести g может быть пропорциональна прочности опорного материала $\sigma_{сж}$ и сравнительной площади сечения F_{01} опорного органа.

Крепость костей или хитина может быть выражена грузом, который может вынести существо. Мы определим кажущуюся или эффективную прочность опорного материала, сравнив его сопротивление с весом организма. Получим относительное сопротивление костей (σ_k). Оно будет равно сопротивлению дробления опорных костей, деленному на вес организма (см. 2 и 3): $\sigma_k = R_{сж} : G = \sigma_{сж} F_{01} H^2 : g V_{01} \rho H^3 = \sigma_{сж} F_{01} : g V_{01} \rho H$.

Формула выражает число поднятых животных такого же веса, как и данное, считая и его. Это число пропорционально крепости материала $\sigma_{сж}$ и относительной площади его сечения F_{01} . Оно, напротив, обратно пропорционально силе тяжести g и росту H существа. Последнее означает, что чем меньше его рост, тем больше может быть нагружено существо себе подобными и равными; если, например, организм в 2 м высоты поднимет себе равное (с собой — два существа), то подобный организм, в один миллиметр ростом, подымет равных ему по весу целых 4 тысячи, считая и самый организм, подымающий на своих плечах такой чудовищный груз. Напротив, существо в 4 м высоты подымет только единицу, т. е. самого себя — на плечах у него ничего не должно быть, иначе оно развалится.

Влияние же тяжести состоит в том, что чем она меньше, тем поднятый груз будет сравнительно больше. Если, например, организм в 1 м ростом на Земле поднимает только самого себя, то на какой-нибудь планете Атланта, где тяжесть в тысячу раз меньше, он будет держать на спине 999 существ, равных себе по весу. Напротив, где тяжесть, положим, в 2 раза больше, там он не вынесет тяжести собственного тела и упадет на четвереньки.

Можем указать на подтверждение наших выводов природою. Так, наибольшей высоты достигают водные существа (водоросли до 600 м высоты), где тяжесть ослабляется обратным действием воды. Возьмем еще для примера животных, хотя немного сходных по виду, например. птиц (ворона,

галка, воробей и т. п.). Мы увидим, что по мере уменьшения их роста одноименные кости становятся все более и более воздушными, т. е. вес их по отношению к весу тела становится все меньше и меньше, так же как и площадь поперечного сечения кости по отношению к длине ее. То же справедливо и для существ самых разнообразных. Но выразимся по обстоятельнее.

Прибавим тут две таблицы. Одна показывает сравнительную грузоподъемность подобных существ в зависимости от их роста, другая — нормальный рост в зависимости от силы тяжести планеты.

Относительная грузоподъемность подобных существ,
в зависимости от их роста

Размер, в см	1	10	50	100	200	300	400	600	800
Число несомых и равных существ	799	79	15	7	3	$1\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	0
	599	59	11	5	2	1	0,5	0	
	399	39	7	3	1	$\frac{1}{3}$	0		
	299	29	5	2	$\frac{1}{2}$	0			

Тут человек подымает от 3-х до $\frac{1}{2}$ себе равных. Это — нормальный субъект, принимаемый в 2 м ростом. Если человек нормальный подымал $\frac{1}{2}$ своего веса, то при 3 м высоты мы уже ничего не можем поднять. Если подымал троих, то при 8 м роста тоже ничего не подымет.

Нормальный рост в зависимости от силы тяжести планеты

Тяжесть		0,001	0,01	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	5	10	100	1000
Рост	м	2000	200	20	10	4	2	1	0,67	0,5	0,4	0,2		
	см						200	100	67	50	40	20	2	0,2
Масса существа	кг	10^{11}	10^8	10^5	12500	800	100	12,5	3,7	1,6	0,8	0,1		
	г										800	100	0,1	0,0001
Масса мозга	кг	10^9	10^6	1000	125	8	1	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{125}$			
	г							125	37	16	8	1	0,001	1:10

Во сколько раз уменьшается тяжесть, во столько раз увеличивается рост, а масса мозга и тела возрастает при этом в кубе. Чем больше тяжесть, тем меньше рост, а масса тела и мозга при этом уменьшается в кубе.

8. Уклонение от подобия в толщине опорных органов

Вообразим, что рост в высоту подобно изменяющегося организма увеличивается. Его масса и давление на сопротивляющиеся части увеличиваются в кубе, между тем как это сопротивление увеличивается только в

квадрате. Если, например, рост увеличился в 10 раз, то объем, масса, вес и давление увеличатся в 1000 раз, а сопротивление дроблению, например, костей только в 100 раз. Если раньше, т. е. при малом росте, сопротивление опорных органов было достаточно, то теперь оно будет мало, и чтобы сделать его удовлетворительным, надо увеличить его в 10 раз. Как же это сделать? Можно прочность опорного материала увеличить в 10 раз или, когда таких материалов нет, то приходится площадь поперечного разреза кости увеличить во столько же раз или диаметр сечения почти в 3 раза. И отсюда видно, что для успешной борьбы с тяжестью невозможно соблюдение подобия: сравнительная толщина опорных органов должна расти с увеличением размеров животного в высоту.

Непропорциональное увеличение толщины опорных органов, увеличивая общий вес тела, еще более увеличивает их непропорциональность и неуклюжесть. В природе мы находим подтверждение этому выводу в кажущейся неуклюжести слонов, гипопотамов и других крупных наземных животных. Так стройный человек, если бы мог увеличиваться в размерах, то должен был бы утолщать свои кости тем более, чем размер его будет больше. Из Аполлона Бельведерского он превращается в неуклюжее существо, в противном случае ему грозит излом костей от собственной тяжести, бессилие в отношении поднятия грузов, относительное уменьшение или атрофирование других органов и общее ослабление всего тела вследствие уклонения от пропорциональности. Вот почему гиганты выходят неудачны.

Возьмем обратный случай: размер какого-либо существа уменьшается в 4 раза. Тогда сопротивление опорных частей будет в 4 раза больше чем нужно. Значит, диаметр сечения их может уменьшиться в 2 раза (а площадь, конечно, в 4 раза). Природа обыкновенно и пользуется тем, чтобы не израсходовать излишнего материала: делает ноги малых существ тем тоньше, чем размер их меньше. Это чересчур очевидно при взгляде на насекомых. Взвешивание суммы костей позвоночных дает в общем те же результаты: чем меньше существо, тем и относительный вес костей меньше.

Итак, увеличение размеров существ или невозможно, или должно сопровождаться неуклюжим утолщением опорных органов, или улучшением их строения, или увеличением прочности опорных материалов. Все это мы и видим в природе в большей или меньшей степени, когда восходим вверх по лестнице живых существ: коэффициент сопротивления материалов растет, сплошные кости заменяются трубчатыми, воздушными и решетчатыми, неуклюжесть и сравнительный вес костей увеличиваются. И, несмотря на весь этот прогресс, размер существ в высоту, конечно, ограничен, как ограничены высота гор и глубина морей.

Отсюда вытекает общая картина наземных организмов в отношении их опорных членов. Чем меньше существа, тем больше выдается их туловище и меньше их органы опоры, их ноги, которые делаются все незаметней и незаметнее, превращаясь у маленьких насекомых в какие-то паутинки, совсем незначительные в сравнении с солидным их корпусом. Наоборот, чем больше существо, тем более выдаются опорные органы. Человек при-

вык считать пропорции своего тела наиболее гармоничными; с этой точки зрения ни слоны, ни насекомые не гармоничны, т. е. ни большие ни малые существа не удовлетворяют его вкусу. Если же мы замечаем гармонию существ, то это значит, что соблюдается подобие, возможное только для животных меньшего размера, чем человек. Тогда наблюдаются особые, чрезвычайные явления, которые мы еще будем отмечать.

9. Ограничение 7 и 8 глав

Предыдущие главы (7 и 8) применимы более всего к растительному царству, где деревья составляют одно целое, тогда как опорный остов животного составлен из частей, только более или менее связанных между собою сухожильными связками, мускулами и т. д. Так проявляется трубчатость маленьких растений и другие ухищрения ради уменьшения веса опорного элемента. Напротив, у громадных растений трубчатость ствола — явление более редкое, так как сравнительная толщина дерева должна быть очень значительна (как ноги у слонов).

Формулы стояния были бы вполне приложимы к нормальному стоящему положению животных, если бы сопротивление связывающих кости частей соответствовало сопротивлению самых костей, чего на деле нет. Но все же более всего наши выводы применимы к строго вертикальному стоянию. Тут сопротивление мускулов наибольшее, но все же меньшее сопротивления твердых опорных элементов. Поэтому при воображаемом увеличении роста существа, силы тяготения, при наваливании на животное груза оно стремится держаться в вертикальном положении, а при вынужденном движении, ходьбе, например, — как можно меньше от него уклоняться. Вследствие этого сильно нагруженный человек делает шаги тем короче, чем нагрузка больше. При известном ее максимуме животное уже не в состоянии сдвинуться с места; а при повышении его — падает и принимает положение коленопреклоненное, сидячее, лежачее и т. д., смотря по степени нагрузки. В таком случае существо в механическом отношении как бы дробится на несколько меньших существ более простого сложения. Так сидячее положение на Земле, с обхватыванием руками колен, содержит, как бы в раздельности: голень, бедро и сложную остальную часть тела. К бедру и голени наши формулы будут применяться полностью, при лежачем же горизонтальном положении — еще более. Применимы также наши формулы и выводы из них ко многим членистым, к раковинам и даже к мягкотелым без раковины, к простейшим с твердыми частями и без них.

Наши формулы делают понятными явления старости и болезни, когда силы мускулов слабеют, вследствие чего шаги тем более укорачиваются, чем слабость существа значительнее. В первом пределе животное теряет способность ходить и лишь придерживается нормального, например вертикального, положения. При втором пределе и нормальное положение становится непосильно и существо принимает лежачее положение, которому предшествует полулежачее и сидячее.

10. Цепкость

Когда существо цепляется костями или пальцами за дерево и находится в висячем положении, то пускается в дело сила сопротивления разрыву костей, сухожилий и т. п. Допустим, что вес тела равен сопротивлению их от разрыва. Получим уравнение (см. 2 и 3):

$$\frac{\sigma_z F_{01}}{K} H^2 = gV_{01}\rho H^3,$$

откуда найдем

$$\sigma_z F_{01} = KgV_{01}\rho H.$$

Отсюда можем сделать те же выводы, что и из подобного уравнения (см. 7), которое отличается только одним множителем $\sigma_{сж}$, т. е. коэффициентом дробления, который заменен тут коэффициентом разрыва σ_z . Так же получим и число прицепленных существ, цепляющихся за хвост или ноги первого и составляющих висящую цепь равных по весу существ. Именно: $R_p : G = n = \sigma_z F_{01} : KgV_{01}\rho H$.

Следовательно, число всех членов цепи (или относительное сопротивление разрыву организма) или ее живых звеньев пропорционально прочности материала (например, сухожилий), крепости материала σ_z и относительной площади его сечения F_{01} . Напротив, число звеньев обратно желаемой прочности K , силе тяжести планеты (жидкостью эту тяжесть можем ослабить, а центробежной силой увеличить — на той же планете), относительному объему V_{01} и средней плотности существа ρ ; число членов цепи также тем больше, чем рост существа меньше. Это значит, что маленькие животные могут нести более длинные (сравнительно) цепи, чем большие, или что на маленьком существе может виснуть более ему подобных, чем на большем. Мы выразили последней формулой цепкость организма. Уменьшение тяготения планеты g увеличивает число звеньев цепи и обратно.

11. Падение с высоты и удар

Опорные элементы тела должны еще выдерживать удар от падения тела с высоты. Например, человек обрывается с высокого дерева и падает, положим, вертикально, становясь на ноги.

Рассмотрим такое падение на какую-либо опору, т. е. почву тех или других свойств. При падении, т. е. соприкосновении падающего организма с почвой, как то, так и другое сжимается до тех пор, пока не начнет разрушаться опора или организм, например, дробить кости, хрящи и т. д. Этот момент мы и должны уловить и отметить, найдя зависимость между высотой безопасного падения и упругими свойствами животного и почвы. Уравнение будет основано на том, что работа сжатия организма и почвы равна работе падения тела. Получим $\frac{1}{2}F_0 H \sigma_{сж}^2 (\sigma_{со} + \sigma_{сп}) = GH_{II}$.

Здесь мы выражаем, что работа сжатия пропорциональна площади среднего сечения (F_0) опорных частей организма, его росту (H), или длине опорного ствола, сумме коэффициентов сжимаемости организма (σ_{oc}) и почвы ($\sigma_{сп}$) (этот коэффициент показывает, на какую часть всей длины тела оно сжимается при своем поперечном сечении в единицу и при усилии в единицу силы) и квадрату коэффициента дробления ($\sigma_{сж}^2$). При сжатии, пропорциональном усилию, искомая работа равна половине произведения указанных величин. Вторая часть уравнения дает работу падения, которая пропорциональна весу (G) тела и высоте его падения ($H_{п}$). Заменяя в уравнении F_0 и G известными выражениями (см. 2 и 3), получим, сокращая:

$$\frac{1}{2} F_{01} \sigma_{сж}^2 (\sigma_{со} + \sigma_{сп}) = V_{01} \rho g H_{п}.$$

Отсюда прежде всего видно, что высота наибольшего безопасного падения $H_{п}$ не зависит от роста организма при соблюдении подобия. Значит, и для больших и для малых подобных организмов (конечно, в пустоте и при одинаковых условиях почвы) она одинакова — ну, положим, сто метров. Но впечатление этой высоты для разных размеров существ далеко не равнозначуще: нам будет казаться, что малые организмы крепче, выносливее при падении, так как свергаются безопасно с высоты, которая, по отношению к их росту, тем больше, чем сами они меньше. Кажущаяся безопасная высота падения будет обратно пропорциональна размеру подобно изменяющегося существа. Далее мы видим, что абсолютная высота падения пропорциональна относительной площади сечения опорного ствола и квадрату коэффициента дробления при крепости опорного материала; они также пропорциональны сумме коэффициентов сжимаемости опорного вещества организма и почвы. (Это значит, что чем мягче, сжимаемее почва и опорный ствол существ, тем высота безопасного падения больше.) Напротив, эта критическая высота тем меньше, чем полнее тело V_{01} , чем больше его средняя плотность ρ и чем сильнее тяготение планеты g . Следовательно, на планетах с малой тяжестью можно падать безопасно с большой высоты. На Луне, например, с высоты в 6 раз выше, чем на Земле, на астероидах — с высоты в сотни раз большей. Если почва очень мягкая, как мокрая земля, глина, вода, сено, пружина, громадная висящая сетка, то коэффициентом сжатия самого тела можно пренебречь — он уже не будет иметь почти никакого значения. Напротив, если почва представляет твердую неподатливую опору, вроде камня, чугуна и т. п., тогда главную роль играет упругость опорного столба животного и в нашей формуле можно выпустить $\sigma_{сп}$. Но огромное значение имеет также величина сопротивления опорного материала $\sigma_{сж}$ самого существа: если он ($\sigma_{сж}$) мал, то не поможет никакая мягкость почвы, и организм при падении разрушается. Итак, выгодно для организма, если его опорный столб весьма сжимаем (как хрящи) и прочен, как кость. Может быть поэтому позвоночный столб человека перестилается хрящами, как и вообще сочленения костей. Молодые животные более выносливы к ударам и падению, благодаря обилию хрящей и не вполне еще окостеневших костей. Напротив, на старости

лет кости и хрящи более содержат извести, коэффициент дробления и сжимаемости их уменьшается, отчего усиливается наклонность к разрушению костяка.

Мы можем применить нашу формулу к простейшему случаю: когда падает стальной закаленный куб на такой же куб, утвержденного на несжимаемой опоре. В этом случае: $F_{01} = 1$; $\sigma_{сж} = 10^6 \text{ кг/дм}^2$ (или 10^4 на см^2); $\sigma_{с0} = \sigma_{сн} = 1 : 2 \cdot 10^8$; $V_{01} = 1$; $\rho = 7,5$; $g = 1$; коэффициент сжатия материала есть относительное сжатие при давлении в 1 кг площади в 1 дм^2 или при давлении в 1 г площади в 1 см^2 ; он обратен модулю упругости при сжатии: для стали он равен $2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, т. е. $2 \cdot 10^9 \text{ г/см}^2$, или $2 \cdot 10^8 \text{ кг/дм}^2$. Теперь вычислим: $H_{п} = 666,6 \text{ дм} = 66,7 \text{ м}$.

Значит, при падении (в пустоте) на несжимаемую опору с высоты в 67 м стальной куб произвольных размеров разрушается. Если куб падает на такой же куб, как он сам, стоящий на несжимаемой опоре, то разрушение начнется с высоты падения в 134 м .

Если материал способен деформироваться, как воск, свинец, мягкое железо, сырое дерево, то высота падения будет тем больше, чем больше может сплющиваться вещество. У живых существ в этом случае происходит разрушение; если оно поправимо, не смертельно, то, конечно, излечивается со временем.

У живых тел опорная часть составляет какую-либо двадцатую часть веса всего тела, т. е. $F_{01} = 1/20$, и высота падения при других равных условиях будет в 20 раз меньше, т. е. около $3,3 \text{ м}$ (более 4 аршин).

Это предельная высота при несжимаемой опоре. При падении на человека же высота будет $6,6$ метра. При падении на мягкую почву она может быть гораздо больше. При падении в грязь или воду — еще значительно.

Вместо безопасной высоты падения можно узнать безопасную скорость удара живого тела в неподвижную опору или движущегося тела в живую опору. Для этого может послужить формула:

$$GH_{п} = G \frac{v^2}{2g} \text{ или } v = \sqrt{2gH_{п}}$$

Тут скорость v мы узнаем по $H_{п}$, высоте безопасного падения и силе тяжести, ускорению Земли. Вычислим: если $H_{п} = 67 \text{ м}$, то $v = 36,5 \text{ м/сек}$, или $131,4 \text{ км/час}$.

Это для куба, ударяющего в несжимаемую опору. Для организма, ударяющего в такой же организм, $v = 41 \text{ км/час}$, а в несжимаемую опору — около 29 км/час . Выскакивая из поезда с такою скоростью, мы рискуем только при столкновении с каменной стеной, по земле же мы тогда катимся и редко расшибаемся.

Кроме ударов, продольных и поперечных, которым подвержены кости или другой опорный элемент, они еще подвергаются сдавливанию мускулов при их работе. Эта сила в несколько раз g больше силы члена, так как он обыкновенно выигрывает в пространстве или притяжении, проигрывая в силе. Положим, человек притягивает себя руками вертикально к палке трапеции на высоту 8 дм с помощью мускулов, имеющих общую длину

в 9 дм. Их сокращение не более трети их длины, т. е. 2 дм. Напряжение же, в среднем, будет в 4 ($8:2=4$) раза больше преодоленного препятствия. Если оно равно 80 кг, то среднее натяжение мускулов составит 320. Это натяжение часто больше веса не только отдельных членов, но и веса всего тела. Опорная часть его должна выдерживать натяжение работающих мускулов. Ясно, что оно значительно меньше сопротивления опоры, которая подвергается нередко действию падения и другим толчкам, гораздо более опасным для целостности организма, чем натяжение мускулов.

12. Кажущаяся, или относительная, сила мускулов. Уклонение от подобия

Перейдем к кажущейся, или относительной мускульной силе. Ее мы можем выразить: поднятием груза, высотой прыжка, наибольшим ростом и работою разрушения или созидания, т. е. разрывом сообразной с размером организма площади. Мы видели (3), что абсолютная сила члена, имеющего мускул, т. е. двигательного члена, выражается формулой $P = \sigma_m F_{01} H^2 (1/\eta)$.

Сравнивая или деля эту силу на вес организма, получим первое выражение для относительной его силы, выражаемой числом поднятых равных организму существ. Найдем: $P : G = \sigma_m F_{01} H^2 \eta : g V_{01} \rho H^3 = \sigma_m F_{01} \eta : g V_{01} \rho H$. Отсюда видно, что число поднятых существ, если пренебречь весом самого двигательного члена, пропорционально σ_m , или коэффициенту мускульного напряжения (напряжение на единицу площади поперечного сечения мускула) и относительной площади сечения F_{01} мускулов. Это число поднятых существ обратно пропорционально силе тяжести (чем она меньше, тем эффективнее проявляется кажущаяся сила организма), она обратна V_{01} и ρ , т. е. сравнительному объему или пухлости организма и его средней плотности, затем она обратна потере $1/\eta$ в силе вследствие удлинения движения члена и обратно пропорциональна росту существа (H) или его линейным размерам. Последнее показывает, что маленькие существа должны обладать громадной кажущейся мускульной силой, так как поднимают тем большее число себе подобных, чем размер их ничтожнее. Можно сравнивать двигательную силу члена не только с весом всего существа, но и с весом самого двигательного члена или с тяжестью любого органа животного. Результаты получим те же.

Допустим, что сила члена равна весу существа, т. е. существо своими членами, например ногами, подымает самого себя — ну, положим, ходит свободно по горам или лестницам. Тогда получим уравнение, как и раньше (из тех же данных):

$$\sigma_m F_{01} \eta = g V_{01} \rho H$$

или

$$H = \frac{\sigma_m F_{01}}{g V_{01} \rho \eta}$$

Из него видно, что размер организма будет пропорционален коэффициенту мускульного напряжения (σ_m) и относительному сечению (F_{01}) мускула.

Напротив, этот размер тем меньше, чем больше потеря ($1/\eta$), сила тяжести (g) и средняя плотность организма (ρ). Если же тяжесть планеты уменьшается, то рост организма, который он может свободно носить по горам, возрастает. На Луне, например, такое свободно движущееся существо будет в 6 раз выше, чем на Земле, а на Юпитере в $2\frac{1}{2}$ раза ниже сравнительно с нашей планетой. Мы могли бы подобную формулу дать и для рук, поднимающих силою своих мускулов человека на трапедии или отвесном столбе. Выводы будут те же.

Представим себе, что организм человека или другого высшего животного уменьшается в размерах. Тогда относительная сила его мускулов становится больше, чем нужно для борьбы с тяжестью. Экономия природы заставляет тогда существо ослаблять и утоньшать свои мускулы, излишняя полнота которых была бы роскошью. Итак, спускаясь по животной лестнице, мы находим мускулатуру непрерывно регрессирующую, подобно регрессирующим опорным частям тела. Напротив, если какое-нибудь низшее существо, например насекомое, будет увеличиваться в размерах, то его мускулатура не одолеет тяжести собственного тела. Природа должна тут прийти на помощь усилением мускулатуры и опорных органов. Сравнительная толщина и масса двигательных органов должны расти или самые органы совершенствоваться. Все это мы видим в биологии, восходя и нисходя по лестнице живых существ. Произойдет неизбежное нарушение подобия. Сравнительный вес мускулатуры подчиняется тем же законам, что и вес опорных органов.

13. Прыжок

Рассмотрим вертикальный прыжок. Он состоит из двух частей: из поднятия тела без потери соприкосновения с почвой, так сказать из подготовки к прыжку, когда тело еще не поднялось над землей (h_a), и из поднятия на воздух (h_b). Сумма обеих работ приблизительно равна ($h_a + h_b$) G , т. е. произведению высоты полного поднятия центра тяжести существа на вес его. С другой стороны, эта же работа должна равняться работе (A_m) мускулов, участвующих в движении. Для нее мы уже имеем выражение, также и для веса (2 и 6) организма (G). Итак, составим уравнение $(h_a + h_b)G = A_m$, из которого получим: $h_a + h_b = A_m/G = \sigma_m F_{01}$.

Т. е. полное поднятие или полный прыжок пропорционален коэффициенту мускульного напряжения (σ_m), относительной площади сечения (F_{01}) мускулов, участвующих в произведении прыжка, и величине относительного сокращения (Δl_{m1}) мускулов. Этот же абсолютный прыжок обратно пропорционален силе тяжести планеты (g), сравнительному объему тела (V_{01}) и его средней плотности (ρ). Чем меньше тяжесть планеты, тем прыжок выше. На Луне он в 6 раз выше, чем на Земле; на планете, где тяжесть в 100 раз меньше, поднятие будет в сто раз больше. Абсолютный прыжок для всех подобных организмов имеет одну и ту же величину. Но сравнительная его величина, например, по отношению к росту тела, т. е. величина $(h_a + h_b) : H$, будет тем больше, чем организм меньше. Нам

представится, что маленькие организмы, прыжок которых во много раз превышает их рост, прыгают сравнительно гораздо выше и потому, как будто, гораздо сильнее больших существ. Видим, что это не более, как иллюзия. Величина первой части прыжка, подготовительной, очень мала для организмов малых или при малой тяжести. Если человек присядет для прыжка и потом тихо выпрямится, то получим примерную величину первой части прыжка. У человека она составляет около одной пятой всего его роста ($35 \text{ см} : 175 \text{ см} = 0,2$). Да подпрыгивает он на воздух, положим, на столько же. Полное поднятие составит 70 см или $0,4$ его роста (175 см). На Луне оно составит 420 см , на Аталанте $70\,000 \text{ см}$, или 700 м . Конечно, первая часть прыжка у людей сильных может быть вдвое больше (70 см), а вторая даже в 6 раз больше (210 см). Ограничиваясь Землей, для существ, подобных человеку, но в сто раз меньше ростом, полное поднятие будет такое же, как и для больших, например в 70 см или в 280 (почти 3 м). По отношению к маленькому человечку, менее 2 см ($1,75$) ростом, прыжок будет все же громаден и первую его часть можно пренебречь, как при нормальном росте, но при малой тяжести. Тогда можем принять $h_b = (\sigma_m F_{01} \Delta l_{m1}) : (g H V_{01p})$. Тут получим уже величину воздушного прыжка (h_b). По отношению к росту (H) полная величина прыжка выразится $(h_3 + h_b) / H = \sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} : g H V_{01p}$, т. е. при большей величине организма (H) или большей тяжести (g) (или того и другого) и, конечно, меньшем росте тела (1) относительный прыжок может быть меньше всякой величины. Но мы видели, что прыжок для человека не может быть менее спокойного его распрямления при подготовке к прыжку, т. е. не менее $0,2$. Итак, $(h_3 + h_b) / H > 0,2$.

Если принять о распрямлении и прыжке вышеприведенные данные, то при увеличении тяжести планеты вдвое человек может только распрямиться без последующего поднятия на воздух. То же будет и при увеличении его роста вдвое и массы в 8 раз (например, вместо 4 пудов, 32 пуда). При большем увеличении роста (например, в 3 раза) или силы тяготения (например, в $2\frac{1}{2}$ раза), человек уже не в силах распрямиться и должен, при своем сокращении для прыжка, упасть. Все это легко видеть из последней формулы.

Впрочем, устройство организма очень сложно и способность распрямления у человека не постоянна; она тем больше, чем присел он меньше. Поэтому чем слабее человек, чем больше сила тяжести и больше его рост (H), тем подготовительная часть прыжка поневоле меньше. Она может быть поэтому меньше $0,2$ роста, даже может дойти до нуля — и по желанию и по необходимости.

Вот таблица, которая показывает высоту вертикального прыжка на Земле — абсолютного — и по отношению к росту существа.

Последняя строка выражает поднятие на воздух, причем рост существа принимается за единицу. Нормальный и, надо заметить, довольно сильный человек подымется только на $0,35$ (около $\frac{1}{3}$) своего роста (менее аршина). Только карлик в $\frac{1}{2} \text{ м}$ подпрыгнет на величину своего роста. Лилипут в 1 см высоты подымается в 52 раза больше своего размера.

Рост человека, в м	1:1000	1:100	1:25	1:16	1:9	1:4	1:2	1	2	4
Полный абсолютный прыжок, м	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Распрямление, м	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,09	0,17	0,35	0,70	1,4
Поднятие на воздух, м	1,4	1,4	1,39	1,38	1,36	1,31	1,23	1,05	0,70	0
Поднятие по отношению к росту	520	52	13	8,3	4,7	2,1	1,05	0,52	0,35	0,00

При большой силе нормального человека (принимаем для простоты его рост в 2 м) получим такую таблицу:

Рост существа, м	1:1000	1:100	1:25	1:16	1:9	1:4	1:2	1	2	4
Полный прыжок, м	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Распрямление, м	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,09	0,17	0,35	0,7	1,4
Поднятие на воздух, м	2,1	2,1	2,09	2,08	2,06	2,01	1,93	1,75	1,4	0,7
То же, но по отношению к росту	2100	210	52,2	33,3	18,5	8,08	3,86	1,75	0,7	0,17

При такой силе распрямления, которая в три раза больше тяжести тела (прежде в 2 раза), даже гигант в 4 м высоты подымается над землей на 0,17 ($1/6$) своего роста. Нормальный — на 2 аршина, или на 0,7 своего роста. Карлик же в $1/2$ м уже подымается в 4 раза выше своего размера, а при высоте в 25 см уже на 8 своих ростов. Лилипут в сантиметр длиною прыгает в 210 раз выше своего роста.

Вот третья таблица, которая показывает величину прыжка при разной тяжести и разной силе прыгающих. Распрямление — от нуля до 70 см. Оно тем больше, чем больше сила мускулов и меньше тяжесть планеты.

Земная тяжесть (1) близка к тяжести на Венере, Сатурне, Уране и Нептуне. Тяжесть в 0,5 не далека от притяжения на Меркурии и Марсе. Тяжесть двойная (2) немного меньше тяжести на Юпитере. Тяжесть в 0,2 чуть более тяжести на Луне. Меньшие тяжести, приведенные в таблице, можно найти на спутниках и астероидах.

Наклонный прыжок сопровождается некоторым равномерным горизонтальным перемещением. Известно, что оно бывает наибольшим при направлении прыжка под углом в 45° к горизонту. При этом поднятие вертикальное вдвое меньше, чем при прыжке отвесном, а перемещение горизонтальное вчетверо больше высоты наклонного прыжка или в 2 раза

Тяжесть		0,001	0,01	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4
Прыжок, в м	Полный прыжок с распрямлением	4050	405	40,5	5,25	2,1	1,05			
	Поднятие в воздух	1049,3	104,3	9,8	4,55	1,4	0,35	Невозможен		
	Полный прыжок	1400	140	14	7	2,8	1,4			
	В воздухе	1399,3	139,3	13,3	6,3	2,1	0,7	0		
	Полный прыжок	2100	210	21	10,5	4,2	2,1	1,05	0,7	
	В воздухе	2099,3	209,3	20,3	9,8	3,5	1,4	0,35	0	
	Полный	2800	280	28	14	5,6	2,8	1,4	0,93	0,7
	В воздухе	2799,3	279,3	27,3	13,3	4,9	2,1	0,7	0,23	0

больше вертикального. Если прежде вычисленный чистый отвесный прыжок означим через $h_{пр}$, то вертикальное поднятие при наклонном прыжке под углом в 45° будет $h_{пр} : 2$, а горизонтальное перемещение — $2h_{пр}$. Второе больше первого в 4 раза. Человеку и другим двуногим существам трудно сделать наклонный скачок, так как человек не может стать к горизонту под углом в 45° — разве на один момент. Тогда прыжок должен быть очень энергичен. Он тем осуществимее, чем меньше существо и меньше сила тяжести или чем сильнее прыгающее создание. Однако не только четвероногие и многоногие имеют возможность наклонять тело, но и двуногие с очень длинными пальцами, как птицы. Они часто то ходят, то прыгают, то применяют прыжок к началу полета. Даже мухи прыгают перед полетом, в чем можно убедиться, отрезавши им крылья.

Мы видели, что слабый человек легко делает прыжок, считая и распрямление, или сумму $h_3 + h_v$, в 70 см. Наклонный (45°) прыжок даст поднятие в 35 см и горизонтальное перемещение в 70 см (около аршина). Если размер человечка уменьшится хоть в 100 раз, то абсолютное перемещение останется то же, но величина его сравнительно с ростом (2 см) будет уже в 35 раз больше. Отсюда — особый способ перемещения малых существ — прыжками. Вместо того, чтобы делать 70 шагов, не лучше ли раз хорошенько прыгнуть! Так поступают многие насекомые и птицы, не пренебрегая иногда и шаганием. Иногда одни задние конечности, снабженные хорошими мускулами, служат для прыжков, другие — для шагистики.

Двуногим удобнее горизонтальный прыжок с разбегом. Поэтому поговорим о беге.

14. Бег

Член, приводящий в поступательное движение тело, т. е. ногу, сравним с колесным пружинным маятником часов. Время одного колебания выражается формулой, подобной формуле простого математического маятника:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l_M}{g}}, \text{ где } \pi \text{ — есть отношение окружности к диаметру, } l_M \text{ —}$$

длина математического маятника, а g — ускорение, сообщаемое Землей свободно падающему телу в одну секунду. В применении к пружинному маятнику, g надо заменить силой пружины в динах, деленной на массу маятника, т. е. $F_{\Pi} : m_M$. Предполагается, что вся масса сосредоточена на

ободе маятника, как и сила, действующая на него. Значит, $t = \pi \sqrt{\frac{l_M m_M}{F_{\Pi}}}$.

Если эту же формулу приложить к двигательному члену, то $m_M = m_o k$, $F_{\Pi} = P$ и $l = l_{o1} H$, т. е. масса равна массе органа перемещения m_o , умноженной на поправочный коэффициент, меньший единицы, который зависит от распределения массы органа или его мускулов в члене и даже вне члена. Силу пружины мы замещаем силой члена (P), а длину члена выражаем длиной его при единице роста, умноженной на рост (H). Уже имели ранее (см. 2 и 3) $m_o = V_{o1} \rho H^3$ и $P = \sigma_M F_{o1} H^2 \eta$.

Отсюда и из предыдущего получим:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l_{o1} H k V_{o1} \rho H^3}{\sigma_M F_{o1} H^2 \eta}} = \pi H \sqrt{\frac{l_{o1} k V_{o1} \rho}{\sigma_M F_{o1} \eta}}.$$

Число колебаний члена в течение секунды обратно времени t одного колебания, т. е. равно $(1/t)$. Пространство, пройденное при колебательном движении члена вперед, равно длине его размаха (амплитуда или a_1) при члене длиной в единицу, умноженной на длину члена (l) и умноженной еще на число колебаний органа в секунду $(1/t)$.

Полученное произведение и будет скоростью движения конечной точки органа перемещения. На основании сказанного она равна

$$F_{\Pi} = a_1 l_{o1} H \frac{1}{t} = \frac{a_1}{\pi} \sqrt{\frac{l_{o1} \sigma_M F_{o1}}{k V_{o1} \rho (1/\eta)}}.$$

Отсюда видно, что эта скорость, которую можем принять приблизительно за скорость бега в пустоте, не зависит от роста подобно изменяющегося существа. Это значит, что все подобные организмы должны бегать с одинаковой скоростью. Но это положение мы должны со временем ограничить.

Далее, в формулу не входит сила притяжения планеты. Как будто и она не имеет влияние при беге на горизонтальной плоскости, но и этот вывод ограничен. У всякого существа скорость бега пропорциональна амплитуде (a_1) или размаху колебания (углу его отклонения). Угол не может быть много больше 60° , т. е. a_1 близко к единице.

Затем формула показывает, что скорость бега пропорциональна квадратному корню из коэффициента мускульного напряжения, относительной площади (F_{01}) сечения мускулов и относительной длине члена (l_{01}). Та же скорость обратно пропорциональна квадратному корню из средней плотности члена (ρ), его объема (V_{01}), потере ($1/\eta$) в силе и коэффициенту k , который тем меньше (а скорость тем больше), чем далее от конечности члена расположен центр его массы, т. е. центр опорной массы и массы мускулов. С целью достигнуть этого и, значит, наибольшей скорости бега природа делает опорные части конечностей органов передвижения как можно менее массивными, а мускульные массы помещает как можно выше, ближе к туловищу, а иногда и в самом туловище, вне двигательного члена. По крайней мере, хоть часть мускулов двигательного члена располагается вне его.

Мы нашли, собственно, скорость вибрации члена, как скорость колебания пружинного маятника карманных часов. Эта скорость могла бы в сущности почти обойтись без расхода энергии, если бы сила мускулов могла быть замененной простой упругостью, подобной упругости закаленной стали или других упругих тел. Может быть природа и прибегает при этом отчасти к упругости сухожилий и других органов, мало известных и скрытых в двигательных членах существ. Но все же она не может обойтись и без постоянного расхода работы в виде мускульной энергии, как и ход часов требует еще гири или особой большой спиральной пружины. Однако в организме высших существ мы не находим значительного и ясного применения принципа упругости. Может быть, это зависит от того, что животному приходится взбираться на горы и опускаться с них, одолевая препятствие движению в виде тяжести трения, дурных дорог, сопротивления воздуха, воды и т. д.

Тут принцип упругости имеет очень ограниченное значение. Тут, напротив, требуется непрерывный расход работы. По таким, а может быть еще и по другим причинам, неистощимая упругость мертвых тел заменяется в животном мире непроизводительною работою мускулов, особенно непроизводительною при беге, который сопровождается колебанием члена. Как бы ни были малы другие сопротивления при движении, — огромная работа, даже при ограниченной скорости колебания ног, неизбежна для одоления их инерции при постоянной перемене в направлении движения. Этой излишней и большой работы не было бы, если бы колебательное движение было заменено вращательным, как у человеческих экипажей. Но природа, по крайней мере на Земле, еще не решила этой задачи, хотя ее нельзя считать абсолютно невозможной: мы и сейчас руками можем совершать непрерывные круговые движения в одном направлении.

Где-нибудь на планетах чуждых нам солнечных систем, может быть даже в иных млечных путях, наверное, уже давно в явлениях жизни природа применяет и круговые движения и принцип упругости. Итак, колебательное движение членов при беге требует непрерывного расхода энергии. Соответствует ли этот расход действительному обладанию ею животных? Решением других вопросов подготовим почву и к решению этого.

15. Относительная созидательная или разрушительная сила мускулов

Силу мускулов существо употребляет не только для бега, т. е. для достижения добычи или спасения себя от сильных, но и с целью созидательной работы и работы разрушения. Первая употребляется при обделке материалов на стройку, вторая для уничтожения или поедания врагов или просто для кормления себя растительными веществами. Для подобной работы иногда служат особые двигательные органы, например челюсти, а иногда органы движения и другие не вполне специализованные члены тела.

Мы видели (3), что сила какого-либо члена выражается формулой $P = \sigma_m F_{01} H^2 \eta$. Разрушительную силу существа мы выразим отгрызом квадратной площади какого-либо материала, линейный размер которой составляет определенную часть роста (H) существа. Требуется отгрызть (как ножницами) площадь величиною в l . Минимальное усилие, требуемое для такого отгрыза, равно $\sigma_z l^2$. Оно должно равняться силе члена (P). Поэтому имеем уравнение $\sigma_z l^2 = \sigma_m F_{01} H^2 \eta$, откуда найдем $\frac{l}{H} = \sqrt{\frac{\sigma_m F_{01}}{\sigma_z (1/\eta)}}$.

Мы нашли, что относительный размер (l/H) квадратной площади, возможной для разового отгрыза, не зависит от роста (H) животного, а только пропорционален квадратному корню из коэффициента мускульного напряжения (σ_m) и относительной площади (F_{01}) сечения мускула (т. е. от богатства мускулатуры отгрызающего члена). Этот же размер отгрыза обратно пропорционален квадратному корню из крепости данного (σ_z) для разрушения вещества и потере в мускульной силе от увеличения хода члена. Но в подобного рода органах, как челюсти, движение, напротив, сокращается и потому мускульная сила даже выигрывается ($1/\eta$ меньше единицы), в особенности при разгрызании или раздавливании частями, близкими к оси вращения, например челюстей.

Животные не только разрушают, побеждая врагов или поедая их и растительные материалы, но и создают таким же способом жилища, отделяют куски, которые потом служат длястроек и защиты от непогоды и т. д. Очевидно, и тут мы приходим к совершенно такому же выводу: именно подобные существа всех размеров, по-видимому, обладают одною и тою же разрушительной или созидательной силой, так как способны отгрызать от материалов одну и ту же площадь по отношению к их размерам, например прут, квадратное сечение которого составляет по размеру сотую долю роста животного. Иными словами — размер площади разреза всегда пропорционален росту (H). В борьбе за существование организмов между собою, конечно, важны абсолютные, а не относительные величины. Абсолютная же сила челюстей тут растет пропорционально квадрату роста существа. Понятно, что эта сила дает громадный перевес большим животным во взаимной истребительной борьбе их с малыми. Поэтому, с одной стороны, естественный подбор способствует увеличению роста. Но, как мы видим, абсолютная быстрота бега, высота и длина прыжков одинаковы для больших

и малых существ. Так что, с этой стороны, увеличение их размеров как бы бесплодно.

В борьбе с природою, в особенности с силою тяжести, также не всегда увеличение роста выгодно: иногда даже, как увидим, наоборот.

16. Значение острия

Сила члена служит для поднятия тяжести с целью переноса пищи, материала для одежд, построек и других надобностей, также для нанесения ударов естественным или искусственным орудием. Она же служит для бросания камней и стрел. Абсолютная сила члена пропорциональна квадрату размеров существа и в борьбе с другими животными особенно способствует возвышению и распространению рода крупных существ. Но сила мускула, результат его действия зависят в высокой степени от орудия, которым снабжен член: когти, рога, острия ножа, кинжала и т. п.

Положим, что площадь острия рога, резца или ножа равна S_0 . Это величина весьма малая. Она меньше единицы площади в $1/S_0$. Если мускул с помощью члена делает на острие или на эту площадь (S_0) давление p , то на единицу площади придется давление p_1 , очень громадное и равное $p_1 = pP(1/S_0)$. Из формулы видно, что чем кончик орудия острее или острая конечная площадка его меньше, тем давление на единицу площади разрушаемого предмета больше.

Поэтому степень заостренности — неопределимый даже для глаза — когтей, рог, резцов или искусственных орудий имеет громадную важность в борьбе за существование как с мертвой, так и в особенности с живой природой. Иногда меньший рост и меньшая абсолютная сила мускулов могут взять даже перевес в борьбе с более крупными существами, если у последних менее совершенные зубы, копыта или ножи.

17. Бросание

Разберем бросание камней, а именно: их скорость, высоту их полета и его дальность. Работа мускула при бросании камня со скоростью v равна в абсолютных единицах $\frac{1}{2}(m_k + m_{ч}k_{MP})v^2$, где в скобках поставлена масса бросаемого камня и масса члена ($m_{ч}$), умноженная на некоторый коэффициент, меньший единицы и зависящий от момента инерции члена или от радиуса инерции. Но $(m_k + m_{ч}k_{MP}) = (m_{к1} + m_{ч1}k_{MP})H^3$, где $m_{к1}$ и $m_{ч1}$ — суть массы камня и члена при росте в единицу. Теперь, на основании (2), составим уравнение: $\frac{1}{2}(m_{к1} + m_{ч1}k_M)H^3v^2 = \sigma_M F_{01} \Delta l_{M1} H^3$,

откуда
$$v = \sqrt{\frac{2\sigma_M F_{01} \Delta l_{M1}}{m_{к1} + m_{ч1}k_M}}$$

Силы тут должны быть выражены в эргах. Итак, скорость бросания камня пропорциональна квадратному корню силового свойства мускула (σ_M), относительной площади его сечения (F_{01}) и величине его относительного сокращения. Она увеличивается с уменьшением относительной массы бросаемого предмета и массы руки или другого бросющего органа. Но как

бы масса камня ни была мала, получаемая им скорость не увеличивается бесконечно, но имеет предел, зависящий от сравнительной массивности члена и равной $v_0 = \sqrt{2\sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} : m_{ч1} k_m}$. С целью его увеличить природа стремится уменьшить массу члена (без уменьшения F_{01} , т. е. относительной массы мускулов) и k_m или момент его инерции помещением мускулов как можно ближе к центру вращения члена и даже частью вне его.

Передача силы требует сухожилий, масса которых совсем незначительна. Чтобы не тратить большой энергии на быстрое движение массивного члена при бросании маленького тела, ум человека придумал употребление метательных орудий, основанных на упругости мертвых тел. Так натягивают тетиву лука и она уже сообщает движение небольшому телу. Тут масса руки заменяется гораздо меньшей массой лука, которому сообщают значительный запас работы, иногда больший того, который выделяется при одном сокращении мускулов. Такую же цель имеет бросание камней бечевкой или лопаткой.

Приобретенная камнем живая сила передается на известное расстояние, поражая врага или разрушая его сооружения и имущества.

Наибольшее вертикальное поднятие будет равно $H_0 = v^2 : 2g$, а наибольшее горизонтальное перемещение вдвое больше этой высоты. Бросание дает возможность производить разрушение на расстоянии тем большем, чем бросаемая масса меньше; но с помощью метательных орудий она не только приобретает большую кинетическую энергию, но и, благодаря скорости, очень дальний бой. Уменьше бросать было большим шагом в приобретении прав на существование и оно еще усилилось с изобретением метательных орудий и бросания заостренных и ядовитых стрел.

18. Сила удара

Сила удара пропорциональна величине разрушения, т. е. площади и глубине раны, и потому выражается живою силою или работою одного сокращения мускулов, а именно: $(1/2) (m_{к1} + m_{ч1} k_m) H^3 v^2 = \sigma_m F_{01} \Delta l_{m1} H^3$.

Значит, абсолютная сила удара пропорциональна кубу роста или массе существа, но она не зависит от массы взятого камня и даже массы руки, а только от коэффициента мускульного напряжения и относительной массы мускулов (F_{01} и Δl_{m1}).

Верно, что кинетическая энергия удара не зависит от массы камня, но давление при ударе, его разрушительная сила зависит, как мы видели, от сжимаемости или мягкости сталкивающихся тел. Сжимаемость хрящей, мускулов, их податливость, мягкость кожи, жира и других ударяющих тканей громадна. Вот почему удар кулака так слаб и производит слабое, хотя и длительное давление. Но что толку в его длительности! Давите хоть столет на один предмет с недостаточной для его разрушения силой — и он останется цел. Когда же мы берем молот с посильным для нас весом, молот стальной, закаленный, неподатливый и сообщаем ему почти всю энергию наших мускулов, так что на движение руки остается только очень малая часть, действием которой даже можно смело пренебречь, — то получим

наисильнейшее, хотя и кратковременное, т. е. моментальное, давление при ударе. Действие его, однако, совершенно почти уничтожается, если разрушаемый предмет имеет под собой мягкую или сжимаемую опору. Чем она тверже, неподатливее, тем давление при ударе значительнее. В случае мягкости опоры нужна или чрезвычайная быстрота орудия или значительная масса разрушаемого тела. Тогда его инерция предоставит достаточное сопротивление орудию. Заострение последнего также может возместить недостаток давления при ударе. Быстрота орудия заставит быстро двигаться разрушаемую массу или мягкую опору, что вызовет усиленное ее сопротивление от инерции. Итак, при мягких опорах сильной сжимаемости разрушаемых тел быстрота орудия выгоднее его массивности.

Действие острия такое. Положим, что давление на него при ударе равно килограмму, а конечная площадка острия составляет квадратный сантиметр. Тогда давление на $см^2$, положим, кожи и будет $кг$. Если конечная площадка острия будет $мм^2$, то на $см^2$ уже придется $100 кг$ давления. При площадке острия в микрон давление на $см^2$ будет уже $100\,000\,000 кг$, и т. д. Действие острия становится ясным.

Вот почему каждому случаю разрушения и его условиям необходимы: подходящее орудие, его масса и быстрота движения. Одно нужно для мясника, другое для косаря, третье для кузнеца, четвертое — для дровокола. Инстинктивно, опытом или вычислением, мы подбираем подходящее средство и прием работы для успеха дела.

Естественный подбор в борьбе между существами вырабатывал возможно большие размеры организмов, которые давали им преимущество и победу для уничтожения соперников меньшего размера, так как давал наибольшую абсолютную силу мускулам и естественным орудиям борьбы: копытам, когтям, рогам, зубам, клыкам, бивням и т. д. Только сила тяготения и некоторые другие условия останавливали прогресс роста и полагали ему предел. Вообще, борьба с силами природы (не про одушевленных соперников говорю) нередко шла в обратном направлении, т. е. стремилась не к увеличению линейных размеров и массивности существ, а к уменьшению их. Такова борьба с тяжестью. Чем, например, меньше были размеры животных, тем безопаснее для них было падение, легче движение, сравнительно громадные прыжки, возможнее или осуществимее, как увидим, полет по воздуху, проще устройство тела, легче обмен веществ и больше относительная энергия организмов. Вот пример подобного антагонизма: борьба с живыми врагами требует твердости, неподатливости опорных частей существа, борьба же с опасностью от падения от разного рода столкновений, напротив, требует незначительного модуля упругости, или мягкости и сжимаемости тканей.

19. Относительная работа живых существ

В борьбе существ с силою тяжести и другими силами природы — работою мускулов выделяется в единицу времени определенное среднее количество энергии. Мы назвали эту работу мощностью существа. Но эта работа зависит отчасти и от быстроты движения мускулов, или от числа со-

кращений каждого в единицу времени. Если, например, число их сокращений в секунду утроилось, то и мощность увеличилась втрое. Поэтому мощность может сильно колебаться, изменяясь от нуля до некоторой максимальной величины, выделяемой животным под влиянием страха, страстей, смертельной борьбы с животными или с природой — в самую трагическую минуту жизни. Излишне выделенная мощность утомляет организм, представляет своего рода опасность, граничащую с болезнью или даже смертью. Полезна и необходима средняя величина мощности. Мы видели, что она выражается формулой (5) $N_1 H^k$, которая определяет и число сокращений мускулов в единицу времени и где N_1 — есть работа мускулов при росте (H) в единицу. Число сокращений будет тем больше, чем показатель k выше. При подобии организмов k равно двум, и число колебаний обратно пропорционально линейному размеру тела. При идеальном уклонении от подобия, когда $k = 3$, число колебаний в секунду постоянно для всех ограничено или наружно подобных организмов. В среднем случае, более близком к жизни, k составляет около $2\frac{1}{2}$, и тогда число колебаний обратно пропорционально квадратному корню из размера животного.

Примем эту энергию $k = 2,5$ за среднюю. Она определяет абсолютную и относительную, или кажущуюся, мощности организма. Абсолютная мощность, очевидно, возрастает с размерами или массой существа и потому ему особенно выгодна в борьбе с иными видами животных, а также и с соперниками того же вида. Полезна она и в борьбе с природой. Но в последнем случае дело не вполне ясно. Так, мы видели, что с возрастанием размера существа, оно уже не одолевает веса собственного тела, поднимает груз все меньший и меньший. Вся сила мускулов поглощается в борьбе с тяжестью; для борьбы же с остальной природой и врагами ничего не остается. Такой организм погибает в борьбе с существами гораздо меньшего линейного размера и массы, благодаря тому, что у последних остается избыток сил, не вполне поглощенных тяготением.

Вот почему надо иметь в виду еще относительное понятие о работе животного или его мощности. Таково представление об энергии или работе существа в единицу времени, приходящейся на единицу его массы. Мы видели, что она равна $w = N_0 : m_0 (N_1 / V_{01} \rho) H^{k-3}$. А так как в наиболее вероятном случае $k = 2,5$, то $w = N_1 / V_{01} \sigma \sqrt{H}$.

Значит, энергия, с увеличением роста не возрастает, а убывает. При непрерывном усложнении и усовершенствовании организма, когда $k = 3$, энергия только постоянна, т. е. не изменяет своей величины, несмотря на уменьшение или увеличение роста. Наконец, при полном соблюдении подобия, когда $k = 2$, энергия будет обратно пропорциональна росту. Так, если рост (H) увеличится в 10 раз, то во столько же раз уменьшится энергия или работа, приходящаяся на единицу массы тела (удельная работа в двигателях).

В борьбе с природой существо строит жилища, норы, перетаскивает грузы и пищевые запасы. За относительную единицу его работы в борьбе с тяжестью, или за единицу его относительной работы, примем ту величину ее, которую существо совершает, поднимая самого себя на высоту

своего роста. Эта единица, на основании (2), равна $GH = gV_{01}\rho H^4$. Это сильно должно охлаждать пыл природы и ее пристрастие к большим размерам животных.

Если тут работу хотим выразить в абсолютных единицах (эргах), то $g = 98$, если в грамм-сантиметрах (гсм), то $g = 1$.

Принятой единицей мы выражаем пользу организма при борьбе с тяжестью при поднятии на горы, при копании нор, поднятии соответственных грузов и т. д.

Разделив полную среднюю мощность животного на эту условную единицу работы, получим новое понятие об относительной мощности ($N_{от}$) существа.

Именно: $N_{от} = N_1/GH = N_1/gV_{01}\rho H^{4-k}$. В наиболее возможном случае $k = 2,5$. Следовательно, относительная мощность будет обратно пропорциональна росту в степени (1,5), т. е. обратна $\sqrt{H^3} = HV/H$. Если, например, рост увеличивается вдвое, то мощность уменьшается в 2,8 раза, если рост увеличивается в 4 раза, то кажущаяся мощность уменьшается в 8 раз. Если, наоборот, рост уменьшается в 9 раз, то эффективная мощность увеличивается в 27 раз.

Этот закон дает выгоды малым существам и ограничивает размеры больших, потому что сильно затрудняет их борьбу с силою тяжести. Теперь перейдем к работе обделочной, к работе разгрызания, разрезывания, обтеске камней и тому подобной.

20. Относительная мощность созидания или разрушения

За единицу такой работы примем отрыв от какого-либо вещества квадратной площади (H^2) величиною в рост организма. Если отрыв этот производится растяжением по длине тела перпендикулярно к отрывной площади, то работа этого отрыва будет не постоянна, а пропорциональна самой длине, так как разрушаемое тело прежде разрыва должно быть растянуто до предела упругости или сопротивления. Растяжение же, а значит и работа, будет тем больше, чем тело длиннее, так что она будет не только пропорциональна площади разреза тела, но и длине его по направлению разрывающей силы. Такая работа не производительна и не употребительна в технике. Выгоднее скалывание, разрезание ножницами, разгрызание зубами и т. д. Тогда работа разрыва становится почти постоянной и пропорциональной только коэффициенту сопротивления материала и площади отрыва, отгрыза, или отреза.

Она, приблизительно, равна $(\sigma_z^2/E)H^2K_T$, где σ_z — есть коэффициент разрыва или раздробления; E — модуль упругости и K_T — поправочный коэффициент, зависящий от толщины разрезаемого материала, от совершенства орудий скалывания и т. д. Вообще, эту работу мы полагаем пропорциональной квадрату сопротивления материала (σ_z^2), площади (H^2) разрыва и обратной упругости (E). Предполагается материал совершенной упругости, не деформирующийся, как свинец. Разделив теперь абсолют-

ную мощность существа на эту условную единицу созидательной или разрушительной работы, получим $(N_1E/\sigma_z^2K_T)H^{k-2}$.

В крайнем случае, при внутреннем и внешнем подобии, когда $k = 2$, эта созидательная работа постоянна для всех организмов, т. е. независима от их линейных размеров. В этом случае все организмы имеют одни и те же преимущества или поставлены в одинаковые условия, так что тут природа относится безразлично или равнодушно к линейным размерам организмов. При усовершенствовании внутренних органов и их усложнении с сильным нарушением внутреннего подобия относительная работа разрушения будет пропорциональна росту (H). Также и в наиболее вероятном среднем случае, когда $k = 2,5$, эффективная работа обделки материалов пропорциональна квадратному корню из роста (\sqrt{H}). Так что и тут рост дает громадные преимущества большим существам, и если бы не тяжесть, то это обстоятельство сильно способствовало бы развитию массивности существ. Если сделаем поправку по «Hütte» и положим, что работа разрыва, примерно, возрастает пропорционально квадратному корню из толщины H разрезаемого слоя, то эффективная работа созидания выразится формулой

$$\frac{N \cdot E}{\sigma_z^2 K_T \sqrt{H}} H^{k-2} = \frac{N_1 E}{\sigma_z^2 K_T} H^{k-2,5},$$

где коэффициент K_T уже имеет постоянную величину. В среднем случае, когда $K_T = 2,5$, увидим, что относительная работа созидания не зависит от роста (H) организмов, уклоняющихся от внутреннего подобия в сторону умеренного усовершенствования и усложнения. При его же отсутствии, когда $k = 2$, выигрывают небольшие организмы. При подобии $k = 3$, мало возможном, имеют преимущество большие организмы. Итак, в среднем и наиболее вероятном случае относительная созидательная и разрушительная работа почти не зависит от размеров существ.

21. Температура животных

Механическая энергия мускулов вырабатывается в организме из химической энергии; последняя же, вообще, сопровождается выделением тепла. Но множество и других процессов в организме сопровождаются химической деятельностью и выделением тепла. Таковы — пищеварение, дыхание, нервная деятельность, преобразование веществ.

Благодаря этому тело существа всегда имеет температуру хоть немного высшую, чем окружающая среда. Более крупные организмы даже поддерживают свою собственную самостоятельную и постоянную температуру, несмотря на окружающий холод или жар. Такие животные находятся в наиболее благоприятных условиях для успеха своей деятельности разного рода. Действительно, успешная химическая деятельность, к каковой сводятся в конце концов все процессы жизни, требует строго определенной температуры, которой и стараются достигнуть организмы высшего устройства. Напротив, уклонение от нее, в сторону понижения или повышения, влечет ослабление хода жизни, если не полное или временное прекращение

его. Тогда как организмы, не приспособленные к сохранению постоянной температуры, принуждены в некоторых случаях умирать или впадать в спячку, в апатию, в бездеятельность, — организмы высшего сорта всегда деятельны и могут, между прочим, великолепно расправиться со своими сонными соперниками. Животные с неизменной температурой могли также оставить тропические страны и вести борьбу с холодом умеренных и полярных стран и завоевать таким образом новые пространства суши для своего обитания и распространения.

Сейчас мы рассмотрим условия, которые благоприятствуют сохранению животными постоянной и самостоятельной температуры своего тела, т. е. мало зависящей, до известных пределов, от температуры окружающей среды. Обратим сначала внимание на значение линейных размеров подобно устроенных организмов на их температуру.

Мы уже разбирали, от чего зависит мощность организма. От того же зависит и количество выделяемой животным в единицу времени теплоты. Поэтому мы можем принять теплопроизводительность Q_n равной $Q_n = Q_{n1}H^k$, где Q_{n1} есть теплопроизводительность организма при его росте (H) в единицу. Этой формулой мы хотим выразить, что теплопроизводительность пропорциональна мощности организма. Разделив полное количество тепла Q_n на поверхность тела, узнаем количество тепла, получаемое единицей поверхности. Именно (см. 1):

$$Q_n : S_0 = Q_{n1} \tilde{H}^k : S_{01} H^2 = \frac{Q_n}{Q_{n1}} H^{k-2}.$$

В среднем, наиболее возможном случае k больше 2. Следовательно, количество тепла, приходящееся в секунду на единицу наружной охлаждаемой или нагреваемой средой поверхности тела, возрастает с линейными размерами подобных хотя бы наружно существ. Если допустим, что $k = 2,5$, то количество тепла на единицу будет возрастать пропорционально квадратному корню из роста. Так, если одно существо имеет размер в 1 мм, а другое, подобное ему, в $2^{1/2}$ м, то второе будет на каждый мм² своей наружной поверхности получать тепла в 50 раз больше, чем первое. Но потеря теплоты при охлаждении приблизительно, для небольших разностей температур, пропорциональна, по Ньютону, этой разности между температурами живого тела и окружающей среды. Отсюда видно, что повышение температуры существа, сравнительно с температурой среды, тем больше, чем размер тела значительнее. Если существо в 1 мм ростом имеет температуру на $1/2$ градуса выше среды, то существо в $2^{1/2}$ м будет иметь температуру на 25° выше окружающей среды. Итак, маленькие существа могут иметь температуру только чуть-чуть превышающую температуру среды. Они бессильны бороться как с внешним охлаждением, так и с нагреванием их тела. Не говоря уже про воду, они даже в воздухе имеют его температуру: если холодно, то и тело их охлаждается и жизнь приостанавливается, превращается в спячку или погибает; если тепло, то и жизнь оживает, существо радуется и совершает свои жизненные функции; чересчур жарко — организм и его деятельность вянет, животное забивается в норы,

в глубину воды и там предаётся спячке, если не погибает в минуту слабости от соперников. 1) Колибри, величиною со шмеля, имеют самостоятельную высокую температуру. Но она поддерживается благодаря покрову из пуха и перьев, а главное, благодаря высокой температуре экваториальных стран, где живут эти пчелы птичьего царства. 2) Другие маленькие теплокровные поддерживают свою высокую температуру также и громадным пожиранием пищи, дающей теплоту.

Напротив, большие размеры тела животного дают ему возможность поддерживать высшую температуру своего тела. Но и в этом мало толку, если нет уравнивателя температуры (регулятора). Когда очень жарко, потеря тепла поверхностью тела животного должна быть большей, когда кругом холодно — потеря тепла, или охлаждение тела должно замедляться. Только тогда температура животного будет постоянна и наиболее благоприятна для развития его жизненных отправлений.

В самом деле, если разность остается постоянной, тогда при теплой погоде или нагревании тела солнцем температура существа будет чрезмерно велика и неблагоприятна для его жизненных отправлений, в противном случае — организм переохлаждается, что также не выгодно ему.

Регуляторы теплоты тела были выработаны высшими существами и чересчур известны, чтобы стоило о них распространяться. Мы только напомним о некоторых из них. Против быстрых дневных изменений температуры тела от влияния среды служат накожное и легочное испарение воды или потение: при жаре оно усиливается, при холоде — почти прекращается. Для того же служат кровеносная система, сердце и вазомоторные нервы: при внешней жаре кровь приливает к наружным покровам тела и способствует этим большей потере им тепла, кроме того деятельность всех органов и сердца замедляется, что ограничивает внутреннее образование теплоты. Напротив, при внешнем холоде эта деятельность усиливается, кровь отливает от наружных покровов и уменьшает тем потерю ими тепла. Но все имеет предел: чрезмерное охлаждение существа средней добирается понемногу и до внутренних его органов, деятельность которых от того замирает; после всего начинается охлаждение мозга, его спячка и гибель в некоторых случаях, в особенности животных, неподверженных спячке. Против годовых изменений температуры, организмы накапливают в своем теле жир, — дурной проводник тепла, препятствующий охлаждению тела; они покрываются более густою и длинною шерстью, мало-помалу усиливают деятельность органов, в особенности органов пищеварения и дыхания, и приспособляются к пониженной температуре среды. Разумные существа прибегают еще к искусственным покровам тела, т. е. к одежде, к жилищам, и их отоплению, к более обильной пище.

Несмотря на выработку природою регуляторов, главное основание для сохранения повышенной самостоятельной температуры все-таки — значительный размер тела. На экваторе, где средняя температура немного ниже теплоты человеческого тела, нетрудно было животным поддерживать самостоятельную температуру, в холодных странах это значительно труднее и возможно только при значительных размерах тела. Водные животные,

кроме млекопитающих, не в силах были выработать постоянную температуру тела даже при значительных его размерах, так как охлаждение в воде в сотни раз сильнее, чем в воздухе. В воде самостоятельная высокая температура возможна была только при очень больших размерах существа или при особенно обильном снабжении его жиром, предохраняющем от охлаждения. Млекопитающие, выработавшие еще в воздухе собственную повышенную температуру, сумели удержать ее и при переходе в водную среду, благодаря своей значительной величине, огромному количеству жира, волосяному покрову и прожорливости.

22. Мозг и мыслительная сила

Огромное значение в борьбе за существование имеет головной мозг — вместилище идей, памяти, рассудочной способности, настойчивости, энергии и всяких целесообразных действий — в высшем смысле слова. Но сила мозга, кроме его устройства или способа комбинации нервных узлов, — зависит еще и от числа последних. Так как величина нервных узлов не пропорциональна размерам тела и не подчиняется подобию, а, приблизительно, постоянна и ни в каком случае не зависит от размеров существа, то и силу мозга или умственную его силу мы можем принять пропорциональной числу ганглий, т. е. объему головного мозга. Без сомнения, два человеческих мозга одинаковой массы и, может быть, даже одинакового числа нервных узлов, могут бесконечно различаться по своей умственной силе, так как она еще зависит от качества мозга, т. е. от способа сочетания и соединения ганглий, от их качеств, от кровеносной системы, вазомоторных нервов и т. д.; но мы подразумеваем пока качество мозга всех существ средним и постоянным. В таком случае животным как будто выгодно иметь мозг наибольших размеров. Мы видим на человеческом примере, какое значение имеет мозг среди существ.

Вот что еще побуждало естественный подбор не только улучшать строение нервного аппарата, но и увеличивать его абсолютный объем. Принимая подобие организмов, кроме, конечно, их микроскопических частей, можем написать, что в среднем умственная сила существа (ω) равна $\omega = \omega_1 H^3$, где ω_1 — есть умственная сила мозга при росте животного в единицу. Может быть, показатель три (при росте) несколько велик ввиду усложнения органа вследствие увеличения его абсолютных размеров. Основательнее принять $\omega = \omega_1 H^k$ как для энергии, где k более двух и менее трех. Но и в таком случае ясно, как важно для существа увеличение его линейного размера. Это увеличивание дает ему возможность увеличить объем, а вместе с тем и силу своего мозга. Не только в борьбе с себе подобными, но в одинаковой мере и с мертвой природой, абсолютная сила ума имеет первенствующее значение.

Есть животные, размер и масса которых несравненно больше, чем человеческие; однако нет существа, абсолютная величина мозга у которого была бы больше, чем у человека. Природа не только увеличивает до последней возможности рост существ, но и стремится относительную вели-

тину мозга сделать наибольшей. Мы ту же формулу можем написать так: $\omega = \lambda_m V_{m1} H^k$. Тут λ_m — есть качество мозга или его сила при единице его объема. Может быть, она зависит от числа нервных узлов (и обратна величине их до известной степени), их комбинации и других их свойств. Естественный подбор прежде всего улучшает качество единицы объема. V_{m1} есть вместимость мозга при росте в единицу. Это есть относительная величина головного мозга по отношению к объему тела. Эта относительная величина у некоторых животных, например у мыши, больше, чем у человека; но не от нее одной зависит сила мозга: она еще пропорциональна, для подобных организмов, кубу размеров тела. У животных огромного размера как раз величина мозга по отношению к телу (V_{m1}) так мала, что не может быть даже заглажена большими размерами существа. Итак, естественный подбор, трудясь над совершенством своих любимцев, усиливал до последней возможности три свойства мозга: его качество, относительный объем и рост животных, который позволял носить тяжелый орган души и увеличивал его абсолютную силу. Наибольшим счастливым оказался человек. Абсолютная величина и сила его нервного аппарата оказалась наибольшей. Хотя громадные животные почти сравнялись, даже, может быть, превзошли абсолютной величиной головного мозга человека, однако качество этого мозга гигантских животных осталось далеко позади человеческого. Также многие небольшие животные относительным размером (V_{m1}) мозга сравнялись и даже превзошли человека, но зато абсолютные размеры оказались много меньше, благодаря малому размеру животных.

Но что мешает сейчас повышаться относительному объему (V_{m1}) нервного аппарата у человека? Что мешает увеличиваться также и его росту? Будь человек, например, вдвое выше, объем мозга мог бы быть в 8 раз больше, а следовательно, и его сила. Но мы уже знаем, что такой великан не справился бы с тяжестью собственного тела, — он едва бы волочился и у него не оставалось бы ни малейших сил для носки грузов и других работ. Однако вполне возможно умеренное увеличение роста (H) и относительной величины (V_{m1}) органа души. И то и другое, может быть, и увеличиваются в слабой степени, но что-то мешает расти им в более значительной степени.

Возможно, что обилие идей, умственной силы, познание самого себя и своих ближних, отвлекают человека от заботы о пропитании себя и своей семьи, от целей размножения, разочаровывают, отнимают энергию, половую силу, порождают борьбу с себе подобными, с узостью окружающего, делают гения непонятым, возбуждают насмешки, даже преследования, мешающие занять хотя бы среднее место в обществе и заработать кусок хлеба для себя и семьи. Происходит, одним словом, трагедия — «Горе от ума», и человек, если не погибает лично, то не оставляет потомства. Дело сложное, не совсем ясное, но заслуживает рассмотрения и устранения причин этого печального явления.

В такой же степени это непонятно и среди низших существ... Природа имеет силу преобразования и усовершенствования, но видно величина

этой силы ограничена. Однако, когда в это дело вмешаются высшие умы человечества, то дело может пойти иным ходом. Биологи давно находят, что образование новых видов требует их изолировки и других условий. Также справедливо это и для человека при его усовершенствовании и переходе к высшему типу.

Скажем еще несколько слов о влиянии умственного развития — памяти, воображения, познания природы и логической способности — на жизнь и устойчивость родов. Животное не имеет никакого представления о смерти, у него даже не возникает мысли о разрушении тела и небытии. Оно по инстинкту бессмертно, да и есть таково, как показывает высшая мыслительная сила, дошедшая до высокой степени. Первобытный человек уже задумывается о смерти, но очень мало; воображение и память у него слабы; они не представляют ему ясно картины смерти и небытия, он не может их понять, он близок к животному, он не верит смерти, как не верит ей ребенок. Ограниченность его умственных способностей предохраняет его от страха могилы. Постоянная забота о еде, удовлетворение инстинктов, умственный сон, жизнь минутой, беззаботность, отсутствие представлений о завтрашнем дне — обеспечивают и предохраняют его от печальных идей о небытии, о разрушении. Мы говорим пока о состоянии человека, близком к животному, когда еще почти отсутствует понятие о времени.

Но вот память, воображение, рассудочная способность начинают расти вместе с объемом мозга. Сначала они направлены в пользу жизни. Их усиливает борьба за существование. Они сохраняют жизнь родов. Они заставляют думать о будущем, т. е. о завтрашнем дне, заставляют приберегать запасы пищи, изготовлять орудия, строить безопасные жилища, приручать и эксплуатировать животных, заниматься земледелием, наблюдать время, представлять будущее — его возможные явления. Это было полезно и спасительно для родов в материальном отношении. Но воображение, поднявшееся с утилитарными целями в защиту жизни, задело и самую жизнь. Оно устремилось и на посмертную жизнь. Стали возникать картины существования в темной могиле, без чувств, без впечатлений, без мысли. Они ужаснули первобытного человека с его первобытной мыслью. Он затыкал, как ребенок, уши, закрывал глаза, старался представить себе свое разрушенное тело и приходил в ужас. Множество людей и сейчас находятся в этой стадии развития. И это иногда очень умные, знающие и талантливые люди. Они так выражают свое представление о смерти: самая ужасная жизнь, в муках и неволе, лучше смерти. Или как Соломон: живой собаке лучше, чем мертвому льву. И это еще хорошо — это сравнительно высшая стадия. Ей предшествовала низшая, когда человек не мог еще отрешиться от мысли о потере сознания; тогда ужас был гораздо больше: он представлял себя в могиле чувствующим, но беспомощным...

Но сначала у человека эти мысли были в зачатке, являлись мельком, слегка его тревожили и уходили бесследно. По мере же развития памяти, воображения и способности представления отдаленного будущего, разъедающее влияние их сказывалось все сильнее и сильнее. Принося в одном направлении, в направлении устройства и сохранения жизни, огромную

пользу, они же обессиливали человека ужасом предстоящего небытия или страдания. Таким образом, развитие мозга с этой стороны было минусом в жизни — таким минусом, который мог служить причиною гибели и, следовательно, не мог вознаградить выгод воображения и предусмотрительности, выработанных естественным подбором для сохранения жизни и победы над мертвой и живой природой.

Но на помощь этому разъедающему пессимизму явилась, так называемая, вера. Сначала она была продуктом мысли, логической способности немногих избранных людей, потом извращена была их последователями и приняла форму бездоказательной веры и надежды на бессмертие, далеко не твердой. Начало проявления этой надежды на вечное существование при малых знаниях сил природы и ее явлений было очень слабым и мало обоснованным, даже ложным, — особого рода заблуждением, как полное отсутствие представления животных о их разрушении и смерти. Однако и тут оно, как у животных и младенцев, было, точно в насмешку, истинным.

Сны, иллюзии слуха, зрения, непонятные явления, которые всегда были, как и теперь, — как бы говорили о существовании жизни помимо тела.

Смерть без малейших повреждений организма также изумляла первую пробудившуюся человеческую мысль. Почему же существо не двигается, не говорит, не живет, если оно цело? И теперь-то, при развитии анатомии и микроскопии, иногда не находят ни наружных, ни внутренних повреждений у мертвого тела. Чего же можно было ждать тогда?! Возникшая мысль искала причины этого явления и нашла ее в представлении о душе, которая распоряжается телом и оживляет его. Есть она в существе — оно живо, двигается, мыслит и говорит, нет ее в теле — оно мертво. Повторяю, эта гипотеза с точки зрения современных знаний была заблуждением, однако большинство человечества и теперь еще до нее не доросло. Та же часть его, которая доросла до этой идеи, получила большое утешение. Она хоть отчасти прикрыла рану, нанесенную воображением человека, представлением об ужасах могилы, вечном молчании и бесконечном небытии. Одним, более сильным мыслию, небытие не казалось мучением, а лишь подобным крепкому сну или обморочному состоянию, с которым нет надобности считаться, так как оно было ничем, или нулем. Ужасала лишь вечная разлука с жизнью, печальное и невозвратимое прощание с ней. Другие же, более слабые умы, никак не могли себе представить полное отсутствие чувствительности, и потому мысль о могиле приводила их в отчаяние, ослабляла, влекла к болезни и чуть не к самоубийству. Этап мысли о существовании души, управляющей телом, был отраден и полезен для сохранения и продолжения жизни. Естественный подбор сначала укреплял полное отсутствие представлений о смерти, но человек попал в западню неволью: развитие ума и памяти, имевшее другое назначение, неволью — нет мысли, испорчен — неправильная мысль, сумасшествие, слабость ума, галлюцинации слуха, зрения и всех чувств. Чем меньше мозг человека или другого существа, тем ограниченнее оно. Малейшее повреждение мозга сопровождается каким-нибудь дефектом в движении тела, чувствах, инстинктах,

памяти, уме, речи и т. д. То, что приписывалось таинственной душе, принадлежит в сущности смертному мозгу, составляющему часть смертного же тела. Устройство тела такое-то, его приводит в движение мозг — головной, спинной и т. д.

Изменения в умершем животном всегда бывают, но они иногда могут быть рассмотрены только в микроскоп. Смерть — есть порча машины. Как остановка часов не может быть без полома или деформации каких-нибудь их частей, так и остановка жизни. Нет машины, которая бы перестала действовать без причины; так и человеческая машина останавливается не потому, что из нее вылетает душа, а потому, что она испортилась. Разрушено тело, разрушен мозг, и нет жизни; материя рассеивается по всей вселенной, и жизнь навеки исчезает. Где же душа, где бессмертие, говорят натуралисты? Жизнь дается однажды. Умерший! простись с ней навсегда, она не вернется, ты обречен на беспредельное небытие. Молчание могилы — твой удел!...

И в этих словах мало утешительного.

И эти мысли не дают человеку спокойно спать, работать и жить. Эта отчаянная мысль о бесконечном небытии отравляет и ученого человека хуже яда и неученого, который верит ему или сам имеет настолько сведений, чтобы верить тому же.

Неужели таково последнее слово науки, слово современного знания? Правда, философы, ученые профессора и множество мыслителей теперешних времен и древности признавали существование мысли и души, отдельной от тела, но в сущности, надо признаться, эти взгляды были основаны или на бессилии древней науки, или на одностороннем образовании и развитии современных ученых.

Мы, со своей стороны, скажем, что естественные науки на верном пути: с их выводами мы согласны, но они пропели часть своей песенки, и по началу ее нельзя судить о самом конце. Конец же очень хорош и несколько не подтверждает пессимистических выводов. Напротив, он оказывается, хотя это и странно, близок к представлению о жизни и смерти галилейского учителя.

Но тут мы умолкаем в надежде когда-нибудь высказаться на эту тему в других наших сочинениях... Возвратимся же к теме этого труда. Мы, ведь, хотели показать, что развитию разума и увеличению его объема не благоприятствуют современные условия жизни. Сейчас мы показали, что и последнее слово науки безотрадно и убивает жизнь. Также убивают жизнь всеобщий мираж о невозможности счастья, о бесцельности жизни, даже о невозможности быть полезным в силу несовершенства наших ближних, по крайней мере, главной массы человечества. Ум всюду натывается на тупики и не находит в них выхода. Потеряна и вера в высшее существо и в таинственные благодетельные силы. И все это дает разум, развитие мозга, увеличение его объема!...

Вот как мы объясняем отсутствие его дальнейшего развития... Неразвитый мозг, близкий к животному, дает преимущества: здоровье, бодрость, веселость, потомство, трудоспособность, вообще — сохранение родов.

Чрезмерное же развитие анализа — разложение жизни, гибель родов. Развитие души останавливается на известной стадии, далее это развитие становится вредным для продолжения рода.

Но, опять повторяю, — современные выводы науки верны, но не закончены. Они подобны песне, первая часть которой говорит о неудачах, несчастьях, а вторая, неизвестная современным умам, все дело поправляет — неудачи переходят в удачи, несчастье — в счастье. Если я и еще, может быть, очень немногие, знают продолжение печального начала песенки, и это продолжение оказывается очень утешительно, то каково же окончание ее, и немногим недоступное!! Ведь не может же быть никем прочтена вся книга природы от начала до конца! Вот цель бытия: читать ее как можно больше, прочитать как можно дальше. Чем больше перевертываем страниц, тем она интереснее и отраднее для всего чувствующего и мыслящего!

Возвратимся к современным тупикам мысли, которые я обещаю опровергнуть.

Давно поэты и мыслители считают счастье недостижимым. Зачем же тогда родиться, зачем хлопотать, трудиться и мучиться! Действительно, как будто они правы. Детство и молодость приятны, но какова старость, болезни и смерть. Хороши — семья, привязанности, любовь, но каковы потери близких, разочарование! Чем сильнее любовь, тем страшнее и горести от невозможности ее удовлетворения. Приятно пить, есть, но каково алкать и жаждавать! Если вы наслаждаетесь едой, то это только вознаграждает вас за голод. Чем он значительнее, чем более и продолжительнее мучил вас, тем приятнее и его удовлетворение. За ваш аппетит, как и за всякое ваше удовольствие, вы уже заплатили мукой. Вы иногда ее мало замечаете, потому что она растягивается на большой промежуток времени и как будто не соответствует роду ваших удовольствий, как бы независима от них. Эта предварительная мука, обуславливающая наслаждение, носит название тяжести жизни и называется то нетерпением, то аппетитом, то скукой, то тоской, то жаждой, то холодом, то голодом и т. д.

Если нет счастья, если за него строго платят мучением независимо от богатства, бедности и всяких внешних условий, то зачем же жизнь? Тем более, что и за нею, т. е. за ее пределами, ученый натуралист ничего не видит. Животное, первобытный человек, неанализирующий ум берет наслаждения, не думая о расплате. Но мыслящий, предвидящий, сознающий течение времени и ход последующих событий говорит: не надо мне радостей, если за них я должен неизбежно заплатить равным количеством мучений. И пропадает охота к жизни, опускаются руки, человек делается бессилем и сам себя убивает прежде смерти. Как же будет природа развивать мозг на собственную его гибель?! Она, напротив, окружает его иллюзиями, заблуждениями для завлечения и привязанности к жизни. Поэтому большинство современных людей не сознают правду жизни, невозможность счастья и не доходят до этого печального этапа мысли. Чаще больные, старые, измученные жалуются на жизнь более, чем она того заслуживает, не сознавая все же, что их мучение лишь расплата за радости жизни, которыми они пользовались в детстве, юности и зрелом возрасте.

Они считали их случайными и неконтрольными дарами природы и в своих теперешних муках не считают по-прежнему платными и строго связанными с их настоящим страданием. Если же есть сознание этой связи, то они говорят: лучше бы мы не испытали счастья молодости, лишь бы не мучиться теперь.

Отсюда видно, что иллюзии, сопряженные с ограниченным количеством мозга, спасительны. Особенно подвержена этим иллюзиям молодость. Жизнь ей представляется вечным пиршеством, манит, обещает громадные радости, удерживает и привязывает к себе всячески. Несмотря на непрерывные разочарования, она все же вновь обманывает и обманывает до самого конца. Не только в старости она еще влечет к себе, но даже в болезнях и муках.

Глубокое и обширное научное развитие, требующее, между прочим, и большого объема мозга, разобьет эти иллюзии, приведет к отчаянию, к ослаблению организма, к роковому вопросу: зачем жить? К отрицательному решению его и к смерти.

Таков сейчас ближайший этап развития мысли и мозга. Он пока губителен и не вырабатывается поэтому естественным отбором. Что приходит к этому этапу, то гибнет, ослабляется и побеждается более ограниченными соперниками с низшим иллюзорным развитием мозга.

Но найдутся люди, которые перейдут и этот этап, сделают скачок и достигнут других выводов утешительных и заставляющих крепко держаться за жизнь. Но только как перенести печальный период развития мозга? Как перепрыгнуть через эту широкую пропасть? Отыщутся люди, которые это сделают, которые сумеют перенести все пессимизмы и выйти на широкую дорогу, свободную уже от них. Для этих счастливых засветит новый огонек, в который они будут твердо верить, хотя и нельзя будет ручаться, что это настоящая истина, а не новая иллюзия. Как бы то ни было, но она сыграет свою роль, чтобы удержать жизнь и способствовать новому развитию мозга.

23. Влияние среды на падение, движение, охлаждение существ, их питание и т. д.

Мы до сих пор рассматривали движение организмов и другие явления в пустоте, — по крайней мере пренебрегали влиянием воздуха или другой окружающей животных среды. Для очень малых существ этого нельзя принять в воздушной среде, а для такой плотной среды, как вода, этого совсем нельзя принять — ни для малых, ни для больших существ.

Мы, собственно, ни в каком случае не можем пренебрегать влиянием среды: так или иначе, для больших или для малых существ, для больших или для малых скоростей, при тех или других условиях, в большей или меньшей степени оно всегда сказывается. Приведем примеры. Охлаждение в эфире не зависит от поступательного движения существа или среды, а в воздухе зависит и даже в сильной степени. Для маленьких тел воздух представляется таким же густым, как вода для крупных рыб. Все тела в воздухе уменьшаются в своем весе, а в воде, большею частью, совсем его те-

ряют. Среда дает возможность полета или плавания. Не отрицает того же и пустое пространство, хотя и в совершенно иной форме. Частичные силы для малых существ проявляются в грандиозном виде и дают им иногда возможность ходить и бегать по воде, как по твердой земле.

Дальнейшее положение мы поэтому предполагаем вести в таком порядке. Охлаждение и нагревание — в эфире, в воздухе и воде. Законы сопротивления среды — в воздухе и воде. Ветер. Падение в воздухе. Самостоятельное движение в воздухе, во время бега, по земле. Летание. Явления в воде. Плавание. Молекулярные силы. Волосность.

24. Температура тел.

Температура на разных расстояниях от Солнца

Очень важно знать потерю теплоты животными и растениями и условия сохранения желаемой температуры. Мы сначала рассмотрим простейший случай, когда тела имеют черную как сажа поверхность, находятся в пустоте, т. е. в эфире, и имеют вид плоскости, одна половина которой зачернена — абсолютно черна, а другая высеребрена и абсолютно отражает все лучи, т. е. непроницаема для лучей и, значит, не выпускает тепла из самой пластинки.

Основываясь на законах Стефана и Вина, имеем:

$$T_1 : T_2 = \sqrt[4]{\Delta Q_6} : \sqrt[4]{\Delta Q_M}$$

или

$$T_1^4 : T_2^4 = \Delta Q_6 : \Delta Q_M,$$

где мы обозначили большую и меньшую абсолютную температуру одного и того же тела и потерю им тепла в единицу времени при этих разных температурах. Абсолютная, или истинная, температура равна обыкновенной по Цельсию, сложенной с 273° . Формула показывает, что потеря тепла от лучеиспускания пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры тела или что температура одного и того же тела пропорциональна корню четвертой степени из потерянной им в единицу времени теплоты.

Если, например, абсолютная температура тела увеличится в 2 раза, то потеря им тепла в одну секунду усилится в 16 раз, если она возрастет в 3 раза, то потеря тепла увеличится в 81 раз. Наоборот, если то же тело стало терять тепла в 256 раз больше, то это значит, что его абсолютная температура только учетверилась, если — в 16 раз, то удвоилась.

С помощью этой формулы можем решить вопрос о степени нагревания черной пластинки на разных расстояниях от солнца, предполагая, конечно, что она нормальна к его лучам. Для этого напишем:

$$T_1 : T_2 = \sqrt[4]{\Delta Q_6} : \sqrt[4]{\Delta Q_M} = \sqrt[4]{r_6^2} : \sqrt[4]{r_M^2} = \sqrt{r_6} : \sqrt{r_M},$$

где еще означено меньшее расстояние пластинки от Солнца и большее от него же. Известно, что при температурном равновесии, т. е. когда температура установилась и потеря сравнялась с приобретением тепла, эти

потери при разных расстояниях относятся как приобретения, или как r^2_6 к r^2_m , на основании чего мы и дали нашу новую формулу. Можно воспользоваться для этих формул известными коэффициентами, но можно поступить иначе, применив формулы к частному случаю: положению нашей пластинки на расстоянии Земли и у самой поверхности Солнца. Примем его температуру в 6000°C или абсолютную температуру в 6273° ; далее, отношение $r_6 : r_m = 214$, потому что расстояние от центра Солнца до Земли в 214 раз больше радиуса Солнца, или расстояния его поверхности от центра. Теперь вычислим с помощью последних формул:

$$T_2 = T_1 \sqrt{r_m/r_6} = 6273 : \sqrt{214} = 428.$$

Следовательно, температура пластинки, по Цельсию, на расстоянии Земли, будет $428 - 273 = 155^\circ\text{C}$. Если положим вообще, что $T_2 = T_3$ и $r_m = r_3$, т. е. что первая температура и расстояние соответствуют земным, вторую же температуру и расстояние обозначим без указателя — просто T и r , то получим $T = T_3 \sqrt{r_3/r}$. Если r будет меньше r_3 , то температура пластинки будет выше, а если r больше, то T будет меньше, чем на расстоянии Земли. Так можем дать таблицу для наивысших температур на расстояниях Юпитера, Марса, Венеры и т. д. Для этого в формуле $T = 428 \sqrt{r_3/r}$ нужно последовательно класть отношение расстояний равными 0,163, 0,478, 1,38 и т. д. Вычитанием из полученных абсолютных температур 273 получим обыкновенные температуры по Цельсию.

1. Конкретный смысл этой таблицы, например, такой. Представим себе куб любой величины. Одна сторона его абсолютно черна и обращена нормально к лучам солнца; прочие 5 граней высеребрены и абсолютно непроницаемы для лучей. Тогда куб понемногу примет означенные в таблице температуры, смотря по расстоянию его от Солнца. При большой величине, массе и теплоемкости куба на это может понадобится много времени. При наклонении черной грани куба к лучам температура будет понижаться до абсолютного нуля, или 273° холода по Цельсию.

2. Какая бы малая часть грани блестящего и непроницаемого для лучей куба ни была зачернена, температура останется та же.

3. Вместо куба может быть взято тело другой любой формы или наша пластинка, которая быстро нагревается.

	Меркурий	Венера	Земля	Марс				Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
$r : r_3$	0,39	0,723	1	1,524	2	3	4	5,2	9,5	19,2	30,0
$r_3 : r$	2,56	1,38	1	0,658	0,5	0,33	0,25	0,192	0,105	0,0521	0,033
T	685	500	428	347	304	248	214	182	137	98	77
$T_{\text{ц}}$	+412	+227	+155	+74	+31	-25	-59	-85	-136	-175	-193

Определим потерю теплоты поверхностью, предполагая отсутствие Солнца и других источников теплоты, каковы Земля, Луна, звезды и т. п. хотя бы и очень малые тела.

По Ланглею, на расстоянии Земли $см^2$ поверхности в минуту получает от Солнца 3 малых калорий. Вычерненная поверхность при этом, мы видели, нагревается до 428° абс. темпер. Следовательно, она столько же и теряет в минуту. В 1 сек это составит 0,05 малых калорий. Итак, потеря теплоты квадратным сантиметром черной поверхности вообще, т. е. при другой температуре T , будет $Q_T = 0,05 (T/428)^4$.

По этой формуле можем точно вычислить потерю теплоты в одну секунду квадратным сантиметром абсолютно черной поверхности при всякой температуре по Цельсию.

Потеря в сутки будет в 86 400 раз больше, для $м^2$ еще в 100^2 раз больше, а если выразить ее в больших калориях, то она даст число в 1000 раз меньше. Тогда к последней формуле коэффициент будет 38 600. Чтобы получить вместо больших калорий то количество углерода, которое выделяет такое же число больших калорий, мы делим этот коэффициент на теплопроизводительность угля, которую принимаем в 8000. Тогда найдем, что потеря тепла выразится $4,825 (T/428)^4$ кг угля. Так, при нуле Цельсия, чтобы вознаградить потерю тепла одним $м^2$ абсолютно черной поверхности, надо сжигать в кислороде, в течение суток, почти 5 кг угля, что соответствует 10 кг муки, или 40 кг картофеля. Практическое значение этого вывода такое. Представим себе черное существо в виде шара с поверхностью в $1 м^2$. Чтобы содержать свое тело в эфире при абсолютной температуре в 428 или 155° по Цельсию, т. е. чтобы вознаграждать свою потерю тепла от лучеиспускания в эфире, оно должно сжигать около 5 кг углерода, или съедать 10 кг муки, или 40 кг картофеля.

Представим себе, что тот же черный шар покрыт непроницаемыми для лучей блестящими поверхностями. Тогда потеря тепла совсем прекратится. На практике она может сильно замедлиться, как в бутылке Дьюара.

Если будет вычернена только, положим, десятая часть блестящей непроницаемой для лучей поверхности тела, то и потеря тепла уменьшится в 10 раз, т. е. она, конечно, пропорциональна величине абсолютно черной поверхности. В данном случае углерода понадобится только $1/2$ кг. Всякая замена черной поверхности поверхностью иного свойства, иного цвета уже замедлит потерю тепла. Итак, потеря тепла пропорциональна площади однородной поверхности тела и ее лучеиспускающей силе. При разнородных поверхностях потеря будет равна сумме потерь всех поверхностей тела.

По формуле видим, что потеря теплоты быстро возрастает с температурой тела и также быстро уменьшается с падением температуры. Дифференцируя формулу, найдем: $dQ_T = 4,8 \left(\frac{T}{428}\right)^3 d\frac{T}{107}$. Значит, приращение потери тепла не только пропорционально изменению температуры, но и в сильной степени зависит от величины этой самой температуры. Для приращения в 1° С приблизительно найдем увеличение потери на $1/107$ (при 155° С или 428° абсол.). При абсолютной температуре вдвое большей, т. е. в 856, это приращение потери уже возрастет в 8 раз и составит на 1° С

$\frac{1}{14}$ от 4,8 кг. Можем вычислить полный суточный расход угля на m^2 черной поверхности при разных температурах.

T 0 . . .	100	2000	300	400	500	600	700	800°
T_c 273 . . .	-173	-73	+27	+127	+227	+327	+427	+527
$T/428$ 0 . . .	0,003...	0,049...	0,24	0,764	1,88	3,84	7,24...	15,0
$4,8 (T/428)^4$ 0 . . .	0,0144	0,235	1,15	3,67	9,02	18,4	34,7	72,0

Значит, при экваториальной температуре тела (27°C) требуется только 1,15 кг угля, или 2,3 муки, или 9,2 кг картофеля. Конкретное выражение этого таково. Человек с абсолютно черной поверхностью (вроде негра) при поверхности в $1 m^2$ где-нибудь в междумлечном пространстве должен съедать 8 кг картофеля (20 фунтов), чтобы вознаградить свою потерю теплоты от лучеиспускания и иметь только 27°C на поверхности тела.

Замечательно, что при низких температурах животного требуется ничтожное количество топлива. Так, при абсолютной температуре его в 100° , или при 173° холода по Цельсию, нужно только $\frac{1}{7}$ кг углерода, или $\frac{2}{7}$ кг муки (менее фунта), или $\frac{8}{7}$ кг картофеля (3 фунта). При 50° , или при 223° холода,— еще в 17 раз меньше. Следовательно, если бы живые организмы могли существовать при низкой температуре своего тела, то они бы тратили очень малое количество пищи для сохранения теплоты тела. Но только едва ли принятый закон лучеиспускания (Стефана) строго оправдывается при очень низких или очень высоких температурах. Разумеется, иной цвет и свойства поверхности тела, его покров, одежда еще бы могли замедлить потерю тепла и суточный расход топлива или пищи. По формуле вычислим, что для сохранения температуры человеческого тела, т. е. 37°C , или 310° абсолютной температуры, надо 1,32 кг углерода в сутки, или 2,64 кг муки (около 9 фунтов хлеба), или 10,5 кг (26 фунтов) картофеля. Но не забудем, что это количество можно свести почти к нулю, если одеть существо непроницаемым для лучей блестящим покрывалом (серебрение).

Влияние пустоты на земную температуру

Теперь сделаем некоторое применение к Земле, исключая влияние соприкосновения воздуха, т. е. положим, что тело, имеющее температуру T_t , окружено со всех сторон средою, имеющею температуру T_c . Среда эта не касается тела, а находится в некотором удалении от него. Спрашивается, какое суточное количество топлива оно должно тратить при черной поверхности в 1 кв. метр? Потеря будет равна в кило углерода

$$Q_t = 4,8 \left\{ \left(\frac{T_t}{428} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{428} \right)^4 \right\} = \frac{4,8}{4,28^4} \{ (T_c + \Delta_{t.c})^4 - T_c^4 \} =$$

$$= \frac{4,8}{4,28^4} \{ 4T_c^3 \Delta_{t.c} + 6T_c^2 \Delta_{t.c}^2 + 4T_c \Delta_{t.c}^3 + \Delta_{t.c}^4 \}.$$

Тут $\Delta_{т.с}$ — есть разность температур тела ($T_{т}$) и среды ($T_{с}$). Если $\Delta_{т.с}$ будет мало в сравнении с 428, то можно ограничиться одним или двумя членами в скобках. В последнем случае получим:

$$Q_{т} = 4,8 \left\{ 4 \left(\frac{T_{с}}{428} \right)^3 \frac{\Delta_{т.с}}{428} + 6 \left(\frac{T_{с}}{428} \right)^2 \left(\frac{\Delta_{т.с}}{428} \right)^2 \right\} =$$

$$= 9,6 \left(\frac{T_{с}}{428} \right)^2 \frac{\Delta_{т.с}}{428} \left\{ 2 \frac{T_{с}}{428} + 3 \frac{\Delta_{т.с}}{428} \right\}.$$

Положим, что абсолютная температура тела будет 310°, или 37° по Цельсию. Далее, вычисляя по точной формуле, составим таблицу:

Температура среды (абсолютная)	300,	290,	280,	270,	260
То же по Цельсию	+27	+17	+7	—3	—13
Климат	Жаркий	Теплый	Умер.	Холод.	Очень хол.
Разность	10	20	30	40	50
Суточный расход угле- рода, кг	0,17	0,31	0,44	0,57	0,70
Муки	0,34	0,62	0,88	1,14	1,4
Картофеля	1,36	2,48	3,52	4,56	5,6

Значит, в тропическом климате на одно лучеиспускание идет около $\frac{1}{3}$ кг, или около фунта печеного хлеба; в климате теплом уже надо около 2 фунтов печеного хлеба, в умеренном — около 3, в холодном 4, а в очень холодном около 5. Конечно, светлая кожа и подходящая одежда, как и солнечные лучи, значительно умеряют расход пищи, но соприкосновение воздушной среды и ясное небо его увеличивают. Воздушная среда путем теплопроводности увеличивает вычисленный расход тепла, в особенности, если она находится в быстром движении (ветер).

Большую важность имеет применение законов лучеиспускания к выбору подходящей одежды, к устройству жилищ и разных сооружений с желаемой температурой. Сначала обратимся к простейшему случаю безвоздушного, вообще пустого пространства, т. е. к случаю жизни в эфире при лучах солнца. Мы до сих пор только определяли потерю тепла при данной температуре и соответственное разное вознаграждение для сохранения постоянной температуры. Теперь примем за источник теплоты лучи Солнца, т. е. внешний источник тепла.

Температура всякого тела, организма, камеры, жилища, снаряда, горна, пластинки и т. д. зависит от количества теряемого ими тепла и количества получаемого. Чтобы получить высшую температуру, надо уменьшить до последней возможности расход тепла от лучеиспускания и увеличить в высшей степени приход тепла от сияния Солнца. Наоборот, если нужно получить минимальную температуру какого-либо тела, надо как можно сильнее увеличить расход тепла и уменьшить приход его защитой от проникновения к телу солнечных лучей.

Наглядные примеры, основанные на всем предыдущем, лучше всего уяснят сущность дела.

1) Тело имеет блестящую, идеально непроницаемую для внутренних и наружных лучей поверхность. Тогда температура внутри его, несмотря на действие или бездействие внешних лучей солнца, остается неизменной, как бы высока или низка она ни была. Если, например, будем иметь хорошо высеребренную снаружи и внутри полую сферу, то температура заключенных внутри ее тел будет очень медленно изменяться, несмотря на отсутствие или присутствие внешних лучеиспускающих источников. Мы приблизимся к идеалу, если сферу покроем еще рядом таких же концентрических блестящих, хотя бы и очень тонких, сфер, хорошо задерживающих лучистую энергию. Между концентрическими сферами должна быть пустота, внутри же центральной сферы — какие угодно тела. При свете множества блистающих близких солнц, при свете звезд, при полном его отсутствии где-нибудь между млечными путями при высокой или низкой температуре самой сферы — ее тепловое состояние может изменяться только очень медленно. Мы тут сохраняем теплоту, но и не приобретаем ее, несмотря на окружающие ее источники; все лучи их отражаются от блестящих поверхностей сфер и не проникают внутрь их, как и не выходят наружу из запаса тепла центральной сферы. Это нечто вроде шведской кухни или сосуда Дювара.

Мы можем применять такое явление, когда хотим сохранить температуру организма, снаряда, жилища, какого-либо сооружения без всякого внутреннего источника тепла, независимо от присутствия или отсутствия внешних источников лучистой энергии. Пользоваться их светом мы уже в таком случае не можем, они для нас как бы не существуют. Если тело как организм имеет внутренний источник теплоты, то температура его будет повышаться, пока от этого повышения не остановят свое действие источники внутренней энергии, например химические процессы.

2) Противоположный случай: тело покрыто идеальной черной поверхностью. Если нет кругом источников лучеиспускания, т. е. нагретых тел, то наше черное тело будет только терять теплоту и потому быстро охлаждаться до абсолютного нуля, или до 273° холода по Цельсию. То же будет и при всякой другой поверхности, хоть сколько-нибудь проницаемой для лучей; только время полного охлаждения тогда замедлится. Вообще, время охлаждения зависит от степени — или температуры желаемого охлаждения, от массы тела, от его теплоемкости, от величины наружной поверхности, от ее формы и лучеиспускающей способности. На практике все поверхности, как бы они блестящи ни были, обладают хоть в малой степени лучеиспускающей силой. Поэтому все тела, рано или поздно, при отсутствии внутреннего или внешнего источника энергии, охлаждаются до абсолютного нуля. Защита от лучеиспускания рядом блестящих слоев только замедляет процесс охлаждения, но не может его совсем остановить.

3) Теперь положим, что мы имеем внешний источник тепла в виде Солнца. Тогда охлаждение замедлится и остановится на определенной температуре. Она зависит от силы лучеиспускания внешнего источника, от величины лучеиспускающей способности поверхности тела, от формы, величины и устройства этой поверхности.

Мы видели, что при черной пластинке, обращенной нормально к лучам Солнца, на расстоянии Земли температура нагревания составит 155°C (428 абс.), если задняя блестящая сторона не теряет совсем тепла.

4) То же будет, когда тело будет иметь вид куба какой угодно массы, величины, теплоемкости и внутреннего устройства, если одна только его сторона, обращенная нормально к солнечным лучам, будет идеально черной, а прочие — идеально непроницаемыми для лучей.

5) То же справедливо и для тела любой поверхности, непроницаемой для лучей, кроме черной площадки любой величины и контура, обращенной нормально к лучам Солнца. В самом деле, положим, что черная площадка увеличилась в 100 раз. Тогда приход тепла увеличится во столько же раз; но одновременно во столько же раз увеличится и потеря тепла через лучеиспускание этой самой черной площадки, так что тепловое равновесие не нарушится. Принимать же в расчет непроницаемые блестящие части поверхности, как бы велики они ни были, мы не можем. То же будет и при уменьшении черной площадки. Кажется, поэтому, что невозможно получить температуру выше 155°C в каком-либо помещении действием солнца. Но зато легко получить низшую, вплоть до абсолютного нуля, стоит только поворачивать наше тело, чтобы наклон лучей к черной площадке уменьшился. По мере уменьшения этого угла температура будет понижаться и дойдет до 273° холода, когда этот угол обратится в нуль, т. е. лучи Солнца будут только скользить вдоль черной площади. То же будет при всяком положении ее, лишь бы лучи теплового источника на нее не падали.

Так мы обеспечиваем организмам, всяким телам, жилищам и сооружениям любую температуру от абсолютного нуля (-273°C) до 428° , или 155°C . Надо только обставить или «одеть» тело рядом блестящих пластинок, мало проницаемых для лучей, и оставить черную площадку, поглощающую лучи Солнца.

6) Для растений и животных нужны не только тепло, но и свет и газовая атмосфера подходящего состава. Так что необходимо закрытое помещение, удерживающее газы и пропускающее свет. Вообразим цилиндр или усеченный конус, закрытый двумя полусферами. Вся поверхность его непроницаема для лучей, кроме одной полусферы, прозрачной стеклянной, обращенной нормально к лучам Солнца. Для получения наивысшей температуры и лучшего химического действия лучей в растениях нужно, чтобы прозрачная полусфера как можно лучше пропускала лучи Солнца и как можно меньше их выпускала обратно из конуса или цилиндра. Для этого надо, чтобы лучи внутри конуса падали на поглощающие темные или зеленые поверхности. Превратившись в лучи тепловые малой преломляемости и большой длины, они должны задерживаться внутри тою же стеклянной полусферой. Таким условиям в некоторой степени удовлетворяет простое стекло. Кварцевое хорошо пропускает лучи химические высокой преломляемости (ультрафиолетовые), но зато меньше задерживает и тепловые (инфракрасные) малой преломляемости с длинной волной. Ни для животных, ни для растений не нужна очень высокая температура.

Напротив, высокая температура, как и очень низкая, убивает все живое. Каждое животное, каждое растение требует для своего наиболее успешного развития совершенно определенной температуры. Поэтому важнее всего устроить так, чтобы растения получали наиболее нужные для них лучи светила. Кварцевые стекла наиболее подходят пока для этой цели. Они же и крепче, в особенности когда в них выплавлена прочная стальная решетка или сетка. Нужно искать и другие составы стекол для растений, еще более для них выгодные. Впрочем, для каждого растения — свое стекло и своя температура.

7) Для технических делей (мы ставим дело очень широко, предполагая возможность существования растений и животных не только на планетах, но и между ними, в свободном эфирном пространстве) важно иметь высокую температуру без большого расхода солнечных лучей. Конечно, с помощью параболических зеркал или прозрачных сферических стекол можно получить любую высокую температуру, вплоть до температуры Солнца. Но это не достаточно экономное средство, хотя оно дает очаг любой величины и любой температуры. Вот средство более экономное. Надо впустить в камеру много света через небольшое отверстие. Тогда мы получим много энергии, между тем как потеря тепла ограничится этим небольшим отверстием. Но как же ухитриться впустить много света через малое отверстие? Представим себе куб, закрытый со всех сторон непроницаемыми для лучей поверхностями, с небольшим отверстием на середине одной из блестящих его граней, обращенной нормально к лучам светила. Перед кубом на солнечной стороне укрепим к нему собирающее сферическое стекло так, чтобы фокус его лучей пришелся в отверстие грани. Отсюда будет расходиться пучок лучей, который осветит поверхность противоположной стороны куба или находящиеся там растения и предметы так же обильно, как если бы вся сторона куба была открыта. Таким образом, мы получим много света и энергии через крохотное отверстие. Приход тепла будет велик, расход же ничтожен. Поэтому температура внутри куба будет повышаться, пока расход не сравняется с приходом. Получим температуру много выше 155°C . Для растений в этом нет надобности, но для других целей, где нужна высокая температура при ничтожном расходе лучистой энергии, это весьма хороший способ. Куб может быть перегороден пополам, нормально к лучам, черной перегородкой. Она и будет воспринимать лучи. Теплота их будет нагревать заднее отделение куба, где могут поместиться и тела, подлежащие нагреванию. Стеклоянная чечевница может быть заменена параболическими зеркалами. Именно, передняя грань куба может иметь форму параболического зеркала. Отраженные лучи встречают другое небольшое зеркало, отражаясь от которого, дают фокус лучей в отверстии куба. Прием, состоящий из пропуска в малое отверстие камеры большого количества лучистой энергии, может быть с успехом применен для получения достаточной температуры для растений и животных в удаленных от Солнца пространствах солнечной системы, где, например, находятся Юпитер и Сатурн. Растения могут довольствоваться тамошней слабой солнечной энергией, но они не могут жить при свойственной тем ме-

стам очень низкой температуре. Температура и повышается в камерах описанным способом.

Также возможно применение этого способа к умеренным широтам Земли, для получения более высоких температур внутри оранжерей и жилищ, по крайней мере там, где есть обилие ясных дней. В теплых или жарких пустынях, при избытке солнца, можно тем же пользоваться с технической или кулинарной целью, когда нужно получить высокую температуру для печенья, варева или обработки какого-либо материала.

В обоих случаях надо как можно лучше предохранить камеру от охлаждающего влияния воздуха, вследствие его теплопроводности и движения. Было бы довольно нескольких слоев блестящих поверхностей с пустотой между ними; но безвоздушное пространство нелегко получить в атмосфере, особенно для больших помещений; а потому его нужно заменить мало проводящими тепло порошками, войлоком или чем-нибудь подобным. Можно также употребить несколько слоев блестящих покровов с воздухом между ними.

Когда получаем высокую температуру в эфирной пустоте, то отверстие, конечно, должно быть заделано прозрачной пластинкой, если нужно удерживать в камере газы или пары. Однако можно обойтись и без этого, т. е. без стекла, закрывающего отверстие, если перегородить внутри камеру непроницаемой черной перегородкой, как описано. За ней уже могут находиться и газы.

25. Давление ветра на организм

Определим давление ветра на организм. Известно, что давление равномерного потока жидкости или газа приблизительно выражается формулой $p_c = 0,5C_x dF_{\Pi} v^2$, которая показывает, что это давление пропорционально коэффициенту сопротивления (C_x), зависящему от формы тела, площади (F_{Π}) проекции тела на плоскость, нормальную к направлению потока, плотности жидкости (d) или газа и квадрату скорости потока. Формула относится к абсолютным единицам. Для плоскости коэффициент C_x немного более единицы и по исследованиям Кальсте и Колорда близок к 1,2. Эти опыты заслуживают наибольшего внимания, так как производились с пластинкой, движущейся прямолинейно, а не по кругу, как у других ученых, которые доводят этот коэффициент до двух (2). Для цилиндрических поверхностей, к которым часто близки по форме члены организма, C_x меньше в два раза, если высота цилиндра такая же, как диаметр; при большой же длине, превышающей ширину в 5—10 раз, в 1,5 раза меньше.

В предыдущей формуле для подобных существ можно положить: $F_{\Pi} = F_{\Pi} H^2$, где F_{Π} — есть площадь проекции при росте существа в одну единицу длины. Выключая F_{Π} , найдем: $p_c = 0,5C_x dF_{\Pi} H^2 v^2$. Это давление можно сравнивать с весом тела, с крепостью его органов и с силой мускулов. Сравним сначала с весом организма. Мы уже знаем, что $G = gV_{01}\rho H^3$. Значит $p_c : G = (C_x dF_{\Pi} H^2 v^2) : (2gV_{01}\rho H)$. Отсюда видно, что давление текущей жидкости или ветра по отношению к тяжести тела обратно про-

порционально размеру организма, т. е. чем меньше существо, тем давление на него ветра или течения составляет бóльшую часть его тяжести. При достаточно малых размерах не только течение воды, но и ветер сносит животное, несмотря на трение между ним и почвою, происходящее от тяжести существа. Из формулы также видно, что относительное давление потока пропорционально плотности среды и квадрату его скорости. Оно же обратно пропорционально плотности организма и силе тяжести планеты.

Отвесный поток, например восходящий, определенной скорости, который почти незаметен для человека, подымает вверх существо, подобное ему, но достаточно маленькое.

Если нет потока и среда неподвижна, но животное бежит в ней, то оно испытывает сопротивление среды, или давление ее на свое тело, согласно последним формулам, где означает уже не скорость среды, а скорость бегущего существа. Относительная величина этого давления, незаметная для крупных существ, становится для мелких животных тем значительнее, чем они меньше по линейным размерам. Например, воздух для человека кажется редким и незначительным, между тем как для малых существ он кажется тем гуще, чем они сами меньше. Для воображаемого лилипута (2 мм) ростом в 800 раз меньше нормального человека, атмосфера так же густа, как вода для человека; а для микроскопических существ она гораздо гуще, чем вода для рыб.

Те же формулы пригодны для определения наибольшей постоянной скорости падения тел в какой-либо среде. При падении тела от его тяжести скорость становится постоянной, когда вес тела равняется давлению на него среды, т. е. когда $p_c : G = 1$. Из этого условия и последних формул получим:

$$v = \sqrt{2gV_{01}\rho H : C_x dF_{\Pi}}.$$

Следовательно, скорость падения тем меньше, чем меньше падающее существо, а именно: она прямо пропорциональна квадратному корню из его размеров. Так, если размер организма при соблюдении подобия и позы падения уменьшается в 100 раз, то скорость падения ослабляется в 10 раз. Могут быть размеры столь малые, что падение таких существ с любой высоты становится совершенно безопасным. Таковы насекомые и еще меньшие существа. Небольшие зверьки гораздо безопаснее при падении в воздухе, чем человек или крупные животные.

Мы видели (11), что высота наибольшего безопасного падения в пустоте не зависит от размера подобно изменяющегося организма, а стало быть и скорость этого падения. Если же эту критическую постоянную скорость обозначим через v_k , то из последней формулы найдем:

$$H = C_x dF_{\Pi} v_k^2 : 2gV_{01}\rho.$$

Это значит, что мы всегда можем подыскать такой размер организма, при котором его падение в среде будет совершенно безопасно, несмотря на угрожающие условия. Нужно только, чтобы этот размер был тем меньше, чем

больше сила тяжести планеты, чем больше плотность организма, чем меньше плотность среды и меньше коэффициент сопротивления тела.

Если даже организм нежно, непрочно устроен и критическая (безопасная) скорость его (v_k) от этого чересчур мала, то мы все же можем достигнуть равномерного падения в атмосфере именно с этой малою скоростью, уменьшая достаточно размер организма. Действительно, из формулы видно, что размер H прямо пропорционален квадрату скорости v_k , т. е. если скорость в 4 раза меньше, то размер существа при условии безопасного падения (или безопасной скорости удара) будет в 16 раз меньше.

Мы нашли сопротивление среды по отношению к тяжести существа и силе сцепления его с почвой в силу трения, зависящего от тяжести и пропорционального ей. Теперь сравним то же сопротивление с крепостью членов животного, — его костей, пальцев, мускулов и других удерживающих на месте органов животного. Обратимся для этого к формулам сопротивления разрыву членов и мускульного напряжения (3). Имеем $R_p = \sigma_z F_{01} H^2 : K$. Отношение абсолютного давления среды (25) к сопротивлению члена разрыву (R_p) будет:

$$p_c : R_p = 0,5 C_x dF_{п1} v^2 K : \sigma_z F_{01}.$$

Значит относительное сопротивление среды по сравнению с цепкостью и крепостью членов не зависит от размеров подобно изменяющегося организма. В этом отношении все размеры равны при условии подобия. Если, например, большое существо не может быть отцеплено и сорвано бурей с дерева, то и самое маленькое — также.

Такие результаты получим и при сравнении сопротивления среды с силою мускулов или с силою членов (3). Найдем:

$$p_c : P = 0,5 C_x dF_{п1} v^2 (1/\eta) : \sigma_m F_{01}.$$

И тут все существа независимо от их размеров при подобии в устройстве вооружены одинаково. Если, например, большое животное может бежать против сильного ветра, то точно также и маленькое, подобной формы. Но так как организмы в силу других условий уклоняются от подобия и малые имеют сравнительно тонкие органы движения и цепкости, то такие труднее выдерживают давление ветра, чем большие. Зато меньшие ближе к почве, где скорость движения среды гораздо меньше.

Теперь сравним работу, потребную для движения с известною скоростью в среде, — с абсолютною мощностью животного (см. 4).

Работа эта не только пропорциональна давлению среды на животное, но и скорости его бега. Предполагаем для простоты неподвижность атмосферы. Итак, на основании сказанного — мощность, или секундная работа одоления сопротивления среды, выразится:

$$p_c v = 0,5 C_x dF_{п1} H^2 v^3.$$

По отношению к мощности организма (4), она будет:

$$p_c v : N_0 = 0,5 C_x dF_{п1} v^3 : H^{k-2}.$$

Значит, относительная работа пропорциональна кубу скорости движения, плотности среды и зависит от размеров организма (H). Так как k в среднем составляет около 2,5, то относительная работа сопротивления будет уменьшаться с увеличением размеров организма пропорционально $\sqrt[3]{H}$, т. е. квадратному корню из линейных размеров животного. Если, например, его рост увеличился в 100 раз, то сравнительная работа его движения уменьшится в 10 раз. Экономия весьма существенная. Наоборот, если подобно изменяющийся зверь уменьшился в своих размерах в 9 раз, то относительная работа рассеяния им воздуха увеличится в 3 раза. Мы видим тут некоторое преимущество крупных существ в сравнении с мелкими. Но в воздухе это ярко обнаруживается только при резкой разнице в размерах и более для существ малых, чем для больших, так как лишь для них сопротивление воздушной среды играет заметную роль в общем расходе сил. В плотной же среде, как вода, и крупные существа в полной мере чувствуют преимущество в увеличении роста и массивности. Конечно, на сопротивление среды при беге тратится только часть присущей животному мощности. Приравняем часть этой мощности работе рассеяния атмосферы.

Получим:

$$N_1 H^k K_M = 0,5 C_x d F_{\text{пл}} H^2 v^3,$$

откуда найдем:

$$v = \sqrt[3]{K_M N_1 H^{k-2} : 0,5 C_x d F_{\text{пл}}}.$$

Отсюда видим, что при одной и той же относительной трате мощности скорость движения в среде зависит от размеров существа и она тем больше, чем существо крупнее. Тут, например, ясно видно преимущество крупных рыб перед малыми подобного же устройства; крупные не только успешнее истребляют малых, благодаря абсолютной силе мускулов, но и легче их достигают. Однако это преимущество очень медленно растет с размерами животного, а именно: предполагая, что $k = 2,5$, найдем, что скорость движения будет пропорциональна корню шестой степени из увеличения размеров тела. Так, если размер увеличится в 64 раза, то скорость увеличится только в 2 раза. Гораздо большее значение имеют C_x (зависящий от формы тела, его размеров и коэффициента трения) и плотность среды (d).

С увеличением размеров тела сильно уменьшается коэффициент сопротивления (C_x), так что крупные существа в воде много выигрывают в скорости благодаря своим размерам.

26. Энергия существа по отношению к трению и восхождению его

Мощность можно еще сравнить с трением при движении по горизонтальной поверхности и со скоростью вертикального поднятия по лестнице или горе. Пренебрегаем сопротивлением воздуха, что можно принять для ограниченной скорости существ значительной величины в воздушной среде.

Величина трения мало зависит от скорости движения: она даже при начале движения и при малой скорости больше, чем при значительной. Обозначим силу трения коэффициентом трения μ , который показывает, какую часть тяжести всего тела нужно употребить как горизонтальную силу, достаточную для равномерного движения тела на горизонтальной же плоскости.

Трение бывает разного рода, сообразно чему и величина его коэффициента. Оно облегчается тонкими осями, большими колесами, длинными членами; оно соединяется с трением при катании, очень незначительным. В общем величина коэффициента изменяется примерно от одной тысячной до $1/3$ и более. Работа трения в единицу времени выразится так (см. 2):

$$A_{\tau} = \mu G v = \mu v g V_{01} \rho H^3.$$

Сравнивая эту работу с мощностью (4) существа, получим

$$A_{\tau} : N_0 = \mu v g V_{01} \rho H^{3-k} : K_{\text{мр}} N_1.$$

Здесь $K_{\text{м.р}}$ — означает определенную часть мускулов, идущих на движение. Отсюда видим, что относительная работа трения на горизонтальной плоскости в безвоздушном пространстве пропорциональна силе тяжести планеты, скорости движения, совершенству движущегося механизма (μ) и зависит от размеров тела, именно она (предполагая $k = 2,5$) увеличивается с размерами тела животного пропорционально квадратному корню из увеличения этих размеров. Так что, если подобно изменяющееся существо увеличило свой рост в 25 раз, то относительная работа трения возрастет в 5 раз. Наоборот, если рост животного уменьшился в 100 раз, то работа трения при той же скорости движения сравнительно уменьшится в 10 раз. Тут мы видим преимущество малых существ.

Ту же формулу можно применить и к вертикальному поднятию (по лестнице, например) организма. Тогда надо только принять коэффициент трения μ равным единице. Также применима наша формула и к движению по наклонной плоскости или по горе. Тогда коэффициент трения останется меньше единицы. Выводы сделаем те же: преимущества будут у существ малых. Так, например, преследование их будет затруднительно для их больших пожирателей, если, конечно, принять в расчет одно трение или движение по горе.

Если вся определенная часть ($K_{\text{м.р}}$) мощности организма идет на работу движения, то получим (воздух и вода исключаются):

$$g V_{01} S_0 H^3 \mu v = K_{\text{м}} N_1 H^k,$$

откуда

$$v = K_{\text{м}} N_1 : \mu g V_{01} S_0 H^{3-k}.$$

Отсюда ясно, что скорость поднятия, а также горизонтального или наклонного движения у малых существ значительнее, чем у больших. Она еще увеличивается с уменьшением тяготения (g).

27. Общій вывод о трате работы на перемещение

Итак, организм тратит работу на трение, восхождение, рассеяние среды и колебательное движение членов. Относительный расход мощности на одоление трения или тяжести выражается (см. 26):
 $A_T : N_o = \mu g V_{o1} \rho H^{3-h} : K_{mp} N_1.$

В среднем, наиболее вероятном случае $H = 2,5$. Значит, относительный расход на одоление тяжести или трения при одной и той же скорости прямо пропорционален квадратному корню из размеров организма. Для больших животных он больше, чем для малых. Последние имеют преимущество тем большее, чем они меньше. Напротив, большие организмы должны терпеть от тяжести. При значительных размерах рост их должен остановиться, иначе наличная мощность не справится с трением и тяжестью или скорость поступательного движения будет замедляться с размерами существа. И наоборот, малые организмы, расходуя ту же энергию, будут двигаться быстрее больших. Так было бы в безвоздушном пространстве или для значительных размеров животных, когда сопротивлением воздуха можно пренебречь. Только особое усовершенствование органов пищеварения, дыхания, движения, соображения и т. д., а также возрастание абсолютной мощи мускулов и органов разрушения, позволило крупным животным конкурировать с меньшими и побеждать их.

Теперь обратимся к сопротивлению атмосферы. Относительный расход на одоление этого препятствия выражается формулой (см. 25):
 $p_{cv} : N_o = 0,5 C_x F_{пл} v^3 : H^{h-2}.$ Значит, при одной и той же скорости этот расход уменьшается с увеличением размеров существ и, наоборот, увеличивается с уменьшением. Ввиду малой плотности воздуха он вообще мал для больших животных, каковы наземные позвоночные, и тут он не имеет большого значения в экономии расхода мускульных сил. Напротив, для очень малых существ он много значит. Если принять в среднем для мощности животных $H = 2,5$, то расход энергии на сопротивление среды будет обратно пропорционален квадратному корню из линейного размера существ. Так что для очень малого их роста он окажется громадным, и тем больше, чем размер их меньше. Это обстоятельство побуждало природу на первых порах, когда организмы были еще чересчур микроскопичны, быстро увеличивать их рост и тем давать им большую скорость движения. Но это должно было скоро прекратиться, так как для порядочных размеров сопротивление воздуха оказывалось незначительным. Еще остается расход на колебательное движение членов или органов перемещения. Мы видели (14), что он один и тот же при определенной скорости движения. Так что рост тут не причем. Но все же этот расход может быть очень сокращен при применении упругости тел. Маятник, качающийся силою тяжести или упругостью пружины, требует очень незначительного расхода энергии для поддержания своих качаний. Напротив, они бы потребовали очень много работы, если бы маятник пришлось качать в среде без тяжести или без применения упругих тел: надо такой маятник привести в движение, потом остановить, потом опять привести в движение и т. д. до бесконечности.

В первом случае это проделывает сила тяжести или упругости пружины, во втором, например, наша непрерывно работающая рука. В первом — колебательное движение маятника или другого тела могло бы продолжаться вечно, если бы пружина была совершенна; но так как таковых нет, то приходится употреблять незначительный расход сил для уравнивания этого дефекта пружин. Не мог ли бы также быть устроен орган движения животного? У высших животных он не устроен так — это очевидно, но у низших и малых, ввиду более тонких ног, легкой борьбы с тяжестью, оно могло бы быть. Все же у нас еще нет никаких оснований утверждать это. Тогда бы малые существа еще получили преимущества, которые сэкономили бы им расход энергии или увеличили скорость их поступательного движения.

Я думаю, очень медленно, миллионы лет шел прогресс роста животных параллельно с их усовершенствованием, которое уравнивало скорость их поступательного движения с малыми их собратьями, а может быть и превышало ее.

Мы предполагали абсолютную ровность пути для всех существ. Но относительная ровность, от которой в громадной степени зависит скорость передвижения по суше, совсем не одинакова для больших и малых животных. Именно для больших — относительная ровность пути несравненно больше, а расход на одоление ее меньше или скорость больше при том же расходе мощности. В самом деле, что значит для оленя высокая густая трава или рыхлый снег? Между тем, для насекомого не летающего она представляет неодолимое препятствие (даже густой мох). В рыхлом снегу тонут ноги зайца или других мелких позвоночных и млекопитающих, тогда как у лошади или быка погружаются одни копыта. Камни, песок, бугорки, помимо трав, более останавливают и затрудняют мелюзгу, чем крупных животных. Вот еще громадные преимущества размеров, помимо развития ума, хитрости, абсолютной силы мускулов и органов разрушения: превосходство будет даже и в скорости поступательного движения.

Итак, вот это обстоятельство — сравнительная ровность пути, громадная для больших животных, дает несомненное преимущество в скорости движения крупных существ. Для них не представят большого препятствия также мелкие воды, лужи, сырость, дожди, грязь и т. п. Мелкие существа, каковы насекомые, изловчились приобрести крылья: это облегчило им путь, сделало мало недоступными для нелетающих существ, но не спасло от пагубного влияния дождей и ветра. Потом изоцпрились и позвоночные: передние конечности преобразовать в крылья. Так они нашли способ борьбы с мелюзгой. Тут уже величина имела огромное преимущество, так как давало усиленную скорость. Размер же насекомых не мог расти, в силу их наружного твердого покрова и других дефектов организации.

28. Потеря веса в среде.

Влияние потери на явления и на рост существа

До сих пор мы не упоминали, что существа в среде не только испытывают затруднение в своем движении, но и облегчение, так как теряют часть своего веса, а иногда и весь свой вес и даже приобретают обратный, т. е.

подымаются кверху и ходят по потолку вниз головой. Это уменьшение веса облегчает борьбу существа с тяжестью. Не только оно само становится легче, но и все перемещаемые им грузы.

Вес организма в среде, как и всякого мертвого тела, будет

$$G_{\text{в с}} = G - G_{\text{с}} = gV_{01}\rho H^3 - gV_{01}dH^3 = gV_{01}(\rho - d)H^3.$$

Из веса существа мы вычитаем вес такого же объема среды. Для воздуха можно пренебречь плотностью среды, так как она составляет около одной восьмисотой средней плотности организма. Для воды — обе плотности почти одинаковы, так что водные существа теряют всю свою тяжесть в реках и океанах. Сильно соленая вода, как, например, в Мертвом море, дает ей перевес и существа получают обратную весомость, как и во всех других жидкостях, которые плотнее средней плотности организма. Впрочем, Мертвое море очень бедно жизнью.

Из формулы мы видим, что в отношении борьбы с тяжестью, т. е. ходьбы, поднятия грузов, несения своего тела, прыжков и т. д., организмы и в жидкостях подчиняются тем же законам, как и помещенные в пустоту, только надо ввести поправочный коэффициент к силе тяжести, которая как бы сокращается. Этот коэффициент равен $(\rho - d)/\rho = 1 - d/\rho$. Для воздуха он близок к единице, а для воды — к нулю. В последнем случае все выведенные ранее законы о борьбе с тяжестью устраниются. Тело как бы совсем теряет тяжесть и борьба с ней прекращается: организм может поднять какие угодно громадные грузы, может иметь любые громадные размеры и члены; каждый толчок, если бы не могучее сопротивление среды, уносил бы существо вверх, вниз — куда ему угодно; движение это никогда бы не прекращалось и было бы вечно, равномерно и прямолинейно. Однако на деле всякая попытка приобретения движения в жидкости кончается быстрым его затуханием, и тело скоро останавливается, несмотря ни на какую скорость, приобретенную им в начале движения порывистым усилием мускулов. Это усилие должно быть непрерывным, чтобы получить непрерывное движение. Так что, хотя, с одной стороны, тело в плотной жидкости и теряет свой вес, но с другой, — встречает в плотной среде врага, который сильно тормозит всякую попытку существа к быстрому движению. Зато среда такой же плотности, как и живущие в ней существа, не препятствует неограниченному развитию их линейных размеров. Как увидим, животные даже выигрывают от этого, не говоря уже про возможность увеличения мозга и вместе с тем умственной силы. По-видимому, печальна картина эволюции организма, находящегося в пустоте, или живущего в такой мало плотной среде как атмосфера. По мере увеличения линейных размеров подобно изменяющегося существа оно все более и более теряет способность поднятия грузов. Далее эта способность совсем исчезает. Тогда оно уже не выносит веса собственного тела. Гигант падает, но еще сохраняет достаточно силы, чтобы шевелить руками и двигать пальцами. При дальнейшем увеличении массы и эта способность пропадает, и великан умирает от разрушения своих органов их весом. Совершенно застрахованы от подобной гибели животные, обитающие в море. Но и там,

как видно из биологии, есть какие-то препятствия развитию линейных размеров. Хотя они и больше, чем у существ сухопутных, но все же имеют довольно тесные границы. Напротив, с уменьшением размеров существа, его средства в борьбе с тяжестью как бы растут непрерывно: он подымает все большие сравнительные грузы, он прыгает все выше и дальше, живость движений его растет и т. д. Становится понятной живость карликов.

29. Перемещение в среде при полной потере веса. Водные существа

Итак, в воде борьба с тяжестью отпадает. Остается сопротивление среды. Это большой враг не только для водных существ, но и для живущих в атмосфере, если дело касается приобретения больших скоростей, необходимых человеку. Действительно, мы получили формулу:

$$v = \sqrt[3]{K_M N_1 H^{k-2} : 0,5 C_x d F_{п1}},$$

которая сильно ограничивает скорость поступательного движения организма. Эта скорость не зависит от силы тяжести, как в среде, свободной от нее. Отсюда практический вывод: когда тяжесть очень велика, так что борьба с ней невыносима, особенно при сложности и большой величине животного, то выгоднее всего устранить ее, окружая существо средою такой же плотности, как оно само. По формуле видно, что скорость увеличивается с размерами животных и дает им преимущества быстроты. Коэффициент сопротивления (C_x) среды для мелких животных не может быть мал, потому что трение для малых размеров существа и малой его скорости тем значительнее, чем размеры и скорости меньше. Для них преобладающее влияние получает величина трения: сопротивление от инерции среды становится сравнительно незначительным, так что хорошая рыбообразная форма тела теряет свое значение. Поэтому существа малых размеров часто шарообразны или имеют самую разнообразную и как бы дурную форму в отношении рассеечения ими жидкой среды. Но природа редко ошибается: им плавная кораблеподобная форма и не нужна. С другой стороны — водные существа вырабатывают лучшие органы плавания и покрываются слизью, уменьшающей трение и сопротивление среды, что особенно важно для малых размеров и удлиненных тел. В последней формуле мы должны сделать поправку: формула пригодна, когда водное существо при своем движении имеет твердую опору, т. е. когда оно передвигается по дну водного бассейна, опираясь или цепляясь за него когтями, присосками или другими приспособлениями. Свободно движущиеся, или плавающие животные часть работы тратят напрасно благодаря зыбучести водной стихии, на которую они опираются своими плавниками или хвостом. В формулу нужно ввести коэффициент, меньший единицы и зависящий от совершенства плавательных органов. Чем они лучше, тем коэффициент будет ближе к единице, никогда, однако, ее не достигая. Но лучше ввести эту поправку

в формулу относительной мощности существа, необходимой для получения в среде желаемой скорости. Получим:

$$p_c v K_{\Pi} : N_0 = 0,5 C_x K_{\Pi} d F_{\Pi 1} v^2 : H^{k-2},$$

где в первое произведение из давления среды и скорости движения мы вставляем поправочный множитель K_{Π} , зависящий от степени совершенства пропеллеров, т. е. плавательных органов животного. Тут он больше единицы и тем далее уходит от нее, чем несовершеннее органы плавания. В недостижимом идеале он приравнивается к единице.

Из формулы мы видим, как быстро растет работа с увеличением скорости движения. Так, если скорость увеличится в 3 раза, то работа возрастет в 27 раз. Если скорость будет в 10 раз больше, то работа в 1000 раз. Мы видим также, что она пропорциональна плотности среды. А так как она равна приблизительно плотности водных животных, то раз в 800 больше плотности воздуха. Во столько же раз больше и работа движения водных животных сравнительно с сухопутными, считая только одно сопротивление атмосферы. Эта относительная работа уменьшается с увеличением роста существ и сопряженного с ним уменьшения коэффициента сопротивления рыбообразного тела (C_x). Для водных существ почти вся их мощность (N_0) может идти на работу рассеяния им среды, между тем как у сухопутных только часть ее может тратиться на это дело, а другая идет на борьбу с тяжестью и трением, зависящим от нее.

Если положить $k = 2,5$, то относительная трата мощности на рассеяние среды будет пропорциональна квадратному корню из линейных размеров (\sqrt{H}). Так, при увеличении линейных размеров в 100 раз относительная работа уменьшается в 10 раз. Но она еще сильно падает от уменьшения коэффициента сопротивления (C_x) среды.

30. Летающие существа. Крылья. Их относительная масса

Многие абсолютные величины для организмов всех размеров приблизительно одинаковы. Но относительные величины оказались часто тем больше, чем организм меньше. Так, чем меньше существо, тем борьба его с тяжестью победоноснее. Маленькие животные прыгают на громадную высоту, поднимают сравнительно огромные грузы. Относительная сила их мускулов чрезвычайна. Тяжесть для этих лилипутов существует тем меньше, чем сами они незначительнее по размерам. Напротив, атмосфера для них тем гуще, чем они меньше; также и сопротивление ее при их движении. Однако относительная сила мускулов, возрастающая по мере уменьшения их роста, вполне соответствует сравнительно усилившемуся сопротивлению среды. Повторяем, чем меньше рост тела, тем более ступеневывается сила тяжести. В пределе, для микроскопических существ, можно сказать, что она для них не существует. Но даже и для насекомых она настолько мала, воздух же представляет такую солидную опору, что шаги их превращаются в громадные прыжки, а прыжки — в полет. Для этого доволь-

но, как показывают вычисления, самых незначительных площадей крыльев и ничтожной затраты энергии. Как видно, малые организмы в отношении к тяжести как бы приравняются к водным животным всех размеров. Даже и формы тех и других в некоторых случаях сближаются.

Итак, обратимся сначала к крыльям, а потом к полету. Вообразим для простоты крылья в виде прямоугольных пластинок постоянной толщины. На том основании, что статический момент сопротивления излому крыла равен статическому моменту давления на крыло воздуха, которое при правильном полете равно половине веса организма (пренебрегая весом крыльев), составим уравнение:

$$b \left(\frac{c}{2} \right)^2 \frac{1}{3} \frac{\sigma_z}{k} 2 = \frac{G}{2} \frac{l}{2}$$

или

$$\frac{2}{3} \frac{\sigma_z}{k} b c^2 = l G,$$

где видим коэффициент разрыва, желаемую прочность крыльев, ширину крыла по направлению длины тела (например стрекозы или коромысла), толщину крыла, его длину и вес организма. Для подобных организмов $b = b_1 H$, $l = l_1 H$ и $G_0 = g V_{01} \rho H^3$ (см. 2). Но толщину крыла мы не будем считать пропорциональной размерам организма, а примем ее только достаточной для того, чтобы выдерживать вес животного при его полете.

Следовательно, выключая l , b и G , получим:

$$\frac{2}{3} \frac{\sigma_z}{k} b_1 c^2 H = l_1 g V_{01} \rho H^4,$$

откуда

$$c = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{k l_1}{\sigma_z b_1} g V_{01} \rho H}.$$

Можно найти и относительную толщину крыла, сравнив его с толщиной крыла, пропорциональной и равной $c_1 H$. Получим $b : b_1 H = \sqrt{\frac{3 k l_1 g}{2 \sigma_z b_1 c_1^2} V_{01} \rho H}$ и умноженной на плотность крыла. Значит, толщина крыла возрастает, сверх подобия при увеличении размеров пропорционально \sqrt{H} , т. е. она будет уклоняться от подобия в сторону массивности, или будет составлять все большую и большую часть веса всего организма по мере его увеличения. Действительно, масса крыла будет $m_{кр} = l b c \rho_{кр} = l_1 b_1 c \rho_{кр} H^2$. Выключая отсюда c , найдем:

$$m_{кр} = H^3 l_1 \sqrt{\frac{3 k}{2 \sigma_z} l_1 \rho_{кр}^2 g V_{01} \rho H}.$$

По отношению же к массе организма (m_0) она будет (так как $m_0 = V_{01} \rho H^3$):

$$m_{кр} : m_0 = \sqrt{\frac{3 k l_1^3 \rho_{кр}^2}{2 \sigma_z V_{01} \rho}} b_1 g H.$$

Отсюда ясно, что сравнительный вес крыла тем меньше, чем меньше сам организм. Так, крылья несколько не обременяют насекомых, мало затрудняют мелких птиц, более — крупных и еще более — аэропланы, поднимающие человека. Относительный вес крыла пропорционален квадратному корню из размеров летающего существа. Если для комара (ростом в 2 мм) он составляет, положим, один процент, то для подобного летающего существа в 2 м ростом он уже составит около 32% веса всего тела (G).

В последней формуле положим, что относительная длина крыла равна длине тела ($l_1 = 1$), а относительная ширина равна половине этой длины ($b_1 = 1/2$), $g = 1$ (полет на Земле), $\rho_k : \rho = 1$, т. е. крыло и организм имеют одну среднюю плотность, относительный объем животного $V_{01} = 0,1$, коэффициент разрыва, положим равным самой лучшей стали, деленной на ее плотность и умноженной на плотность крыла, т. е. $\sigma_z = \frac{\sigma_p}{\gamma} \rho_k$. Этой формулой мы выражаем, что крепость строительных материалов самая благоприятная и пропорциональна их плотности.

$$\text{Тогда получим: } 2m_{кр} : m_0 = \sqrt{30 \frac{k}{\sigma_p} \frac{d}{\rho} \rho_k H}.$$

Наконец, положим тут $k = 10 : \rho_k = 1$; $H = 1$ см, $\sigma_p/\gamma = 10^7/8$ г/см². Теперь вычислим: $2m_{кр} : m_0 = 0,0155$. Это значит, что вес двух крыльев составляет для животного в 1 см размером около полутора процентов веса всего существа.

Если же плотность крыла не равна плотности организма, то:

$$2m_{кр} : m_0 = 5,48 \sqrt{\frac{k}{\sigma_p} \frac{\gamma}{\rho} \rho_k H},$$

а вообще

$$2m_{кр} : m_0 = 2,45 \sqrt{\frac{k}{\sigma_p} \frac{\gamma}{\rho} \frac{b_1}{V_{01}} l_1^3 g \rho_k H}.$$

Из формулы видно, что если летающее существо достигнет длины (H) одного метра, то относительный вес крыльев будет в 10 ($\sqrt{100} = 10$) раз больше, или 15%. Возможно, что у живых существ он больше вычисленных процентов. Может быть, это потому, что материал крыльев гораздо слабее, а может быть, природа рассчитывает на большую их прочность. Возможно, что и длина крыльев гораздо больше положенной, а ширина, напротив, меньше. Если, например, принять $l_1 = 2$, а $b_1 = 0,25$, то процент массы крыльев увеличится в 4 раза и станет 6%. Тогда станет понятным, почему насекомые с их примитивно устроенными крыльями не могут быть длиннее нескольких сантиметров. Действительно, при удлинении насекомого хотя бы до 16 см длины массовый процент крыльев возрастет уже до 24%, что невыносимо для экономии животного. Мы также приняли чересчур идеальный материал для строительства. Даже сталь бывает редко так крепка. Если для материала крыльев уменьшить крепость в 4 раза, то вот уже % крыльев насекомого еще увеличится в 2 раза и достигнет 12% для роста в 1 см, а для 16 см будет уже 48%, что совсем невыносимо. Но не

одни крылья ограничивают размер летающего существа, а также и сравнительно больший расход энергии, необходимый для полета, между тем как энергия существ с увеличением их размера падает (4). Но обратимся к сравнительному весу крыльев. Он может еще уменьшиться с усовершенствованием их. Из формул мы видим, что он уменьшается с уменьшением плотности крыла (ρ_k). Следовательно, чем рыхлее употребленный материал при неизменной крепости на единицу плотности крыла, тем крылья поглощают меньший процент. Птицы достигают этого в своих крыльях с помощью трубчатого строения перьев, что уменьшает среднюю плотность и, следовательно, относительный вес крыльев. Момент инерции сечения их зависит не только от площади сечения, но и от формы его. Так, сечение может быть решетчатым, трубчатым, изогнутым, как у жуков (жесткие крылья кривой поверхности). Хотя они и неподвижны при полете, но играют огромную роль, сильно облегчая полет, так же, как и неподвижные крылья аэроплана; — все это увеличивает момент инерции сечения, а следовательно, и сопротивление крыльев излому. В предыдущие формулы мы должны бы ввести под знак радикала момент инерции сечения.

Для трубчатых, решетчатых и цилиндрических крыльев он может возрасти в десятки раз, независимо от площади их поперечного сечения. Это дает возможность природе увеличивать рост летающих существ сравнительно с ростом насекомых, в десятки раз. Но и тут мало одного усовершенствования в строении крыльев: нужна и большая механическая энергия для полета и другие улучшения в конструкции крыльев. Итак, множество малых существ может иметь крылья, так как они не обременят животное, составляя ничтожную долю его веса. У самых малейших существ эти крылья очень простые, плоские. У больших — они уже частью искривлены, как у жесткокрылых, у еще больших — они трубчатые и устройства более или менее сложного.

В последней формуле $\sqrt[3]{b_1 l_1^3} = l_1 \sqrt[3]{b_1 l_1}$. Следовательно, при постоянной площади ($l_1 b_1$) крыльев их сравнительная масса обратно пропорциональна длине (l_1). Поэтому выгоднее делать крылья короткими и длинными вдоль тела, но такие крылья невыгодны в отношении подъемной их силы.

31. Полет в покоящейся среде

Полет существа может совершаться в покоящейся среде, в движущейся равномерно и горизонтально, в движущейся равномерно и вертикально, равномерно и наклонно, и, наконец, — в движущейся неравномерно. Тут три главных случая, остальные — ветки (см. мое: Устройство летательного аппарата птиц и насекомых).

Рассмотрим полет в покоящейся среде.

Начало полета совершается при усиленном махании крыльев вверх и вниз. Подымаясь, крылья или их перья, имеют вертикальное направление, просвечивают и при своем движении не встречают (почти) сопротивления воздуха. Напротив, при опускании, они же принимают горизонтальное

положение и встречают наибольшее сопротивление. При этом часть перьев смыкается в одну пластинку, имеющую обыкновенно внизу вогнутую сложную форму. Давление воздуха на крылья при их опускании уменьшает вес тела и может даже заставить его подняться на воздух. Это будет тогда, когда давление среды будет значительно больше веса животного. Если бы давление на крылья равнялось весу тела, или было немного больше его, то птица бы больше опускалась во время поднятия крыльев, чем поднималась во время их опускания — и животное бы, в общем скачками, летело вертикально вниз или подпрыгивало бы на земле, смотря по тому, опирается оно на почву при попытке полета или находится высоко в воздухе, не имея твердой опоры. Чтобы было хотя бы стояние в воздухе, надо чтобы давление на крылья было гораздо больше веса тела, чтобы птица поднималась каждый раз настолько же, насколько в последующий раз опускается.

Наконец, может быть махание настолько слабое, что существо не тронется с места, а будет только испытывать периодическое уменьшение веса при каждом опускании крыльев.

Очевидно, каждое летающее существо должно для поднятия на воздух, проявить известную минимальную энергию, ниже которой полет не может состояться.

Описанным способом совершается, собственно, не полет, а стояние в неподвижном воздухе. Так держатся в тихую погоду птицы у гнезда или насекомые у цветка, прежде чем уцепиться за него лапками.

Чтобы получить полет с поступательным движением, летающее существо располагает при опускании свои крылья наклонно, передним их краем вниз. Тогда давление на них воздуха также будет наклонно (нормально к крылу). Вертикальная составляющая этого давления будет поднимать тело или уравнивать его тяжесть, а горизонтальная — толкать его вперед. Рядом таких толчков птица или насекомое приобретет скоро быстрое поступательное движение. Когда оно есть, летающее существо уже и при поднятии крыльев будет испытывать на них снизу давление, которое также будет поддерживать насекомое в воздухе. Нужен только надлежащий наклон крыльев уже передним их краем кверху. Тогда при достаточной величине наклона, встречный воздушный поток будет давать на крылья нормальное к ним давление. Оно будет наклонным, но близко к отвесному. Горизонтальная его составляющая будет противодействовать полету и замедлять поступательную скорость существа, а отвесная составляющая сила будет поддерживать тело на весу, несмотря на одновременное поднятие крыльев. Таким образом, насекомое, летучая мышь или другое существо, как при поднятии, так и при опускании крыльев в атмосфере будет иметь постоянную, непрерывную опору, уравнивающую тяжесть его тела. При быстром поступательном движении птица не будет почти качаться вверх и вниз, полет будет ровен и прямолинеен, крылья почти горизонтальны, перья крыла не расцепляются, сливаясь даже при поднятии крыльев в одну поверхность. Только при опускании они дают телу ускоренное движение вперед, а при поднятии — замедленное. Но как то, так и другое ввиду быстроты поступательного движения мало заметно, т. е. движение го-

ризонтическое почти равномерно. При начале полета горизонтальные толчки вперед сильнее, для чего крылья при опускании сильнее наклоняются передним краем вниз, и поступательное движение от этого быстро ускоряется. Затем, после приобретения достаточной скорости, этот наклон становится мало заметным и крылья становятся почти горизонтальны. Напротив, при поднятии их в самом начале полета перья размыкаются, принимают вертикальное положение, крылья сквозят, затем, после немногих ударов, все же перья смыкаются в одну поверхность, которая сначала сильно наклоняется передним концом вверх, а потом, по мере ускорения движения, наклонение становится все слабее и слабее и при быстром поступательном полете делается близким к горизонтальному.

Иногда птица почему-либо желает ускорить свое поступательное движение, например в догонке за добычей или от страха преследования. Тогда совершаются те же явления, т. е. наклон крыльев увеличивается, энергия растет, потому что часть ее должна идти на ускоренное поступательное движение.

При остановке или замедлении полета, напротив, махание ослабляется, наклон крыльев к горизонту уменьшается. Махание может и совсем прекратиться, крылья принимают неподвижную позу, как у аэроплана. Наклон их, как у него же, передним концом вверх. Давление встречного потока будет уравнивать тяжесть птицы, но будет быстро замедлять и поступательную ее скорость. Поэтому вертикальное давление становится меньше веса птицы, и она спускается. Чтобы избежать этого, она увеличивает наклон своих крыльев к горизонту; но это возможно только до известного предела. Далее его наклон не достигает цели, т. е. вертикальная составляющая, несмотря на большой наклон, вследствие уменьшенной скорости движения оказывается меньше веса птицы, и тогда она неизбежно спускается и может разбиться о землю, если вовремя, маханием крыльев, не остановит это падение. Большей частью, птицы ловко и своевременно останавливают махание и спускаются почти без толчка на почву при сильном наклоне крыльев к горизонту. Но бывает и так, что расчет животного не совсем верен и птица при самом спуске должна махнуть несколько раз крыльями, чтобы ослабить толчок.

Если летающему существу нужно подняться без ускорения поступательного движения, то наклон крыльев несколько уменьшается, но возрастает сила ударов, зависящая от напряжения грудных мышц птицы. И наоборот, эта сила ослабляется, если существу нужно снизить свой полет. Вообще, поступательное движение зависит от наклона крыльев к горизонту и некоторого увеличения энергии, если полет ускоряется, и уменьшения ее, если он замедляется. Поднятие же и опускание проявляется главным образом при усилении или ослаблении напряжения мускулов. Когда существу нужно одновременно подняться и ускорить полет, то усиливается и сила ударов и наклон крыльев, и наоборот — если надо снизить полет и замедлить движение. Вертикальное поднятие и такое же опускание сопровождается, как и стояние на воздухе, горизонтальным положением крыльев, их маханием и отвесным положением крыльев или их составляющих

частей, т. е. перьев. Не забудем, что мы подразумеваем все эти явления совершающимися в спокойной атмосфере. Поднятие возможно и без ударов крыльями — одним усиленным их наклоном. Вертикальная составляющая тогда увеличивается, и летающее животное подымается. При уменьшении наклона без махания — происходит опускание птицы.

Простейшее устройство крыльев находим у двукрылых насекомых, затем у четырехкрылых, далее у жесткокрылых (тоже с 4 крыльями) и, наконец, у птиц. У летучих мышей (рукокрылых) сущность полета — как у двукрылых насекомых, но мускулатура сложна. Я не описываю тут направляющее действие хвоста птиц или задней части насекомых как чересчур понятное и подобное действию руля у водных судов.

Возьмем простейшее двукрылое насекомое. Когда оно расправит крылья для полета (если они уже заранее не расправлены природой), то крылья естественной упругостью и своим строением почти горизонтальны с легким наклоном передними их частями кверху; так что если подует ветер, то насекомое должно подняться. Теперь, если оно (подразумевается покой среды) будет усиленно опускать их вниз, то давлением встречного воздуха задняя их более тонкая часть отогнется кверху, и наклон получится обратный. Отвесная составляющая подымет животное на воздух, а горизонтальная будет подгонять его вперед и даст поступательное движение.

При умеренной силе поднятия насекомым крыльев давления на них сверху нет, а снизу оно не очень сильно, и потому крылья, естественным образом, т. е. благодаря упругости и форме их, обращены передним краем кверху. Давление встречного воздушного потока будет их подымать. Может быть это поднятие слабо и не уравнивает вполне тяжесть насекомого (почему оно во время поднятия крыльев несколько опускается), но зато усиленный удар их о воздух при опускании поднимает настолько же насекомое и вознаграждает тем за снижение.

Число ударов в секунду у маленьких существ так много, что неровность полета почти незаметна. Но все же полет насекомых в силу простоты устройства их крыльев не может быть так ровен, как птиц. Неровность полета более заметна у бабочек с большими крыльями (махаон, боярышник и т. п.), когда число ударов крыльями в секунду невелико. Полет насекомых упрощен благодаря несложности их мускулатуры. У птиц же и рукокрылых наклон крыльев регулируется особыми мускулами, а не упругостью только пластинок, заменяющих у насекомых крылья. У них при вертикальном поднятии крылья принимают отвесное направление, а у птиц то же положение получают составные элементы крыльев, т. е. маховые перья.

Рукокрылые, имея одну пластинку в каждом крыле, труднее начинают полет, так как приводить в отвесное положение большую поверхность не так удобно, как узкие перья птиц. Летучие мыши, как известно, для начатия полета вползают на высоту и оттуда уже бросают вниз; приобретают от тяжести скорость и тогда уже летят. Это же обстоятельство заставляет природу давать и насекомым две пары узких крыльев, которые удобнее приводить в отвесное положение, чем одну широкую. При ветре, ко-

нечно, иное дело. Но об нем мы пока молчим. У жесткокрылых (жуки) четыре крыла. Передняя пара работает как описано, а задняя распускается для полета, но остается во все его время неподвижной, т. е. в одном и том же положении относительно тела. Она имеет ясно выпуклый сверху вид, а внизу, конечно, вогнутый.

Неподвижные крылья передним краем слегка приподняты. Встречный поток воздуха, ударяясь о их внутреннюю нижнюю вогнутую поверхность, производит на них постоянное давление, как на детский змей или на крылья аэроплана. Это давление и поддерживает отчасти насекомое на весу. Но и передняя пара функционирует с тою же целью, как уже описано. Однако она может играть только и единственную роль — толкателя вперед. В таком случае их спокойное положение будет горизонтально, и только при махании задний их более гибкий край то подымается, то опускается на одну и ту же величину в обоих случаях, давая поступательное движение насекомому. При поднятии этих пропеллеров происходит давление встречного потока сверху, а при опускании — снизу.

Все же такое исключительное назначение передней пары — только толкать вперед, а не поднимать, — хотя и вполне возможно ввиду существования задних неподвижно установленных крыльев, но не выгодно для существа, как не вполне выгодно употребление с такою же специальной целью горизонтального толкателя (гребного винта) у аэропланов. Во всяком случае у жуков роль махающих крыльев, роль поднимателя, уже может быть значительно ослаблена и передана отчасти задним крыльям. В этом отношении жуки близки к аэропланам, где передняя пара крыльев заменена гребным винтом так же, большей частью, с одною парюю лопастей. Понятно, что животному не удобно употребление вращающихся частей. Напротив, машины избегают качающихся частей, требующих излишней работы на одоление инерции, которых пока не могут избежать живые существа в своих механизмах.

32. Расчеты, касающиеся полета

Теперь мы сделаем расчет движения летающего существа. Наиболее экономный пропеллер, толкающий вперед, — это крылья птиц. Но расчет на такой механизм затруднителен. Расчет полета жесткокрылого — проще, но еще проще расчет аэропланного полета с неподвижно установленною парюю крыльев и гребным винтом, подобным корабельному. Благодаря употреблению как горизонтального толкателя — винта ли, крыльев ли — часть энергии существа пропадает. Она была бы меньше, если бы летающее существо или аэроплан могли тянутся за бичеву, как детский змей или баржа.

Итак, для упрощения вычислений будем подразумевать самый обыкновенный аэроплан; т. е. мы себе представляем организм в роде майского жука с неподвижно установленными крыльями и горизонтальным толкателем в виде пароходного гребного винта (вместо прозрачной махающей передней пары крыльев того же жука).

Крылья той или другой продолговатости, той или другой формы и устройства несколько приподняты передним краем. Атмосфера неподвижна, но если организм имеет поступательное движение, то встречный поток воздуха ударяет в крылья и поднимает аэроплан. Давление воздушного потока приблизительно нормально к крыльям и рождает две составляющих силы: вертикальную, поддерживающую аэроплан в воздухе, и горизонтальную, препятствующую его движению, которую нужно одолеть. Эта преодолевающая сила развивается тягой гребного винта (или махающими передними лопастями жука, или надлежащим наклоном крыльев птицы и т. д.). Величину подъемной силы крыла при единице его поверхности, определенном наклоне и форме, при секундной скорости аэроплана в 1 м назовем коэффициентом подъема (C_y).

Тогда сила, поднимающая аэроплан (или существо), будет: $Y = C_y S_K v^2$. При подобии существ, поверхность крыла можно принять $S_K = S_{K1} H^2 = l_1 b_1 H^2$, где S_{K1} , l_1 и b_1 — суть поверхность, длина и ширина при размере H аэроплана в единицу.

Если аэроплан летит горизонтально, не поднимаясь и не опускаясь, то вес (G) его или организма должен равняться подъемной силе крыльев. Поэтому получим (2): $G = g V_{o1} \rho H^3 = C_y l_1 b_1 v^2 H^2$. Откуда $g V_{o1} \rho H = C_y l_1 b_1 v^2$. Мы тут оба крыла принимаем за одно длиною (перпендикулярной к корпусу) в l и шириною (размер вдоль корпуса) в b . Горизонтальное сопротивление движению крыльев будет:

$$X = C_x l_1 b_1 v^2 H^2.$$

Здесь, как и в предыдущей формуле, произведение $l_1 b_1 = S_K$ означает площадь обоих прямоугольных крыльев при $H = 1$; C_x означает горизонтальный коэффициент сопротивления крыльев. Есть еще другое сопротивление, которое также должен одолеть гребной винт, — это сопротивление корпуса аэроплана с его частями или тела организма с его членами (кроме крыльев). Это сопротивление можно выразить удвоенною величиною трения корпуса о воздушную среду. Разумные основы требуют, чтобы сопротивление от инерции воздуха, происходящей от раздвигания его корпусом птицы, приблизительно равнялось трению того же корпуса об окружающую его среду. Сопротивление от трения более известно, чем сопротивление от инерции, и вот почему мы полное сопротивление корпуса выражаем величиною удвоенного его трения. В таком случае оно приблизительно будет пропорционально коэффициенту трения (μ) и поверхности корпуса; оно будет равно:

$$R_T = \mu_1 S_T' v^2 = \mu S_{T1} H^2 v^2,$$

где S_{T1} означает поверхность подобно изменяющегося корпуса при размере аэроплана или птицы в единицу ($H = 1$). Полное горизонтальное сопротивление, преодолеваемое винтом, будет:

$$X + 2R_T = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) H^2 v^2.$$

Теперь можем выразить потребную мощность мотора, или работу его в секунду. Именно

$$N_M = (X + 2R_T) v K_B$$

или

$$N_M = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) H^2 v^2 K_B.$$

Здесь K_B — есть коэффициент, зависящий от употребления винта. Он больше единицы. При хорошей его форме и достаточной поверхности он меньше двух и немного превышает единицу.

Если бы устранить винт и ограничиться маханием крыльев, как у птиц и насекомых, то мы еще более приблизили бы этот коэффициент к единице. Для живых аэропланов мы и будем его принимать таковым. Выключая из последнего уравнения скорость (v), получим:

$$v = \sqrt{gV_{01}\rho H : C_y l_1 b_1}.$$

и

$$N_M = (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_{T1}) K_B H^{3.5} (gV_{01}\rho : C_y l_1 b_1)^{1.5}.$$

Эти формулы относятся как к аэропланам, так и к живым летающим существам. Только у последних, как более совершенных, коэффициент K_B чуть только больше единицы, между тем как у искусственных птиц, шаблонного устройства, он достигает $\frac{4}{3}$ и более до 2. Из первой формулы видно, что скорость полета подобных организмов разных размеров увеличивается (при достаточной для полета мощи, которой у животного может и не хватить) с возрастанием тяжести планеты, плотности существа и его размера — и с уменьшением коэффициента подъемной силы (C_y) крыльев и относительной их площади.

Из второй можем сделать выводы относительно потребной для полета работы в секунду, или мощи организма. Эта абсолютная сила, выделяющаяся в единицу времени, увеличивается быстро с размерами ($H^{3/2}$) существа — быстрее, чем его масса (см. 5) и тем более его естественная мощь. (Поэтому размеры летающих существ должны быть очень ограничены.) Она возрастает также: с увеличением горизонтального сопротивления (C_x) крыльев, коэффициента трения (μ), относительной поверхности корпуса (S_{T1}), силы тяжести (g) планеты и плотности (ρ) существа; мощность уменьшается с увеличением коэффициента подъемной (C_y) силы крыльев.

Можно придать той же формуле вид:

$$N_M = \left\{ \frac{C_x}{V l_1 b_1} + \frac{2\mu S_{T1}}{V l_1^3 b_1^3} \right\} \frac{K_B}{C_y^{3/2}} H^{3/2} (gV_{01}\rho)^{3/2}.$$

Тогда становится очевидным, что абсолютная мощь полета возрастает с уменьшением относительных размеров крыла, и наоборот. Для действительного полета существа, очевидно, эта требуемая мощь должна равняться мощи организма.

Приравняв необходимую мощность имеющейся мощности организма (4), найдем:

$$H = \frac{N_1 C_y^{3/2}}{K_B (gV_{01}\rho)^{3/2}} : \left(\frac{C_x}{\sqrt{l_1 b_1}} + \frac{2\mu S_{T1}}{V l_1^3 l_1^3} \right) = \frac{N_1 C_y^{3/2} \sqrt{l_1 b_1}}{K_B (gV_{01}\rho)^{3/2}} : \left(C_x + \frac{2\mu S_{T1}}{l_1 b_1} \right).$$

Отсюда видно, от чего зависит размер летающего существа. Он (H) возрастает: с коэффициентом мощности (N_1) организма, коэффициентом подъемной силы крыльев, их относительных размеров и с уменьшением K_B коэффициента горизонтального сопротивления (C_x) крыльев, коэффициента трения (μ) корпуса и относительной его поверхности (S_{T1}). Так как мощность организмов вообще чрезвычайно мала, то и размер летающего существа должен быть чрезвычайно мал (см. формулу).

Итак, не только относительная легкость крыльев делает малых существ крылатыми, но и вообще малая механическая энергия животных. Коэффициент подъемной (C_y) силы также мал вследствие малой плотности атмосферы. Это тоже уменьшает размер летающих существ. Напротив, усиленная энергия существ, улучшение формы крыла, а вместе с тем увеличение его коэффициента подъемной силы, увеличение плотности среды, возрастание крепости крыла с увеличением его поверхности и уменьшением массы — способствовало бы возвышению размеров и массивности пернатых животных.

Природа, совершенствуя их крылья, облегчая их сравнительный вес, улучшая мускулатуру, кровообращение и дыхание и возвышая вместе с тем выделяемую ими механическую энергию, — выдвигала все более и более крупных существ, способных к полету. Человек, изобретши двигатель необыкновенной мощности (N_1), также перешел от летающих игрушек и значительных моделей к большим аэропланам, поднимающим несколько человек.

Положим для последней формулы: $N_1 H^k = 10 \text{ кгм} = 10^6 \text{ гсм}$ (применяясь к человеку), $k = 2,5$, $H = 180 \text{ см}$. Следовательно, $N_1 = 2,3 \text{ гсм}$, $C_y = C_{y1} (h_B/h_{B1})$, $h_B = h_{B1} = 0,0012$, $C_{y1} = 25 : 10^8$ (для плоского квадратного крыла), $K_B = 1,2$; $l_1 = 1$ (два крыла составляют один квадрат в длину тела), $b_1 = 1$, $C_x = C_{x1} (h_B/h_{B1})$, $C_x = 7,5/10^8$, $\mu = 1 : 10^8$ (так как существо окажется около 2 см длины), C_x , C_y и μ взяты из моих таблиц в сочинении «Аэрост. и Аэропл.»*, $S_{T1} = 0,5$, $V_{01} = 4 : 480 = 1 : 120$, $\rho = 1$ (для человека еще меньше). Тогда вычислим: $H = 3,7 \text{ см}$.

Значит, размер (в длину при горизонтальном положении тела, как у насекомого) летающего существа с плоскими крыльями, составляющими вместе квадрат, близок к 4 см. Существа меньшего размера, конечно, или выделяют меньшую энергию, или уклоняются от условий, поставленных при нашем вычислении. При расчете мы заметили, что μ даже для малых су-

* Циолковский имеет здесь в виду свою работу «Аэростат и аэроплан», напечатанную в журнале «Воздухоплаватель», 1905, №№ 1, 3, 7 и 10; 1906, №№ 4, 5 и 11; 1907, №№ 3, 4 и 8; 1908, №№ 5 и 8 (Ред.).

ществ не имеет большого влияния на размер H , тем более он не важен для больших размеров существ; поэтому приблизительно можем принять:

$$H = \frac{N_1 \sqrt{l_1 b_1} C_y^{3/2}}{K_B (gV_{01\rho})^{3/2} C_x} = \frac{N_1}{K_B C_x} \left(\frac{C_y}{gV_{01\rho}} \right)^{3/2} \sqrt{l_1 b_1}.$$

Действительно, энергия волочения наклонных к горизонту крыльев или борьба с тяжестью организма, его падением к земле, весьма значительна в сравнении с сопротивлением движению самого корпуса летающего существа.

Но размер организма, поднимающегося на воздух, может расти и быть больше 4 см, если согласно формуле будет возрастать энергия (N_1) организма вследствие усовершенствования мускулатуры, дыхания, кровообращения, пищеварения и т. д. Это учесть довольно трудно. Но предельная величина пернатого может еще расти и при улучшении формы крыльев, т. е. при возрастании коэффициента подъемной силы (C_y) и уменьшении горизонтального сопротивления (C_x). То и другое дается удлинением крыльев в поперечном к телу направлении и некоторою наивыгоднейшею их вогнутостью. У тяжелых жуков V_{01} , т. е. относительный объем тела велик, но за то вознаграждает вогнутость жестких крыльев (надкрылий). Продолговатость крыльев всех насекомых дает им возможность или уменьшить мощность (N_1), или увеличить рост тела или его относительный объем. Это еще возможнее и шире, если к продолговатости крыльев присоединится и их вогнутость. Из формулы видим, что размер увеличивает

ся пропорционально $\sqrt{C_y^3}$: $C_x = \frac{C_y \sqrt{C_y}}{C_x}$. Из моих таблиц для квадратных цилиндрических крыльев видно («Аэростат и Аэроплан»)*, что это выражение будет наибольшим при наклоне крыльев в $12\frac{1}{2}^\circ$ и при кривизне их в $\frac{1}{15}$. Оно окажется больше, чем для плоского квадратного крыла в 1,63 раза. Значит, размер летающего существа увеличится в 1,6 раза и будет уже 5,9 см, т. е. около 6 см длины. Из той же моей работы видно, что крыло продолговатое и лучшей (переменной) кривизны (спереди кривизна больше, чем сзади крыла) дает возможность еще увеличить коэффициент подъемной силы (C_y) в 3,6 раза, причем C_x очень мало изменяется. Это обстоятельство дает размер летающих существ еще больше, в 3,6 раза, т. е. этот размер дойдет до 21 см. Такой размер уже превосходит размер мелких птиц, каковы колибри, воробьи, ласточки и т. д. Но наши опыты не дали идеального крыла. Природа может дать больше. Однако и такие размеры летающих существ заставляют переменить конструкцию крыла, которая при таком устройстве, как у насекомого, становится чересчур (сравнительно) тяжелой. Дальнейшее увеличение летающих существ достигается природой через увеличение их мощности (N_1). Так как размер летающих существ на практике достигает 1 м и более, то мощность их должна возрасти в 5 раз ($100 : 20 = 5$). Не забудем, что по нашим соображениям при постоянстве коэффициента мощности (N_1) энергия существ вообще

* См. примечание на стр. 226 (Ред.).

возрастает не так быстро, как масса их, и уменьшается с уменьшением размеров их не так быстро, как та же масса (см. 4).

Имели формулу:

$$v = \sqrt{\frac{gV_{01}\rho}{C_y l_1 b_1} H},$$

по которой можем определить скорость полета летающего существа. Она, как видно, уменьшается с уменьшением малости организма — пропорционально квадратному корню из его роста (H). Так, если рост уменьшится в 900 раз, то поступательная скорость уменьшится в 30 раз. Это большой недостаток малых существ. Они имеют легкие крылья и легко приобретают полет, но скорость его чересчур мала и невыгодна для борьбы с ветром и преследованием более крупных летающих врагов. Положим по предыдущему: $g = 1$; $V_{01} = 1 : 120$; $\rho = 1$; $l_1 b_1 = 1$ (это произведение есть площадь крыльев для размера, равного единице, т. е. когда $H = 1$). Тогда найдем $v = \frac{1}{11} \sqrt{\frac{H}{C_y}}$. C_y для плоского и квадратного крыла равен $25 : 10^8$, для продолговатого и плоского = $50 : 10^8$, для продолговатого и лучшей формы = $140 : 10^8$. Итак, с улучшением крыла C_y все увеличивается, а скорость пернатого все уменьшается — и вот разгадка плоских крыльев насекомых — это есть желание природы возвысить чересчур малую скорость их движения. Мы дали численные коэффициенты подъемной силы (C_y) при наклоне крыла в $12\frac{1}{2}^\circ$, но ведь наклон может быть меньше и тогда скорость будет больше. Поэтому нужно ждать, что мелкие существа дают небольшой наклон своим крыльям ради большей скорости и в ущерб потраченной энергии. Но вычислим скорости для наклона наивыгоднейшего, т. е. в $12\frac{1}{2}^\circ$ (в отношении экономии энергии). Положим еще размер организма в 1 см, т. е. $H = 1$. Тогда найдем: $v_1 = 180$ см/сек = 1,8 м/сек, $v_2 = 1,3$ м/сек, $v_3 = 0,75$ м/сек.

Первая скорость относится для плоского квадратного крыла, вторая — для плоского продолговатого, а третья — для продолговатого лучшей вогнутости. Такова выйдет скорость насекомого размером с комара. При 4 см размера эта скорость удвоится, т. е. будет 3,8 м, 2,6 м и 1,5. И эта скорость недостаточна для борьбы с природой. Для усовершенствованных крыльев и для больших существ она также невелика. Если в формуле $H = 100$ см, то для скоростей получим числа только в 10 раз больше, чем для размера в 1 см, а именно: 18, 13 и 7,3 м/сек, или 65, 47 и 27 км/час. Последнее число придется на самые лучшие продолговатые крылья с великолепной переменной кривизной и наклоне их к горизонту в $12\frac{1}{2}^\circ$.

Мы сделали по формулам наши вычисления при условии траты наименьшей мощности в единицу времени. Но получение наибольшей скорости движения, согласно двум последним формулам, подчиняется иным законам. Кстати, вычислим эту наименьшую мощность для разных размеров пернатых существ. Нет ничего легче этого, так как мы обусловили ее формулой $N_0 = N_1 H^k$ и находили вероятным принять $k = 2,5$. Только с такой мощностью размер существа, способного к полету, не может превышать

20 см при $V_{01} = 1 : 120$. Для существ, подобных птицам, эту величину надо возвысить по крайней мере в 4 раза и принять $V_{01} = 1 : 30$. Тогда размер пернатого еще уменьшится в 8 раз, т. е. будет равен $2^{1/2}$ см. Птицы в своей мускульной энергии (N_1) должны сделать огромный скачок вперед, чтобы достигнуть полета при их величине (H) и сравнительной полноте (V_{01}). Мы вычислили при $H = 1$ см, $N_1 = 2,3$ гсм; для 2,5 см найдем $N_0 = 23$ гсм. Для изучения условий, при которых получается наибольшая скорость летающих существ и машин, мы должны сосредоточиться на двух известных нам формулах:

$$N_0 = \left(\frac{gV_{01}\rho}{C_y l_1 b_1} \right)^{3/2} H^{7/2} (C_x l_1 b_1 + 2\mu S_T) K_B.$$

и

$$v = \sqrt{gV_{01}\rho H : C_y l_1 m_1}.$$

(Во всех формулах, применяемых к аэроплану, полезно заменить $V_{01}\rho$ величиною, равную m_1 . Действительно, $m_0 = m_1 H^3 = V_{01}\rho H^3$. См. 2.)

Эти формулы уже не считаются с тем, какой мощностью в действительности обладают организмы, а с тою, которою они должны обладать при тех или других условиях полета.

Мы видим из последней формулы, что наибольшая абсолютная скорость возрастает с увеличением тяготения планеты, сравнительным объемом тепла, плотностью его, размерами и с уменьшением коэффициента подъемной силы крыла и его площади. Выводы как бы совершенно парадоксальные и обратные основам экономии расхода механической энергии. По этой формуле возрастание поступательной скорости не имеет границ. Но, по первой формуле, тогда также безгранично возрастает и мощность организма (или механизма), требуемая для полета.

Можно искать секундную мощь снаряда, приходящуюся на единицу пройденного им пути и на единицу его массы. Это, так сказать, будет техническая, или скорее экономическая, оценка полета в сравнении с другими способами сообщения. При такой оценке провоза килограмма на метр или тонны на километр можно решить вопрос, какие товары выгодно перевозить и на какое расстояние. Это коммерческая оценка передвижения по воздуху.

Мы будем искать $N_M : v m_0$. Тут $m_0 = V_{01}\rho H^3$. Мы имеем все данные, чтобы найти желаемое. Получим:

$$\frac{N_M}{v m_0} = \frac{g K_B}{C_y} \left(C_x + \frac{2\mu S_{T1}}{l_1 b_1} \right).$$

Из формулы видно, что эта экономическая работа не зависит от размера летающих существ или аэропланов. Она одна и та же для всех масс. Значит, в отношении ценности пути малые летательные машины как будто не имеют преимуществ перед большими, или наоборот. Но на практике дело обстоит иначе. Действительно, с возрастанием размера снаряда быстро растет его скорость и еще быстрее мощность, что технически затрудняет построение чересчур легких и сильных двигателей, помимо поглощения массы снаряда массивностью его крыльев (30).

Из формулы также видно, что работа единицы пути уменьшается с увеличением площади ($l_1 b_1$) крыльев, уменьшением коэффициента трения (μ) и относительной поверхности корпуса (S_{T1}). Впрочем, влияние тут незначительное, так как второй член в скобках мал в сравнении с первым.

При обыкновенных условиях вторым членом в скобках даже можно пренебречь, в особенности для существ не очень малых и с крыльями обыкновенных размеров. Тогда найдем:

$$\frac{N_M}{v m_0} = g K_B \frac{C_x}{C_y}.$$

Отсюда видно, что работа продвижения на один метр не очень мала в сравнении с другими способами передвижения. Так, полагая $g = 1$, $K_B = 1,5$, получим

$$N_M : v m_0 = 1,5 \frac{C_x}{C_y}.$$

Чем меньше последнее отношение, тем работа единицы пути будет меньше. По моим таблицам («Аэростат и Аэроплан») * увидим, что это отношение для квадрата плоского и цилиндрически изогнутого (кривизна $1/12$) почти одно и то же и в лучшем случае (при наклоне в 10°) близко к $1/4$, так что искомое будет не меньше 0,4. Для изогнутых цилиндрических крыльев (кривизна $1/12$), длина которых в 4 раза больше ширины, это отношение при 10° наклона достигает $1/9$. Искомая величина будет 0,17. Переменная, наиболее выгодная кривизна таких же продолговатых крыльев еще может уменьшить это отношение до $1/15$, и тогда искомое будет равно 0,1. Работа единицы пути не зависит также от размеров крыльев и площади их, так что стоимость единицы пути очень затруднительно уменьшить. Только уменьшение тяготения планеты ее пропорционально уменьшают. Но это обстоятельство не в наших силах.

Итак, для наиболее совершенных (хоть и не предельно) крыльев можно надеяться, что работа единицы пути не будет более 0,1. Это значит, что для перелета грамма на 1 см нужна работа, не меньшая поднятия того же грамма на 0,1 см высоты. Одним словом, для продвижения любой машины или летающего существа на 1 м, надо потратить работу в 10 раз меньшую, чем при вертикальном его поднятии на то же расстояние.

Этот вывод очень утешительный для авиаторов. Работа продвижения телеги по мостовой только раза в два меньше. Конечно, эта работа в десятки раз меньше для велосипеда, железных дорог и тихоходных судов. Но, например, для пароходов, движущихся со скоростью 15 м/сек или 54 км/час, она даже раза в два больше. Следовательно, хорошо устроенные аэропланы в коммерческом отношении выгоднее очень быстроходных пароходов, движущихся со скоростью, большею 50 км/час.

Отношение C_x/C_y несколько не зависит от плотности среды. Это в высшей степени интересный вывод. Он означает, что ни воздушные высоты, где воздух реже в тысячи раз, ни такая плотная среда, как вода или даже

* См. примечание на стр. 226 (Ред.).

ругую, не имеют никакого влияния на работу прохождения единицы горизонтального пути. (Если не считать потерю веса в плотных средах. Этой потери, впрочем, и нет в «летающих» лодках, главная масса которых находится в воздухе и только «крылья» в воде.) Это значит, что летает ли наш снаряд в разреженной среде или в плотной, расход на единицу пути один и тот же; плотная атмосфера несколько не облегчает эту задачу, как и разреженная — не затрудняет. Отсюда вытекает отрицательное наше отношение к «летающим» лодкам или, по крайней мере, равнодушие к ним — в коммерческом отношении. Но при мелководьи они могут быть полезны. На практике, конечно, дело не совсем так. В самом деле, при плотных средах, скорость будет гораздо меньше, а потому и секундная мощность двигателя будет ничтожна и легко осуществима. Как для животных, так и для аэропланов это имеет огромное значение. Мы как раз сейчас переходим к этому вопросу, т. е. к определению работы летательного мотора, приходящейся на единицу массы организма в единицу времени. Она равна на основании предыдущих уравнений

$$\frac{N_0}{m_0} = \left(\frac{g}{C_y}\right)^{3/2} \left(v + \frac{2\mu S_{\tau 1}}{l_1 b_1}\right) \sqrt{\frac{V_{01} \rho H}{l_1 b_1}} \cdot K_B.$$

Тут мы уже видим, что эта относительная работа в секунду, в течение которой живой или мертвый снаряд проходит расстояние v , возрастает с размерами H прибора и находится в сложной зависимости от разных условий. Конечно, при исполнении летательных машин выгодно, чтобы эта мощность или энергия мотора, приходящаяся на единицу его массы, была не очень значительной, и, следовательно, осуществимой.

Если пренебречь в формуле вторым членом в скобках, то найдем:

$$\frac{N_0}{m_0} = K_B \sqrt{\frac{g^3 V_{01} \rho H}{l_1 b_1} \frac{C_x}{C_y^{3/2}}}.$$

Положим тут $K_B = 1,3$, $g = 1$ (Земля), $V_{01} = 1/72$, $\rho = 1/6$. (Для получения последних двух чисел мы приняли сечение корпуса в 1 м^2 , длину его в 6 м , объем в 3 м^3 , массу в полтонны, или в 500 кг ; тогда $V_{01} = 3 : 216 = 1/72$; $\rho = 0,5 : 3 = 1/6$). Конечно, размер корпуса переменный, но подобный приведенному. Тут даны только отношения, а не абсолютные величины. Можно в формулах положить, что $m_0 = m_1 H^3$; следовательно $V_{01} \rho = m_1$. Последняя равна (в граммах на 1 см) $500\,000 : 600^3 = 1/432$ и $V_{01} \rho = (1/72) \cdot (1/6) = 1/432$; $H = 6 \text{ м} = 600 \text{ см}$; $l_1 m_1 = 1$. Теперь вычислим:

$$\frac{N_0}{m_0} = 1,533 \frac{C_x}{C_y^{3/2}} = 1,533 : \frac{C_y}{C_x} \sqrt{C_y}.$$

По данным моих таблиц в «Аэростате и Аэроплане» составим новую таблицу, определяющую работу по последней формуле и другие величины, означенные в предлагаемой таблице. (См. таблицу, следующий лист).

Из последних строк таблицы мы видим, что аэроплан в 500 кг веса при двигателе в 100 кг выделяет разную работу, в зависимости от устройства

совокупности крыльев. Абсолютная мощность изменяется от 61 до 10 лошадиных сил, т. е., при наилучших условиях (но не идеальных, которые еще неизвестны) уменьшается в 6 раз. Так, при крыльях, составляющих вместе один плоский квадрат, она составляет минимум (при наклоне около $12\frac{1}{2}^\circ$) в 61 лошади. силу. Давая ровное искривление им в $\frac{1}{12}$, найдем нужным уже только 38 сил. При лучшем искривлении того же квадрата крыла, когда передняя часть вогнута несколько более задней, а среднее искривление только в $\frac{1}{20}$, сократим работу до 25 сил. При совокупности плоских крыльев в виде поперечного прямоугольника, длина которого в 4 раза больше ширины, найдем достаточным 34 сил, т. е. меньше, чем для цилиндрического квадрата. Придавая этим продолговатым (как у стрекозы) крыльям ровную вогнутость, сойдем до 16 сил, а если эта вогнутость впереди будет больше, то можно добиться уменьшения работы до 10 сил. Но нельзя думать, что это уже предел. На килогр. веса двигателя найдем в таблице обязательную секундную работу от 46 до 8 *кгм*, или от 0,61 до 0,10 лошадиных сил. Наоборот, на каждую силу полагается от 1,64 до 10 *кг* массы.

Вес аэроплана = 500 <i>кг</i>	Около 12° наклону к горизонту					
	Квадрат. Продолговатость = 1			Прямоугольник. Продолговатость = 4		
	плоский	цилиндриче- ский	лучшей формы	плоский	цилиндриче- ский	лучшей формы
Работа аэроплана в <i>сек</i> на 1 <i>г</i> его веса, <i>гсм</i>	922	569	370	514	231	156
То же, но на 1 <i>кг</i> веса, <i>кгм</i>	9,22	5,69	3,70	5,14	2,31	1,56
То же в <i>кгм</i> на <i>кг</i> мотора. Вес его = = 1 : 5 веса аэроплана	46,1	28,5	18,5	25,7	11,6	7,8
То же, только в лошадиных силах . .	0,61	0,38	0,25	0,34	0,16	0,10
Вес двигателя в <i>кгм</i> на 1 лошади- силу	1,64	2,63	4,00	2,94	6,25	10,00
Полная мощность мотора, в лошади- ных силах	61	38	25	34	16	10

Мы видели, что работа прохождения летательным снарядом одного метра пути изменяется в зависимости от совершенства крыльев раза в 4. По формулам мы видели, что она зависит только от отношения C_y/C_x . Последняя таблица легко покажет, что и эта коммерческая оценка пути воздушных полетов может колебаться от 1 до $\frac{1}{5}$, т. е. работа при лучших крыльях и тут может уменьшиться в 5 раз. Однако более продолговатые крылья поглощают больше веса и потому представляют отчасти и минус в аэроплане.

Из формулы видно, если не считать возрастающего не пропорционально массе аэроплана веса крыльев, что при соблюдении подобия и увеличения размера аэроплана вдвое, а веса в 8 раз (4000 кг; вместо одного человека 8 летчиков), мощность N_0/m_0 должна возрасти в 1,41 раза. Число же потребных лошадиных сил будет от 689 до 113. А на килограмм веса двигателя придется в секунду от 0,86 до 0,14 лошадиных сил.

Площадь крыльев мы приняли чересчур большой: поперечную величину совокупности их в $2H$, ширину в $H : 2$. Если принять вдвое меньше, а площадь в 4 меньше (т. е. в $9 м^2$), то работа, мощность и энергия моторов должны удвоиться. Тогда мощность будет от 92 до 16 метр. сил, или от 122 до 20 лошадиных сил. Вес двигателя на лошадь силу будет от 0,82 до 5 кг. Интересно узнать и скорость. Для того имеем:

$$v = \sqrt{\frac{gV_{01}\rho H}{C_y l_1 b_1}} = \sqrt{\frac{gm_{01}H}{C_y l_1 b_1}}$$

Положим $g = 1$; $V_{01} = 1/72$; $\rho = 1/6$; $m_{01} = 500\,000 : 600^3 = 1/432 = (1/72) \cdot (1/6)$; $H = 600$ см; $l_1 b_1 = 1$. Вычислим $v = 1,18 : \sqrt{C_y}$. Из последней таблицы имеем 6 величин для подъемной (C_y) силы. Соответственно получим 6 секундных скоростей в метрах и 6 часовых в километрах:

м/сек	23,6	17,0	20,6	17,8	16,9	20,2
км/час	85,0	61,2	74,2	64,1	60,8	72,7

Как видно, величина скорости почти не зависит от совершенства крыла. Если уменьшим их площадь в 4 раза, то скорости удвоятся и будут (в км/час): 170,0; 122,4; 148,4; 128,2; 121,6; 145,4.

Эти скорости не особенно поражают; также полная работа моторов не очень велика, как мы видели, именно от 122 до 20 лошадиных сил.

Но по формуле видно, что можно еще чрезвычайно увеличить скорость уменьшением не только крыльев, но и коэффициента подъемной силы (C_y). Значит, чем крыло несовершеннее, тем скорость больше, хотя мощность становится очень велика и единица пути дорога.

Надо, чтобы стоимость единицы пути была как можно меньше. Мы видели, что она исключительно зависит от отношения между подъемной силой крыла и его горизонтальным сопротивлением, т. е. от C_y/C_x . Чем больше это отношение, тем путь дешевле или экономнее. Надо заметить, что C_x определялся при очень малых поверхностях (10×10 см), причем трение, входящее в состав C_x , было велико. Для больших крыльев поэтому C_x будет гораздо меньше, а путь дешевле. По нашей таблице означенное отношение в зависимости от рода крыльев колеблется между 3,3 и 16,8. Но при этом нам нужно, чтобы при малых углах эти отношения не слишком были малы и чтобы притом C_y падал как можно больше при умалении угла наклона к горизонту.

Рассматривая мои опытные таблицы сопротивления разных родов крыльев («Аэростат и Аэроплан»)*, мы видим, что для плоских крыльев

* См. ссылку на стр. 226 (Ред.).

C_y может падать до нуля, но уменьшается до нуля же и отношение C_y/C_x , что делает полет дорогим при малых наклонах и большой скорости движения. Все же плоские крылья в отношении быстроты дают нечто. Так, при наклоне в $2\frac{1}{2}^\circ$, отношение $C_y/C_x = 2$, значит работа пути будет в 8 раз дороже наименьшей; $C_y = 44$, т. е. ($338 : 44 = 7,7$) почти в 8 раз меньше, чем для лучшей формы. Таким образом, мы можем скорость (см. формулу) увеличить почти в 3 раза, причем работа пути будет раз в 9 дороже наиболее дешевой.

Но мы видели, что C_x для больших крыльев может быть гораздо меньше. Поэтому наклон крыльев еще может быть уменьшен, причем C_y будет мал (скорость значит велика), и отношение C_y/C_x довольно велико, так что единица пути не обойдется очень дорого.

Если вместе с уменьшением наклона крыльев мы будем придавать им и меньшую кривизну, т. е. более плоскую форму при ее совершенстве, то сохраним, до известного малого наклона, отношение C_y/C_x значительным, постоянным и наиболее выгодным. Числитель и знаменатель его будут одновременно уменьшаться. Тогда единица пути останется не дорогой, но C_y сильно уменьшится и даст возможность наибольшего увеличения поступательной скорости. Впрочем, при очень малом наклоне неизбежно падение отношения C_y/C_x , определяющего ценность единицы пройденного аэропланом пути. В самом деле, числитель, или подъемная сила (C_y), непрерывно и правильно уменьшается с приближением наклона к нулю, между тем как знаменатель, или коэффициент (C_x) сопротивления, не может столь же быстро падать и дойти до нуля, потому что этому мешает трение крыла о воздух, которое и при горизонтальности крыльев не может обратиться в нуль; кроме того, если мы крыльям даем кривизну, то эта кривизна представит еще некоторое, хотя небольшое, сопротивление. Потом, крылья, близкие к плоским, вынуждают для укрепления их употребление тяжей и мачт, что невыгодно в отношении сопротивления воздуха. Тогда как кривые крылья, увеличивая во много раз момент инерции их поперечного сечения, увеличивают одновременно и прочность неподвижно укрепленных крыльев аэроплана. Но и тогда едва ли обойдутся вполне без мачт и тяжей, разве только для самых малых машин.

Все эти соображения заставляют думать, что наклон крыльев аэроплана к горизонту не может быть меньше $2-5^\circ$ и скорость не много может превышать вычисленную. Правда, C_y силы еще уменьшается с разрежением среды. Но это не влияет на отношение C_y/C_x , или ценность пути; значит, на высотах аэроплан приобретает большую скорость, хотя и мощность его моторов в секунду должна расти, чтобы он не упал. Так, на высоте в 5, 10, 15, 20 км скорость последовательно будет больше в 1,4; 2; 2,8; 4 раза. Во столько же раз обязана увеличиться и мощность моторов, хотя ценность единицы пути останется та же. Однако на большой высоте необходима закрытая герметически каюта для дыхания человека, затем количество кислорода в воздухе станет настолько мало, что выделение моторами усиленной энергии становится положительно невозможным. Так что мечту о высоких полетах, превышающих 5 км, надо совсем оставить.

Иногда, например при остановке, выгоден медленный полет. Скорость его, как видно из полной формулы, уменьшается с увеличением коэффициента подъемной силы (C_y) и площади крыльев. Коэффициент подъемной силы возрастает с плотностью атмосферы или другой опорной среды и с увеличением угла наклона крыльев к горизонту. Это последнее обстоятельство, как видим из моих таблиц, сопровождается уменьшением отношения C_y/C_x и, следовательно, возрастанием ценности пути. Максимальную величину коэффициента подъемной (C_y) силы видим при угле градусов в 30. Тут она достигает 800 и даже более, т. е. увеличивается против лучшей формы всего раза в два, что дает уменьшение скорости только в 1,4 раза. При меньшей скорости, несмотря ни на какой наклон, снаряд падает. Помимо того, что такое незначительное уменьшение скорости не имеет важности, работа единицы пути сильно увеличивается, так как отношение C_y/C_x при большем наклоне к горизонту при сравнении с наилучшей формой при наилучшем наклоне ($12\frac{1}{2}^\circ$) падает, по крайней мере, в 8 раз. Это увеличивает ценность пути во столько же раз.

В последних полных формулах абсолютной и относительной мощности летающих организмов или машин видим выражение в скобках ($C_y + 2\mu S_{T1}/l_1 b_1$), вторым членом которого мы пренебрегаем. Действительно, по моей таблице («Аэростат и Аэроплан») коэффициент сопротивления C_x изменяется от $2 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$; l_1 и b_1 близки к единице; S_{T1} примерно равна (для последнего проекта аэроплана = $(\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 6) : 6^2 = \frac{1}{2}$)^{1/3}, т. е. относительная боковая поверхность трения корпуса летательного снаряда тоже не очень далека от единицы; коэффициент трения μ (мы знаем по формуле) равен 686 («Аэростат и Аэроплан»); $F_1 = 0,073(d/d_1)KSv^2$ *. Положив тут $d = d_1 = 1$; $S = 1$; $v = 1$, по таблице 719 («Аэростат и Аэроплан») можем найти $F_1 = K = C_y = 7^{3 \cdot 10^{-11}}$. Теперь для второго члена в скобках найдем величину $2 \cdot 10^{-11} 73/3 = 49 \cdot 10^{-11}$. Первый член, значит, будет больше второго по крайней мере в 40 раз ($C_y : 2\mu S_{T1}/l_1 b_1 = 2 \cdot 10^{-8} : 49 \cdot 10^{-11} = 40$), а в лучшем случае в 240 раз, когда C_y больше в 6 раз.

Вот почему мы вторым членом в последнем выражении могли пренебречь. Но какое же его значение? Если мы его во много раз увеличим, например, в 40 или 240 раз, то и тогда потребная мощность двигателя увеличится только в два раза (когда $C_y = 2\mu S_{T1}/l_1 b_1$). Второй член может быть увеличен посредством замены плавной поверхности тела птицы или корпуса аэроплана — решетчатой, сквозной, с балками и тяжами; еще можно увеличить его численное значение расширением помещения или корпуса; тогда его поверхность придется увеличить в 40 или 240 раз, а размеры в 6 или 16 раз, что, пожалуй, излишне; можно также сделать дурной форму тела, заменив птицеподобную призматической; это уже прямо ни к чему, между тем как работа от этого возрастет только вдвое. Все же видно, что недостатки в форме корпуса не имеют слишком большого значения.

* Журнал «Воздухоплаватель», 1908, № 8, стр. 278 (Ред.).

33. Звук от крыльев. Число их колебаний

Воздух под крыльями летательной машины продвигается вниз (приблизительно) в секунду на тангенс наклона ($\operatorname{tg} \alpha$) крыльев к горизонту, умноженный на поступательную скорость движения птицы, т. е. на $v \operatorname{tg} \alpha$.

Размах крыла положим равным длине крыла (l). Тогда число одиночных колебаний крыла будет $\nu = v \operatorname{tg} \alpha : l$. Тут положим $\alpha = 12^{1/2} \circ$; $l = l_1 H$,

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,222; \quad \nu = \sqrt{\frac{g V_{01} S_0}{C_y l_1 b_1}}.$$

Найдем

$$\nu = \frac{4}{9} \sqrt{\frac{g V_{01} S_0}{l_1 b_1}} : l_1 \sqrt{H C_y}.$$

Следовательно, число колебаний крыльев увеличивается с уменьшением относительной длины и ширины крыла, коэффициента подъемной силы (C_y) и уменьшением размеров существа. В этой формуле положим: $C_y = 25$; $l_1 = 2$; $b_1 = 0,5$; $g = 1$; $S_0 = 1$; $V_{01} = 0,02$. Тогда найдем:

$$\nu = 0,031 : \sqrt{H C_y} = 45 : \sqrt{H}.$$

Но C_y может дойти до 49 (см. табл.). Следовательно, $\nu = 62 : \sqrt{H}$. При размере в 1 см (комар) число колебаний будет от 45 до 62 в сек, т. е. может быть слышен очень густой тон от 22 до 31 двойных колебаний в секунду. Вот таблица числа двойных колебаний и соответствующих размеров существ в см:

H , в см	1	2	3	4	5	6	7
Число колебаний; $C_y = 25$	22	16	13	11	10	9	8
Число колебаний; $C_y = 49$	21	22	18	15	14	13	12

Отсюда видно, что могут издавать при полете музыкальный звук насекомые только до размеров 2—4 см, и то очень низкий. Но другое дело, когда насекомое рвется от врага, когда оно усиленно машет крыльями, когда его ловят на оконном стекле, когда оно при безветрии летает на одном месте у цветка, тогда число взмахов может несколько возрасти, и насекомое будет издавать звук, который при ровном поступательном полете оно не издавало или будет издавать звук более высокий, чем раньше. Насекомые с большими (сравнительно с телом) крыльями и с малым, сравнительно, объемом тела — как бабочки — издавать звука не могут. Кроме того, при хорошем, совершенном полете воздух прогоняется в одном направлении — вниз, и потому колебания его, а следовательно, и звука не должно быть. Только несовершенный полет насекомых его дает. У тяжелых насекомых с массивным сравнительно телом, как у некоторых жуков, V_{01} гораздо больше, чем мы положили; поэтому, как видно из формулы, и число колебаний гораздо больше при тех же условиях; так что они издают звук и при больших размерах тела, или же звук получается более высокий при тех же размерах.

34. Полет в движущейся среде

Рассмотрим сначала влияние равномерного прямолинейного и горизонтального потока на движение летающих существ. Благодаря ему, облегчается взлет и спуск существ на землю. Многие, не очень энергичные существа или с очень узкими крыльями, приуроченными к быстрому полету, совсем не могут взлетать с ровных и низких мест при безветрии. Иные для этого кидаются с возвышенного места, другие предварительно разбегаются или прыгают вперед. Цель — приобрести некоторую поступательную скорость, которая, увеличивая встречное давление среды на крылья, уменьшает необходимую для полета энергию.

Для облегчения взлета птица, насекомое или аэроплан становятся головой к ветру, чтобы он дул на распростертые крылья. Тогда подъем совершается легко, потому что птица как бы уже приобрела надлежащую для полета скорость. Потом, уже в воздухе, птица поворачивает и летит, куда хочет.

При остановке или спуске на землю, птица, еще не касаясь земли, поворачивается против ветра и так летит, приближаясь к почве, дереву или крыше. Тут истинная скорость ее движения будет равна скорости ее самостоятельного движения (в неподвижной т. е. среде) без скорости ветра. А так как скорость самостоятельная между известными пределами находится в воле птицы, то она сравнивает эту скорость со скоростью среды и опускается тогда очень медленно, отвесно и без всякого толчка. В самом деле, тогда ее поступательная скорость относительно земли близка к нулю. Ветер ускоряет, замедляет, останавливает движение птицы и даже может сделать его обратным, т. е. птица будет летать хвостом вперед. Хотя этого я еще и не наблюдал, но только потому, что скорость ветра у земли, не очень высока, меньше самостоятельной скорости птицы. При буре же птицы более слабые совсем не летают, потому что возможный при этом полет задом может быть не безопасным для нее, в особенности при спуске. Надо смотреть, куда летишь; когда же двигаешься задом, этого делать нельзя и потому будешь разбиваться о препятствия.

Попутный ветер ускоряет полет существ; а так как скорость ветра порою, в особенности на значительных высотах, достигает 300 км/час, да самостоятельная скорость птиц доходит до 100 км/час, то относительная скорость при полете по ветру будет уже 400 км/час. В 10 час это составит перелет в 4 тысячи верст. Даже невысоко от почвы скорость бури доходит до 200 км/час. Если птица воспользуется хотя бы этим ветром, то пролетит в 10 час 3 тысячи верст. Перелет от полюса к экватору потребует только 30 час, от средней широты (45°) до экватора — 15 час, от 50° до 70° широты — 7 час.

Понятно, что перелетные птицы с нетерпением ожидают благоприятного и довольно высокого ветра, когда они могут с его помощью достигнуть безопасно жарких стран в какие-нибудь сутки, а то и менее. Иногда такой ветер на высотах сопровождается внизу, у самой земной поверхности, обратным течением воздуха, что дает повод некоторым думать, что

птица дожидается не попутного, а противного ветра. Это не только не научно, но также странно, как если бы аэроплан или пароход дожидались противоположного ветра или морского течения для ускорения их хода и сокращения времени путешествия. Предрассудки не истребимы и в науке. Напротив, противный ветер, облегчая взлет и спуск, может очень замедлить полет, остановить его и даже сделать отрицательным и потому очень опасным для крупных летающих существ. Это случится, когда скорость бури будет больше самостоятельной скорости существа в неподвижной среде.

Особенно страдают от противного ветра маленькие существа, каковы насекомые, с их небольшою самостоятельною скоростью. На высотах ветер почти всегда их уносит в сторону своего движения: на север, где они легко погибают от холода, а иногда и приносят людям несчастье, пожирая всю зелень и все труды земледельцев; порою их заносит на юг, где они в изобилии находят пищу и размножаются. Открытый океан также их губит. Но насекомые придерживаются обыкновенно наиболее близких к земле мест, защищенных от ветра травами, кустарниками, деревьями, домами, камнями и т. п. Тут скорость ветра так незначительна, что они легко справляются с ней.

Слабость полета может быть даже заставляет некоторых насекомых совсем отказаться от крыльев, этого обоюдоострого орудия; они теряют или отгрызают себе крылья. Зато, когда нет пищи, или она истреблена, или подходит к концу вследствие наступления холодного времени года или других неблагоприятных условий насекомые и другие летающие существа поднимаются на воздух, и их крылья вместе с движением атмосферы их далеко уносят, в страны обильные и теплые. Птицы для этого действия достаточно умны или хоть снабжены полезным для них инстинктом. Но способны ли к тому же насекомые? Их, естественным образом, может побуждать к полету голод, светлый полдень, солнечная сторона, т. е. юг. Они могут лететь туда, как летят ночные бабочки на свечку. Уже этот инстинкт, очевидно, у них есть и выработан природою. Но противный ветер может и при их стремлении к солнцу унести их к неблагоприятному северу. Одну часть унесет к северу и погубит, а другую к югу и спасет. Без стремления же лететь большинство все равно должно погибнуть от наших лютых холодов.

Кроме того, у существ может быть инстинкт попутного ветра или чувствительность к температуре. В ясную, холодную, сухую погоду часто дуют северные ветры. Холод и низко стоящие осеннее солнце, возбуждая их беспокойство, заставляет их подняться на воздух повыше, где открыто светит солнце и согревает их. Этот северный ветер и приносит их к теплу. Вообще все условия погоды, действуя в совокупности, могут побудить насекомых к полету. Куда бы тогда они не полетели, поток воздуха, будучи сильнее их самостоятельного движения, унесет их к благодатному югу.

Боковой нормальный ветер более или менее ускоряет движение птиц, смотря по его силе. Косвенное же течение то ускоряет, то замедляет полет, судя по его наклону и силе. Но всякий косвенный ветер искажает самостоятельное положение корпуса птицы и направление ее движения. Чтобы достигнуть какой-нибудь точки при полете, она должна направить корпус

в иную точку и лететь к ней. Только тогда она достигнет желаемого пункта. Вследствие этого мы видим, что направление продольной оси летающего существа или машины не совпадает с направлением ее движения относительно Земли, т. е. с кажущимся полетом. Особенно это бывает заметно при бурном движении атмосферы. В пределе, когда движение среды чересчур велико, полет может представиться строго боковым. Итак, он может быть не только задним, но и боковым, когда птица движется вперед правым или левым боком, нормально к продольной оси своего тела.

Закон движения в равномерно движущейся среде может быть выражен так. Вместо движения среды по такому-то направлению с такой-то скоростью представим себе, что почва двигается с такую же скоростью, но в обратном направлении, а атмосфера или иная среда совершенно спокойна. При этом все явления останутся тождественными.

Такое представление облегчает решение задач о явлениях в движущейся среде. Так, мы воображаем, что почва, дерево и птица, сидящая на нем, движутся в неподвижном воздухе. Птица, слетающая с дерева, как бы брошена горизонтально в спокойном воздухе. Она как бы уже приобрела скорость, все равно каким способом. Она маневрирует в воздухе как бы неподвижном. Все движения ее нам понятны и знакомы, так как мы, уже изучили полет в неподвижной среде. Осложняют же явления, во-первых, этот бросок существа, во-вторых, движение почвы. Но это чисто кинематический или геометрический вопрос. Понятно, например, что раз птица пролетела в час столько-то, да земля в это время ушла назад на столько-то, то в результате птица отстанет от какой-либо точки Земли на сумму пройденных обоими телами пространств.

Одним словом, явления в равномерно движущейся среде ничем не отличаются от явлений в совершенно неподвижном воздухе, если бы только и почва, откуда мы наблюдаем явление, была также неподвижна или двигалась совершенно согласно со средой. Немножко, но просто осложняет это явление движение почвы, обратное и равное движению воздуха.

Выясним теперь значение равномерного отвесного или наклонного потока воздуха. Наклонный поток можно разложить на два взаимно перпендикулярных составляющих потока: на горизонтальный и отвесный. Влияние горизонтального мы уже понимаем. Остается рассмотреть отвесный поток. Итак, косвенный поток сводится к отвесному.

Чисто отвесный поток — явление редкое, так как горизонтальный ветер уносит такой поток и делает его косвенным. Отвесные потоки встречаются всюду, в особенности там, где почва не вполне однородна. Но и на море они есть, несмотря на однородность воды.

Тени от облаков, вызывая охлаждение воздуха, утяжеляют его, производят неравномерность давления, которая и может послужить началом падения воздуха в теневой стороне и поднятия в освещенной солнцем. Еще понятнее зарождение этих потоков на неоднородной почве. В таком случае ее части неравномерно остывают и нагреваются и потому не имеют одинаковой температуры. Например, днем от солнца более нагревается суша, чем вода. Над сушей нагревается сильнее и воздух, а потому он образует

восходящий поток, между тем, как над водою образуется ток нисходящий. Ночью, в особенности при ясном небе, бывает обратное.

Суша, покрытая зеленью, испаряющей воду, нагревается от солнца менее, чем открытая почва, в особенности покрытая темным песком, дурно проводящим тепло и сухим. Над ним поднимается вертикальный поток горячего воздуха. Ночью бывает обратное.

Над океаном при однородном небе как будто температура должна быть одинакова, и нет причин возникновения отвесных токов. Но это не так. Сначала возникает случайное поднятие или опускание столба воздуха. Положим, поднятие. От этого воздух с его парами охлаждается, но часть паров от этого ожигается, выделяет скрытую теплоту и потому мешает чрезмерному охлаждению воздуха. Кроме того, он выделяет ожигенные пары воды, которые падают на землю в виде дождя и еще более (помимо нагревания скрытой теплотой паров) облегчают столб воздуха. Соседние столбы атмосферы, притекая на место поднявшихся, напротив, опускаются, но при этом происходит нагревание воздуха только от сжатия, пары же, нагреваясь, не могут выделять своей скрытой теплоты или ожигаться. Поэтому равновесие поднимающихся и опускающихся слоев атмосферы еще более нарушается. При этом главную роль играют пары воды. Потому-то на океане, где их много, особенно после полудня, легко нарушается равновесие вертикальных столбов атмосферы. Лишь бы только оно началось; тогда оно будет продолжаться прогрессивно. Сгустившиеся пары воды восходящего воздуха сначала принимают форму облаков, дающих тень, но эта тень не противодействует нагреванию, так как падает в сторону и охлаждает не вертикальный столб под облаком, а другой соседний, что еще более способствует нарушению равновесия. Действительно, только на экваторе в самый полдень, притом весной и осенью, солнце стоит над головой совершенно отвесно.

Вообще на всех широтах вертикального положения солнца совсем нет, если не считать тропической области, где оно исключительно.

Но может быть и другое происхождение наклонных ветров. Это — неровности почвы, т. е. холмы и горы или наклоны суши. Ветер, встречая их, поневоле поднимается или опускается. Согревание воздуха скрытой теплотой паров и выделение из него влаги в виде дождя еще более усиливает восходящее движение.

Восходящие потоки уменьшают работу аэропланов, птиц и насекомых, нисходящие — наоборот. Они же нарушают и равновесие дирижаблей.

Нисходящие потоки, если они довольно сильны, при несовершенстве аэропланов иногда служили причиною их снижения и гибели в таком неподходящем месте, как лес или город. Вращение воздушного столба также может вызвать восходящий поток. Вихри, циклоны и ураганы дают его. Вращение разрежает воздух, делает его от этого легче, и он поднимается в центре циклона и вызывает обильные ливни. Окружающий воздух, понятно, опускается, а попадая в циклон, восходит кверху.

Возможно, что восходящими потоками пользуются птицы, как пользовался ими Лилиенталь при первых полетах с гор, рождающих восходящие

потоки. Ими, наверное, пользуются насекомые, семена, споры растений и низших существ. Какой-то паучок переселяется на своей паутине, поднимаемой восходящим потоком. Впрочем, пыль, паутина, капли тумана и очень мелкие споры, нагреваясь солнцем сильнее воздуха, рождают вокруг себя восходящий поток среды, который уносит их кверху, помимо общего громадного восходящего потока. Испарение капли также уменьшает плотность окружающей ее среды и тем способствует ее поднятию.

Восходящий поток при достаточной своей скорости, малости существа и его обильном оперении может служить средством летания без всякого расхода работы со стороны пернатого.

Напротив, ровный горизонтальный поток не может служить для этого, как бы силен он не был. Его сила не может даже и на одну крышку уменьшить непрерывный секундный расход энергии летающего организма или машины. Только облегчается взлет и спуск, да приходится большее или меньшее пространство относительно Земли. Мощность не изменяется, но работа перелета единицы пути удешевляется или удорожается, смотря по направлению течения. Нельзя того же сказать о влиянии неравномерного воздушного потока, положим хоть горизонтального. Мы видим, как некоторые птицы (например, ястреба) им пользуются, т. е. парят в воздухе, не шевеля крыльями, т. е. не затрачивая никакой мускульной энергии. Это явление мы можем понять и поверить в его правду.

Такой полет, конечно, может быть отчасти облегчен и восходящим потоком воздуха, но мы пока его оставим в стороне и допустим только горизонтально неравномерное движение среды.

Всякий замечал, как треплется флат, как ветер дует толчками, т. е. дает, например в парус, ряд ударов. Это как бы волны воздуха. Но они могут быть малые и большие. Они могут быть разных порядков: самые малые, побольше, еще больше, огромные и т. д. Притом они могут быть одновременны, т. е. самые малые волны в более крупных, последние в еще больших и т. д. Мы разберем простейший случай, когда имеем дело с одним порядком правильных волн, дающих удары подобно волнам звука или волнам воды. Притом возьмем так называемые стоячие волны. Частица воздуха при этом колеблется, как струна, т. е. в данном месте атмосферы воздух приходит в горизонтальное движение, его скорость все увеличивается, затем замедляется, переходит через нуль в обратное направление, усиливается и т. д. Одним словом, он дует то спереди, то сзади. На практике это редко бывает, потому что колебательное движение в атмосфере почти всегда сопровождается ветром. Его значительная скорость, присоединяясь к колебательному движению, дает ток одного направления, но то усиливающийся, то ослабляющийся. Присоединение общего потока, т. е. равномерного горизонтального, мы можем игнорировать, заменив его обратным движением почвы. Тогда останется только переменный поток — взад и вперед, который и рассмотрим.

Если птица, насекомое или аэроплан будут делать при полете горизонтальные круги с таким расчетом, чтобы распростертые крылья подставлялись как раз против дующего переменного ветра, то птица им будет только

подниматься. Она будет парить, лишь изредка подправляя полет взмахами крыльев, когда поток ослабевает. Вихревое движение воздуха при небольшом радиусе вращения может также послужить для парения птицы.

Вообще, неравномерный, преимущественно волнообразный поток может уменьшить мощность птицы, необходимую для ее полета. Однако надо уметь им пользоваться, в чем большие искусники некоторые птицы, например коршуны, ястреба, буревестники, альбатросы и другие парящие. Насекомые и аэропланы, кажется, не обладают этим умением.

Мы можем отнести к полету в атмосфере и летучих рыб, когда они выпрыгивают из воды и летят в воздухе несколько десятков метров. Может быть, они пользуются приобретенной инерцией движения, может быть, делают взмахи плавниками, но более всего, думаю, пользуются противным током воздуха, который на море достигает значительной силы. Он-то, действуя на распростертые обширные плавники, и поднимает рыб на воздух. Но, понятно, это только толчок ветра, порыв, который не может служить непрерывно для летания. Рыба, спустя немного времени должна снова упасть в воду, потерять полученную порывом ветра скорость, снова разбежаться в своей стихии и выпрыгнуть оттуда, чтобы снова парить несколько секунд. Устройство рыбы в отношении дыхания, кровообращений и прочего так несовершенно, что трудно ожидать, чтобы этот кратковременный полет мог превратиться в постоянный — дать начало летающим рыбам, которые собственной своей мощностью могли бы совершать продолжительный полет. Нет! для рыбы самое подходящее, самое отрадное — как можно скорее возвратиться в свою родную стихию.

35. Рыбы и дирижабли

Плавание водных существ, в особенности рыб, можно сравнить с движением дирижаблей и подводных лодок.

Птицы и аэропланы тратят громадную энергию для поддержания себя в воздухе, для противодействия падению, так как в воздухе они теряют только какую-либо $\frac{1}{600}$ часть своей тяжести. Рыбы же, дирижабли и подводные лодки целиком теряют свой вес и не заботятся уже о возможности падения; вся их забота главным образом в быстром поступательном движении, т. е. в преодолении сопротивления среды да в управлении.

Управление состоит: в поднятии и опускании тела, в сохранении желаемого направления, желаемой скорости и желаемого наклона или позы. Мы не будем рассматривать несовершенные формы движения низших существ с помощью ресничек, жгутиков, выбрасывания из полости животного воды и т. д., а прямо приступим к рыбам или к подобию дирижаблей.

Общее вертикальное равновесие водного существа достигается соединением более плотных частей тела с менее плотными, чем вода, т. е. комбинацией костей, мяса, жира, воздуха и т. д. Средняя плотность тела тогда оказывается равна средней плотности воды. Заглатывая воздух из атмосферы в пищеварительную область, рыба становится в среднем менее плотной, чем вода, и потому остается на ее поверхности. Только силою плавников

и хвоста она может тогда опуститься ниже. Но едва их действие прекратилось, рыба всплывает вверх, как пробка. Образование газов в желудке или кишках может послужить к тому же. Выпуская пузырьки воздуха из своих полостей, рыба без заметного расхода сил может стремительно уйти вниз, на дно реки или на желаемую глубину моря.

Этот способ вертикального передвижения водных существ, наиболее желателен для обитателей глубоководных бассейнов, морей и океанов. Действительно, в таких местах воздушный пузырь может сослужить плохую службу, хотя всем, конечно, известно, что и глубоководные рыбы иногда имеют воздушный пузырь.

Сжимаясь при опускании рыбы все более и более, он настолько увеличивает среднюю плотность рыбы, что ее силы уже не в состоянии вытащить ее наружу, несмотря на энергичные действия хвоста и плавников. Так же при поднятии: газ в пузыре расширяется, что все более и более устремляет рыбу кверху и может кончиться изуродованием существа от увеличения объема пузыря в несколько раз. Во всяком случае, пузырь дает неустойчивое вертикальное равновесие в воде и может послужить если не гибелью, то частым и напрасным расходом сил при возвращении на поверхность океана (особенно большой пузырь). Положим, что он составляет 10% объема рыбы (1000 см^3), т. е. 100 см^3 . При погружении существа только на 5 саженей, пузырь уже сжимается вдвое. Тогда для поднятия рыбы потребуется усилие в 50 г, т. е. 5% ее веса.

При большем погружении это усилие будет приближаться к 100 г. Хорошо, если рыба в состоянии его преодолеть. С небольшой глубины поднятие может удалиться, с большей же — рыба может замучиться длинным путем и при большом усилии. Стремление вниз — невольное и все усиливающееся — благодаря присутствию большой воздушной полости может увлечь существо на глубину, опасную для целости и правильного функционирования его органов.

Итак, мы думаем, что глубоководные рыбы или плавающие над большой глубиной должны бы в их интересах быть лишены пузыря. Но живущие на поверхности океана могут постоянно стремиться кверху благодаря непрерывному выделению газов во внутренних полостях. Только выбрасывая этот газ, они опускаются без особых усилий. Этот газ может проходить и в пузырь — результат будет тот же.

Непрерывное, хотя и медленное, образование газа может обезопасить и присутствие воздушного пузыря. В самом деле, непрерывное образование газа на глубине в конце концов выведет рыбу из затруднительного положения, так как уменьшит ее среднюю плотность настолько, что она сравняется с плотностью среды, и рыба может свободно подняться на поверхность.

Когда же ее пребывание в глубине необходимо, то непрерывное ожизнение, поглощение или выплывание газов может уравновесить существо и оставить его на дне океана.

Для мелководных, пресноводных и небольших рыбок, напротив, воздушный пузырь может быть очень полезным. Он, например, их избавляет

от излишнего накопления жира и дает преобладание мускулам и их силе. Хорошо большим водным существам накапливать жир для вертикального равновесия тела; абсолютная сила их мускулов велика и преодолевает всякую конкуренцию меньших собратьев. Но малым существам с малою скоростью движения выгоднее иметь воздушный пузырь, чем значительно большее количество жира, требуемого для вертикального равновесия тела. Если надо, например, для этого 10 см^3 воздуха, то жиру потребуется, примерно, 50—100 г, т. е. чуть не в 10 раз больше.

Такое сравнительно большое количество жиру не выгодно для маленького слабого существа. Ему выгоднее вместо жира иметь мускулы или другие деятельные органы. Вот почему пузырь так распространен среди водных животных — маленьких и мелководных. Он еще полезен и в другом отношении. Может быть, сжимание его мускулатурой тела служит рыбе для ее опускания, и обратно, бездеятельность этих мускулов — для поднятия. Только это будет чересчур непроизводительным расходом энергии и едва ли этот способ вертикального движения распространен. Гораздо более полезен пузырь, в особенности очень продолговатый или двойной, для придания продольной оси существа надлежащего наклона при косвенном поступательном движении силою плавников или хвоста.

Наклонное положение и так может быть почему-либо нужно. Перегоняя силою мускулов воздух с одного конца пузыря в другой, или из одного пузыря в рядом лежащий, рыба достигает наклона или поднятия передней части тела.

Мне не совсем понятно, зачем нет у многих рыб устойчивого равновесия тела, благодаря помещению пузыря в брюшной низшей части туловища. Только плавниками и так называемую боковую чувствительной линией тело поддерживается спиною кверху. Если рыбу оглушить или убить, она часто переворачивается брюхом кверху. Может быть, природе легче поддерживать нормальное положение рыбы сложным нервным аппаратом, чем переместить пузырь из брюшной ее части в спинную. Ведь так же мало устойчиво вертикальное положение человека. Не совсем ясно и значение спинных и брюшных плавников у рыб, т. е. плавников не парных, килевых, заменяющих корабельный киль и, конечно, способствующих более правильному прямолинейному движению. Но ведь обходятся же птицы и другие существа без этих второстепенных частей.

Не в том ли причина, что птица приобретает поступательное движение ударами крыльев, действие которых симметрично и не сворачивает птицу в сторону. Рыбы ж главным образом приводятся в движение хвостом. Вот тут-то килевые плавники и удерживают рыбу от излишней вертлявости. Правда, и некоторые рыбы не имеют килевых плавников или имеют их в зачатке. Это длинные винтообразно движущиеся существа.

Может быть, килевые части рыб, уменьшая еще сопротивление отвесному движению, способствуют более быстрому опусканию в глубину и спасению от врагов. Килевые части предупреждают рыбу об узких проходах, где она могла бы без гибких плавников застрять и погибнуть. Только человеческие сети не предвидела природа, в которых благодаря плавникам еще

легче запутаться водному существу, чем без них. У рыб хвост отвесен, а у птиц горизонтален, потому что птице весьма важно соблюдать горизонтальность тела. У рыбы же для этого служат парные плавники и пузырь, да и не опасно для нее нарушение горизонтальности.

Кажутся излишней роскошью и парные плавники, так как поступательное движение отлично развивается ударами хвоста. Но, с одной стороны, плавники служат для поддержания спины наверху, с другой, — они служат средством медленного передвижения, когда быстрое излишне и хвост оказывается чересчур грубым орудием. Так, кузнечик иногда прыгает, а иногда ходит. Также и птицы — то летают, то шагают.

Помимо того, плавники увеличивают, разумеется, точность прямолинейного движения, как и оперение дирижаблей. У птиц для того же служат большие искривленные крылья. Трудность поддержания себя на воздухе заставляет их освободиться от чрезмерной роскоши в роде килевых частей, увеличивших бы вес птицы. Рыба же, в своей плотной среде, может гораздо меньше считаться с массивностью своих частей, вес которых уничтожается противодействием среды.

Поступательное движение водного существа проще, чем воздушного, так как занято исключительно сопротивлением среды, одолением ее инерции и трения, но не борьбой с тяжестью, которой вообще тут нет. Водные существа как бы обитают в среде, свободной от силы тяготения планеты.

Сопротивление рыбы или другого водного животного, как и сопротивление движению летающего, складывается из двух сопротивлений. Первое зависит от инерции среды, которую нужно раздвигать, чтобы давать место движущемуся телу. Его величина зависит от остроты тела, его продолговатости и формы. Форма, подобная рыбе, птице, кораблю, наиболее благоприятна, так как таковая легко раздвигает жидкость без большого расхода энергии. Чем больше продолговатость тела, чем оно плавнее, острее или длиннее при той же площади наибольшего поперечного сечения, тем работа от инерции среды незначительнее. Но тут выступает другой фактор сопротивления: трение среды о тело животного. Эта сила, напротив, тем больше, чем больше поверхность тела, т. е. чем оно длиннее, продолговатее, толще, чем вообще поверхность его соприкосновения со средой больше.

Итак, с одной стороны, мы должны удлинить тело, чтобы уменьшить сопротивление среды от ее инерции, с другой, — укорачивать, чтобы уменьшить работу трения. Отсюда видно, что удлинение хорошей плавной формы наименьшего сопротивления полезно только до известного предела, далее которого удлинение вредно, так как увеличение сопротивления от трения будет более уменьшения сопротивления от ослабления инерции.

Сопротивление от инерции пропорционально площади наибольшего поперечного сечения тела, или площади поперечной его проекции (F_T), перпендикулярной к направлению движения. Далее, оно зависит от формы и продолговатости тела. Это обстоятельство мы выразим особым коэффициентом инерции (K_H), зависящим от формы существа и ее удлиненности. Так что сопротивление от инерции будет:

$$R_0 = C_x v^2 F_T K_H.$$

Здесь C_x означает коэффициент плоскости, или сопротивление единицы площади, при нормальном движении ее в среде с единицею скорости. Предполагая подобие организмов, можем положить, что $F_T = F_{T1}H^2$, т. е. что площадь проекции, как и всякая одноименная площадь, пропорциональна квадрату размеров существа.

Величина трения выразится: $R_T = \mu S_T v^2$, т. е. она пропорциональна коэффициенту трения, относящемуся к единице площади при единице скорости, поверхности тела и квадрату скорости его движения. Тут поверхность тела мы можем положить: $S_T = S_{T1}H^2$, предполагая подобие. Полезно еще величину трения выразить иначе, а именно: положим $\mu = C_x \mu_c$, где коэффициент плоскости (C_x) умножается на особый сравнительный коэффициент трения, который показывает, какую часть оно составляет сравнительно с нормально движущейся такой же площадью.

Итак, полное сопротивление среды будет:

$$\begin{aligned} C_y F_{п1} H^2 K_{п} v^2 + \mu S_{T1} H^2 v^2 &= (C_y F_{п1} K_{п} + \mu S_{T1}) H^2 v^2 = \\ &= C_y (F_{п1} K_{п} + \mu_c S_{T1}) H^2 v^2. \end{aligned}$$

Первый член в скобках (см. вторую часть) представляет сопротивление от инерции, которое мало зависит от скорости движения и в особенности от размеров подобно изменяющегося тела. Во втором члене, напротив, коэффициент трения (μ) зависит от скорости движения и в особенности от размеров тела в длину. С уменьшением их, как показывают мои опыты, он сильно возрастает.

Отсюда видно, что для очень малых существ, каковы бактерии, инфузории и насекомые, сопротивление от трения должно быть очень велико в сравнении с сопротивлением от инерции. Поэтому первым членом в скобках, где выражено это сопротивление, мы можем пренебречь, т. е. мы можем не беспокоиться особенно о хорошей и удлиненной форме существ: все равно, как бы мы не хлопотали, сопротивление от инерции сравнительно незначительно и не стоит особенной заботы. Вот почему бактерии и инфузории имеют нередко не только нелепую форму, но и не продолговаты; более же крупные существа — насекомые, сохраняя продолговатость, не имеют часто хорошей плавной птицеподобной формы. Явление это относится не только к водной, но, как видим, и к воздушной среде.

Только при значительных размерах птиц и рыб, коэффициент трения уменьшается, что побуждает природу обратить внимание и на сопротивление от инерции. Тогда-то существа преобретают хорошую и продолговатую форму. Все же, чем меньше размер, тем уклонение от совершенной формы больше, а продолговатость меньше.

Когда уменьшается второй член в скобках, зависящий от трения, уменьшением его коэффициента через выделение особой слизи (как у налимовых, угрей и т. д.), тогда и первый член уменьшается увеличением удлиненности тела.

Обратим еще внимание на значение членов в скобках третьей части последних уравнений. Положим, что тело кругловато, т. е. не очень продолго-

вато: тогда сопротивление от инерции (K_{II}) довольно велико, но и сравнительный коэффициент трения довольно велик при микроскопичности тела; поверхность же его, примерно, раза в 4 больше проекции.

Тут оба члена, при малой величине тела, почти равны; а при очень малой — второй член даже больше, что заставляет маленьких существ пренебрегать формой и удлиненностью. Теперь, при значительной величине плавающих или летающих тел, каковы рыбы и птицы, сравнительный коэффициент трения (μ_c) уже становится меньше коэффициента от инерции. Здесь выгодно несколько удлинить тело и улучшить его форму, так как главное тут инерция, трение же незначительно. Но при большом удлинении очень увеличивается поверхность (S_{TI}), а следовательно, и трение. Значит, удлинению тоже положен предел. У громадных кораблей и дирижаблей трение не велико, и потому тут особенное значение имеет хорошая форма и значительная продолговатость. Жаль, что пока мы не имеем средств уменьшать трение кораблей какою-либо слизью.

Работу организма в секунду или мощность двигателя у дирижабля выразим, как и ранее:

$$N_M = (F_{II}K_{II} + \mu_c S_{TI}) C_y H^2 v^2 (v K_B) = (F_{II}K_{II} + \mu_c S_{TI}) C_y K_B H^2 v^3.$$

Тут мы сопротивление среды множим на скорость движения и коэффициент винта, тем менее превышающий единицу, чем совершеннее винт у дирижабля или плавники и хвост у рыб. У них этот коэффициент очень близок к единице. Из последнего уравнения видим, что мощность подобно изменяющегося тела должна возрасти пропорционально квадрату его размеров и кубу его скорости. Но с другой стороны она несколько уменьшается при увеличении размеров, вследствие уменьшения коэффициента трения и возможности благодаря этому увеличивать продолговатость тела, от чего уменьшается сопротивление от инерции.

Мощность, приходящаяся на единицу массы существа, или энергия его, будет:

$$\frac{N_M}{m_0} = \frac{N_M}{V_{01} \rho H^3} = (F_{II}K_{II} + \mu_c S_{TI}) \frac{C_y K_B v^3}{V_{01} \rho H}.$$

Следовательно, энергия при одной и той скорости имеет возможность уменьшаться с увеличением размеров животного. Она еще более уменьшается от уменьшения трения и сопротивления от инерции. То же относится и к дирижаблям.

Стоимость провоза единицы массы на единицу расстояния, или оценка пути существа, такова:

$$N_M : m_0 v = (F_{II} K_{II} + \mu_c S_{TI}) \frac{C_y K_B}{V_{01} \rho} \frac{v^2}{H}.$$

Значит, расход на единицу пути опять уменьшается с увеличением размеров существа не только от этого, но и от уменьшения коэффициента трения и инерции. Зато этот расход быстро растет с увеличением скорости движения, и обратно. Так, для перемещения тяжестей всего выгоднее медленное движение. Вот почему нет ничего дешевле перевозки грузов по

воздуху и воде при очень малой скорости движения, не говоря уже про попутные течения. Так, если скорость движения уменьшится в 10 раз, то единица пути обойдется в сто раз дешевле. Это удешевление теоретически беспредельно. Если же пользоваться попутными течениями, то еще беспредельней. Ничто не может нам в этом отношении заменить ветра и воды.

Перейдем к организмам. Мы уже знаем, что мощность их не возрастает пропорционально массе или кубу размеров. Это возрастание медленнее, и только допустивши усовершенствование органов движения, дыхания, пищеварения, кровообращения и т. д., мы едва можем рассчитывать на возрастание мощности пропорционально кубу размеров тела или его массе. Пожалуй, возможно и быстреее возрастание в предположении особенного прогресса органов дыхания, кровообращения и т. д., но мы приняли мощность $N_0 = N_1 H^k$, где k в среднем равно $2^{1/2}$. Приравняв эту мощность к требуемой для плавания с определенной скоростью, найдем:

$$v = \sqrt[3]{N_1 H^{k-2} \{ (K_{\text{и}} F_{\text{пл}} + \mu_c S_{\text{тл}}) C_{\text{у}} K_{\text{в}} \}}.$$

В среднем $H^{k-2} = H^{1/2}$. Теперь видим, что скорость существ только чрезвычайно медленно возрастает с размерами (пропорционно $\sqrt[6]{H}$) и то больше от уменьшения сопротивления от инерции и трения.

Все же большие водные существа благодаря усовершенствованию формы, органов движения и других не только легко настигают своих врагов и жертв, но и легко расправляются с ними при помощи громадной абсолютной силы мускулов, остроты зубов и других орудий борьбы.

Но не столько дает преимущества усиленная быстрота, сколько массивность и абсолютная мощь усовершенствованных органов. Огромное значение имеет и увеличение размеров мозга, возможное в значительных размерах только при массивности животных.

Для пароходов и дирижаблей можем в формуле принять $k = 3$; тогда увидим, что скорость будет возрастать пропорционально $\sqrt[3]{H}$, помимо возрастания ее от уменьшения трения при больших размерах и скоростях.

Поперечное сечение большинства рыб есть овал, иногда очень удлинённый. Одним словом, рыба сплюснута с боков и редко в обратном направлении. Это немного увеличивает сопротивление воды при поступательном горизонтальном движении, но представляет громадные удобства в других отношениях. Именно — позволяет рыбе без нарушения плавности формы набивать пищеварительные органы добычей. Кроме того, позволяет быстро двигаться в отвесном направлении, т. е. быстро скрываться от врагов в глубине или на дне, между камнями и водорослями. Это особенно важно для малых и слабых рыбешек, каковые чаще и имеют такую продолговатую в отвесном направлении форму. Где вода мутна, как в прудах, реках и мелководных озерах, там это свойство драгоценно, так как позволяет моментально скрываться в водную муть.

Главный двигатель, пропеллер рыбы — хвост, а парные плавники соответствуют крыльям птицы. Но у нее хвост играет роль направляющую и регулирующую, которая у рыб более исполняется плавниками. Это легко

понять. Форма тела рыб и расположение мускулов таковы, что легко сосредоточивают всю силу тела в хвосте, заменяющего им паровой винт. Плавники же их слабы, так как эти крылья не должны уничтожать их вес, как крылья у птиц. Однако у летучих рыб плавники развиваются и заменяют отчасти крылья. Но они настолько все же слабы, что не могут служить для основательного и продолжительного полета. Наоборот, ныряющим птицам крылья заменяют, может быть, хоть немного плавники.

Течения в воде играют совершенно такую же роль в движении водных существ, как и ветры для птиц в атмосфере. Только течения спокойнее, ровнее и несравненно слабее атмосферических токов. В океанах они особенно слабы и не имеют потому большого механического значения в жизни водных существ. Лишь в реках существа, живущие только в пресной воде, выработали инстинкт, постоянно толкающий их против течения. Без этого стимула все свободно двигающиеся водные животные скоро оказались бы в морской соленой воде, к жизни в которой они не приспособлены.

Более слабые, не одолевающие нормального течения, скрываются на дне, между камнями и водорослями, находя здесь покой. Иные прикрепляются, присасываются или заграждаются от движения неподвижными предметами. Инстинкт размножения у многих морских рыб побуждает их входить в реки и развивать значительную самостоятельную скорость движения, чтобы одолеть иногда быстрое течение воды.

Только колеблющаяся поверхность моря снаружи и на некоторой глубине представляет некоторое подобие волнообразного движения воздуха. Пользуются ли водные существа колебательным движением воды для ускорения своего поступательного движения — неизвестно, но оно вполне возможно с помощью плавников и хвоста. Горизонтально-перпендикулярные к рыбе колебания воды могут приводить в движение рыбу с помощью хвоста, а отвесные колебания — с помощью парных плавников.

Неизвестно также, пользуются ли водные существа ветром для ускорения своего движения. Для этого они должны иметь выдающиеся над поверхностью воды части, что привлекло бы внимание пернатых хищников и потому не могло бы выгодно отзываться на рыбьем роде, имеющем парусные ухищрения. Кажется, однако, что некоторые низшие существа, например парусник или кораблик, двигаются отчасти силою ветра.

Последние формулы дают возможность вычислить скорость рыб или их мощность, потребную для получения данной скорости в воде. Но нужны предварительные опыты или данные из природы и жизни рыб, чтобы получить точные результаты от вычислений. Мне кажется, мореходное дело много бы могло выиграть от таких опытов.

Мы все же произведем одно такое вычисление на основании довольно шатких данных. В формуле положим: $H = 100$ см (рыбы длиною в метр), $F_{\text{пл}} = 1$ дм²: $H^2 = 0,01$ (значит, поперечник рыбы раз в 9 меньше длины ее), $K_{\text{п}} = 0,03$; $\mu_{\text{с}} = 0,001$ (мы делаем его меньше чем в воздухе, благодаря рыбьей слизи), $S_{\text{т1}} = (40 \cdot 100 \cdot 3/4) : H^2 = 0,3$; $K_{\text{в}} = 1,2$, $C_{\text{x1}} = 0,1 \cdot 800$ кг (на м² при скорости в 1 м) = $8,10^{-4}$ гсм, $N_1 = 2,3$. Теперь вычислим: $v = 342$ см или $3,4$ м/сек, т. е. 12 км/час.

Эта скорость очень мало изменялась бы с размерами рыб, если бы мощность была постоянной и коэффициент трения не изменялся, но последний очень велик для микроскопических существ и уменьшается, хотя и не очень сильно, для животных более одного метра в длину. Так, если принять в расчет только размер (H) тела, то увеличение его длины в 64 раза (64 м) даст скорость только в два раза большую, т. е. 24 км/час. Уменьшение же в 64 раза (размер 16 мм) дало бы 6 км/час. Но трение играет большую роль при уменьшении размеров, чем при увеличении их, в особенности при размерах микроскопических. Потом, еще более громадное значение имеет ослабление мощности вследствие несовершенства двигательного аппарата низших существ.

Найденная нами скорость все же раза в 3 больше средней скорости течения рек и потому вполне достаточна, чтобы рыба могла одолевать даже довольно быстрое течение, идя вверх по реке.

Для вычисления скорости отвесного движения рыб могут быть употреблены два приема, сообразно способу этого движения.

Первый способ отвесного движения, наиболее совершенный, состоит в наклонении тела вплоть до вертикального положения и затем — в поступательном движении обыкновенным способом силою хвоста или плавников. Такой прием опускания или поднятия в наклонном положении дает наилучший результат, особенно когда животное, спасаясь от врагов, двигается вертикально, хвостом вверх или обратно. Отвесная составляющая скорости движения тогда, конечно, равна: $v_y = v \sin \alpha$, где α — есть наклон * к горизонту в градусах.

Другой способ тихого спуска, почти без расхода сил, состоит в выпускании воздуха из пищеварительной области или плавательных пузырей. Для поднятия этот прием не применим. Но медленное поднятие возможно, так как у рыб в брюшной области возможно непрерывное и невольное образование газов, а может быть и более быстрое, зависящее от желания. Только выпускание их через рот в виде воздушных пузырьков останавливает восходящее движение рыб. Вот при этом втором способе отвесного движения (в отношении его быстроты) полезна сдавленная с боков продолговатая форма поперечного сечения рыб. Уменьшают сопротивление среды и непарные плавники (как и хвост при движении продольном).

Для определения отвесной скорости составим уравнение на том основании, что сопротивление среды равно вертикальной силе, образовавшейся от образования или выпускания газов из существа. Эта последняя сила равна dV_r , т. е. произведению плотности среды на объем газов. Она же равна сопротивлению среды, которое мы выразили ранее. Таким образом, найдем:

$$(F_{\text{пл}}K_{\text{п}} + \mu_c S_{\text{тл}}) C_y H^2 v^2 = dV_r.$$

Отсюда получим:

$$v = \sqrt{dV_r : [C_y H^2 (F_{\text{пл}}K_{\text{п}} + \mu_c S_{\text{тл}})]}.$$

* В смысле угла наклона (Ред.)

Значит, скорость эта пропорциональна квадратному корню из объема выпущенных или вновь образованных газов, нарушивших вертикальное равновесие водного животного. Затем, эта скорость обратна размерам тела (H) и зависит от горизонтальной проекции существа, его поперечных сечений и разных коэффициентов.

36. Молекулярные силы в мире малейших

Странное впечатление должны бы производить молекулярные силы, а также электрические и магнитные, на малые существа, если бы они могли осмыслить эти впечатления.

Да ведь и тяготение и сопротивление воздуха должно им казаться совсем не таким, как нам, как мы уже видели.

Мы почти не замечаем действие частичных и электрических сил, но не таковы они для малых существ.

Наэлектризованные ступени человека, положим, прилипают к почве, как велосипедные шины, обода всех колес, палка и т. д. Сила этого прилипания пропорциональна поверхности соприкосновения или, при подобии животных, квадрату их линейных размеров. Вес же тела пропорционален кубу этих размеров. Поэтому, сравнительно с тяжестью тела, сила прилипания обратна размерам тела ($H^2 : H^3 = 1 : H$).

Это значит, что она возрастает с уменьшением размеров. Если, например, размер существа, хоть человека, уменьшился в тысячу раз, т. е. дошел до 2 мм высоты, то сравнительная сила прилипания увеличилась в 1000 раз. Если она раньше составляла тысячную долю его веса, то теперь уже сравняется с его весом. Тогда человек мог бы уже ходить по потолку вверх ногами, как муха, шагающая над нашей головой. Значит, маленькие существа, благодаря прилипанию, могли бы виснуть вверх ногами, ходить по потолку и отвесным стенам, как это делают насекомые.

Правда, они употребляют для этой цели еще присоски, особый клей, когти и разные зацепки, — но и все эти приспособления действуют по указанному закону, только еще сильнее и потому еще успешнее; так что даже значительных размеров насекомые и маленькие позвоночные выделывают с успехом эти акробатические штуки. Но наш крохотный человек не останавливается все-таки как вкопанный или приклеенный своими подошвами к почве в силу прилипания. Дело в том, что сила мускулов подобно изменяющихся тел пропорциональна тоже квадрату их роста; так что сравнительная сила прилипания по отношению к силе мускулов остается постоянной, несмотря на всевозможные изменения величины животных. Поэтому человек продолжает бодро шагать, вынимая свободно ноги из грязи и преодолевая всякого рода сцепление, которое он мог преодолевать, будучи большим.

Также действуют магнитные и электрические силы. По отношению к силе тяжести тела, они растут с уменьшением существ: поднимают человека к потолку, позволяют ему ходить по отвесным стенам, вверх ногами, заставляют своим притяжением лететь стремглав вверх, к намагничен-

ному потолку или наэлектризованной стене. Но по отношению к его мускульным силам они не изменяются, т. е. лилипут электромагнитные силы свободно одолевает, насколько одолевал раньше, будучи громадным.

Для нас капельки жидкости — синоним малости. Для малых существ они — огромные шары, тянущие или отталкивающие его, смотря по свойству смачивания или несмачивания, смотря по отношению соприкасающихся материалов. Ртутный шарик для маленького человечка покажется упругим, непроницаемым резиновым мячиком тех или других относительных размеров — то больше, то меньше человечка. И в том и другом случае мячики великолепно катаются, отталкиваются рукой, подпрыгивают и т. п. Если же шар водяной или масляной, то он прилипает к руке, втягивает ее, увлекает внутрь, топит в себе, окружает, обволакивает тело. Если бы не сила мускулов, то всякое маленькое существо было бы втянуто смачивающей его жидкостью и ею погублено. При уклонении от подобия это и бывает, как то мы видим в мире насекомых, погибающих от прилипания, благодаря относительной слабости органов движения.

Вот почему большинство насекомых покрыты веществом плохо смачиваемым водою: это спасительно для них.

Смазанное жиром тело или рука человечка отталкивается от воды и водяного шарика, как от ртутного. Поверхность воды, как и ртути, тогда кажется непроницаемой и упругой, как натянутый холст или толстый слой резины. Рука выталкивается из жидкости, образуя в ней ямку. Человечек может прыгать в воду и не тонуть, оставаясь даже сухим, как утка. Он может развалиться на поверхности воды, как на роскошном пуховике и отлично выспаться на нем, лишь бы оставался на коже слой, предохраняющий от смачивания. При еще меньших размерах он может ходить по воде, как по упругой сильно натянутой толстой резине, даже как по твердому полу, покрытому мягким ковром, или как по болотной трясине.

Множество насекомых топили бы в воде, как человек, имея плотность большую, чем вода, если бы не поверхность их тела, дурно смачиваемая водой. Есть вид насекомых, которые обладают этим свойством в высшей степени и потому превосходно бегают на поверхности воды, не погружаясь в нее даже по колена (а едва только касаясь ее).

Для нас почти незаметно поднятие воды в трубке выше ее уровня в сосуде и опускание ртути при тех же условиях. Мы не обращаем внимания и на причудливые формы жидкости в зависимости от окружающих ее проволочных сеток и других тел. Но маленьких существ это должно поражать, если бы только они имели достаточно ума. Нарушение гидростатических законов они видели бы на каждом шагу, и притом в самых грандиозных размерах. Там, в сообщающихся сосудах и бассейнах, жидкость стоит на разной высоте, несмотря на свой покой.

В одной части бассейна высота жидкости выше на целый рост человечка, в другой на 10 ростов; там в какой-либо маленькой кадке, но огромной для человечка, вода принимает вид вогнутого полушара — пустой чаши; там другая жидкость или та же — выпукла, как мяч, так что с нее

все скатывается, там металлические топоры, ломы, утюги и другие очень плотные вещи не тонут в воде, а лежат на ее поверхности; там по легкой жидкости бегают тяжелые живые существа и не тонут.

Странное впечатление должна производить на микроскопических существ громадный купол жидкости или огромная водяная яма с правильной сферической поверхностью. Как приятно иметь лилипуту громадные сферические и другой формы зеркала, то увеличивающие, то уменьшающие, то причудливо искажающие его образ.

Интересны комнаты с водяными стенами, натянутыми между столбами, великолепные водяные сферические потолки, громадные сферические или полусферические водяные, камеры (мыльные пузыри), оптические всех сортов чечевицы из воды или масла; одни из них прекрасно увеличивают, другие уменьшают, третьи зажигают; есть целые сложные телескопы и микроскопы, где все прозрачные части сделаны из воды или масла.

Удивительны и зеркала всех родов (плоские, вогнутые, выпуклые и т. д.) из жидкой ртути в цинковой оправе.

Как красивы кристаллы солей, льда, разных купоросов, щелочей, металлов и всяких простых и сложных тел! Ведь при малой величине они идеально правильны, напротив, чем величина их больше, тем больше и дефектов. Как интересны их сочетания в снежинках! Как, наконец, причудливы формы животной мелюзги, крохотных цветов и т. д. Ученым этот мир открывается только в микроскопе.

Все это не может быть оценено слабым зачаточным умом, несовершенным зрением низших животных. Разумное же существо как будто может о том только мечтать. Так ли это? Неужели чудеса молекулярных явлений совершенно недоступны человеку для живых практических переживаний. Вполне доступны, но при другой силе тяжести. Так, если бы она уменьшилась в 1000 раз, то это было бы равнозначительно уменьшению линейных размеров человека во столько же раз. Т. е. он ощутил бы тоже, что ощущает в молекулярном мире человек в 2 мм ростом. Так говорит механист. Он бы видел и жилища с водяными стенами и сферическими жидкими потолками, и жидкие (упругие) зеркала, и масляные огромные телескопы, и ходил бы по воде, и спал бы на ртутной поверхности.

При малой тяжести и покое правильные кристаллы также могли бы значительно возрасти в размерах. Но микроскопический мир и некоторые другие явления остались бы в том же отношении к человеку, несмотря на уменьшение тяжести. Особенно при полном отсутствии тяжести.

Но,— скажет читатель,— разве можно уменьшить силу тяжести? Правда, это трудно и на земле почти невозможно это сделать на продолжительное время.

Но если человеку удастся со временем завоевать солнечную систему, на что уже надеются некоторые мыслители и ученые, то почти полное отсутствие тяжести мы найдем во множестве уголков планетной системы. Например, на самых малых астероидах, на кольцах Сатурна, на малых лунах. Затем, кажущееся отсутствие тяжести мы увидим во всех снарядах,

путешествующих между планетами, пока на них нет взрывания, и во всех искусственных жилищах, построенных человеком в эфирном пространстве и движущихся по инерции с планетарной скоростью.

37. Рост человека уменьшается в два раза при соблюдении подобия

Если рост его был 180 см, то теперь будет 90 см (аршин с четвертью). Поверхность тела уменьшается в 4 раза, объем — в 8 раз. Во столько же раз уменьшается вес и масса. Если, например, он весил 64 кг (3 пуда 33 фунта), то теперь весит 8 кг (19 фунтов). Объем, масса и вес мозга так же, как и всех других органов, уменьшается тоже в 8 раз, поверхность — в 4, а линейный размер — в 2 раза. Отсюда видно, что память, воображение, мир идей, сумма представлений о прошедшем и будущем должны уменьшиться в 8 раз; способность соображения должна значительно ослабнуть, так что едва ли наш субъект, наш карлик мог бы понять, сообразить и описать свои ощущения. Нам самим приходится это сделать за него.

Только при другом устройстве мозга, при другом отношении между его частями, при атрофировании многих из них разум может остаться достаточной силы.

Если нет упрощения органов питания, кровообращения, дыхания, выделения и т. д., то энергия, или количество работы, выделяемой в единицу времени на единицу массы существа, должна увеличиться в 2 раза. Действительно, при подобии мощность (см. 4) уменьшается в 4 раза, а объем в 8 раз; следовательно, на единицу объема или массы придется энергии в 2 раза больше, чем раньше. Здесь подразумевается общая сумма энергии: тепловой, кинетической и т. д.

Вследствие укорачивания нервных путей вдвое, быстрота ограниченных соображений карлика увеличится в 2 раза. Общее (абсолютное) выделение теплоты уменьшится в 4 раза, что вполне будет соответствовать уменьшению поверхности тела, так что его температура, как будто, должна бы остаться прежней. Но холод будет глубже проникать в тело и потому температура центральных частей его хоть немного должна понизиться, что несколько отзовется на умственной деятельности: то в сторону повышения ее, когда температура среды высока, то в сторону понижения, когда температура среды низка. Относительный объем поглощенной пищи, кислорода и выделений должен увеличиться в два раза. Если прежнее существо поглощало 4 кг пищевых веществ, то карлик будет поглощать один килограмм, что по отношению к массе тела будет вдвое больше. Таким образом, наш карлик будет довольно прожорлив. Ему на обед надо сравнительно вдвое более длинная колбаса, стакан и хлеб двойного объема.

Относительная кинетическая энергия, им выделяемая, или его механическая энергия, будет вдвое больше. Например, он будет вдвое быстрее восходить на гору или лазить по лестнице, вдвое быстрее бежать, если принимать в расчет только трение и пренебречь сопротивлением воздуш-

ной среды. Сравнительная земляная работа его будет вдвое больше, а кажущаяся даже — в четверо. Так, если нормальный человек устроит 1 землянку или выроет одну могилу, то карлик в то же время сделает для себя 4 землянки или 4 могилы, сообразные своему росту.

В самом деле, масса вырытой земли уменьшается в 8 раз, а работа ее поднятия надвое меньшую высоту, значит, уменьшится в 16 раз. Между тем как мощность уменьшилась только в 4 раза. Следовательно, сравнительно с земляной работой она будет в 4 раза больше. Ходы, прокопанные маленьким человечком, будут в 4 раза длиннее или в 4 раза сравнительно шире, глубина колодцев относительно размеров тела в 2 раза больше, обширность или площадь прудов будет в 4 раза больше, длина плотин — также. Но относительная площадь распилки, разреза или раскалывания останется та же, т. е. наш карлик может спилить то же число соответствующих его размерам деревьев в лесу.

Абсолютная сила мускулов уменьшится в 4 раза, так что борьба с подобными ему великанами или вообще с людьми большого роста окажется невозможной: карлик будет побежден и, увы, может быть съеден. Но относительная сила мускулов возрастет вдвое. Так что если он ранее подымал руками одного человека, то теперь с такою же легкостью подымет двух себе равных.

Сравнительное сопротивление костей раздроблению увеличится вдвое. Если, например, нормальный человек свободно носит себя и еще одного такого же человека на плечах (всего двоих), то карлик, считая и его самого, понесет вдвое больше, т. е. четырех, а без него — трех, т. е. на плечах у него свободно могут сидеть трое. Вообще, здоровый нормальный человек легко носит двоих таких же, как он; значит, карлик понесет 6 таких же карликов, считая и его, а без него — 5. Покажется, что карлик может тащить бревно вдвое длиннее, или, сравнительно, вдвое тяжелее. Он может волочить по земле камни вдвое объемистые, везти вдвое более тяжелую и нагруженную двойным грузом телегу. Только наклоняться ему при этом придется вдвое сильнее: выйдет иллюзия сильного напряжения.

Абсолютная безопасная высота падения будет вдвое больше, но сравнительно с размером тела она будет в 4 раза больше. Если нормальный человек может падать безвредно для себя с высоты своего двойного роста, то карлик может безопасно упасть с высоты своего увосмиренного роста. Если я могу безнаказанно упасть с крыши одноэтажного дома, то карлик может, не опасаясь, свалиться с крыши четырехэтажного.

Сила карлика позволяет ему рвать проволоки и веревки такой же сравнительной величины, как и прежде, когда он имел нормальный рост. Относительная толщина ломаемых палок, изогнутых стержней и изломанных его силою вещей, остается неизменной. Время обработки орудий и производства других вещей, пропорционального ему размера, остается тем же. Т. е. производительность такого труда не изменяется.

Работа всякого мускула при одном сокращении уменьшится в 8 раз, так как напряжение будет в 4 раза меньше, да величина сокращения его вдвое короче. Вследствие этого прыжок останется той же абсолютной

величины, но относительная величина прыжка увеличится. Действительно, человек нормального роста, подготавливаясь к прыжку, распрямляется на 30 см и подпрыгивает, положим, на столько же, всего поднимает тело на 60 см. На столько же поднимают мускулы и карлика, но распрямление ног будет у него только в 15 см. Остается подъем над почвой в 45 см. Значит, по отношению к росту, прыжок будет втрое больше. Если нормальный субъект перепрыгнет через стол, то карлик — через соответствующий его росту забор.

Если бы при работе число мускульных сокращений в минуту осталось тем же, то абсолютная работа уменьшилась бы в 8 раз, а энергия осталась бы неизменной. Но мы знаем, что последняя у карлика в два раза больше; следовательно, число мускульных сокращений в единицу времени должно увеличиться вдвое. Иначе говоря, частота движений, число взмахов руками, ногами и головою должно возрасти вдвое. Карлик покажется не только силачом, неподражаемым прыгуном, но и очень живым, быстрым и поворотливым. Абсолютная скорость бега, принимая пока в расчет одно трение, будет вдвое больше, как и одоление всяких препятствий, соответствующих массе карлика; но относительная скорость будет вчетверо больше. Так, если нормальный подымается в секунду на шаг, то карлик, в то же время, подымется на 4 своих шага. Абсолютная высота бросаемых камней соответственного веса остается та же, но относительно роста она будет вдвое больше.

Так, если нормальный кинет камень, величиною в кулак, на высоту в 10 раз большую своего роста, то карлик бросит камень в свой кулачок на высоту в 20 раз большую своего размера. Если первый перебросит вещь через свое жилище, то карлик перебросит ту же вещь соответственного размера через дом вдвое больший по отношению к нему. Кроме того, карлик свои метательные орудия, или свои камни и стрелы будет бросать в два раза чаще. Удар руки или другого члена будет пропорционален его массе, т. е. в 8 раз меньше, так как скорость вооруженной или невооруженной руки останется та же. Итак, относительная сила кулака или молота останется неизменной, но частота ударов удвоится.

Плавание будет легким, так как энергия карлика будет вдвое больше.

Из всего сказанного мы видим, что борьба с тяжестью для карлика значительно легче, что он энергичнее, живее, даже абсолютно быстрее.

Что же мешает людям меньшего роста преодолевать и вытеснять в борьбе за существование людей нормального роста? Прежде всего — уменьшение абсолютной силы мускулов. В борьбе с тяготением они выигрывают, но в борьбе с существами большего размера — проигрывают. Кроме того, уменьшение в 8 раз объема мозга должно сопровождаться не только ослаблением логической способности, но и представлений о будущем. Уменьшается предусмотрительность, расчетливость, социальные свойства, любовь и единение с близкими и друзьями, уменьшается сила ума в борьбе с природой и с конкурентами.

Если у карлика сложность внутренних органов уменьшится вдвое, то абсолютная энергия (см. 4) уменьшится не в 4, а в 8 раз; так что не за-

метим удвоенной быстроты движений, но земляные работы и борьба с тяжестью все же покажется гораздо успешнее. Проявления мускульной силы будут такие же, как описано, прыжки — также.

При средней энергии и сложности внутренних органов (см. 4), когда $k = 2,5$, и быстрота движений карлика будет средней между двумя крайностями, т. е. увеличится в 1,4 раза ($\sqrt{2}$). Прыжки, бросание и другие проявления мускульной силы останутся неизменными.

Мы видим, что борьба с тяжестью при подобии и малых размерах более чем успешна. Поэтому является возможность укрощения органов пищеварения, дыхания, кровообращения и т. д. Также излишними оказываются толстые пропорциональные ноги, толстые мускулы и крепкие кости или другие опоры. Мы как раз все это видим в лестнице животного мира: в мире сухопутных позвоночных и насекомых.

38. Увеличение размеров человека вдвое с соблюдением внешнего и внутреннего подобия

Вместо 1,8 м рост будет в 3,6 м (5 аршин). Объем, масса и вес увеличатся в 8 раз. Вместо 64 кг наш великан будет весить 512 кг (около 30 пудов).

При соблюдении внутреннего подобия физиологические процессы усиливаются только в 4 раза, т. е. пропорционально поверхности органов дыхания, выделения и т. д. Вследствие этого абсолютная мощность возрастет только в 4 раза, а энергия уменьшится вдвое. Значит, на единицу массы придется в единицу времени работа в два раза меньшая.

Абсолютная сила мускулов и двигательных членов возрастет в четверо. Сравнительно же с тяжестью тела она уменьшится вдвое. Если раньше человек мог носить на плечах лишь одного себе равного, то великан ничего на себе не понесет: вся его мускульная сила будет поглощена выросшею в 8 раз массой его тела. Для работы великана, для переноски грузов, для устройства жилищ — силы уже не хватит; великан и сам будет едва тащиться. Малейший напор на него будет валить его с ног. Если же нормальный ранее поднимал двух себе равных, т. е. нес всего троих, то великан понесет не трех таких же великанов, а только полтора (вдвое меньше), а за вычетом самого себя, останется груз, равный половине тяжести великана. Итак, свободная относительная грузоподъемность уменьшится в 4 раза.

Работа мускула при одном сокращении увеличится в 8 раз, т. е. относительная его работа останется та же. Но так как мощность великана выросла только в четверо, то число мускульных сокращений в единицу времени, или их частота уменьшится вдвое. Великан покажется нам медленным, вялым. Когда он сделает одно движение рукой, нормальный сделает их два, а карлик — 4. Сердце будет биться медленнее, дыхание будет реже, движение кишок слабее и т. д.

Вследствие увеличения длины нервных путей и сложности мозга все соображения, впечатления, решения и другие продукты умственной

деятельности замедлятся вдвое. Но мозг приобретет значительную силу. Число идей может увеличиться в 8 раз. Соответственно этому может возрасти память, представления о прошлом, настоящем и будущем. Увеличится запасный умственный материал, предусмотрительность, соображение, способность одолевать силою ума природу и соперников меньшего объема. Молодость будет обильна радостями, а старость богаче страданиями. Все чувства и страсти достигнут изумительной силы. Но что все это при бессилии физическом, при отсутствии работоспособности и отягчения всех сил весом собственного тела!

Могло произойти уклонение от подобия в толщине опорных органов, в усложнении и усовершенствовании организации, но утолщение и развитие одних членов поведет к регрессированию других. Фигура получится неуклюжая, слонообразная, с маленьким сравнительно мозгом и с полуатрофированными очень важными органами, без которых борьба за существование окажется невозможной. Как бы то ни было, но средний рост двуруких и других животных остановился на определенном размере и уже тысячи лет его не переходит. Видно, есть какие-либо препятствия к дальнейшему усовершенствованию и развитию линейного размера животных.

Потребная для борьбы с тяжестью работа великанов возрастает в четвертой степени роста, потому что соответственные размеру грузы увеличиваются в 8 раз (в кубе), да высота поднятия их увеличивается в 2 раза; итого работа возрастает в 16 раз. Между тем, абсолютная мощность увеличилась только в 4 раза, следовательно, энергия (в отношении борьбы с тяготением) пала в 4 раза. Значит, абсолютная скорость передвижения, поднятия, земляных работ и т. д. уменьшается в два раза, а относительная — в 4. Если максимальная сила поднятия нормального составляет один человек, то подобный ему великан совсем лишается способности прыгать. При дальнейшем увеличении роста он лишается и способности ходить, даже поднимать или двигать органы передвижения и механической работы. Дольше всего сохраняется способность шевелить пальцами, но и она, когда великан достигнет достаточного роста, исчезает, потому что и их тяжести он уже не в силах более преодолеть.

Количество экскрементов, мочи, половых и других выделений увеличивается только в 4 раза, следовательно, относительное их количество уменьшается вдвое. Значит, половая сила также ослабляется и выражается меньшим числом потомства за тот же промежуток времени: число рождений уменьшается. Температура внутренних частей тела может быть немного выше.

39. Рост человека уменьшается в 100 раз при соблюдении подобия

Возможность соблюдения подобия для внутренних органов тут едва ли осуществима, но мы допустим ее. Теперь мы уже имеем дело с настоящим лилипутом. Рост его 18 мм, поверхность в 10 000 раз меньше, а объем, масса и вес — в миллион раз меньше нормального, а именно: его вес будет равен 0,063 г, или 63 мг. Почти столько же весит обыкновенная капля воды.

Относительная сила его мускулов увеличится в 100 раз; он будет подымать грузы в сто раз большие сравнительно с массою его тела. Относительная крепость его костей и других опорных частей увеличится в 100 раз. На него можно навалить 200 существ ему равных и ни одна косточка у него не треснет, ни один мускул не дрогнет, он великолепно их потащит, только сохранить равновесие на плечах этим двум сотням лилипутов будет трудненько... Относительная энергия возрастет в 100 раз (см. 37 и 38). Во столько же раз увеличивается сила разрушения и созидания.

Борьба с тяжестью, земляными работами и переносом грузов облегчится в 10 000 раз, т. е. лилипут выроет 10 000 землянок, соответствующих его росту, когда нормальный выроет только одну. Канал, вырытый им в одно время с нормальным, будет сравнительно с ростом тела в 10 000 раз длиннее. Частота сокращений мускулов увеличится в 100 раз, так что движение рук, ног и других членов невозможно будет уловить: они делают до 100 и более колебаний в секунду, и потому издают при своем колебании довольно низкий тон.

Относительная работа одного мускульного сокращения останется та же, и потому абсолютная высота полного прыжка (считая и предварительное распрямление членов) останется та же, но кажущаяся его величина увеличится по отношению к размеру тела в 100 раз, а поднятие над почвой — в 200 раз. Лилипут будет легко, без разбега, перепрыгивать через 20-этажные дома и лужи, которые представятся ему озерами и реками. Скорость вертикального поднятия и горизонтального движения, если не считать сопротивления воздуха, увеличится в 100 раз, а относительно размера тела — в 10 000 раз.

Абсолютная величина бросания камней останется та же, но относительная — увеличивается в 100 раз. Кроме того, это бросание, как и прыжки, могут повторяться в 100 раз чаще, чем у нормального. Кажущаяся сила удара кулака та же, но частота их также во 100 раз больше.

Плавание не стоит ни малейшего труда, так как относительная сила мускулов возрастет в 100 раз, как и быстрота плавательных движений.

Воздух лилипуту в сравнении с весом его тела покажется в 100 раз гуще. Ветер также покажется (в этом же отношении) в 100 раз сильнее. Так что он не только может его волочить по земле, но и поднять на воздух — при секундной его скорости в 3—4 м. Это самый обыкновенный средний ветер. Но лилипут не беспомощен даже против сильнейшего ветра, так как в 100 же раз увеличивается и его ценность и сила мускулов.

Наш лилипут может падать с какой-угодно высоты: сопротивление воздуха не даст ему падать с такой скоростью, при которой он мог бы расшибиться о землю; он может падать хоть с облаков.

Маленькие крылья, взятые в руки при их целесообразном движении, дают нашему гомункулюсу полную возможность летать.

Капли воды кажутся ему громадными шарами столь же массивными, как и его тело. Из воды с глицерином он может себе строить целые дворцы с прозрачными стенками.

Намазанный салом, наш лилипут валяется на поверхности воды, как на ковре и не думая тонуть. На лакированных и несмачиваемых лыжах он свободно шмыгает по воде, как по льду. Напротив, жидкости, смачивающие его тело, втягивают его в свою глубину с очень большою силою, сравнительно с весом его тела. Для рук же, не смачиваемых водою, капли и мыльные пузыри кажутся упругими, как резиновые мячики.

Брошенные в воду лилипутом его сравнительно очень тяжелые утюги, топоры, ломы и другие орудия, смазанные салом, преспокойно плавают на воде. В силу волосности жидкости поднимаются по трубам и высота эта кажется карлику огромной. Роса на цветах принимает чудные формы. В капли, повисшие на листьях, лилипут смотрится, как в зеркало и отлично видит свою несколько искаженную рожицу. Из тонкой проволоки он устраивает кольца; в них помещает капли масла и устраивает так оптические чечевицы, а из них — великолепные микроскопы и телескопы.

Выделительные процессы ускоряются в 100 раз и число, например, рождений во столько же раз увеличивается.

В такой же пропорции увеличивается кажущаяся ежедневная порция пищи. Лилипут съест 100 хлебцев в свою голову величиною в то время, в которое нормальный съест один хлеб величиною в его голову.

Нервные и мыслительные процессы ускоряются в 100 раз, но память, воображение, запас идей почти отсутствуют. Человек живет моментом, не представляя себе ни прошедшего, ни будущего. О смерти и рождении он не имеет ни малейшего понятия. Над преобразованием своей жизни после смерти не задумывается. Чувства боли, страдания и радости почти нет. Перед нами скорее хорошенькая машинка-автомат, чем чувствующий человек...

Мы предположили у лилипута такую же сложность органов, как у нормального человека. Это почти невысказано. Поэтому мы получили и очень преувеличенные выводы об относительном могуществе маленького человечка. Возможное изменение энергии, пропорциональное степени $2^{1/2}$ (см. 4). Это средний показатель. Высший показатель — три, когда величина мелких деталей органа остается неизменной, несмотря на рост. Например, величина альвеол, потовых желез, мальпигиевых телец, остается одна и та же как у маленького, так и крупного организма, а число их возрастает пропорционально кубу роста.

Тогда с уменьшением размеров упрощается строение и доходит до простоты одноклеточного. Но это также крайность, ибо при возрастании существ их сложность не так быстро увеличивается. Если принять средний показатель, то относительная мощность, или энергия, возрастет у нашего лилипута только в 10 раз ($\sqrt{100}$). Во столько же раз увеличится абсолютная скорость движений и частота колебаний органов. Так что звука они уже издавать не будут, ибо число двойных колебаний едва ли будет превышать 16.

Борьба с тяжестью будет победоноснее в 1000 раз. Сила мускулов, высота прыжков останутся те же.

Что же мешает человеку регрессировать и превратиться в лилипута, если так велики выгоды малых размеров? Во-первых, абсолютная сила органов у больших существ все-таки больше, и в борьбе малым существам придется плохо; а во-вторых, сила мозга, соображений, предвидений, расчетов, хитростей, уловок — у больших существ все же преобладает, что еще дает победные шансы в борьбе.

Будь иная сила тяжести на нашей планете — и размер наиболее совершенных существ, как впрочем и всех других, изменился бы. Например, при уменьшении тяжести в 6 раз (такая на Луне) рост человека мог бы возрасти в 6 раз, масса в 216 раз, сила мускулов в 36 раз, умственные силы в 216 раз. Такой человек благодаря силе своих членов и обширному уму оказался бы победителем, несмотря на то, что в борьбе с мертвой природой маленькие люди имели бы более преимуществ. Этот великан в 10 м высоты оказался бы (при соблюдении внутреннего и внешнего подобия) неповоротливым существом, хотя и свободно двигающимся и прыгающим, как нормальный на Земле, только в 6 раз медленнее. Но абсолютная сила мускулов и ума покорила бы ему все живое меньших размеров.

Напротив, если бы тяжесть возросла в $2\frac{1}{2}$ раза, как на Юпитере, то порода людская должна бы умалиться ростом в $2\frac{1}{2}$ раза, иначе собственный вес людей на Юпитере отнял бы у них работоспособность и даже возможность передвижения. Человечек был бы в 72 см (1 аршин) ростом, имел бы мозг в 16 раз меньше объемом и весом и был бы, конечно, очень ограниченным в умственном отношении субъектом. Все другие животные также должны бы уменьшиться ростом, и потому человек, может быть, остался бы и в этом мире победителем и царем природы. Но прогресс в отношении борьбы с мертвой природой был бы, вероятно, очень слаб. Нельзя было бы ожидать того развития индустрии, которое теперь наблюдается на Земле и которое, как мы надеемся, возрастет до трудно вообразимой теперь величины.

На лунах, Марсе, Меркурии и других маленьких планетах можно бы ожидать большого роста существ и сильнейшего развития мозга, если бы не препятствовали тому другие неблагоприятные условия.

Действительно, для водных существ Земли сила тяжести как бы отсутствует, так как уравнивается тяжестью жидкости. Однако мир водных животных не превысил своим совершенством мир существ наземных. Что же помешало высшему развитию морских существ? Почему победили наземные, несмотря на сильное ограничение их размеров и массы силою тяготения? Отсюда видно, что нельзя придавать исключительное значение силе тяжести и игнорировать другие неизвестные условия. Правда, большое сопротивление среды при движении существ могло препятствовать их развитию. Но это сопротивление все же побеждается огромными размерами их, хорошей формой, скользкой кожей и т. д. На маленьких же планетах (астероидах или планетоидах) сопротивления может и не быть, кроме того, которое представляет разряженная атмосфера. Однако там могут быть другие неблагоприятные условия: малая поверхность планеты, отсутствие разнообразия элементов, чересчур скудные атмосферы

и т. д. Мы видим, как ограничено, а иногда и совсем невозможно, развитие жизни на маленьких изолированных островах Земли.

Вот когда человечество найдет возможность во всем своем объеме жить в среде без тяжести, в безграничном эфире, окружающем наше Солнце, — тогда уже песня будет иная. Тогда можно будет ожидать беспредельного размножения, строжайшего отбора и высокого совершенствования человека. Тогда и отсутствие тяжести даст шансы на улучшение людской породы.

40. Прогресс и регресс роста низших существ

В настоящее время биологи допускают не только прогресс, но и регресс живого. Регресс этот может выражаться и уменьшением массивности без особенного упрощения строения.

Таким образом, могли получиться очень сложного устройства существа и вместе с тем микроскопические.

Вообразим себе прогрессирующим в росте какое-либо низшее существо. Вот, положим бактерия. Размер ее без усложнения органов увеличился, положим, в 1000 раз и пусть достиг длины 1 см. Спрашивается, что она выиграла? Абсолютная мощность ее увеличилась в миллион раз (пропорционально поверхности), но относительная (или энергия) уменьшилась в 1000 раз. Абсолютная скорость движения ее в жидкости осталась почти без изменения. Значит, шансы на успешную борьбу с малыми врагами или добычей почти не изменились. Относительная быстрота роста такой гигантской бактерии уменьшится в 1000 раз против нормальной бактерии — будет ли этот рост производиться на счет солнечной или пищевой энергии. Относительная сумма выделений также уменьшается в 1000 раз. В числе этих выделений находятся и половые, т. е. деторождение. В этом отношении ее микроскопический предок производительнее в 1000 раз. Он затемнит от знаменитого потомка и свет солнца, отнимет питательные жидкости и добычу.

Итак, конкуренция будет невыгодна для больших бактерий, если они не будут иметь более совершенную организацию.

Теперь вообразим прогрессирующим в росте более совершенное и крупное существо, например, какое-либо летающее насекомое. Пусть, например, рост комара увеличился в 100 раз с соблюдением подобия внешних и внутренних органов. Размер комара в длину тогда достигнет одного метра. Вес этого несчастного существа увеличится в миллион раз, между тем как сила мускулов и сопротивление опорных органов только в десять тысяч раз. Понятно, что бедное насекомое будет придавлено тяжестью к земле. Оно не только не будет в состоянии ходить или летать, но не в состоянии будет и распрямиться. Крылья повиснут от собственной тяжести. Брюшко будет расплющено и вытечет. Сам корпус не выдержит своего веса и погибнет. Что же должно быть с насекомым или другим низшим существом, чтобы оно могло успешно бороться с природой, несмотря на свои увеличенные размеры?

Очевидно, что нужно для этого усовершенствование органов. Например, ножки должны быть сравнительно толще, все опорные части массивнее и крепче, мускулы сравнительно сильнее или объемистее, органы питания, кровообращения, дыхания, выделений и т. д. совершеннее. Органы чувств — выше. Одним словом, должно быть все то, что мы и видим, смотря с высоты птичьего полета на бесконечную лестницу живых существ. Без прогресса органов невозможен и прогресс роста.

МЕХАНИКА В БИОЛОГИИ

(происхождение живого до человека) *

1. ДЕЯТЕЛИ ЖИЗНИ

Растворы разных веществ на планетах, движения этих растворов, их изменения, перемены температур, деятельность лучистой энергии разного рода, состава и напряженности — породили химически сложные вещества. Сначала появились более простые соединения, называемые неорганическими, затем они усложнялись все более и более. Дело дошло до органических соединений, сложнейшие из которых дали живую материю.

2. ГДЕ НАЧАЛАСЬ ЖИЗНЬ?

На пылающих солнцах едва ли было место для жизни, так как одна и та же очень высокая температура и однообразие условий не могли способствовать сложности и получению бесконечно разнообразных комбинаций веществ. Бурные движения материи на солнцах также должны были разрушать нежные зачатки жизни.

Также и однообразие температур, условий и малая подвижность твердых или полутвердых тел не могли родить жизни и в глубине накаливаемых или остывших планет. На очень малых планетах и небесных камнях трудно вообразить себе начало жизни, так как небольшие небесные тела своим слабым тяготением не могли удерживать газов и жидкостей, способствующих своей подвижностью образованию сложных соединений.

Кроме того, там не было достаточного разнообразия веществ. Туда жизнь скорее могла быть занесена с больших планет и удерживаться там искусственно. В свободном от материи эфире, хотя и пронизаемом солнечными лучами, нет материала для возникновения жизни. Там только образуется самая простая материя (планетарные туманности), дающая начало небесным телам.

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 297). Рукопись датирована 30 июля — 21 августа 1919 г. (Ред.).

Напротив, на поверхности значительной или средней величины планет, между «небом и землей», там, где скопляются жидкости, газы и всевозможные растворы, там, где наибольшее разнообразие температур, световой энергии и движения — там более всего шансов для возникновения сложной материи и начала жизни.

3. В КАКИХ ЧАСТЯХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРЕЖДЕ ВСЕГО НАЧАЛАСЬ ЖИЗНЬ ?

Обратимся к земле. Где раньше зародилась на ней сложная материя, там раньше началась и жизнь. На поверхности океанов и больших морей сильное волнение, соленость воды, однообразие температур не особенно способствовали зарождению жизни. (Соленость сначала была слаба, но тогда и высокая температура вод мешала образованию жизни. В самом деле, давление парообразных океанов было не менее 300—400 атм, что соответствует температуре в 400—500° С.)

В глубине морей образованию жизни мешала темнота, однообразие растворов, покой и постоянная температура. Возникновению сложных веществ в воздухе препятствовали сильные ветры, которые развеивали новые комбинации, разрушали их. В воздухе и не было достаточно разнообразия в материалах: твердые и жидкие тела падали с гор и в виде дождей, пыль осаждалась, но не растворялась в атмосфере.

Тяжесть на поверхности почвы или на дне воздушного океана также разрушала первые нежные создания. В реках и озерах условия были лучше. Еще лучше они были в мелководных, небольших пресноводных местностях, защищенных горами или хоть небольшими возвышениями. Там не было разрушительных сил бури и течений, сила тяжести тел, погруженных в жидкости, почти уничтожилась, было большое разнообразие температур, освещения и достаточно материалов в растворах (они приносились в озеро с гор ручьями и реками).

Разнообразие условий полезно только до известной степени. Чрезмерное изменение температур, силы света, движения — прерывало или уничтожало творческую работу природы. Для возникновения первых проявлений жизни нужна была очень ограниченная разность в напряжении деятелей всякого рода. Поэтому тропический климат Земли наиболее способствовал образованию сложных соединений, их некоторому сохранению и началу жизни. Действительно, там не было резких колебаний температур, так как времена года были незаметны, суточные же колебания тепла незначительны, особенно в воде. Потом уже жизнь, совершенствуясь, из этих тихих уголков земли распространилась в реки, в моря, океаны. Оттуда вышла на берега, разошлась по суше, поднялась на горы, опустилась на морское дно, дошла до полюсов и... поднимется в небеса, в эфирные пространства...

Итак, тропический климат, мелководные довольно обширные бассейны с пресной водой, защищенной возвышениями от бурь, были наиболее благоприятным местом проявления начал жизни не только на Земле, но

и на других подобных планетах. Столь же возможно и начало жизни на полюсах, особенно если наклон оси к эклиптике близок к прямому углу. Тогда почти не будет времен года. Между тем, планета сначала была горяча, в особенности на экваторе. На полюсах было свежее и потому там могла начаться жизнь прежде всего. Для планет же наклонных, холодная зима могла препятствовать зачатию жизни в полярных областях. Правда, огромное количество углекислого газа в воздухе делало и полярные зимы теплыми.

4. ХИМИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ, УМИРАЮЩЕЕ БЕЗ ПОТОМСТВА

В смеси веществ, растворенных в воде, в смеси щелочей, кислот, металлов, газов, солей — проникали солнечные лучи и образовывали новые химические соединения. Эти, комбинируясь, давали еще более сложные. Соединения, растворимые в воде, ничего не могли дать определенного, так как в большой массе бассейна они расходились и рассеивались. Должны получиться мало растворимые соединения (коллоиды). Они образовывали обособленную массу вещества. Этот комок при однообразии благоприятных условий рос. Но условия могли измениться, сделаться неблагоприятными, рост останавливался, вещество разрушалось или распадалось. Так возникали комочки сложной нерастворимой материи, разного химического состава, разной величины и свойств, первые растительные организмы, умирающие без потомства, снова возникающие и снова погибающие.

Они возникали очень редко, так как не часто комбинировались подходящие для этого условия. Сущность роста коллоида заключалась в следующем: в коллоид проникали растворы извне (кристаллоиды) в силу осмоса. Там они преобразовывались в коллоиды или вообще в более сложные вещества, которые или удерживались в организме, или уходили из него медленнее, чем приходящие кристаллоиды. Получалось увеличение массы.

5. ЖИЗНЬ ЕСТЬ СЛОЖНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В СОЕДИНЕНИИ С МЕХАНИЧЕСКИМИ, ФИЗИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Рост новообразованных соединений был подобен явлениям кристаллизации. Посмотрите, какие разнообразные кристаллы образуют самые элементарные неорганические вещества. Посмотрите, как кристаллы эти, комбинируясь, дают причудливые и красивые формы! В мороз мы видим их на наших окнах. В растворах кристаллизация дает подобие деревьев, трав, кустарников («Сатурново дерево» — от кристаллизации свинца). Даже одно и то же вещество, например, вода, дает при кристаллизации бесчисленное множество красивых и разнообразных форм. Все видели форму увеличенных в микроскоп снежинок. Как же должны быть чудесны формы более сложных химических тел при их образовании в жидкости!! Я думаю, что все растения и животные — суть только проявления сложной

кристаллизации разнообразных, невообразимо сложных веществ, сопровождаемые механическими, физическими и химическими процессами (результатом которых являются так называемые психические или душевные явления).

6. БОРЬБА ЗА СОЛНЦЕ И МЕСТО

В ограниченном бассейне возникали сложные вещества; силами химизма, кристаллизации и солнечных лучей они постепенно увеличивались в росте. Одни из них увеличивались равномерно во всех трех направлениях и были приблизительно шарообразны, другие — увеличивались в длину и ширину и были вроде листа, третьи — только удлинялись и имели вид червей или лент, четвертые, увеличиваясь, разрывались на части, на комочки и давали один и тот же малый размер, одну и ту же форму существ себе подобных. Наконец, могли быть неправильно разраставшиеся во все стороны организмы более или менее сложного вида (как снежинки или кристалльные друзы).

Разрыв мог происходить силами кристаллизации или механически, например, волнением воды. Разрывом, впрочем, должны кончить все формы при возрастании. Только комообразные формы разрывались позднее других. Всего легче разрывались нитеподобные и плоские, очень тонкие организмы. Какие же из всех этих существ или форм имели преимущество? Какие прежде заполняли бассейн, заслоняли солнечный свет, поглощали растворенные в бассейне вещества и отнимали возможность жизни у прочих?

7. В первой стадии развития, когда комочек органической материи мал и почти прозрачен, действие солнечных лучей пропорционально массе тела независимо от его формы, так как очень маленький комочек лучи света пронизают насквозь.

В самом деле, хотя, как будто, действие света пропорционально поверхности (вернее проекции) организма, но это только при непрозрачности его. В противном случае, только малая часть энергии солнца задерживается существом, а именно — пропорциональная его массе. Поэтому в начале развития никакая форма не имеет преимущества вследствие ее малости. Пожалуй, даже наиболее выгодная форма будет шарообразной. Комочки не могут быть очень малы, так как сложная молекула должна содержать миллионы атомов, определенным образом соединенных. Если допустить миллион атомов, каждый из которых занимает протяжение 0,4 микромикрона, то диаметр сложной молекулы будет равен 40 микромикронам: величина, едва видимая в ультрамикроскоп в виде точки. Формы ее разглядеть невозможно. Как известно, есть еще меньшие организмы невидимые и ультрамикроскопом. Это некоторые возбудители болезней.

8. При дальнейшем развитии форма может уклоняться от шарообразной, как мы говорили; она может, возрастая в объеме, оставаться шаром, может расти в лист, в нить или принимать другие виды. Рассмотрим три главных случая.

Тело остается шарообразным радиуса r . Приняв плотность организма в воде за единицу, объем или массу (M) его выразим: $M = \frac{3}{4}\pi r^3$. Площадь (F_{Π}) проекции тела на плоскость, перпендикулярную к солнечным лучам, будет: $F_{\Pi} = \pi r^2$.

Начиная с более значительных размеров (когда организм непрозрачен и все падающие лучи задерживаются, причем определенная часть их идет на рост), эта площадь имеет важное значение, так как приращение массы тела будет пропорционально этой площади. Выразим это так: $dM = kF_{\Pi}dt$, где k — есть приращение массы организма при единице площади проекции в единицу времени t , а d — есть знак дифференциала. Из этих уравнений получим: $dM = kF_{\Pi}dt = k\pi r^2dt = 4\pi r^2dr$.

Отсюда, сокращая, найдем: $kdt = 4dr$. Интегрируя, получим: $kt = 4r + \text{const}$. Положим для простоты, что при $t = 0$, $r = 0$, т. е. начало времени пусть совпадает с зарождением; тогда постоянное равно нулю. Следовательно, $r = (k/4)t$. Итак, радиус (или диаметр, поперечник) шара растет пропорционально времени. Заслоняющая солнце проекция организма будет:

$$F_{\Pi} = \pi r^2 = \pi \frac{k^2}{16} t^2.$$

Значит, она пропорциональна квадрату истекшего времени. Например, если время увеличится в 10 раз, то активная поверхность, заслоняющая свет другим организмам, возрастет в 100 раз.

9. Ради простоты рассмотрим листообразный (кружок) цилиндрический организм постоянной толщины c и переменного радиуса r . Принимая те же обозначения и производя те же действия, получим формулы: $M = \pi r^2c$; $F_{\Pi} = \pi r^2$; $dM = kF_{\Pi}dt = k\pi r^2dt = 2\pi rcd r$.

Отсюда: $krdr = 2cdr$ или $(k/2c)dt = dr/r$.

Интегрируя, найдем $\int \frac{k}{2c} dt = \int \frac{dr}{r}$ или $(k/2c)t = \ln r + \text{const}$.

Если будем считать время с того момента, когда r близко к c или равняется r_1 , то $\text{const} = -\ln r_1$ и, следовательно $(k/2c)t = \ln r/r_1$, откуда $r = r_1 e^{(k/2c)t}$.

Тут e — есть основание натуральных логарифмов. Заслоняющая свет проекция будет $F_{\Pi} = \pi r^2 = \pi r_1^2 e^{(k/c)t}$; значит, эта поверхность возрастает чрезвычайно быстро с увеличением времени — гораздо быстрее, чем комовая. Вот примерные ряды возрастания поверхностей шара и круглого листа.

Время	1	2	3	4	5	10	100	1000
Поверхность	шара 10	40	90	160	250	1000	$10^4 \cdot 10$	$10^6 \cdot 10$
	листа 10	100	1000	10^4	10^5	10^{10}	10^{100}	10^{1000}

Когда, например, время увеличивается в 10 раз, то для шара проекция поглощения возрастает в 1000 раз, а для листа в 10 миллиардов раз, т. е. в 10 миллионов раз сильнее. Когда комок, например, заслонит 1 см^2 , лист заслонит 10 миллионов см^2 , или тысячу м^2 . С дальнейшим течением време-

ни сравнительная шарообразная поверхность обращается в нуль и совершенно поглощается листом.

10. Обратимся к нитевидной цилиндрической водоросли, длиною в l и толщиной в $2r$. Толщину будем считать постоянной, а длину l переменной. Опять получим уравнения:

$$F_{\Pi} = 2rl; M = \pi r^2 l;$$

$$dM = F_{\Pi} k dt = 2kr l dt = \pi r^2 dl; 2kl \cdot dt = \pi r dl;$$

$$\frac{dl}{l} = \frac{2k}{\pi r} \cdot dt; \int \frac{dl}{l} = \int \frac{2k}{\pi r} \cdot dt.$$

$\ln l + \text{const} = (2k/\pi r) \cdot t$; опять примем начало времени с длины l , близкой к $2r$. Тогда постоянное будет равно: $-\ln l$ и $l = l_1 e^{\frac{2k}{\pi r} t}$.

Заслоняющая поверхность будет:

$$F_{\Pi} = 2rl = 2rl_1 \cdot e^{\frac{2k}{\pi r} t}.$$

Значит, она возрастает в такой же степени, как и листовая.

Итак, вещества и соединения, способные распространяться в плоскость или в длину, должны взять несомненный перевес над теми, которые распространяются в трех направлениях. Тут надо сделать поправку. Если имеем дело с листом или нитью, то прирост только при небольшой величине организма или сложном его устройстве может быть пропорционален проекции. В противном случае, для листа, он пропорционален периметру, а для нити — постоянен. Тут энергия лучей идет на размножение. Но это такое же имеет значение, как увеличение поверхности.

11. КОНКУРС МЕЖДУ ЛИСТОВОЙ И НИТЕВИДНОЙ ПОРОСЛЮ. ЗАЧАТКИ ПОЛУЖИВОТНЫХ

Оба эти вида, становясь случайно вдоль лучей солнца, теряют всю активность солнечного света. Но эта потеря в среднем при случайном поворачивании уменьшает их преимущество только раза в два (не более; в среднем в $\sqrt{2} = 1,41$) и, следовательно, почти никакого значения в сравнении с шаровой поверхностью не имеют.

Листовые и нитевые организмы, разрывающиеся внутренними силами кристаллизации, или внешними силами на кругловатые комочки, имеют некоторое преимущество, так как случайное их положение в том или другом направлении уже не будет иметь влияния на сумму поглощенного света. Мы говорили, что формулы оправдываются для нитевидных и плоских организмов только при ограниченном размере, между тем как при разрыве они оправдываются вполне. Отсюда явно громадное преимущество разрыва. Кроме того, это будет одним из видов размножения (делением).

Сложная форма поверхности организма, например, в виде полого шара или полой груши с отверстиями, может служить вершей, ловушкой или рыболовным капканом, в который будут попадать меньшие организмы и служить материалом питания для поглотителей. Так мог зародиться мир животно-растений, питающихся одновременно поглощением живых

существ и действием солнца. Помимо особой формы, поверхностные, или листообразные, существа должны обладать и особыми пищеварительными способностями. Хотя кривая поверхность организма была менее производительна в отношении поглощения света, чем плоская, потому что была толще, крепче, массивнее, делала загибы, скрывающиеся в тени, но зато получала большое подспорье в готовой энергии иных существ. Эта побочная энергия могла превзойти солнечную. Такие существа могли даже специализироваться и потерять свой хлорофилл и способность усвоения солнечной энергии.

Итак, получилось четыре рода существ: нитеобразные, делящиеся на нити, или комочки; плоские, делящиеся на листочки, или также на комочки; поверхностные, — кривой сложной формы, не потерявшие хлорофилл и приспособленные для поглощения живых существ, и, наконец, такие же, более совершенной формы, потерявшие способность усваивать солнечную энергию. Сложные организмы также делились и принимали форму родителей. Дети повторялись в родителе поневоле, так как составляли только часть его. Бесконечное удлинение или расширение не могло сохранить целесообразную форму и потому было невыгодно. Сохранение же подобия, при непрерывном возрастании во всех трех направлениях, невыгодно было в отношении поглощения энергии света. Поэтому неизбежна была делимость, так как избыток нарастающего материала некуда было девать, кроме как на отделение его от основного тела.

12. ГЛУБИНА ЖИЗНИ ОРГАНИЗМОВ В ВОДЕ

Организмы, падающие на дно бассейна или живущие в глубине, теряли в солнечной энергии. Они также заслонялись организмами поверхностными. Поэтому переживают и поглощают, т. е. лучше питаются, организмы, удельный вес которых чуть-чуть меньше воды. Даже существа, не имеющие хлорофилла, чтобы питаться и поглощать живое, вначале должны обладать теми же свойствами — всплывать на поверхности. Только потом, когда образовалось множество существ без хлорофилла, жизнь могла опуститься ниже. Впрочем, существа могли жить и питаться смертными остатками существ даже в глубине вод и при отсутствии света. Так что существа поглощающие одновременно развивались как на поверхности, так и в глубине вод.

13. ВЫЧИСЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО СКОРОСТИ РОСТА ОРГАНИЗМОВ

Формулы 8, 9 и 10 параграфа дают возможность вычислить в зависимости от времени размер организма, поглощающую поверхность и прирост массы. Все эти формулы. Для сплошного шара имеем:

$$D = 2r = \frac{k}{2} t; F_{\Pi} = \pi \frac{k^2}{16} t^2; M = \frac{4}{3} \pi r^3;$$

или, исключая отсюда r , найдем

$$M = \frac{\pi}{48} k^3 t^3.$$

Мы нашли зависимость размера D , проекции и массы шара от времени. Для диска (круглого листа):

$$D = 2r = 2r_1 \cdot e^{\frac{k}{2c} t}; F_{\Pi} = \pi r_1^2 e^{\frac{k}{2c} t}; M = \pi r^2 c,$$

откуда, выключая r , получим

$$M = \pi c r_1^2 e^{\frac{k}{c} t}.$$

Наконец, для нитевидного организма:

$$l = l_1 e^{\frac{2k}{\pi r} t}; F_{\Pi} = 2r l_1 e^{\frac{2k}{\pi r} t}; M = \pi r^2 l;$$

выключая отсюда l , найдем

$$M = \pi r^2 l_1 e^{\frac{2k}{\pi r} t}.$$

Во всех этих формулах надо знать коэффициент k , т. е. прирост массы при единице площади, освещенной солнцем, нормальной к лучам, в единицу времени. Из моих таблиц видно («Богатства вселенной»)*, что при идеальной утилизации солнечных лучей накапливается в сутки картофельный слой толщиной в 0,043 м при плотности в единицу. Отсюда видно, что идеальная величина k для консистенции картофеля (теплопроизводительность равна 1000 кал) составляет в сутки 4,3 г — конечно, для поверхности в 1 см². Это составит 16 т картофеля в год на квадратный метр. Получают же на деле около 600 пудов, или 10 т на гектар; а на 1 м² только 1 кг, т. е. в 16 000 раз меньше, чем в идеальном случае.

В среднем шарообразность и вращение Земли, поглощение лучей атмосферой, облачность уменьшают идеальный коэффициент раз в 20; но оставшаяся часть чистой энергии лучей не утилизируется вполне. Утилизируется отсюда растениями не более 5% (банан). Значит, коэффициент k мы должны уменьшить в 400 раз. Можно смело его уменьшить в тысячу раз и принять для круглого счета равным 0,004 г/см² в сутки. Для роста шара составим таблицу.

Время, сутки	1	10	100	200	400
Диаметр, см	0,002	0,02	0,2	0,4	0,8

Для приращения массы — другую.

Время, сутки	1	10	100	200	400
Масса, мг	4,2 · 10 ⁻⁶	4,2 · 10 ⁻³	4,2	33,6	269

* К. Э. Циолковский имеет здесь в виду свою работу «Богатства вселенной» изданную в Калуге в 1920 г. (Ред.).

В среднем растения Земли утилизируют в 100 раз меньше, чем мы приняли, и потому числа последних таблиц еще гораздо меньше. Приняв и такой малый коэффициент, найдем возрастание диаметра и массы для тонких организмов поразительно быстрым.

14. РАЗМНОЖЕНИЕ ПОЧКОВАНИЕМ

Подбор должен прежде выработать организмы, растущие в толщину только до известного предела. Далее организм расширяется лишь в длину и ширину. Полученный листок не может быть совершенно плоским. Сложная форма образуется из загибающегося листка. Объем ее должен ограничиться, иначе движением воды все равно образуются разрывы. Далее, могут образоваться от избытка накапливающегося материала только наросты. Выгодно, чтобы они отрывались, уносились течением воды или ветром и вырастали в существо, подобное растительному. Если же они не отрываются, то поверхность поглощения света (активная поверхность проекции) не будет наибольшей. Отсюда начало размножению почкованием. Это уже привилегия более сложных форм, давших начало животным-растениям.

15. ЗНАЧЕНИЕ ПИТАНИЯ. ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ

Питание животных-растений, а также и лишившихся хлорофилла, имело двойное значение. Во-первых, как готовый и обильный материал, усиливающий рост и размножение, помимо солнца, даже в тени уничтожающее конкурентов и отбивающее от других существ питательные вещества, место и солнечный свет; во-вторых, как оживляющее средство. Дело в том, что при размножении делением или почкованием сложное вещество, не будучи вполне однородным и разделяясь на две части, давало начало двум существам со свойствами несколько нарушенными, отчего жизненные функции были у них менее совершенны; при втором делении функции еще более нарушались и т. д. Потомство ослаблялось, мельчало и погибало. Питание организмами было отчасти слиянием двух разнородных существ. Дополняя друг друга, они восстанавливали необходимый первоначальный состав своего тела и достигали прежней силы. Питание первых организмов друг другом было отчасти и половым актом, после которого размножение усиливалось и ослабленная делением жизнь восстанавливалась. Вот начало размножения оплодотворением.

16. ПЕРВОБЫТНОЕ ПИТАНИЕ, ДЫХАНИЕ, КРОВООБРАЩЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ, ОТЗЫВЧИВОСТЬ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Маленькое тело живого существа проникалось кислородом и другими газами, растворенными в воде и проникшими сюда из воздуха. Это было дыханием организма. Растворы твердых и жидких тел в воде также проникали в тело. Оно поглощало и другие существа или сливалось с ними. Это было питанием организма. Газы и растворы химически влияли друг

на друга, разлагались и соединялись при взаимном сближении и действии лучей света, что производило рост тела.

Химические и физические реакции, производя усиленное движение молекул, могли произвести и первое самостоятельное движение тела. Например, разность в густоте раствора разных частей существа и неодинаковость от этого поверхностного натяжения производит выпуклости и вогнутости в теле, изменение формы, выпячивание из тела сосулек. Таковы амeboобразные движения. Разность в составе двух существ одного вида могла притянуть их друг к другу и произвести конъюгацию. Неоднородность состава окружающей среды также вызывает в ней движения и вместе с тем движения живущих в ней существ. Получается иллюзия погони их за питательною средою или за иными существами. Химические реакции, сами по себе и под влиянием лучистой энергии, заставляют существо выделять газы и жидкости. Если они образуются не вполне равномерно во всем теле, а с одной стороны усиленнее, чем с другой, то вот уже источник его самостоятельного движения, подобного движения ракеты или реактивного прибора.

Первоначально отзывчивость, которую часто называют чувствительностью, состояла в изменении состояния тела под влиянием механических, физических и химических причин. Она существует и для всякого простого мертвого тела, тем более — для сложного. Например, песчинка может двигаться давлением ветра или воды, камень раскалывается от перемены температуры, замерзающей в его щелях воды и т. д. Все тела изменяются в размерах и форме при изменении степени тепла — днем, ночью, зимой, при нагревании солнцем и т. д. По всякому телу непрерывно движется теплота, электричество, влажность; распространяются, проникают внутрь и выделяются газы и жидкости, происходит непрерывный обмен веществ. Происходят изменения в кристаллизации, происходят и химические реакции.

Как же должно все это влиять на сложные тела — на такие сложные тела, состава которых мы совсем не знаем?! Влияние на очень сложные вещества физических сил почти не известно.

Чувствительность — есть ощущение приятного и неприятного. Оно, вероятно, есть у всего живого и мертвого и зависит от перемены в состоянии тела. В простых телах и на первых ступенях органической жизни оно так первобытно, что человек не может себе его представить. Кроме того, оно и не записывается памятью, которой нет у простого тела. Оно и не сказывается, потому что нет голоса и других способов проявления себя.

17. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ

Возникновение механизмов в организме зависит от его формы, числа разнородных веществ, из которых оно состоит, от свойств этих веществ и от их расположения. Возникали они путем естественного подбора. Родители передавали почти целиком свои свойства потомству. Организм развивался из крохотной частицы очень сложной материи, может быть, из одной огромной молекулы, как снежинки из молекулы воды, как сатурново

дерево в реторте или ледяные узоры на окнах. Родитель был переполнен этими молекулами и отделение одной из них (довольно крупной, вроде яичка или суммы клеточек) от тела вызвало самостоятельное развитие ее в целое существо. Как из первобытной туманности развились солнца, планеты и жизнь на них, так из крупной и сложной молекулы развивается существо, как бы совсем не похожее на зародыш. Ведь и кристалл не похож на сатурново дерево или на ледяные узоры. Необходимы только среда и благоприятные условия, все более и более усложняющиеся по мере усложнения организма.

18. ЗНАЧЕНИЕ ФОРМЫ

Форма существа могла быть ловушкой для поглощения окружающих более мелких существ. Она могла служить источником пассивного движения, как служит парус для лодки. Колебательное движение волн и воздуха благодаря форме могло преобразовываться в поступательное в ту или другую сторону в зависимости от направления осей тела. Большой размер, мы видели, для простейших организмов невыгоден.

19. ЗНАЧЕНИЕ РАЗНОРОДНОСТИ ВЕЩЕСТВ В ТЕЛЕ ИХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Эта разнородность, например соединение в теле легких тел с тяжелыми, плотными, могла служить для получения равновесия в среде, для поднятия и опускания в ней. Положим, что в теле находится небольшой газовый пузырек. Увеличение его объема вследствие выделения в его полость газов от химических процессов в теле может служить для его поднятия в среде.

Напротив, выделение этих газов путем растворения в среде и уменьшение объема пузырька может послужить для опускания организма в глубину или на дно. Неоднородность в связи с формой тела может привести его органы и самое тело в поступательное движение. Объясним это.

Газовый пузырек в силу химических реакций в организме всасывает или просто наполняется разнородными газами, способными самовозгораться или химически соединяться при известном достаточном накоплении. В пузырьке накапливаются постепенно газы. Когда плотность их будет достаточно велика и отношение составных частей благоприятно для химического соединения, происходит взрыв, от взрыва нагревание, от нагревания расширение; пузырек при взрыве внезапно расширяется. Затем медленно, путем диффузии, продукты взрыва рассеиваются, и пузырек медленно сжимается. Затем опять происходит накопление взрывающих газов, взрыв их и т. д.

Одним словом, совершенно автоматически пузырек пульсирует, бьется как сердце. Это движение, эти толчки могут послужить к усиленному движению соков организма и их смешению. Оно может служить и для движения органов, например, ресничек и всего тела. Каждый взрыв пузырька расширяет и поверхность тела. Если оно симметрично, то движение будет колебательное и тело останется на месте.

Но если один конец тела тупее другого, то произойдет перемещение преимущественно в одну сторону, где сопротивление меньше; сжатие пузырька будет очень медленное, поэтому обратное движение будет незначительно. Итак, пульсация вызовет перемещение тела в одном направлении — в сторону меньшего сопротивления вследствие большей заостренности тела на одном конце. На это движение имеет влияние положение пузырька в теле, его форма, упругость тела в разных направлениях и т. д.

Пузырек при своей пульсации, отодвигая свои стенки, может, конечно, служить источником движения и волосков. Эти также могут содействовать движению всего тела. Собственно волосок двигается взад и вперед, поэтому, как будто, он подвигает тело вперед настолько же, насколько двигает назад. Не надо помнить, что одно движение — под влиянием взрыва — быстрое и сильное, а другое — медленное и слабое. Поэтому движение в одну сторону значительнее, чем в другую, так что тело в общем получает движение поступательное.

Имеет влияние на движение тела и форма сечения волоска. Если, например, поперечный разрез его трехгранный, то поступательное движение может ускориться. Имеет значение и форма самого тела. Тело, имеющее отростки в виде трубочек, или ног, наполненных жидкостью, при взрыве пузырька получает движение конечностей от наполнения и распрямления их жидкостью тела. Таким способом существо также может получить поступательное движение. Да и полые реснички могут двигаться таким же способом.

20. ЗНАЧЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА И ЕГО РЕСНИЧЕК

Двигаясь в среде, тело переходит от одной ее части к другой и поглощает большее количество питательных веществ как органических, так и неорганических. Пассивное движение — течение, ветер не дают того же и в той же степени. В самом деле, при движении пассивном существо передвигается так же, как и жидкость, так что остается в относительном покое, истощенная им среда окружает ее по-прежнему. Потом, в глубинах, пассивное движение настолько правильно, что совсем не имеет значения для обмена веществ. Самостоятельное движение поэтому должно иметь особенное значение для существ, живущих на некоторой глубине, менее утилизирующих солнечный свет и более поглощающих окружающую жизнь. Также ясно значение активного движения в покойных водах небольших озер, защищенных возвышенностями, где всего вероятнее зародилась первая жизнь. Не так оно важно для растений, как для животных и полурастений.

21. ЗНАЧЕНИЕ УПРУГОСТИ И РАСТЯЖИМОСТИ ЧАСТЕЙ ТЕЛА НА ДВИЖЕНИЕ

Способность пустых придатков тела растягиваться вдоль могло служить средством передвижения не только водных, но и сухопутных существ. Действительно, взрыв пузырька, наполняя и вытягивая орган в виде

трубочек, заставлял двигаться тело взад и вперед. Если же нога имела косые зубчики или волоски, то действовал только взрыв пузырька, подвигая тело вперед. Обратное его сжатие приводило в движение лишь ногу. Также могло получить движение и все тело без членов, подвигаясь при взрыве вперед и противясь косвенно поставленными волосками обратному движению. Пузырьков в теле могло быть несколько, даже множество невидимых и в микроскоп. Расширяясь, они увеличивали объем жидкости внутри тела и тем приводили его части в разное ритмическое движение, которое превращалось в поступательное и разное другое в зависимости от тех мешков, куда вступала жидкость. Подобие клапанов в полостях тела, превращало движение жидкости из колебательного в непрерывное круговращение. Это уже было влиянием формы.

22. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ БЫЛА ПЕРВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ СУЩЕСТВ

Часть солнечной энергии послужила для накопления материалов в теле, другая часть шла на его движение. Как же велика максимальная сила лучей солнца? Из своей солнечной таблицы («Богатства Вселенной» *) вижу, что на m^2 получается в секунду работа, равная 214 кгм. На $см^2$ освещенной нормальными лучами солнца поверхности эта работа составит 2140 гсм в ту же секунду.

Рассмотрим небольшие тела, движущиеся в воде. Сопротивление среды тут мало зависит от формы существа, так как преобладает трение, которое приблизительно пропорционально поверхности тела. Мы все же возьмем тело в виде эллипсоида вращения. Его сопротивление не меньше $\frac{\pi^2}{2} r l k_T v^2$, где r — радиус среднего поперечного сечения тела, l — длина его, v — скорость и k_T — коэффициент сопротивления трению, или величина трения одной половины $см^2$ при секундной скорости в 1 см. Работа этого движения в секунду составит $\frac{\pi^2}{2} r l k_T v^3$. Максимальная же работа лучей дает $k_{с.э} \frac{\pi}{2} r l$, где $k_{с.э}$ — есть коэффициент солнечной энергии, а $\frac{\pi}{2} r l$ — площадь наибольшей проекции тела.

Неизвестно какая часть солнечной энергии может превращаться в кинетическую. Это зависит и от состояния атмосферы, и от совершенства двигательного механизма, и от химизма и т. д.

Мы положим, что утилизируется некоторая часть a , например тысячная, сотая. Тогда a означает 1000 и 100. Теперь можем написать уравнение:

$$\frac{\pi^2}{2} r l k_T v^3 = \frac{k_{с.э}}{a} \frac{\pi}{2} r l.$$

Сокращая, найдем

$$\pi k_T v^3 = \frac{k_{с.э}}{a}.$$

* Эта работа Циолковского издана в Калуге в 1920 г. (Ред.).

Отсюда

$$v = \sqrt[3]{k_{c.э} : (\pi k_r a)}.$$

Из формулы видим, что скорость движения существа не зависит от его размеров (l , r), а только от коэффициента сопротивления трению, от солнечной энергии и от утилизации последней существом. Коэффициент трения в воздухе для движения в нем уравновешенных или невесомых тел можно вычислять на основании моих опытов, описанных в моем сочинении «Аэростат и Аэроплан» (§ 715). Для секундной скорости около 1 м и длины тела в 2 см коэффициент трения вычислим равным $2 \cdot 10^{-8}$ г/см² при скорости в 1 см.

Для более коротких тел трение больше, также для скорости меньше метра он тоже будет больше. Одним словом, мы даем приблизительное число; $k_{c.э}$ равен 2140. Далее положим: $a = 1000$. Тогда, согласно последней формуле, вычислим: $v = 324$ см/сек. Трение в воде раз в 800 больше; следовательно, по формуле скорость движения в воде будет в 9 раз меньше, т. е. составит 36 см/сек. При $a = 1$ получим 3,6 м/сек.

23. Попробуем другую формулу. Сопротивление воздушной среды по моей таблице в «воздушном транспорте» будет $\pi^2 k_c v^2 (l/r)$ *. Тут тоже принимается, что сопротивление пропорционально длине тела (или поверхности) и квадрату скорости. Работа будет $\pi^2 k_c v^3 (l/r)$. Теперь приравняем эту работу работе солнечной энергии. Получим: $\pi^2 k_c v^3 l/r = \frac{k_{c.э}}{r} r \cdot l$.

Сокращая, найдем: $k_c v^3 = k_{c.э} / 2a$.

$$\text{Откуда } v = \sqrt[3]{k_{c.э} : (2k_c a)}.$$

Тут $k_c = 86 \cdot 10^{-8}$, $a = 1000$, $k_{c.э} = 2140$. По этим данным вычислим: $v = 230$ см/сек. Для движения в воде найдем 25 см/сек. Тысячная доля утилизируется химическим процессом. Из этой доли несовершенный механизм существа утилизирует тоже весьма малую долю. Если мускулы выших существ утилизируют $1/6$, то эти гораздо меньшую. Если бы они утилизировали тысячную долю химической энергии, то скорость движения уменьшилась бы против вычисленной в 10 раз, т. е. была бы от 32 до 23 см/сек в воздухе и от 3,6 до 2,5 см/сек в воде. И это чересчур много для микроскопических существ. Тут нужно принять в расчет еще громадное трение. Для микроскопических существ сопротивление пропорционально диаметру и скорости, а не квадрату их. Поэтому оно очень велико и скорость будет очень малая.

24. ТАБЛИЦА ТРЕНИЯ

Кривые, построенные на основании моих опытов и таблиц, дают значительное увеличение коэффициента трения с укорачиванием поверхности. Так, при длине в 2 см, 1 см, 5 мм, 2¹/₂ мм, 1¹/₄ мм коэффициент трения: 2, 3, 4, 5, 10. Если бы дело пошло так дальше, то получили бы для длин в 1/2 мм, 1/4 мм, 1/8 мм, 1/16 мм такое трение: 20, 40, 80, 100.

* Здесь k_c — коэффициент сопротивления среды (Ред.).

Т. е. при размерах в десятые доли миллиметра коэффициент сопротивления увеличивается сравнительно с принятым в 50 раз, скорость же от этого уменьшается всего в 3—4 раза, т. е. будет от 8 до 5 см в воздухе и от 8 до 5 мм в воде. И это много. Так, зооспоры проходят 1 см/мин, т. е. двигаются раз в 200 медленнее. Отсюда видно, как несовершенны механизмы движения микроскопических существ. Впрочем, для крайне малых организмов трение еще много больше и скорость еще должно уменьшить раза в два. Вычислить скорости малых существ, когда сопротивление пропорционально первой степени размеров и скорости.

25. Вообразим растительные существа с механизмом движения — более крупные: длиною в несколько метров, а толщиной в несколько дециметров. Допустим и размеры их и форму, близкую к размерам и формам птиц или такой же величины рыб. Определим скорость их движения в воздухе и воде. Здесь трение играет меньшую роль. Сопротивление продолговатого тела будет меньше сопротивления поперечной проекции тела раз в 10—25. Это число, или утилизацию формы в отношении сопротивления обозначим через U_f . Сопротивление тела будет $\pi r^2 k_c v^2 : U_f$, а работа в секунду $\pi r^2 k_c v^3 : U_f$. Приравняв эту работу к секундной энергии солнечных лучей, падающих на боковую поверхность перпендикулярно расположенного к лучам тела, найдем (22):

$$\pi r^2 k_c v^3 : U_f = \frac{k_{с.э}}{a} \frac{\pi}{2} r l.$$

Положим, что тело, имеющее приблизительно вид эллипсоида вращения, всегда подобно самому себе; пусть продолговатость λ , или отношение длины тела к ширине, постоянно и равно $l/2r = \lambda$. Выключив теперь l , сократив и определив v , получим:

$$v = \sqrt[3]{\lambda U_f \cdot k_{с.э} : (k_c \cdot a)}.$$

Следовательно, v не зависит от размеров тела, а только — от солнечной постоянной ($k_{с.э}$), коэффициента сопротивления среды и утилизации (a) солнечной энергии. Для воздуха и воды положим: $\lambda = 7$; $U_f = 10$, $k_{с.э} = 2140$.

Допустим на этот раз совершенные механизмы движения, утилизирующие $1/3$ солнечной энергии, т. е. положим $E = 3$; k_c для воздуха положим, как прежде (23), $86 \cdot 10^{-8}$, а для воды в 700 раз больше, или $6 \cdot 10^{-4}$. Тогда вычислим для воздуха $v = 3870$ см/сек (или около 39 м/сек) и для воды $v = 436$ см/сек (или около 4,4 м/сек). Но так как утилизация солнечных лучей, по крайней мере, раз в тысячу меньше, то и скорость будет по формуле в 10 раз меньше и для воды составит не более 44 см/сек. Эта скорость значительно меньше скоростей водных животных и потому растениям была мало полезна и не выработана поэтому природой. Да и притом утилизация была еще меньше, а значит и скорость.

Если положим в формуле $a = 10^6$ (см. 23), а прочее по-прежнему, то вычислим скорость для воздуха в 56 см/сек, а для воды в 6,2 см/сек. Эта скорость еще менее может конкурировать со скоростью животных.

26. Если бы сопротивления среды совсем не было, если бы тело имело опору и работу солнечной энергии тратило бы на свое собственное ускоренное движение, то скорость этого движения вычислили бы так.

Работа массы M тела, имеющего скорость v , равна $(M/2g)v^2$, где g — есть ускорение земной тяжести. Энергия, получаемая телом от Солнца при активной проекции ($F_{\text{п}}$) тела во время t равна $(k_{\text{с.э}}/a)F_{\text{п}} \cdot t$.

Уравнение будет

$$\frac{M}{2g} v^2 = \frac{k_{\text{с.э}}}{a} F_{\text{п}} t,$$

откуда

$$v = \sqrt{2k_{\text{с.э}} F_{\text{п}} t g : (aM)}.$$

Значит, скорость возрастает с течением времени: она тем больше, чем меньше масса тела и больше его проекция; она также увеличивается с совершенством механизма (a). Положим тут: $t = 1$ секунда; $F_{\text{п}}/M = 1$; $a = 3$; $g = 980$ см/сек²; $k_{\text{с.э}} = 2140$. Получим $v = 374$ м/сек (или 3,74 см/сек).

Если при тех же условиях время будет возрастать, то скорость возрастет пропорционально квадратному корню из времени. Наоборот, время возрастает пропорционально квадрату скорости. Если мы желаем достигнуть скорости в 11 000 см/сек, или в 3000 раз большей, то потребуется времени в 9 000 000 раз больше, т. е. 104 дня.

Мы видим из формулы, что скорость пропорциональна $\sqrt{F_{\text{п}}/M}$. Проекция расплющенного тела может быть очень велика в сравнении с его массой, но сложный механизм не может быть очень тонок. Поэтому есть практические пределы для величины отношения $F_{\text{п}}/M$. Для кубического сантиметра тела плотности воды можно принять $F_{\text{п}}/M = 1$. Но уже для куба в n см в ребре отношение это будет в n раз меньше; также для всех подобных тел это отношение ($F_{\text{п}}/M$) обратно пропорционально размерам тела. Стало быть, скорость больших тел при одинаковых условиях вообще меньше скорости тел малых. Но и большое тело можно устраивать с большей проекцией, так что отношение можно принять постоянным и равным примерно единице.

27. Переменное ускорение найдем, если дифференцируем предыдущее уравнение относительно времени. Получим

$$\frac{dv}{dt} = \sqrt{k_{\text{с.э}} F_{\text{п}} g : (2aMt^3)} = 0,5vt.$$

Дифференцируя еще раз относительно t , найдем вторую производную d^2v/dt^2 , или силу давления на тело. Именно:

$$\frac{d^2v}{dt^2} = \sqrt{k_{\text{с.э}} F_{\text{п}} g : (8aMt)} = \frac{v}{4t^2},$$

т. е. сила давления ускоряющегося движения тела уменьшается пропорционально \sqrt{t} . Если, например, время увеличится в 9 раз, то давление уменьшается в 27 раз.

28. Интересна и длина пройденного пути (S). Для определения его имеем уравнение

$$dS = v dt = \sqrt{2k_{c.з} F_{п} g t : (aM)} dt.$$

или

$$\begin{aligned} S &= \int v dt = \sqrt{2k_{c.з} F_{п} g : (aM)} \cdot \int \sqrt{t} \cdot dt = \\ &= \sqrt{\frac{8}{9} k_{c.з} F_{п} g t^3 : (aM)} = \frac{2}{3} vt. \end{aligned}$$

Положим тут условия (26) и $t = 104$ дня $= 9 \cdot 10^6$ сек, причем скорость будет 11 000 км/сек. Тогда вычислим $S = 67 \cdot 10^6$ км, т. е. около 67 млн. км. Это составит менее половины расстояния Земли от солнца, или около $1/14$ ее пути вокруг светила. Если тело приблизится к светилу, положим, в 10 раз ближе, то и относительный путь тела (для приобретения той же скорости), или число пройденных градусов, будет также в 10 раз меньше.

29. ДВИЖЕНИЕ ОРГАНИЗМА БЕСПОРЯДОЧНОЕ

Мы видели, что растительный, животный и полурастительный организмы могут при известной форме и свойстве составляющих веществ и их химизме приобретать автоматические движения: поступательное, криволинейное, вращательное и смешанное. При запасе веществ в организме это движение может продолжаться и при отсутствии солнечных лучей (например ночью) и при отсутствии вне питательного материала. Но, очевидно, оно должно быть зависимо от температуры. Ни при очень высокой, ни при очень низкой ее степени не будет химических реакций и движений. Наиболее благоприятная температура даст наибольшее движение. Солнечный свет, усиленное питание, благоприятная среда будут способствовать оживленной деятельности. Напротив, при уклонении от наиболее благоприятных условий скорость движения существа должна замедляться и даже прекращаться. Запас питательных веществ внутри тела также ограничен, и потому движение должно ослабевать с течением времени, если нет извне притока энергии.

Это есть простейшая зависимость всех существ от условий существования. Она имеется на всех ступенях животной и растительной лестницы.

30. ВОЗБУДИМОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ОТ СОЛНЦА ИЛИ СТРЕМЛЕНИЕ К ТЕМНОТЕ

(*фототропизм отрицательный*)

Некоторые организмы могут состоять из таких веществ, влияние на которые солнечных лучей дает благоприятную температуру для химических реакций в теле и потому способствуют его движению. Такие тела быстро двигаются, пока на них падают солнечные лучи, и останавливаются или находятся в вялом движении, когда попадают в тень. Такие скопляются в темной части бассейна, например в тени берегов, или погружаются в глубину вод, набиваются под камни — одним словом, во все места без

яркого солнечного света. Они как бы его избегают. Происходит это чисто механически, в силу свойств вещества их тела.

Собственно, они находятся везде, но когда случайно попадают на освещенное солнцем место, то приходят в быстрое движение, которое продолжается до тех пор, пока они не попадают случайно в тень. Здесь они успокаиваются или настолько замедляют свое движение, что производят иллюзию любви своей к темноте. Существа эти будут рассеяны всюду, но их будет более всего в затененных местах. Это свойство как бы стремления к темноте, может быть, сначала было полезно для существ, скрывающихся от своих врагов, более крупных, солнцелюбящих и поглощающих мелких своих сотоварищей; или оно было спасением от чрезмерно высокой температуры, а может быть, имело и другое значение: например, для успешной охоты над такими же, но помельче, хищниками. Как бы то ни было, но это свойство закрепилось и имеет сейчас своих представителей в биологии. Наконец, свет не имел значения для хищников как важное средство питания и потому мог свободно избегаться. Многие бактерии светом убиваются. Для таких также полезно убегание от света.

31. ВОЗБУДИМОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ОТ ТЕМНОТЫ, ИЛИ СИМПАТИЯ К СВЕТУ

(фототропизм, или фототаксис, положительный)

Иные существа могли иметь противоположные свойства. У них возбуждалось усиленное движение в темноте, когда они лишались солнечного света. Это свойство могло быть полезно для существ чисто растительных, источник энергии которых солнце. Оно могло им давать температуру, способствующую реакциям соединения, тем химическим реакциям, которые производят накопление взрывающихся газов, дрожание пузырьков, ресничек и движение тела. Они успокаиваются на солнце или производят тогда едва заметные движения. Напротив, когда попадают в тень, начинаются реакции соединения и усиленное поступательное, конечно, беспорядочное движение до тех пор, пока существа не попадут на свет. Тогда движение понемногу замедляется и даже останавливается.

Таким образом, эти существа большую часть времени проводят на солннышке, что способствует их росту и накоплению потомства. Они не терпят темноты, как бы приходят тут в беспокойство, пока не наткнутся на свет. Движение это грубо механическое, но производит впечатление любви к свету.

32. ВЗАИМНОЕ ПРЕСЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВ, ИЛИ ОХОТА

Быстрое, хотя и беспорядочное, случайное движение может сопровождаться сталкиванием существ, их соединением ради лучшего размножения или поглощения, ради питания и роста, независимо от солнечного света. Собственно питание животных и растений мало отличается по сущности друг от друга даже в настоящее время для более совершенных форм

жизни. Действительно, как животные питаются органическими (мясо и плод) и неорганическими веществами (соль, вода), так точно и растения, даже довольно примитивные; ибо почва содержит не только минеральные растворы, но и органические. Тем более это справедливо для простейших существ. В самом начале своего появления во вселенной они не только создавались солнечным светом, но и взаимно сливались, пожирали друг друга, также свои соки или смертные останки, растворявшиеся в воде.

Случайное слияние организмов могло производить впечатление их взаимной охоты, преследования и пожирания.

33. РАЗНАЯ СКОРОСТЬ ПРЕИМУЩЕСТВО БОЛЬШЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Механизм движения у разных существ не был на одинаковой степени совершенства. У которых он был совершеннее, те двигались с большею быстротою, чаще приходили в столкновение с иными существами, чаще их поглощали и сильнее росли на их счет. Они также получали новый неистощимый и громадный источник энергии, который мог усилить химические процессы и скорость их движения независимо от солнечных лучей. Такие давали более многочисленное потомство и вытесняли соперников с менее совершенными способностями питания и движения.

Мы видели, что величина организма чисто растительного не имеет значение для увеличения скорости движения, так как сопротивление движению в среде увеличивается во столько же раз, во сколько и освещенная солнцем поверхность тела. Исключения не будет и тогда, когда тело окажется полым. Но все же это относится к значительным, не микроскопическим размерам тела. Но для питающихся своими собратиями полурастений (зоофитов) это правило не применимо. Там энергия зависит не от одного солнца, но и от поглощенного живого материала. Если это поглощение будет пропорционально объему существа, а не его поверхности, то энергия существа и его скорость будут возрастать с размерами тела. Число поглощенных существ пропорционально будет поверхности тела и скорости движения; но раз они имеют большую скорость вследствие лучшего моторного механизма и усиленного прибавочного питания, то поглощение будет пропорционально примерно кубу размеров тела, или его объему.

Таким образом, с увеличением размера скорость существа будет возрастать и оно получит преимущество, которое еще усилит питание, приток энергии, быстроту движения и т. д.

34. УСЛОЖНЕНИЕ СТРОЕНИЯ ТЕЛА. ОРГАНЫ ПИТАНИЯ И ДЫХАНИЯ

Но вот беда. При значительном увеличении объема ослабится приток кислорода, растворенного в воде, количество которого пропорционально поверхности тела, или второй степени его размера. Между тем, он должен быть обильнее, пропорционален количеству поглощенной пищи, или объему тела, т. е. третьей степени его размера. Также затрудняются выделения, вообще обмен веществ и химические реакции. Случайные изменения

в сплошности тела, образование пустот, трубок, сквозных полостей в теле усилят не только питание и приток кислорода, а также и все другие процессы — физические и химические. В самом деле, таким образом может увеличиться полная поверхность тела, и, следовательно, сила всех этих процессов будет пропорциональна не второй степени размера, а высшей. Случайные неправильности в теле, сквозные каналы и пустоты, были полезны для существ, которые, благодаря им выделяли большую энергию, обладали большей скоростью движения, роста, питания, дыхания, размножения и таким образом вытесняли своих соперников, не имеющих этих пустот.

Так закрепились в потомстве желудочные и дыхательные органы, которые сначала соединялись в одно целое, т. е. имели общий аппарат: один или несколько каналов. Каналы эти имели преимущество, когда для более мелких существ был в них свободный вход, но не было выхода до их переваривания в теле счастливчика.

Еще лучше, когда были приспособления для улавливания проплывающих мимо мелких существ, когда каналы были сквозные с постоянно циркулирующей в них жидкостью. И вот у входных отверстий или глубже появляются реснички, непрерывно двигающиеся волоски, которые не только служат для движения тела, но и захватывают проплывающих мимо существ, двигают их в каналах вместе с водой и производят усиленные физические и химические процессы. Переварившись, пища выбрасывается через выходные отверстия, а иногда и через входные; но последнее менее совершенно, так как при одном отверстии циркуляция не будет так сильна, как при двух.

35. ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Когда существо, автоматически двигаясь прямолинейно или криволинейно, сталкивается с другим телом или каким-либо препятствием, то от удара отскакивает и поворачивается, что дает возможность двигаться в другом направлении, уже без препятствий, до нового столкновения. При асимметрии тела или неравнобочии, также при неодинаковой с двух сторон работе ресничек, волосков или других подобных органов движение будет криволинейное. Радиус этого движения тем меньше, или кривизна пути тем больше, чем более уклонение от симметрии и неравенства работ с боков.

Правая боковая половина бьющихся пузырьков или сократительной ткани может быть независима от левой. Обе части могут действовать несогласно в зависимости от условий среды: то одна сильнее, то другая. От этого и движение ресничек с обеих сторон будет неодинаково. Результатом будет движение то вправо, то влево. Существо двигается прямо, но вот поворачивает то направо, то налево, то кривую описывает круговую, то очень сложную. Является иллюзия воли, свободного выбора направления. Если тело имеет наклон на винтовую поверхность, то оно во все время движения поворачивается вокруг продольной горизонтальной оси, что может также служить средством для разнообразия движений в горизонтальной

плоскости; но тогда это движение хоть и будет сложно, но все же периодически.

Действие двигательных органов с боков организма может быть неодинаково от неравного действия на них света или окружающей жидкой среды. Обыкновенно одна половина тела более подвергается действию солнечных лучей, и, следовательно, с этой стороны может быть более энергичное действие волосков. Тогда организм поворачивает в обратную от света сторону до тех пор, пока действие света не уравнивается на обе половины тела. Тогда организм побежит прямо, как бы избегая света, пока не попадет в тень. Здесь действие волосков ослабится, но будет равномернее, и потому тело будет вилить в разные стороны, пока не выплывет к свету. Тут опять оно начнет понемногу сворачивать и уйдет в тень и т. д.

Если, наоборот, свет замедляет химические реакции, взрывы и действие волосков, то организм будет поворачивать к свету, как бы стремясь к нему. Существо побежит к свету, пока не встретит препятствия или не попадет в тень. Тогда оно будет двигаться особенно энергично в любом направлении и выйдет таким образом к свету. Так как тени от разных предметов, короткие и длинные, встречаются очень часто, то движение может быть очень прихотливо. Но, вообще, этот механизм не выгоден, так как может остановить движение существа при препятствии. Тень от облака может вывести его из этого затруднения. Впрочем, асимметрия конца тела при ударе всегда заставляет его поворачиваться, и потому тело продолжает двигаться в другом направлении.

Окружающая питательная среда также может служить причиною движения в самую ее гущу. Вообще, растворы газов, жидкостей и твердых тел могут отталкивать от себя организмы, а могут и притягивать. Положим, что благоприятный питательный раствор усиливает работу ресничек, и пусть он справа гуще, чем слева; тогда правая двигательная сторона будет сильнее и организм побежит от питательной среды. Но правые бьющиеся пузырьки могут приводить в действие левые волоски и обратно. При таком перекрестном расположении органов существо будет стремиться всегда в гущу питательного раствора или всякого другого, который способствует химическим процессам и, следовательно, ему полезен. Наоборот, он будет убегать от всякого другого раствора, который замедляет жизненные процессы, ослабляет работу мерцательных ресничек и, следовательно, ему вреден. Если питательный раствор бежит, то организм будет его преследовать тем энергичнее, чем будет ближе, и наоборот, если вредный раствор движется, то существо от него будет убегать.

Становится понятным преследование существа, распространяющего питательный продукт, другим существом, которое в нем нуждается. Если оба организма взаимно нуждаются в своих выделениях, то они сливаются, потому что идут друг другу навстречу. Но если одно из них велико, имеет поглотительные органы, то оно переваривает свою жертву.

Надо еще заметить, что иногда в микроскоп мы можем видеть простую иллюзию преследования или охоты существ. Действительно, иногда свет

и другие деятели производят одно и то же влияние на близко расположенные друг от друга существа. Тогда и движение их будет почти одинаково.

Покажется, что одно преследует другое тем более, чем скорости их не могут быть вполне равны.

Мы видим, что неодинаковое влияние солнечного освещения на половины организма дают ему определенное направление и потому он может застрять при столкновении. Покой не всегда выгоден существу, и потому такой механизм не мог укорениться. Напротив, неодинаковая работа волосков от влияния окружающих растворов могла быть очень полезна существам, так как притягивала их к полезным растворам и отталкивала от вредных. Это приспособление могло способствовать и соединению полов, также охоте и поглощению мелких организмов крупными.

Выделение кислорода хлорофильными существами могло двигать организм к ним, чтобы поглощать их. Выделения разлагающихся растений и животных также могли притягивать существа к этим гниющим телам.

РАСТЕНИЕ БУДУЩЕГО *

ПРЕДИСЛОВИЕ

Почему я часто не упоминаю об источниках и не угощаю читателей мудростью энциклопедических словарей? Да потому, что это страшно увеличит размер работ, запутает и утомит читателя, заставит его бросить книгу. Времени и сил так мало! Моя цель — в малом и доступном объеме дать много. Горю стремлением внушить всем людям разумные и бодрящие мысли. Притом я тружусь самостоятельно и ново, только основы научны, стары и известны. Множество имен, мнений и дат мешает главному — усвоению истины. Дело специалистов исторических наук давать эти даты, имена и их противоречивые мнения. Я же выбираю из всего материала то, что считаю наиболее вероятным. Компляции требуют, конечно, много изложения. Мои же работы не компляции.

Ланглей дал для солнечной энергии в пустоте 30 больших калорий в минуту на m^2 нормально освещенной солнцем поверхности (на расстоянии Земли). Теперь дают 20 *кал.* Другие давали 40 *кал.* Примем новейшее число — 20, которое показывает, что энергия солнечных лучей, падающая прямо на m^2 поверхности, может в минуту нагреть литр (или килограмм) воды на $20^\circ C$. В год получим 10 млн. *кал.* Благодаря шарообразности Земли (т. е. ночи и наклонным лучам), это число в среднем уменьшается в 4 раза, так что на m^2 от Солнца в год достается только 2,5 млн. *кал.*

Килограмм муки или сухого зерна дает около 4000 *кал.* Следовательно, Солнце должно бы давать (в среднем) при идеальном использовании (утилизации) его энергии 625 кг муки в год на 1 m^2 поверхности планеты.

Примем урожай зерна с десятины (гектар, или 100 аров); (каждый ар = 100 m^2) в 1 т в год (незначительную энергию соломы и корней отбрасываем). С кв. метра будет 0,1 кг. Это меньше чем следует в 6250 раз.

Какое печальное использование солнечной энергии! На деле оно еще меньше. Действительно, примем население Земли в 2 миллиарда. Положим в среднем для пропитания человека 300 кг муки в год, т. е. почти 2 фунта в день. Значит, человечество поглощает 600 *мрд.* килограмм муки.

* Опубликовано впервые в 1929 г. в Калуге в виде брошюры, в которой помещены еще две статьи: «Животное космоса» и «Самозарождение» (*Ред.*).

Поверхность Земли более 500 миллиардов m^2 . Каждый кв. метр, мы видели, должен бы дать 625 кг муки. Значит, вся солнечная энергия, получаемая Землей, должна бы дать 312 500 миллиардов кг муки. Это больше чем на деле в 521 000 раз. Часть растений идет еще на кормление скота, на топливо и т. д. Поэтому, если мы даже увеличим количество добываемых продуктов в 10 раз, то все же использование составит лишь одну пятидесяти-тысячную часть солнечной энергии. Если бы утилизировались хоть 20% солнечной энергии, то и тогда Земля могла бы прокормить население в 100 тысяч раз больше теперешнего. Было бы только недопустимо тесно.

Есть очень плодовые и питательные растения: некоторые тропические корнеплодные, также бананы, хлебные деревья, пальмы, смоковницы и многие другие. Их утилизация солнечного света гораздо больше. Возьмем банан, заменяющий хороший пшеничный хлеб. Это растение может дать с десятины (10 000 m^2) до 400 т одних плодов (тонна = 1000 кг, или 61 пуд). С одного кв. метра придется в год 40 кг. Теплопроизводительность плодов банана в 4 раза меньше, чем хлебного зерна. Поэтому по питательности 40 кг бананов соответствуют десяти (10) кг муки. Это меньше идеального количества (625) в 62 раза. Утилизация лучистой энергии бананом будет больше, чем пшеницей, в 100 раз. Использование энергии бананом выразится 1,6%, а пшеницей 0,016%. Корни, стволы и листья еще увеличивают эту утилизацию. Однако же лабораторные опыты пока не дают более 5%.

Около 80% (до 45° широты) всей суши находятся в теплом климате. Поэтому при заселении его и использовании наиболее плодовых растений уже сейчас можно прокормить население в 400 раз большее настоящего. Действительно, на человека приходится 4 десятины плодородной почвы в теплом климате (собственно, 5—6 десятин, но часть земли пока неудобна). Прокормиться же человек в течение года может 1000 кг бананов или подобных плодов. Это же получается со 100 m^2 почвы, или с одного ара. Значит, 4 десятины (400 аров) могут продовольствовать в 400 раз больше.

Все же утилизация только 1—2% солнечной энергии, а если принять лучшие условия и энергию древесины, то не более 5%. Разберем возможные причины этого обидного явления. Найдя причины и устранив их, получим лучшие результаты. Вот, по нашему мнению, главные причины.

1. Несовершенство растений

Действительно, много значит индивидуальность организма. Так, зерновые хлеба используют $\frac{1}{6000}$ долю солнечной энергии, а банан до $\frac{1}{60}$, т. е. в 100 раз больше. Это нельзя объяснить одной разницей в энергии лучей жаркой страны и умеренной. Разница тут незначительная, а в утилизации громадная. Притом, зерновые хлеба и в жарких странах дают немного больше (например, вдвое, втрое благодаря нескольким посевам и урожаям в один год). Некоторые растения еще лучше банана исполь-

зуют солнечную энергию. Надо специально заняться определением процента утилизации солнечной энергии питательными и промышленными деревьями и путем отбора и скрещивания выработать наилучшее. Опыты надо производить главным образом в тропических странах, так как им принадлежит наибольшая часть (80%) поверхности земного шара, и будущее земледелие первенствующее значение приобретет тут.

Насколько возможно добиться в этом отношении успехов и новых результатов, видно, например, из истории открытий Бербанка. Этот великий человек терпел сначала большие лишения, спал в курятнике и умер бы от истощения, если бы не нашлась добрая женщина, которая поддержала его силы молоком.

Путем скрещивания растений и их отбора он получил: сливу без косточек, съедобный кактус без колючек (о нем речь впереди), айву с ароматом ананаса, помесь ежевики и малины с плодами в 7—8 см, пахучую георгину, помесь грецкого ореха, который в 14 лет давал деревья в 24 м высоты с драгоценною древесиною, картофель с 25% крахмала, род томата с картофелем на ветках, род картофеля с плодами над поверхностью почвы и многое другое.

Другие исследователи также получили чудные результаты, хотя и не сравнялись с Бербанком. Так, в Европе созданы новые породы пшеницы, возрастающие на полях, негодных для обыкновенной пшеницы, новую более урожайную кукурузу с разными свойствами; новую пшеницу, дающую 4—5 т зерна с десятины, также хороших качеств и урожайности овес, ячмень и лен, урожайность маиса увеличена на тонну с десятины. Сделали и многое другое. Про сахарную искусственно выведенную свекловицу достаточно всем известно. Аналогичные преобразования возможны и всем известны и среди мира животных.

2. Огромная часть солнечной энергии поглощается полупрозрачной атмосферой и ее облачностью. Это умягчает действие солнца по крайней мере в 4 раза. На самом деле гораздо больше. Многие страны вечно заслонены облаками и туманами и почти не видят яркого света. Хотя средняя облачность Земли определяется в 50%, но это едва ли верно. Туманность воздуха очень частое явление. Тут хотя и видно солнце, но толку от него немного.

3. Крайне малое количество углекислоты в воздухе (1:3000 по объему). Опыты показывают, что наиболее благоприятное количество углекислого газа должно быть в десятки раз больше существующего (0,03%). Для разных растений оно различно и еще неопределенно. Количество углекислоты можно регулировать при закрытых для растений помещениях, сверху прозрачных. Но его можно и вообще увеличить в воздухе через сжигание ископаемого угля, торфа и нефти, через обжиг известняков (цементное дело) и уничтожение диких лесов, древесина которых отнимает много угольной кислоты от воздуха и представляет мертвый капитал. Культурные растения с этой целью должны бы иметь как можно меньше стволов, веток и листьев. Сами плоды должны содержать хлорофилл и работать (химически) вместо листьев.

Впрочем, обильные будущие культуры плодовых растений и само человечество (своими телами) отнимет не мало углекислоты от воздуха. Но ее тогда будет много благодаря усилиям человека. Значительное изменение состава атмосферы будет достижимо только при увеличении сознательного населения в сотни раз и соответственном развитии техники и промышленности. Недра Земли непрерывно выделяют огромные количества газов, содержащих углерод, но в то же время он поглощается океанскими раковинами (углекислая известь) и растениями океанов и суши. Часть этих растений не истлевает (возвращая атмосфере углекислоту), а уносится водами и погребается в земле и воде в форме углей, нефти и торфа. Можно это печальное явление ослабить, но при условии могущественного развития разумной жизни на Земле.

4. Много тратится солнечной энергии на вредное перегревание листьев, плодов, ствола, ветвей и обнаженной земли. По-настоящему, те листья или плоды идеальны, которые всю энергию падающих на них лучей используют на химическую работу (образование сахаров, крахмалов, масел, клетчаток и т. д.) Такие черны не только для глаз, но и для всякой фотографии. Подобные растения будут целиком поглощать жар экваториальных стран, накапливая в своем теле потенциальную энергию. Если бы не атмосфера, поглощающая неизбежно теплоту солнца, то среди таких растений образовался бы полярный климат и, разумеется, растения бы погибли. Поэтому полное (100%) использование немыслимо.

5. Вследствие перегревания (тонких листьев — больше всего) растению приходится испарять много воды, на что тратится солнечная энергия. Так, при получении одной тонны зерна испаряется растением 260 т воды. Потребная для того работа (теплота испарения) в 35 раз больше запасной энергии зерна. Значит, бесполезно расходуется в 35 раз больше, чем полезно. Подсолнух испаряет еще в 15 раз больше. Тут испарение отнимает в 700 раз больше энергии, чем химическая работа (в плодах). Вообще, обычный урожай наших растений требует на один килограмм сухого вещества 300 кг воды. Опять выходит, что на испарение идет в 48 раз больше, чем на полезную работу солнца.

Как же избежать этого и возможно ли избежать? Если не будет испарения, то будет чрезмерное нагревание тонких листьев и смерть клеточек. При сильном ветре вредного нагревания быть не может: воздух прохлаждает листья и иглы. Но неизбежны моменты затишья воздуха, которые все дело портят.

Если листья будут очень толсты или если они заменятся массивными плодами, то большего нагревания и при штиле быть не может. Также оно ослабляется при усиленной химической работе хлорофилла в растениях. Тогда эти листья или заменяющие их плоды могут обойтись без устьиц и испарения (как морские водоросли). Они могут быть непроницаемы для паров и воды.

Такие растения уже есть между породами некоторых кактусов и других видов. Их выработала жаркая безводная пустыня со своим жгучим неутомимым солнцем и отсутствием влаги.

Такие листья, как и все органические перепонки, не чужды диффузии: через них проникают газы, но воды они почти не теряют, т. е. не испаряют. Таким образом, химические процессы в листе продолжают совершаться.

Некоторые из этих растений поразительно плодovиты. Так, кактус Бербанка дает с гектара, при незначительном орошении, 15 000 т вещества в год (250 т плодов. Без орошения — 900 т вещества). На кв. метр придется 1,5 т вещества, или 1500 кг. Это больше, чем дает банан (считая только его плоды), в 37 раз. Мы не знаем, какая теплопроизводительная сила кактуса, и потому не можем определить использование им солнечной энергии. Если теплопроизводительность его такая же, как моркови, т. е. вдвое меньше, чем банана, то использование кактуса будет в 18 раз больше, чем банана. Для последнего же мы нашли 1,6%. Значит, в таком случае для искусственно выведенного кактуса Бербанка получим почти 29%. Если даже теплопроизводительность кактуса положим вдвое меньше, чем моркови, т. е. в 258 кал (в 16 раз меньше, чем муки), то и тогда утилизация будет более 14%. И этот результат поразителен. Действительно, благодаря поглощению солнечной энергии атмосферой и ее облачностью процент использования не может быть больше 25. Мы же получили с помощью кактуса 14%. Выходит, что кактус дает 56% наибольшего возможного.

Впрочем, в сухих пустынях облачности почти нет и потому получим не 56% возможного, а, примерно, 25%. И то не мало. Результат этот должен обнадежить исследователей, ищущих растений с высоким процентом утилизации. Этот кактус (гибрид онунция) выведен знаменитым Бербанком (Гартвуд и Тимириязев). Плоды кактуса съедобны и вкусом напоминают апельсины. Их с гектара получается 250 т. Кактус Бербанка неприхотлив и выдерживает сухость, холод и снег. Он может превратить пустыню в кормовые и плодовые житницы.

6. Несовершенство почвы и удобрения. Почва, годная для земледелия, должна содержать на кубич. метр не менее тысячи миллиардов твердых частиц или пылинок (10^{15}) с поверхностью в 300 тыс. m^2 . Необходимая средняя толщина частиц тогда будет 0,01 мм. В почве вообще их около $1,7 \cdot 10^{18}$, т. е. в 6000 раз больше минимума. Значит, их диаметр будет почти в 4 раза меньше, а поверхность во столько же раз больше (1,2 кв. версты) указанного минимума (другие опыты показывают, что частицы почвы могут быть гораздо крупнее — до нескольких миллиметров в попечнике).

Кроме раздробленности, растения нуждаются в присутствии почвенных бактерий. Так, обыкновенная почва в среднем содержит на куб. метр около $1,6 \cdot 10^{15}$ бактерий, т. е. на каждые 1000 твердых частиц приходится одна бактерия. Вероятно, всякому роду растений соответствуют свои наиболее полезные бактерии и грибки. Таковы, например, растения, содержащие в своих плодах много азота (горох, бобы, фасоль и т. д.). При отсутствии бактерий и бесплодии почву засеивают бактериями, и она становится плодovосной.

Необходим и определенный состав почвы. В ней должны содержаться 12—20 элементов в подходящих сложных телах. Если какого-нибудь вещества нет или мало, то растение плохо растет или гибнет. Значит, необходимо следить за составом почвы и дополнять его по надобности или умерять при избытке, который тоже иногда вреден, даже губелен.

Нужна и влажность земли. Ее экономная регулировка лучше всего осуществляется при изолированности каждой группы сходных в некотором отношении растений под прозрачным покровом (особого устройства оранжереи).

7. Неподходящий состав газообразной среды, окружающий данную группу растений. Так, вообще, мы находим в воздухе вредный избыток кислорода и азота, неблагоприятное количество паров воды и крайний недостаток углекислого газа.

8. Несоответствующая растению температура и ее перемены. Она мешает химическому процессу или замедляет его.

9. Непроизводительный расход химической энергии растения для его согревания (во время холодов).

10. Вредители: микробы, грибки, насекомые, птицы и другие животные. Это жестокие враги, с которыми бороться при обыкновенных условиях крайне трудно. В Штатах Сев. Амер. от одних насекомых на человека приходится 150 руб. убытка, на семью — 600 руб. Но чего стоит самая борьба с ними?

11. Присутствие посторонних растений, отнимающих пищу и свет от культивируемых. Подразумеваем сорные ненужные и невыгодные растения.

12. Пыль, покрывающая листья и поглощающая бесплодно солнечную энергию.

13. Не самый благоприятный состав лучей, падающих на листья и производящих химическую работу в растениях.

Устранение многих этих несовершенств возможно только при изолировке сходных растений в особых помещениях с прозрачным покровом, особым образом устроенных для каждой группы растений. Тут регулируется температура, состав газообразной среды и почвы, устраняются все вредители в виде бактерий, грибков, насекомых и других животных. Остается или допускается только полезное для главных растений, т. е. устраивается выгодное сожительство их с другими второстепенными организмами (симбиоз). В тропическом климате или в жарких сухих пустынях изолировка вполне может окупиться даже в настоящее время, так как крохотный клочок земли менее ара (100 м²) вполне достаточен для пропитания одного человека и даже дает избыток фруктов и других плодов для продажи. Устройство таких ячеек зависит отчасти от рода растений, климата, широты места, почвы и не может быть тут дано. Понятие о том можно получить из моего труда «Будущее Земли»*.

* Циолковский имеет здесь в виду свою работу «Будущее Земли и человечества». Калуга, 1928 (Ред.).

ЖИВОТНОЕ КОСМОСА *

Статья дает широкий взгляд на всеобщее распространение в космосе жизни, на ее разнообразие; указывает на миры в мирах, на периодичность и усложнение материи и явлений — без конца, на существование бесконечно удаленных эпох, когда были «эфирные» животные, не подобные земным и трудно воображаемые, хотя совершенные и сознательные.

С узкой земной точки зрения животное составлено из 29 известных элементов. Главная составная часть его — вода; оно может выносить температуры не выше 100°C и не ниже $100-200$, и то в этом состоянии оно не живет (бесчувственность, или анабиоз), а только сохраняется; большинство же требует определенной средней температуры, близкой к 20°C . Животное требует атмосферы, содержащей кислород и пары воды. Источник его деятельности, т. е. движения и мысли, — другие организмы или, в крайнем случае, солнце (животно-растения, или зоофиты). По-видимому, животное не может жить без атмосферного давления и без тяжести. Тело его должно иметь температуру выше точки замерзания и не больше $37-40^{\circ}\text{C}$. Зрелое животное имеет определенный рост.

Даже высшие животные (человек) очень несовершенны. Например, не велика продолжительность жизни, мал и плохо устроен мозг и т. д.

В сущности, все это есть только результат приспособления к условиям жизни на Земле — главным образом к жизни на экваторе — и признак незаконченного филогенетического развития (эволюции). На других планетах, при других условиях — и строение животного будет иное. Земля с течением времени тоже даст лучшее. Разберем по порядку все данные о земных организмах.

Почему животное составлено из 29 элементов, почему в состав его не входят остальные 61 элемент, например, золото, платина и прочее, а если и входят, то случайно, в ничтожном количестве, не играя никакой роли? (И из этих 29, вероятно, штук 9 не нужны.)

Первая причина в том, что животное питается растениями, а растения как раз содержат эти вещества. Почему же растения составлены из этих веществ? Растения окружены атмосферой, водой и водяными парами; оно пускает свои корни в почву. Поэтому оно и должно содержать эти веще-

* Опубликовано впервые в 1929 г., в Калуге в брошюре, в которой также помещены статьи: «Растение будущего» и «Самозарождение» (Ред.).

ства. Именно: вода дает растению — водород и кислород. Почва, растворяясь в воде, больше всего несет растениям: кальций, фосфор, хлор, серу, натрий, калий, фтор, магний, железо, кремний, марганец, алюминий и т. д. Атмосфера дает кислород, углерод и азот. В ничтожных количествах почва и ее вода содержат и другие элементы, но их количество мало, потому что это редкие вещества или тяжелые и скрытые в недрах Земли и потому малодоступные растениям. Если бы на поверхности Земли и в атмосфере преобладали иные элементы, то и состав животных и растений был бы другой.

На поверхности планет, близких к солнцам, больше тяжелых элементов, и потому там в состав организмов должны войти тяжелые элементы. Наоборот, на планетах, удаленных от солнц, вошли бы в организмы более легкие вещества, так как там их больше.

Человек добыл тяжелые металлы из недр Земли и сделал, например, золото частью своего тела (зубы и проч.). Вообще, состав животных и на Земле еще может измениться.

Какой же вывод? Все вещества годятся для создания организмов при подходящих условиях. Нужно думать, что на каждой планете, сообразно веществам ее поверхности, удалению от солнца, свойств последнего, температуре планеты и другим условиям, преобладают в организмах самые разнообразные вещества.

Животное состоит из твердых тел и жидких. Но ведь не одна вода жидка. Напротив, на удаленных от солнца планетах, вообще при низких температурах, вода есть минерал, а преобладающие жидкие вещества имеют другой состав: например, жидкая уголекислота, разные масла, спирты, углеводороды, углеводы, жидкие газы и т. д. Они бы и вошли в состав морей и организмов. Также на близких к солнцам планетах наши твердые тела были бы там жидкими и могли бы войти в состав животных.

Атмосфера других планет также может иметь иной состав. На холодных планетах преобладал бы водород, на близких — водяной пар или другие жидкости, обращенные в газы, благодаря теплу.

Из этого сделаем новый вывод: и на холодных, и на жарких планетах возможны существа, составленные из тех морей, атмосфер и почв, которые существуют на планетах.

Действительно ли для обильного развития жизни нужна температура среды, колеблющаяся около 25°C ? Мы видели, что ни высокая, ни низкая температура не лишает планеты океанов и атмосфер — только другого состава, а следовательно, не лишает и животных. Последние будут составлены из жидкостей и газов, подходящих к средней температуре данной планеты. Значит, самая разнообразная температура планет не препятствует богатому развитию на них жизни.

Мы видим, что даже наши организмы приспособляются к низкой температуре. Но, конечно, это наиболее несовершенные существа или разумный человек, умеющий оградить себя от холода искусственной обстановкой, которая стоит ему страшного напряжения сил. Но ведь северные животные переселились из теплых стран, родина их — экватор, они не

приспособлены к суровому климату. Только сотни тысяч лет могли это сделать — притом для немногих. Поэтому пышного цвета жизни в условиях зимы и полярного климата мы пока еще не видим. Впрочем, главная причина скудости холодных стран — отсутствие солнечной энергии.

Температура тела высших существ Земли близка к 37°C . Почему это? Родина жизни — экватор. В водах его началась жизнь. (Причина — равномерное тепло и обилие солнечной энергии.) Там средняя температура воды колебалась около 25°C . Это и есть температура первых животных, разгар жизни которых, ее яркие проявления соответствовали именно этой температуре. Животные принимали температуру среды, выносили и низкую и высокую температуру, но чувствовали себя хорошо только при средней температуре среды.

Благодаря слабой энергии жизни первых существ их температура была лишь немного выше температуры среды.

Но явились теплокровные с могучими проявлениями жизни. Вследствие этого (теплоты, горения или химических процессов внутри животного) температура их тела сильно повысилась в сравнении со средней температурой среды. Итак, температуры животных всегда несколько выше средней температуры планеты. А так как температура планет может быть самая разнообразная, то и температура животных также. Одни очень горячи, другие холодны, как лед, с точки зрения человека. Я не говорю про те случаи, когда температура среды несколько выше температуры животного. В этом случае теплокровным грозит смерть, так как мозг (нагретый) прекращает свою деятельность. Но тогда кожа или легкие испаряют воду, поглощается тепло от тела, и мозг сохраняет нормальную температуру. Для жизни еще нужно и некоторое постоянство температуры. Резкое колебание ее губительно для всякого организма. Так, на Луне и немногих планетах, всегда обращенных одной стороной к Солнцу, температура колеблется от 250° холода до 150° и более тепла.

Как тут жить? Как бы не была велика разность температуры на внешней части планеты, это еще не исключает жизни, так как внутренность планеты сохраняет постоянную температуру. Животные, роя норы, в них и найдут спасение как от чрезмерной жары, так и от сильного холода. Однако положение низших существ тут беспомощно. Начало развития жизни при этих резких температурных контрастах затруднительно. Всему, конечно, есть пределы, также и выносливости жизни. Местами, неудобными для жизни низших существ могут завладеть сознательные, с высшим развитием знания и техники.

Необходимо ли Солнце для существования животных? Энергия солнечных лучей очень распространена во вселенной: в одном Эфирном Острове насчитывают до миллиона миллиардов молодых и старых солнц, испускающих неустанно свои лучи. Понятно, что большинство животных существует солнечной энергией. Но все же это существование может совершаться силою другой какой-нибудь энергии. Так, солнца временно погасают, удаленные планеты почти не имеют солнечных лучей, но это еще не угашает сразу их жизни. Высокая температура и химическая энергия

еще долго сохраняются внутри холодных с поверхности небесных тел. И это дает возможность еще долго сохранять и продолжать жизнь организмов. Только нет особенной надобности питаться этими жалкими остатками небесной энергии, раз есть ее сколько угодно в виде пылающих солнц. Теоретически, всякая энергия может поддерживать жизнь; напр.: энергия движения и вращения планет, сила тяготения, теплота, атомная энергия и другие ее виды. Каким образом — в это входит мы не будем.

Важное значение имеет мозг животного. Может ли он увеличиться при том же росте и насколько? Конечно, большее значение имеет строение мозга, но и объем мозга качество хорошее для увеличения памяти и умственных сил. Раз мы можем носить тяжелые грузы, то почему же не можем носить более массивную голову. Механика показывает, что объем мозга без всякого ущерба может увеличиться раза в два, три. Пока этому, однако, встречаем препятствия. С одной стороны, увеличиваются трудности родов, с другой — развитие мозга (в первой стадии) ведет к узкой религиозности; человек отрешается от себя в пользу ближних и не оставляет потомства. Во второй стадии это же развитие ведет к пессимизму, который убивает светлые (религиозные) надежды, устрашает и служит причиной нервных расстройств, болезни и ранней смерти. Только в третьей стадии — при высшем развитии знания и ума — получается некоторое равновесие между эгоизмом и альтруизмом, когда человек начинает сознавать необходимость заботы также и о себе и о своем потомстве.

Первая причина может быть устранена преждевременными родами и последующим развитием зародыша в особой искусственной среде. Человек должен как бы вернуться к периоду ношения яиц (птицы, пресмыкающиеся и т. д.). Вторая и третья причины устраняются предосторожностями во время развития первой и второй стадии и немедленным развитием третьей, рождающей оптимизм благодаря высшим знаниям, проникновению в глубины природы и истинной мудрости.

Но величина мозга может также возрасть вместе с пропорциональным увеличением всего животного. На Земле увеличению роста препятствует сила тяжести. Механика строго доказывает, что масса мозга сходных по форме (подобных) животных пропорциональна кубу уменьшения силы тяжести, которой подвергаются животные. Так, на Марсе и Меркурии, где тяжесть в два раза меньше, чем на Земле, объем мозга мог бы быть раз в 8 больше, чем у нас — конечно, для той же внешней формы животных. Рост этих существ был бы в два раза больше, чем на Земле. На Луне рост был бы в 16 раз больше, а масса мозга в 216 раз.

Этот вывод механики не относится к водным существам, ибо тяжесть их уничтожается противодействием воды. В воде могли бы появиться животные с большим мозгом. Но в воде невозможна индустрия (нельзя разводить огня), мало кислорода, солнечной энергии (света) и потому там жизнь не пошла и не может пойти далеко.

Когда человек поселится в искусственных жилищах в эфире, т. е. когда уйдет от Земли, победив ее тяжесть, то там, в эфире, между планетами не будет препятствия для объемного развития мозга, если не считать

сложности большого мозга и питающих его органов, которые, конечно, положат предел и развитию мозговой массы.

Пока же человек на Земле (часть человечества обязательно останется на Земле), до тех пор объем мозга может увеличиться только в 2—3 раза. Будет некрасиво, но ко всему можно привыкнуть. Красота — вещь условная и субъективная.

Легкие млекопитающих имеют крайне несовершенное устройство. Этот орган должен преобразиться. Возьмем в пример пищеварительную трубку. У низших существ она имеет вход, но не имеет особого выхода. Переваренные остатки пищи выделяются из того же отверстия, в какое входят. Так, саранча извергает кало ртом. Это замедляет процесс пищеварения. Поэтому высшие животные обзавелись выходным отверстием. Они взяли тем перевес над неимеющими его. Прimitивно кровообращение тоже было волновым (взад и вперед). Порядочный насос (сердце) и круговое движение крови — только у высших.

Также и легкие большинства млекопитающих, вбирая воздух и извлекая из него кислород, выделяют продукты дыхания через то же отверстие. Благодаря этому окисление крови совершается медленно, орган дыхания имеет большой объем и дает мало кислорода животному. Дыхательная камера, как и пищеварительная, должна бы иметь выходное отверстие. Воздух должен бы входить непрерывно в одно отверстие и выходить в другое. Что это возможно, видим из рассмотрения устройства насекомых и птиц, поневоле выделяющих при полете огромную энергию. Насекомые имеют сквозные трубочки (трахеи), через которые течет воздух. Им недостает только воздушного насоса. Впрочем, нельзя ручаться, что его нет хотя бы у некоторых насекомых. У птиц грудные мускулы пронизываются подобными же трубками, хотя механизм движения в них воздуха тамен: не то струи воздуха текут в одном направлении, не то они колеблются взад и вперед, как в легких. Ясно только, что воздушное течение в этих трубках вызывается сокращением грудных мускулов при полете (когда именно и нужна огромная энергия).

Несомненно, что эволюция высших животных даже на Земле могла идти другим ходом и дать животных со сквозным дыхательным органом. Такие существа вполне возможны на миллионах миллиардов иных планет. Они, может быть, появятся и на Земле: естественно или искусственно, когда человек примется за преобразование своего тела. Физиологи знают, какое множество недостатков имеют тела даже высших животных. Все они должны быть устранены путем упражнения, подбора, скрещивания, операций и другими способами. Мы говорим только о немногих несовершенствах — для примера. Даже у людей нет ни одного порядочного или безукоризненного органа. Заметим, что у многих водных существ кислород, растворенный в воде, вместе с нею движется в одном направлении. Например, у рыб — от зева к жаберным щелям. Может быть, благодаря этому рыбы обходятся таким ничтожным количеством кислорода, какое мы видим в воде.

Необходима ли человеку тяжесть и именно такая, как на Земле? При

подобии, или наружном сходстве организмов (при разных размерах или росте), тяжесть подавляет рост тем более, чем она сильнее. Значит, она же уменьшает и объем мозга, а следовательно, и умственные силы. Выходит, что она вредна.

Что полное устранение тяжести нисколько не мешает жизни, это видно из того, например, что водные животные, где тяжесть (или весомость) уничтожается обратным давлением жидкости, нисколько не страдают. Напротив, нигде размеры организмов не достигают такой большой величины, как в океанах. Кит на суше беспомощен, а в воде резвится, как котенок. Животное, поставленное вверх ногами, не умирает и не страдает, хотя тяжесть переменяется на обратную. Тем более оно не страдает в лежачем положении, когда давление столба крови уменьшается в несколько раз. Человек и в этом положении может совершать глотательные, пищеварительные и другие движения. Ванны, уничтожая тяжесть больных, во многих случаях их облегчают, помимо лекарственного (терапевтического) действия. Ослабленная тяжесть должна уменьшить массу органов передвижения (ног, крыльев и проч.), если не увеличивает рост организма. На планетах с меньшею тяжестью должны бы наблюдаться следующие явления.

1) Чем меньше радиус планеты или ее тяжесть, тем больше рост организма.

2) Если нет этого, то органы движения (ноги и проч.) становятся очень слабы или тонки.

3) Если нет этого, то увеличиваются прыжки животных или скорость их движения.

4) Может быть комбинация всех трех случаев, т. е. умеренное увеличение роста, умеренное ослабление ножных или грудных мускулов, умеренное усиление прыжков и других движений. Могут быть самые разнообразные сочетания трех крайних случаев.

На больших планетах, с большой тяжестью получится обратное.

Но скажут, как можно обойтись без тяжести: испарятся океаны, разлетится атмосфера и планета останется без того, без чего невозможна жизнь.

Разберем по порядку. Можно ли обойтись без воды и воздуха, и в какой степени они необходимы? Человек легко приравливается к высотам, где воздуха и кислорода вдвое меньше. Есть такие горные селения. Дети, рожденные там, переносят превосходно недостаток кислорода (но путешественники тягостятся). Здоровые люди некоторое время переносят вчетверо уменьшенное количество кислорода. Если легкие будут сквозные, то они удовлетворятся еще меньшим объемом живительного газа. Рыбы вместо воздуха как бы дышат водой, им пропитанной. Вода эта струится в одном направлении (изо рта к жаберным щелям), как кровь и пища высших животных. В воде содержится кислорода в 60 раз меньше, чем в атмосфере, однако это рыбам не мешает жить. Мало того, водные существа отлично живут и тогда, когда кислорода еще много меньше. Скажут: на то и рыба жизнь! Но чистый кислород (без воды и атмосферного азота) при сквозных легких будет растворяться в крови очень быстро и давать не меньше, чем получают его наши сухопутные животные.

Но как же обойтись без атмосферного давления. Отсутствие давления воздуха или другой среды служит причиной кровотечений из носа, горла и других органов. Это понятно: крепость кровеносных трубок (сосудов) отчасти поддерживается внешним давлением атмосферы. Нет его или оно ослабляется — и вот более слабые сосуды носа и горла разрываются от напора крови. Человек и высшие животные не приспособлены к слабому давлению окружающей среды. Если же в таковой рождаются, живут и вырастают люди, то вследствие замеченной (Ламарк) способности организмов приспособляться к новым условиям их кровеносные сосуды становятся прочнее и животные без вреда будут существовать в разреженной среде.

Кости органов движения связываются также и атмосферным давлением. Нет воздуха — не будет и этой связи. Но кости не распадутся и без давления воздуха, потому что они связаны также сухожилиями и постоянным напряжением окружающих мускулов. Что это так, видно из опыта гимнастических упражнений: человек висит на руках и ногах, подвергаясь силе тяжести, несравненно большей, чем сила давления атмосферы на незначительные площади шарнирных соединений костей. Последние все же не падают. Из этого видно, что одного напряжения мускулов достаточно, чтобы удержать кости в сочленениях.

В разреженной среде должно усилиться испарение воды в потовых железах и легких. Но некоторые животные (собака) совсем не испаряют воды кожей. Стало быть, возможен организм, не теряющий воды через потение. Есть такие же и растения (некоторые кактусы). Что же выходит? Возможны существа, несколько не страдающие от уничтожения внешнего давления. Правда, если таковы и легкие, то животные неспособны будут регулировать температуру своего тела и погибнут. Но если она поддерживается постоянной, то этой опасности уже не будет.

Есть еще много указаний на влияние давления среды. Так, легкие млекопитающих расширяются исключительно силою атмосферного давления. Мы надеемся все же на возможность приспособления и легких к отсутствию давления. Действительно, если легкие сквозные и воздух через них непрерывно движется, то они могут потерять свою упругость, как ненужную, или прирасти к грудной клетке. Всего разбирать тут не можем.

Мы видим теперь, что животное может обойтись без тяжести и при малом количестве газов и их давлении.

Да необходим ли и газообразный кислород или другая газообразная пища? Совсем нет. Кислород может животным приниматься внутрь, как пища, в виде его непрочных соединений в жидком или твердом виде. Таковых известно в химии множество, и их откроет еще очень много химия будущего. Возможно, что потребуются особый орган вроде особого желудка, откуда кислород будет постепенно поступать в кровь. Итак, получится организм с двумя желудками без легких. Он не теряет воды и не страдает без атмосферы. Такие организмы возможны на Луне и других планетах, не имеющих атмосфер, или имеющих их в очень разреженном состоянии.

Состав атмосфер может быть очень разнообразным для существ с легкими. Не кислород один дает энергию: натрий горит в углекислом газе и

хлоре. Таких примеров химия может дать множество. Наконец, и у нас на Земле есть существа, живущие в углекислоте, не нуждающиеся в кислороде (анаэробные). На миллионе миллиардов планет одного нашего Эфирного Острова столько разнообразия, столько творчества, что возможно то, что никак теперь себе не может представить самый гениальный человеческий ум.

Нужна ли даже и пища? Не могут ли быть существа, не принимающие пищу, т. е. поглощающие газы, воду, растения, мясо и соли? Правда, растения могут питаться одними минеральными веществами. Но все же эти вещества можем принимать за пищу организмов. Также и атмосфера принимает участие в этом питании, давая то углекислый газ, то кислород, то азот (больше при посредстве бактерий).

Есть и животные, подобные растениям. Они также могут питаться неорганическими веществами. Это животнорастения (зоофиты). Они содержат в своем теле зеленые крупинки (хлорофилл), при посредстве которых и участии солнечного света разлагают углекислый газ воздуха на углерод и кислород. Кислород выделяется в воздух, а углерод с другими неорганическими веществами образует сахар, крахмал, клетчатку (углеводы), азотистые и другие органические ткани, составляющие тело существа.

Отсюда мы только видим, что как растения, так и животные могут существовать с помощью одной неорганической пищи при наличии солнечной энергии. Все же тут принимает участие атмосфера, вода и земная почва. Возможна ли жизнь без постоянного участия этих элементов Земли, т. е. без участия окружающей среды?

Представим себе совершенно изолированное особенное животное. В него не проникают ни газы, ни жидкости, ни другие вещества. Из него также они не могут и удалиться. Животное пронизывается только лучами света. Встречая тут хлорофилл, растворенный в крови углекислый газ и другие продукты распада тканей животного, они разлагают их, соединяют и в результате дают: кислород, крахмал, сахар, разные азотистые и другие питательные материалы.

Таким образом, наше животное получает все необходимое для жизни. Пища (подразумевается то, что образовано в теле действием солнечных лучей) и кислород претворяются в ткани животного. Но последние опять разлагаются на углекислый газ и другие продукты распада (мочевину, аммиак и проч.). Пусть все эти отбросы не выкидываются наружу, а поступают в кровь и остаются в организме. Солнечные лучи опять относятся к ним, как в растениях, к газообразному и жидкому удобрению, т. е. преобразовывают их в кислород и питательные вещества, которые пополняют убыль непрерывно работающих частей тела: мозга, мускулов и проч. Этот круговорот совершается вечно, пока самое животное не будет разрушено.

Что такое существо возможно, видим из следующего. Вообразим кварцевый (или стеклянный) прозрачный шар, пронизываемый лучами солнца. В нем немного почвы, воды, газов, растений и животных. Одним словом, это подобие громадного Земного шара, только в крохотном виде. Как в нем, так и на какой-нибудь планете определенное изолированное количество

материи. Как в том, так и в другой совершается один и тот же известный круговорот вещества. Наш стеклянный шар и представляет подобие гипотетического существа, обходящегося неизменным количеством материи и вечно живущего. Животные в шаре, если и умирают, то на место их рождаются новые, питающиеся растениями. В общем, стеклянный шар бессмертен, как бессмертна Земля.

Но спрашивается, как же может возникнуть такое животное, масса которого остается постоянной. Оно живет, мыслит, двигается, допустим, даже, что не умирает. Но как же оно само родится и рождает? Можно вообразить, что в первой стадии своей жизни оно развивается, как и земные животные: получается из яйцеклетки, последняя развивается в подходящей питательной среде (может быть и при участии солнечной энергии), растет, дышит, достигает максимального роста, оплодотворяет или производит яйца, затем понемногу преобразуется (как гусеница в куколку и бабочку), теряет потовые железы, легкие, органы пищеварения, покрывается непроницаемой кожей, одним словом, изолируется от окружающей среды и становится тем необыкновенным существом, которое мы описали. Оно живет только солнечными лучами, не изменяется в массе, но продолжает мыслить и жить как смертное или бессмертное существо.

Кольбель таких существ, конечно, планета, подобная Земле, т. е. с атмосферой и океанами из каких-либо газов и жидкостей. Но такое сформированное существо уже может обитать и в пустоте, в эфире, даже без тяжести, лишь была бы лучистая энергия. К счастью, недостатка в ней нет. Миллионы миллиардов бездетных и семейных солнц, молодых и старых, неустанно ее испускают многие триллионы лет. Когда же погасают или ослабевают, то заменяются новыми. Этой обильной лучистой энергией не могут не пользоваться подобные существа. Они окружают все солнца, даже не имеющие планет, и пользуются этой энергией, чтобы жить и мыслить. Для чего-нибудь должна же существовать энергия звезд!

Мы говорили о существах, подобных земным растениям и животным. Мы не выходим из пределов известной науки, но наше воображение все же дало то, чего нет еще на Земле, но что возможно с точки зрения нашего узкого (так называемого научного) понимания вещества.

(В этом роде, могу указать на прекрасную статью Л. Л. Андреевко на франц. языке: Жизнь на планетах.)

Мы подразумеваем 80—90 элементов, преобразование их, протоны, электроны и прочие рабочие гипотезы. Мы пришли к выводам, что организмы могли приспособиться ко множеству условий жизни на биллионах планет и вне их. Формы их и функции, понятно, гораздо разнообразнее, чем на Земле — у наших растений и животных. Степень совершенства — так же. Но последняя, вообще, много выше самого высшего на Земле. Человеческий гений, в сравнении с нею, ничто. И это сделали разнообразные условия и обильные времена, в которых не могло быть недостатка.

Каждая планета с течением времени объединяется, устраняет все несовершенное, достигает высшего могущества и прекрасного общественного устройства. Верховный совет избирает одного, который и управляет своей

планетой. Это существо есть наиболее совершенное на всей планете. Качества его понемногу распространяются на все население планеты, но все же сравниться между собою они не могут.

Но население планеты размножается, и избыток его находит место только в окружающем Солнце пространстве. Это население в миллиарды раз обильнее, чем планетное. Оно также управляется избранным советом и его президентом. Последний более совершенен, чем председатель высшего совета одной планеты.

Объединяются также ближайšie группы солнц, млечные пути, эфирные острова и т. д. Представители этих общественных единиц восходят все выше и выше по степени совершенства. Итак, помимо рядового, довольно совершенного населения вселенной, находим представителей: планет, солнечных систем, звездных куч, млечных путей, эфирных островов и т. д. Их высокие качества трудно вообразимы. Они представляют подобие богов разных степеней.

Кажется, зачем объединение солнечной системы или групп солнц? Пускай, например, каждая солнечная система живет, как знает. Какое ей дело до другой солнечной системы! Но ведь каждое солнце с его планетами не постоянны: они взрываются, угасают, подвержены разным катастрофам. Перед наступлением их надо искать для населения подходящее и не занятое место жительства. Мы должны знать все относительно иных солнечных систем. Председатель их группы согласует общие интересы, дает нужные сведения, направляет куда надо и оказывает содействие.

Возможны ли сношения между соседними солнцами? Если мы уже теперь можем получать о них некоторые сведения, то что же может быть дальше, когда при обитании в эфире атмосфера не будет препятствовать почти безграничному увеличению телескопов, когда освободимся от разрушительной силы тяжести и проч.

Свет, правда, распространяется для звездных расстояний недостаточно быстро. Ему нужны года для одоления их. Но может быть в эфире найдем и другую среду, более легкую и упругую, чем эфир (как в атмосфере находим еще эфир). Ее невидимые колебания могут достигать соседние солнца не в года, а в дни, даже часы. Так что разговоры будут много удобнее, чем теперь.

Все это — земное, доступное простому научному человеческому уму. Но может быть еще более высокая точка зрения, менее доступная. Все же ее достоверность оправдывается не только проникновенным рассудком, но и фактами. Однако приходится стать выше шаблонных рабочих гипотез — всех этих электронов, протонов, водородов и проч.

В самом деле, каков был ход научного развития, т. е. развития знаний? Сначала находили бесчисленное множество тел с различными свойствами и принимали их за коренное и беспредельное разнообразие вещества. Потом свели все это разнообразие к 90 элементам. Наконец, пришли к тому, что все эти 90 простых тел составлены только из электронов и протонов, эфир же выбросили за борт. Но ведь большинство физиков признает еще эфир, как рабочую гипотезу, как чрезвычайно разреженное и упругое ве-

щество, частицы которого по массе в миллиарды раз меньше, чем протоны, и в миллиарды раз меньше, чем электроны (см. мою «Кинетическую теорию света»)*. Что это за скачки такие между массами частиц! Если массу протона принять за единицу, то масса электрона выразится 1:2000, а эфира 1:16·10¹² (отношение этих чисел будет: 16 миллиардов, 8 миллиардов и единица).

Эта путаница разрешается, если мы отрешимся от узкой точки зрения современных рабочих гипотез.

Настоящая материя есть результат эволюции более простой материи, элементов которой мы не знаем. Я хочу сказать, что когда-то была материя более легкая и упругая, состоявшая из частиц более мелких, чем электроны. Может быть, это были частицы эфира.

Когда же это было? Да ведь время бесконечно, как пространство и материя. Его сколько угодно. Никакое число не сможет его выразить. Все известные и воображаемые времена — совершенный нуль в сравнении с ним. Возьмите его достаточно — вот и приходим к материи более простой.

Эта «простая» есть также результат еще более «простой». Когда-то и она была преобладающей во вселенной. Так мы можем продолжать без конца и придти к выводу о бесконечной делимости материи, вследствие бесконечности истекших времен.

Как хотите, но считать протон или водород основой вселенной, считать его за действительный элемент, за неделимое — так же странно, как считать за элемент солнце или планету.

Может быть, кто-нибудь, какой-нибудь великан, для которого все небо только малая частица материи, а отдельные солнца — невидимы так же, как нам атомы, рассматривая в свой «микроскоп» это «небо», наконец, заметит солнца и воскликнет радостно: наконец то я открыл частицы в этой «материи», т. е. солнца. Но как он ошибется, приняв солнца за неделимые атомы.

Так и мы ошибемся, приняв электрон, протон или даже частицу эфира за атом. Рассудок и история наук нам говорит, что наш атом так же сложен, как планета или солнце.

Но к чему все это! Какой практический вывод! Я хочу сказать, что бесконечности утекших времен открывают нам ряд миров, составленных из веществ все более и более разреженных, все более и более упругих. (Замечено, что с уменьшением массы частиц их поступательная скорость увеличивается, а вместе с тем и упругость. Поэтому, с усложнением материи упругость уменьшается, с разложением — увеличивается.) Я хочу сказать, что эволюция и нашей материи будет продолжаться. Она даст в будущем миры, состоящие из частичек все более и более сложных, все более и более массивных. Их также будущие поколения сознательных существ сначала будут принимать за неделимые атомы. Но и они будут ошибаться, как ошибаемся мы.

Ну что же из этого? Что же дальше, скажет читатель. А то, что эти,

* Эта работа Циолковского напечатана в «Известиях Калужского общества изучения природы и местного края», кн. 3. Калуга, 1919, стр. 41—80 (Ред.).

ушедшие в вечность эпохи также создавали существа, которые достигали совершенства, как достигают его существа из нашей материи. Каждый разреженный мир дал «свои» твердые, жидкие и газообразные вещества, которые и послужили для образования разумных существ (из весьма тонкой материи). Всех подобных эпох было без конца сзади и без конца будет впереди. Одна из них — наша эпоха, с нашими разумными существами, подобными земным.

Что же выходит? Нашим воображением мы видим бесконечное число эпох в прошедшем и будущем и соответствующие им существа. Каковы они, имеют ли между собой связь, проявляют ли себя чем нибудь и могут ли проявить, не исчезают ли с возникновением новой эпохи?

Приведем пример. Эволюционировали животные и растения Земли. Они имели один источник — простейшую протоплазму. Даже можно сказать — неорганическую материю. Она дала протоплазму, из которой получился ряд самых разнообразных существ. Некоторые из них вымерли, но, в общем, развитие высших не мешало существовать без большего прогресса низшим, более древним, первобытным. Мы видим на земном пиру жизни одновременно: бактерий, инфузорий, червей, насекомых, рыб, водоземных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающихся и человека. Только могущество последнего грозит уничтожением враждебных ему существ. Но некоторые могут быть ему необходимы (бактерии и растения), другие — сознательны и полезны и ему нет смысла уничтожать их. Они остаются.

Не так ли эпохи, отрезки ужасающих времен, сохранили не только плотных существ нашей эпохи, но и легчайшие существа прошедших эпох. Многие из них могли исчезнуть, но не все: полезные и совершенные могли остаться, как останутся полезные людям существа.

Не можем ли мы их как-нибудь обнаружить? Если факты, которым мы не верим, пока сами не подпадем под их влияние. Они говорят за существование каких-то сил, которые узнают наши мысли, вмешиваются в наши дела и проч. Я не могу много про это сказать, так как доверяю только самому себе и не могу ручаться за испытанное другими. Сам же я был свидетелем таких явлений только два раза в жизни: недавно и 40 лет тому назад.

Что же это? Мистицизм, спиритизм, оккультизм, теософия, религия и проч.? Ничего подобного. Я не выступаю из пределов высшей науки, свободного разума и материальных понятий. Думаю и теперь, что спиритические и подобные явления, обыкновенно, есть результат галлюцинаций, болезни, обмана, фокусничества, заблуждения, легковерия и других человеческих слабостей. Но все ли? Нет ли между ними и достоверных фактов, подтверждающих бытие существ иных эпох и их силу?

По-моему антинаучно учение оккультистов о составе человека из многих сущностей: астральной, ментальной и проч. Я далек от этих вещей, которые представляют результат ограниченного знания или молодого увлечения юных впечатлений, которые мы никак не можем выбить из своего ума, как не можем отрешиться и от других впечатлений, воспринятых нами в детстве.

Мы раньше проповедывали повторяемость явлений или периодичность миров, их многократное разрушение и такое же возникновение. Она и есть, но периоды не совсем сходны, а как бы куда-то спускаются вниз, ибо дают все более сложную материю. Это можно уподобить волнистой дороге: мы, то подымаемся по ней, то опускаемся, между тем как не замечаем, что эта дорога в общем наклонна, т. е. с истечением каждого периода мы стоим ниже, чем раньше. Нет конца, конечно, ни периодам (волнам), ни понижению (спуску или усложнению и уплотнению материи).

Не было бы смысла распускать так наше воображение, если бы этого не требовала наличность явлений, которым я лично подвергнулся, как и некоторые другие. (Смотр. мое: Воля Вселенной) *. Личное испытание заставило меня вообще обратить внимание на явление других, бывших свидетелями таких же явлений. Раньше я их считал за результат заблуждения, обмана, легковерия или фокусничества. Почти 100% их и есть таковы, но не все.

Впрочем, с большею натянутостью, их можно объяснить и присутствием существ, подобных нам, по материалу, только более совершенных. Однако теоретически нельзя отрицать и существ бесконечно удаленных эпох, составленных из более элементарной соответствующей материи.

* Эта работа Циолковского опубликована в 1928 г. в Калуге (Ред.).

ТЕХНИКА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
кандидата технических наук
А. С. ФЕДОРОВА.

А. С. ФЕДОРОВ

РАБОТЫ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО
В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ

Трудно переоценить значение огромного вклада Константина Эдуардовича Циолковского в разработку теории реактивного движения, в обоснование возможности межпланетных сообщений, в решение многих практических задач, связанных с созданием ракет, сверхскоростных самолетов, летающих в высоких слоях атмосферы, дирижаблей и других аппаратов. Но разносторонность дарований Константина Эдуардовича Циолковского поистине уникальна. Его изобретательская мысль непрерывно работала над совершенствованием многого из того, что окружает человека в его жизни, в трудовой деятельности. Все содержание жизни замечательного ученого, все его творчество определялось неустанной заботой о счастье людей, о прогрессе человечества, стремлением создавать новое, что может облегчить труд и украсить жизнь, «продвинуть человечество хоть немного вперед» *.

Публикуемые в этом томе работы Циолковского по технике можно разделить на четыре группы. К первой относятся статьи по скоростному наземному транспорту. Вторая группа работ связана с освоением энергии морских волн и изучением глубин моря. Третью группу составляют труды по расчету воздуходушных устройств и двигателей внутреннего сгорания. Наконец, четвертая группа исследований представлена статьями по освоению пустынь и практическому использованию солнечной энергии. Характерно, что подавляющее большинство этих работ относится к последнему десятилетию жизни ученого, т. е. ко второй половине двадцатых — первой половине тридцатых годов нашего столетия. Некоторые из них тогда же были опубликованы Циолковским в научных и научно-популярных изданиях или увидели свет в небольших брошюрах. Многие работы до сих пор хранились в государственных архивах и публикуются впервые в этом издании.

В своих работах даже по самым узким вопросам техники Циолковский предстает перед нами как смелый новатор, глубоко уверенный в торжестве человеческого разума, в могуществе науки. Все его технические и научные идеи являются результатом неутомимых исканий, глубоких

* К. Э. Циолковский. Первая модель чисто металлического аэронаута из волнистого железа. Калуга, 1913, стр. 1.

размышлений, помноженных на точные вычисления и многократные эксперименты.

Сейчас уже не отдельные ученые, а большие научные коллективы, целые лаборатории и институты, вооруженные совершенной научно-исследовательской аппаратурой, продолжают труды Циолковского и в области использования солнечной энергии, и в подчинении энергии моря, и в создании скоростного наземного транспорта.

К. Э. Циолковского увлекали идеи скоростного транспорта. Этой теме посвящены первые четыре статьи публикуемых здесь работ по технике.

Остановимся прежде всего на самой идее, положенной в основу публикуемых работ по скоростному наземному транспорту. Только в наше время в полной мере можно оценить ее необыкновенную глубину, новизну и огромную практическую значимость. В годы, когда эксплуатационные скорости железнодорожного транспорта порядка 50—60 км/час считались чуть ли не предельными, а полет аэроплана с часовой скоростью в 250—300 км выглядел как огромный успех техники, Циолковский мечтал о сверхскоростях не только в космосе, но и в земной атмосфере. Он предвидел возможности резкого увеличения скорости и наземного транспорта.

Какими же путями можно добиться многократного увеличения скорости средств передвижения на Земле? Циолковский дает точный ответ на этот вопрос: только применением принципиально нового метода, новых технических устройств. Ими должны явиться средства транспорта не катящиеся по дороге, а парящие над дорогой. Упругая и эластичная воздушная подушка, вот что должно отделять скоростной вагон от дороги.

После тщательных математических расчетов, подкрепляющих правоту его технической идеи, Циолковский, верный себе, думает и о ее практическом выполнении. Он предлагает различные варианты скоростных вагонов, обосновывает их размеры, форму, думает над характером пути. Уже в первой статье он убежденно говорит о том времени, когда поезда, используя силу инерции, будут «перескакивать через реки, пропасти и горы любых размеров», когда «не нужно будет мостов, тоннелей и больших земляных и горных работ». В интересной работе «Общие условия транспорта», написанной в январе 1934 г. и впервые публикуемой в этом издании, Циолковский практически рассматривает даже частные детали предлагаемых им аппаратов — характер двигателя, форму и конструкцию вагона, устройство краин, профиль пути и т. д. Он останавливается на простейших конструкциях дорожных машин, которые постепенно, без больших затрат, могут совершенствоваться грунтовые дороги.

Но самое важное и интересное в помещенных здесь работах по наземному транспорту, это принципиально новая идея воздушной подушки, впервые так широко поставленная и научно обоснованная выдающимся русским ученым еще несколько десятилетий тому назад. Теперь эта идея близка к своему практическому претворению в жизнь. Уже созданы опытные конструкции автомобилей и судов, которые опираются на упругую подушку сжатого воздуха.

Неоднократно подчеркивал ученый важность изучения подводного мира. Уже при жизни Циолковского человечество изрядно преуспело в покорении морских и океанских глубин.

К. Э. Циолковский рассчитал различные варианты подводных научных лабораторий и пришел к выводу, что уже при современных ему материалах глубина погружения батисферы может достигать без всякой опасности для исследователя не сотен метров, а нескольких километров. Дальнейшее развитие батисферостроения полностью подтвердило эти прогнозы ученого.

Большой интерес представляет работа К. Э. Циолковского, посвященная практическому использованию энергии морских волн. Эта тема, также как и утилизация потенциальных запасов энергии, возникающих в результате приливов и отливов, столетия волнует человечество и даже в наши дни далека еще от широкого практического разрешения. Ученый предлагает очень простые конструкции, способные превращать колебательные движения волн во вращение маховика новой силовой установки. Однако и в этом случае, как всегда, Циолковский ставит и решает комплексную задачу. Его интересует не только использование энергии морских волн, но и их укрощение. Не случайно силовые установки, работающие на энергии волн, он объединяет в единое понятие с волноломом — устройством, успокаивающим волнение, предохраняющим берега и различные сооружения от разрушительной силы прибой.

Не случайно ряд работ К. Э. Циолковского посвящен воздуходушным устройствам.

Последнее десятилетие жизни ученого совпало с началом индустриализации нашей Родины, развернутой Коммунистической партией. Это были годы, когда закладывался индустриальный фундамент социализма, создавались первые гиганты металлургии, машиностроения, энергетики. Опрямные количества сжатого воздуха нужны были всюду — и для питания металлургических агрегатов, и для приведения в действие многих пневматических устройств в различных отраслях промышленности. Однако в нашей стране в то время еще не было налажено производство совершенных воздуходушных машин турбокомпрессорного типа, в том числе и осевых многоступенчатых компрессоров. Публикуемые здесь работы Циолковского, особенно «Сжиматель газа и его расчет», были для своего времени исключительно актуальными и не потеряли значения и в наши дни. Они отличаются своей четкостью, ясностью, целеустремленностью и универсальностью, т. е. возможностью широкого использования при решении практических задач в самых разнообразных производственных условиях.

Работы К. Э. Циолковского по технике завершаются серией статей, посвященных освоению пустынь и использованию энергии Солнца. Ученый стремился использовать для целей орошения пустынь влагу, содержащуюся в атмосфере, а также грунтовые воды. В обоих случаях он произвел необходимые расчеты и предложил остроумные конструктивные решения (см. статью «Освоение жарких пустынь» и др.).

Внимание ученого привлекли также вопросы непосредственного использования солнечной энергии. В статье «Солнце и завоевание пустынь» он останавливается на многих аспектах применения солнечной энергии. Здесь и регулирование температуры в жилищах, и устройство кухонь, бань и прачечных, и получение пара для энергетических целей, и плавка металлов, и многое другое. При этом Циолковский предлагает конструкции ряда гелиотехнических устройств — цилиндрических зеркал и котлов, которые до этого многократно испытывались им в Калуге и дали превосходные результаты.

К. Э. Циолковский предвидел огромную роль гелиоэнергетики в ближайшем будущем и всеми силами старался приблизить это будущее. Он предсказывал, что особенно широкое применение солнечные машины найдут в космосе, «когда человек завладеет околосолнечным пространством и будет строить жилища близ планет или поблизости астероидов». Уже сейчас искусственные спутники Земли и автоматические космические станции, посылаемые к далеким планетам, снабжаются солнечными батареями, питающими энергией радиопередатчики и другие аппараты этих станций.

Три десятилетия минуло со дня смерти К. Э. Циолковского. Это были годы могучего прогресса науки и техники, годы свершений многих идей замечательного ученого и изобретателя.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХА И СКОРЫЙ ПОЕЗД *

1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХА

Опытные (эмпирические) формулы, выведенные мною и другими, недостаточны, потому что относятся к небольшим скоростям и не очень длинным поверхностям.

В пределах опыта и немного далее они хороши, но для длинных тел и небывалых скоростей применение их может дать сомнительные результаты.

Попытаемся тут привести теоретические формулы трения и сопротивления птицеподобных тел, пригодные для любых скоростей и больших поверхностей.

Сопротивление воздуха от трения. Вообще все вычисления в этой статье только приближительны. Основа их — метр и производные практические единицы, которые иногда для удобства я перевожу на более мелкие или крупные.

Имеем поверхность прямоугольника шириною в b , длиною в l , которая мчится по направлению своей длины со скоростью v . Будем определять трение одной его стороны. Слой воздуха, приведенный в движение трением в течение одной секунды, будет иметь вид тонкого прямоугольника с площадью:

$$S = b \cdot v. \quad (1)$$

Масса этого воздушного слоя будет:

$$m = \rho b v \delta, \quad (2)$$

где δ — есть средняя толщина прилипшего к поверхности и увлекаемого ею слоя воздуха со скоростью v . Затраченная на это работа в практических единицах выразится:

$$R = m \frac{v^2}{2g} = \rho b \delta \frac{v^3}{2g}, \quad (3)$$

тут g — есть ускорение земной тяжести. Толщина увлекаемого слоя зависит от времени, в течение которого движущаяся поверхность действовала

* Опубликовано впервые в Калуге в 1927 г. (Ред.).

на какую-либо часть прилегающего воздуха, от свойства газа и его температуры и от свойства поверхности. Последними двумя влияниями мы пренебрежем. Время действия плоскости на определенную часть проходимого воздуха пропорционально длине поверхности и обратно скорости ее. Очевидно, оно равно:

$$t = l : v. \quad (4)$$

Например, при длине в 1 м и скорости в 1 м/сек это время составляет одну секунду. При скорости вдвое большей — полсекунды, а при поверхности в 10 м — 10 сек.

Из моих опытов видно, что при длине в 1 м и такой же скорости средняя толщина прилипшего слоя составляет менее одного сантиметра (0,84 см), (см. мой отчет Академии наук, 1900 г.) *.

Если длина и скорость увеличатся в одинаковое число раз, то толщина прилипшего газа останется та же, так как время действия трения на любую часть прислоненного к поверхности воздуха останется без изменения: значит, слой его по-прежнему не превысит сантиметра. Разница будет только в скорости: чем она больше, тем и увлекаемый слой движется быстрее, и, конечно, сопротивление от этого будет возрастать в квадрате, а секундная работа — в кубе.

Так обстоит дело, если скорость поверхности и длина ее выражаются одним числом метров. В таком случае имеем:

$$\delta = \delta_1 \quad (4_1)$$

и

$$v = l. \quad (5)$$

Работа в секунду равна:

$$R = X_{\text{тр}} \cdot v, \quad (6)$$

где $X_{\text{тр}}$ означает сопротивление воздуха от трения. Теперь из (3), (4), (5) и (6) получим:

$$X_{\text{тр}} = \frac{b}{2g} \delta_1 \rho v^2 = \frac{b}{2g} \delta_1 \rho l^2. \quad (7)$$

Тут скорость и длина пластинки связаны обязательным равенством. Тогда $X_{\text{тр}}$ выразит величину трения любой поверхности, движущейся с любой скоростью. Трение, приходящееся на единицу площади, будет:

$$\frac{\delta_1}{2g} \rho l = \frac{\delta_1}{2g} \rho v, \quad (8)$$

т. е. оно пропорционально длине пластинки или ее скорости. Сопротивление плоскости при движении ее по нормали к ней будет:

$$X_{\text{пл}} = l b \rho \frac{v^2}{2g} C_{X_{\text{пл}}}, \quad (9)$$

где $C_{X_{\text{пл}}}$ — есть поправочный коэффициент, в среднем близкий к 1,5. Сравним это сопротивление с трением (7). Увидим, что трение меньше во столько раз:

$$\frac{l C_{X_{\text{пл}}}}{\delta_1} = \frac{v \cdot C_{X_{\text{пл}}}}{\delta_1}, \quad (10)$$

* «Доклад в Императорскую академию наук об опытах по сопротивлению воздуха», хранящийся в настоящее время в Московском отделении архива АН СССР (фонд 555, оп. 1, д. 6) (Ред.).

т. е. сопротивление нормальное больше трения одной стороны во много раз (особенно при большой скорости движения и, конечно, длинной плоскости). Если, например, $v = l = 10$, $C_{X_{пл}} = 1,5$, $\delta_1 = 0,0084$, то трение будет меньше в 178,6, вообще, в 178,6 v . Так, при скорости или длине в один метр трение меньше в 178 раз.

Каково же будет трение, если нет числового равенства между скоростью пластинки и ее длиной? В этом случае из (3) и (6) имеем:

$$X = \frac{b}{2g} v^2 \delta \rho. \quad (11)$$

Здесь толщина уже может быть и больше, и меньше одного сантиметра, смотря по времени действия пластинки на воздух: это уже величина переменная. Она находится в какой-то зависимости от времени и, разумеется, увеличивается одновременно с ним. Если бы толщина прилипшего слоя газа была пропорциональна времени [см. (4)] действия на него площади, то сопротивление выразилось бы простой формулой [из (11) и (13)]:

$$X = \frac{\delta_1}{2g} (bl) \rho v, \quad (12)$$

так как тогда бы [см. (11) и (4)]:

$$\delta = \delta_1 \frac{l}{v}. \quad (13)$$

Тогда бы трение было пропорционально поверхности пластинки и скорости ее движения.

Но никак нельзя считать, что толщина увлекаемого слоя воздуха пропорциональна времени (4). С увеличением его эта толщина возрастает гораздо медленнее, чем время. Наоборот, с уменьшением его эта толщина (δ) убывает не так быстро, как время. Означим влияние времени (4) на толщину слоя через функцию времени $f(t)$ или проще — через $f_{тр}$. Теперь мы можем написать:

$$\delta = \delta_1 f(t) = \delta_1 f\left(\frac{l}{v}\right) = \delta_1 f_{тр}. \quad (14)$$

Теперь из этого и (11) найдем:

$$X = X_{тр} = \frac{b}{2g} \rho \delta_1 f_{тр} \cdot v^2, \quad (15)$$

т. е. вообще сопротивление от трения ($X = X_{тр}$).

Коэффициент трения показывает величину трения по отношению к сопротивлению такой же плоскости, движущейся с такой же скоростью по направлению своей нормали.] По (9) найдем такой коэффициент ($C_{X_{тр}}$):

$$C_{X_{тр}} = \frac{X_{тр}}{X_{пл}} = \frac{\delta_1 f_{тр}}{C_{X_{пл}} \cdot l}. \quad (16)$$

Значит, коэффициент уменьшается с длиной плоскости и медленно увеличивается с возрастанием этой длины ($f_{тр}$). Нагляднее всего есть величина, обратная коэффициенту. Она показывает, во сколько раз

нормальное сопротивление пластинки больше трения одной ее стороны. Имеем:

$$1 : C_{X_{\text{тр}}} = \frac{C_{X_{\text{пл}}} \cdot l}{\delta_1 \cdot f_{\text{тр}}}. \quad (17)$$

Некоторые соображения показывают, что приблизительно, когда отношение $l : v$ больше единицы (например, для дирижаблей и очень длинных поездов), то

$$f_{\text{тр}} = 1 + \ln \left(\frac{l}{v} \right), \quad (18)$$

где \ln означает натуральный логарифм. Если же отношение $l : v$ меньше единицы (например для моделей аэропланов и автомобилей), то функция времени будет:

$$f_{\text{тр}} = 1 : \left\{ 1 + \ln \left(\frac{v}{l} \right) \right\}. \quad (19)$$

Обе формулы можно выразить одной так:

$$f_{\text{тр}} = \left\{ 1 \pm \ln \left(\frac{l}{v} \right) \right\}^{\pm 1}. \quad (20)$$

Первый знак относится к дирижаблям, второй — к автомобилям. На этом основании можем дать в следующей таблице (21) обратные коэффициенты трения.

Средняя толщина δ прилипающего воздушного слоя по моим опытам (Отчет Академии наук, 1900 г., находится у проф. И. В. Станкевича и у меня — в черновике) * составляет около 0,0084 м. Она немного зависит от температуры и состояния поверхности, но мы этими влияниями пренебрежем. $C_{X_{\text{пл}}} = 1,5$ (среднее между крайними экспериментами). Следовательно:

$$1 : C_{X_{\text{тр}}} = 178,6 \frac{l}{f_{\text{тр}}}. \quad (22)$$

Это даст нам возможность составить табл. 21.

Из табл. 21 видно, что трение одной стороны плоскости во много раз меньше сопротивления той же плоскости при нормальном ее движении с той же скоростью. Для величины трения обеих сторон числа таблицы надо уменьшить вдвое. Трение при длинных поверхностях (по направлению движения) и больших скоростях может быть очень мало. Так, для длины в 70 м (по направлению движения) и скорости в 300 м/сек трение меньше сопротивления нормального почти в 22 000 раз. Из формул (17) и (20) ясно, что коэффициент трения при одном и том же отношении уменьшается пропорционально увеличению длины (по направлению движения). Малость трения для очень больших поверхностей и скоростей не оправдывается на опыте. На деле трение оказывается гораздо больше и почти пропорционально поверхности. Причина — в неправильности и шероховатости поверхностей. И для малых поверхностей оно больше, так как мы не принимаем в расчет лобовое сопротивление или сопротивление ребра, которое

* См. сноску на стр. 312 (Ред.).

все же имеет некоторую толщину, как бы пластинка не была тонка. Наши коэффициенты могут оправдаться только при идеально тонких, правильных и гладких плоскостях. Это обстоятельство нам уясняется толщиной прилипающего к пластинке воздуха. Мы вычисляем ее по формулам (14) и (20) и даем в табл. 21₁.

При коротких поверхностях и больших скоростях толщина слоя очень мала, до 1 мм и менее. Поэтому тут требуется поверхность тонкая и гладкая, неровности и бугорки которой должны быть гораздо менее 1 мм. При длинных поверхностях и больших скоростях толщина слоя по таблице доходит до 8 мм. Тут волны и неровности плоскости должны быть малы по отношению к 8 мм, чего нелегко достигнуть, имея в виду громадную поверхность. Вообще, надо принять за правило, что уклонение тонкой трущейся плоскости* и ее шероховатости должны быть гораздо меньше толщины прилипающего слоя среды (табл. 21₁), чтобы сопротивление от трения хоть отчасти согласовалось с нашими формулами.

При сопротивлении плавных удлиненных тел вращения сопротивление ребра отсутствует; кроме того, при некоторых конструкциях (мои металлические дирижабли) можно придать поверхностям чрезвычайно плавную форму. Тогда формулы наши должны давать результаты, довольно близкие к истине.

Ввиду большой длины дирижаблей и не очень значительной скорости прилипший слой атмосферы достигает 28 мм. Так что углубления волн моего дирижабля, ввиду их незначительности (2—4 мм), весьма немного увеличат трение.

Наши формулы применимы и к другим газам и жидкостям; но так как подвижность частиц у них иная, то постоянный коэффициент или толщина прилипающего слоя жидкости (δ_1) будет также иной. Надо ее определить опытом и поставить вместо числа 0,0084.

Сопrotивление плавных поверхностей вращения (веретено, яйцо, шар). Пусть имеем поверхность вращения хорошей формы (птица, дирижабль). Определим сопротивление воздуха при прямолинейном и равномерном движении тела. Оно складывается из сопротивления от раздвижения воздуха в стороны, или сопротивления от инерции ($X_{ин}$), и сопротивления от трения ($X_{тр}$), которое сводится, как видели, тоже к сопротивлению от инерции (ибо увлекается тонкий слой среды).

Сопротивление шара узнается опытом. Оно в 2,5 раза меньше сопротивления его большого круга. Значит, оно равно:

$$X_{ш} = X_{пл} C_{X_{ш}}, \quad (23)$$

где $C_{X_{ш}}$ — есть коэффициент шара (0,4), а $X_{пл}$ определяется формулой (9), только lb надо заменить на $\frac{\pi}{4} D^2$, где D есть диаметр шара. Так что

$$lb = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (23_1)$$

Продолговатость шара равна 1.

* Подразумевается: от идеальной плоскости (Ред.).

Таблица 21

Величина, обратная коэффициенту сопротивления

$$1 : C_{X_{гр}} = 180 \cdot l : f_{гр}$$

Скорость, м/сек	Длина, м													
	1	3	5	7	10	15	20	30	50	70	100	150	200	300
1	180	257	345	427	545	728	900	1227	1833	2400	3214	4490	5714	8896
3	378	540	596	681	818	1035	1241	1636	2363	3036	3996	5472	6923	9643
5	470	815	900	940	1065	1285	1512	1935	2727	3462	4500	6137	7676	10610
7	531	999	1206	1260	1324	1534	1759	2204	3030	3818	4914	6650	8276	11345
10	594	1190	1520	1710	1800	1930	2130	2570	3448	4271	5454	7278	9000	12270
15	668	1410	1890	2220	2520	2700	3340	3195	4091	4961	6210	8181	10280	13500
20	720	1566	2142	2583	3040	3455	3600	3860	4687	5600	6894	8940	10910	14555
30	793	1782	2511	3093	3780	4560	5040	5400	5960	6811	8154	10345	12410	16360
50	884	2058	2970	3737	4700	5950	6910	8154	9000	9403	10856	12860	15120	19360
70	945	2241	3276	4158	5310	6885	8100	9990	12060	12600	13230	15340	17560	21950
100	1008	2434	3600	4610	5940	7830	9400	11900	15210	17098	18000	19285	21300	25710
150	1082	2652	3960	5122	6680	8910	10840	14100	18900	22201	25290	27000	28125	31950
200	1134	2808	4221	5484	7002	9695	11880	15660	21500	25830	30420	34560	36000	38575
300	1206	3024	4582	5995	7920	10800	13360	17820	25110	30933	37800	45630	50580	54000
500	1300	3305	5040	6638	8838	12177	15192	20574	29700	37420	46980	59400	69120	81540
700	1359	3483	5346	7056	9450	13041	16380	22410	32760	41580	53100	68580	81000	99900
1000	1424	3677	5670	7510	10080	14040	17676	24354	36000	46110	59400	78300	93960	119000

Таблица 21.

Средняя толщина приставшего воздушного слоя в мм

Скорость, м/сек	Длина, м																			
	1	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60	70	100	150	200	300	400	500	700	1000
1	8,4	17,6	21,8	24,4	27,7	31,1	33,6	37,0	39,5	41,2	42,8	44	47	50	53	56	58	60	63	66
3	4,0	8,4	12,6	15,1	18,5	21,8	24,4	27,7	30,2	31,9	33,6	35	38	41	44	47	49	51	54	57
5	3,2	5,5	8,4	10,9	14,3	17,6	20,2	23,5	26,0	27,7	29,4	30	34	37	39	43	45	47	50	53
7	2,9	4,5	6,2	8,4	11,3	14,3	17,2	20,6	23,0	24,8	26,4	28	30	34	37	40	42	44	47	50
10	2,5	3,8	4,9	6,2	8,4	11,7	14,3	17,6	20,1	21,8	23,5	24	28	31	34	37	40	41	44	47
20	2,1	2,9	3,5	4,1	5,0	6,6	8,4	11,7	14,3	15,9	17,6	19	22	25	28	31	33	35	38	41
30	1,9	2,5	3,0	3,4	4,0	5,0	6,0	8,4	10,9	12,6	14,3	15	18	22	24	28	30	32	35	38
50	1,7	2,2	2,5	2,9	3,2	3,8	4,4	5,5	6,8	8,4	10,1	11	14	18	20	24	26	28	31	34
100	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	4,0	4,4	5,0	5,5	6,2	8,4	10,8	14	18	20	22	25	28
200	1,3	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	5	6,5	8,4	12	14	16	19	22
300	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	4	5	6	8,4	11	13	15	18
500	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	2,8	3,2	3,8	4,4	5,6	6,8	8,4	11	14
700	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,9	3,3	3,7	4,6	5,3	6,3	8,4	11
1000	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,9	3,2	3,8	4,4	4,9	6,2	8,4

Продолговатость (λ) эллипсоида вращения имеет удлиненность большую. Именно:

$$\lambda = \frac{l}{D}. \quad (24)$$

Расчеты показывают, что сопротивление от инерции ($X_{ин}$) удлиненных тел приблизительно обратно пропорционально квадрату их продолговатости (λ). Так что сопротивление эллипсоида вращения будет:

$$X_{ин} = \frac{X_{ш}}{\lambda^2}. \quad (25)$$

Для более острых или тупых тел чем эллипсоид (при той же продолговатости) мы введем сюда поправочный коэффициент K_{ϕ} , зависящий от уравнения образующей кривой. Значит, вообще:

$$X_{ин} = X_{ш} \cdot K_{\phi} : \lambda^2. \quad (26)$$

Но сопротивление от инерции еще уменьшается от быстроты, так как сжатый спереди воздух переходит затем на корму, давит на нее, помогает движению и уменьшает через это сопротивление тем больше, чем скорость значительнее и тело короче *. И, обратно, медленность движения и большая удлиненность увеличивают сопротивление от инерции. На этом основании мы должны в формулу (26) еще ввести поправку, зависящую от удлиненности тела и скорости его движения. Одним словом, вместо (26) мы напишем:

$$X_{ин} = \frac{X_{ш}}{\lambda^2} f\left(\frac{l}{v}\right) K_{\phi} = \frac{X_{ш}}{\lambda^2} K_{\phi} \cdot f_{ин}. \quad (27)$$

Здесь $f(l/v)$ для краткости означаем $f_{ин}$. Теперь из этого (23), (9) и (23₁) найдем:

$$X_{ин} = \frac{\pi D^2 v^2}{8g\lambda^2} \rho C_{X_{пл}} K_{\phi} \cdot C_{X_{ш}} \cdot f_{ин}. \quad (28)$$

Сюда присоединяем сопротивление тела от трения ($X_{тр}$). Но, во-первых, в формуле (15)

$$b = \pi D, \quad (29)$$

во-вторых, мы должны еще ввести поправочный коэффициент, меньший единицы и зависящий от суживания (η) поверхности вращения к ее концам.

Тогда получим вместо (15):

$$X_{тр} = \frac{\pi D}{2g} \rho \delta_1 \eta v^2 f_{тр}. \quad (30)$$

Полное сопротивление от трения и инерции будет:

$$X_{полн} = X_{тр} + X_{ин} = \frac{\pi D^2}{8g} \cdot \rho v^2 \left(\frac{C_{X_{ш}} K_{\phi} \cdot C_{X_{пл}} \cdot f_{ин}}{\lambda^2} + \frac{4\eta \delta_1 \cdot f_{тр}}{D} \right). \quad (31)$$

Мои опыты показали (отчет Академии наук, 1900 г.)**, что при неиз-

* Утверждая это, Циолковский находился на современных ему представлениях о сопротивлении воздуха (Ред.).

** См. сноску на стр. 312 (Ред.).

менном диаметре (D) моделей наивыгоднейшая продолговатость (λ) мало зависит от скорости (v) продолговатого тела. Отсюда видно, что хоть приблизительно мы можем считать обе функции в (31) одинаковыми, и потому можем положить:

$$f_{\text{ин}} = f_{\text{тр}} = f. \quad (32)$$

Тогда, вместо (31), получим:

$$X_{\text{полн}} = \frac{\pi D^3}{8g} \rho v^2 f \left(\frac{C_{X_{\text{ш}}} \cdot K_{\Phi} C_{X_{\text{пл}}}}{\lambda^2} + \frac{4\eta\delta_1}{D} \right). \quad (33)$$

Функция же f определяется по формуле (20). Коэффициент полного сопротивления ($C_{X_{\text{полн}}}$), или сопротивление по отношению к плоскости наибольшего поперечного сечения тела, на основании (9) и (23₁) будет:

$$C_{X_{\text{полн}}} = \frac{X_{\text{тр}} + X_{\text{ин}}}{X_{\text{пл}}} = \frac{f}{C_{X_{\text{пл}}}} \left(\frac{C_{X_{\text{ш}}} K_{\Phi} C_{X_{\text{пл}}}}{\lambda^2} + \frac{4\eta\delta_1}{D} \right). \quad (34)$$

Если вспомнить уравнение (20), то, определяя минимум сопротивления известными способами (первая производная приравняется нулю), найдем наивыгоднейшую продолговатость (λ):

$$\lambda = \sqrt{\frac{C_{X_{\text{ш}}} K_{\Phi} C_{X_{\text{пл}}}}{4\lambda\delta_1} D \left(1 \pm 2 \ln \frac{D\lambda}{v} \right)}. \quad (35)$$

Плюс надо брать, когда длина тела ($D\lambda = l$) более его скорости, а минус — когда скорость его больше длины. Первый знак относится к дирижаблям, второй — к автомобилям и небольшим телам.

Чтобы решить уравнение (35), выразим его сокращенно:

$$\lambda = n \sqrt{1 \pm 2 \ln \frac{D\lambda}{v}}. \quad (36)$$

Означим последовательные приближения через $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и т. д. Тогда первое приближение будет:

$$\lambda_1 = n, \quad (37)$$

второе:

$$\lambda_2 = n \sqrt{1 \pm 2 \ln \frac{D\lambda_1}{v}}, \quad (38)$$

третье:

$$\lambda_3 = n \sqrt{1 \pm 2 \ln \frac{D\lambda_2}{v}} \quad (39)$$

и так далее.

n , очевидно, равно:

$$n = \sqrt{\frac{C_{X_{\text{ш}}} K_{\Phi} \cdot C_{X_{\text{пл}}}}{4\eta \cdot \delta_1} D}. \quad (40)$$

Из (35) видно, что при неизменном отношении длины ($D\lambda = l$) дирижабля к его скорости наивыгоднейшая продолговатость будет пропорциональна квадратному корню из его диаметра (D).

Положим, например, что $D\lambda/v = 1$, т. е. какова численная величина длины тела, такова же и скорость его.

Тогда:

$$\lambda = v. \quad (41)$$

Положим тут:

$$C_{X_{III}} = 0,4; K_{\Phi} = 1; C_{X_{III}} = 1,5; \eta = 0,75; \delta_1 = 0,0084. \quad (42)$$

Тогда найдем:

$$\lambda = 4,88\sqrt{v}. \quad (43)$$

Например (44):

$v = D$	. . . . .	1	4	9	16	25 м
		. . . . .	4,88	9,76	14,64	19,52 24,40

Так, для большого дирижабля высотой в 25 м, и с такою же секундною скоростью (90 км/час) выгоднейшая продолговатость больше 24. На практике вследствие недостатков формы, а главное — разных выпуклостей и вдавлений поверхности, наивыгоднейшая продолговатость, вероятно, гораздо меньше. Притом и другие условия мешают пользоваться дирижаблём такой значительной удлиненностью. При неизменном отношении длины ($D\lambda$) к скорости (v) тела для λ получим формулу, подобную (43), только всегда числовой коэффициент будет больше.

(45). Формулу наивыгоднейшей продолговатости можем проверить на моих моделях (и сейчас некоторые из них еще сохранились; есть и фотография этих остатков).

У меня наибольший поперечник (D) их был в 10 см, или 0,1 м. Длина разная.

Наивыгоднейшая продолговатость при всех скоростях (от 1 до 4 м/сек) была около 3,3. Формула (35) нам даст для скорости в 1 м/сек: $\lambda = 2,95$, а для скорости в 4 м/сек — $\lambda = 3,65$. В среднем $\lambda = 3,3$, что не противоречит опытам. Сделаем еще расчет автомобиля.

(46). Положим: $D = 2$ м; $v = 100$ м/сек (360 км/час). Тогда вычислим: $\lambda = 11,7$. Значит, продолговатость (экономная) для небольших тел (аэроплан, вагон хорошей формы) невелика, и сопротивление, стало быть, значительно.

Только громадные тела (например дирижабли) имеют большую наивыгоднейшую продолговатость и, стало быть, очень малое сопротивление [(31) и (34)]. Но там как раз большая продолговатость неудобна. Увеличение же скорости малых тел — очень медленно [(35) и (36)] увеличивает наивыгоднейшую продолговатость и уменьшает сопротивление. Дирижабли будут иметь малое сопротивление и большую скорость только тогда, когда найдут возможность их строить более удлиненными чем теперь: разумеется, при хорошей форме, без складок, без выпуклости и углов.

Из (34) можем узнать отношение между величиною сопротивления от инерции и от трения:

$$\frac{X_{ин}}{X_{тр}} = \frac{C_{X_{III}} K_{\Phi} C_{X_{III}} D}{4\eta\delta_1\lambda^2}. \quad (47)$$

Отсюда видно, что если D возрастает как λ^2 , то это отношение не меняется. Например, если продолговатость вдвое больше, то высота (D) дирижабля должна учетвериться. Если отношение $D : \lambda^2$ велико, то инерция преобладает; тогда продолговатость мала, а размер D велик. Если же $D : \lambda^2$ мало, то преобладает трение. Тогда форма острая и размер мал.

Подставляя в формулу (47) наимыгоднейшую продолговатость (λ) из формулы (35), узнаем, во сколько раз при этом сопротивление от трения больше сопротивления от инерции.

Получим:

$$\frac{X_{\text{тр}}}{X_{\text{ин}}} = 1 \pm 2 \ln \frac{D\lambda}{v}. \quad (48)$$

Сопротивление от трения при этом вообще будет больше сопротивления от инерции. Но если $D\lambda$ или длина тела выражается тем же числом, как и скорость его, то по (48) силы трения и инерции сравниваются. Возьмем, например, хорошей формы поезд или самолет длиной в 50 м, движущийся со скоростью в 50 м/сек (180 км/час). У него трение и инерция сравниваются. Если длина и скорость не равны, то трение при наимыгоднейшем сопротивлении будет больше, чем мы можем выразить следующей таблицей (49), применимой к дирижаблям.

(49)* $l : v = D\lambda : v$	...	1	2	3	4	5	7	10	20	30
(48 ₁) $X_{\text{тр}} : X_{\text{ин}}$	...	1	1,7	2,1	2,4	2,6	3,0	3,3	4	4,4

Когда, наоборот, скорость поезда будет во столько же раз больше длины ($D\lambda$) тела (для аэроплана), то таблица вида своего не изменяет, и трение будет опять больше сопротивления согласно таблице (48₁).

Мы отыскивали продолговатость, соответствующую наимыдшему сопротивлению тела (35). Еще интереснее найти сопротивление, приходящееся на единицу объема тела. Важно, чтобы оно было минимальным.

Объем тела, образованного вращением симметричной дуги параболы, будет:

$$V = \frac{2\pi}{15} K_V D^2 l = \frac{2\pi}{15} K_V D^3 \lambda. \quad (55)$$

Мы к этому объему приписали множитель K_V . Он больше единицы, если объем выпуклее параболического, и меньше, если форма острее. Из этого и (33) получим:

$$\frac{X_{\text{полн}}}{V} = \frac{15 C_{X_{\text{пл}}} \rho v^3}{16 g K_V D} f \left(\frac{C_{X_{\text{ш}}} K_{\Phi}}{\lambda^3} + \frac{4 \eta \delta_1}{C_{X_{\text{пл}}} D \lambda} \right). \quad (56)$$

Так как функция f [см (20)] изменяется весьма медленно, то сопротивление на единицу объема в общем непрерывно убывает с увеличением продолговатости λ и размера D корабля. Это указывает, что если бы не разные препятствия, то дирижабли и аэропланы выгодно было бы делать гораздо удлиненнее, чем это есть. Удлиненность плавающих животных,

* Здесь и ниже у Циолковского имеются пропуски в нумерации формул и параграфов (Ред.).

несмотря на их малые размеры (D), может быть очень велика (не переставая быть полезной). Этому еще способствует меньшее трение в воде (δ_1). Плавающие часто покрыты скользкой слизью (налим), еще более уменьшающей трение (δ_1). Выгоден большой диаметр (D), но не выгодна большая скорость (v). Если же D будет возрастать как квадрат скорости, то мы ничего не проиграем и от увеличения скорости. Положим, например, что скорость увеличилась в 3 раза, а D в 9 раз. Тогда сопротивление на единицу объема останется без изменения и при утроенной скорости.

Очень большая продолговатость пока неприменима к дирижаблям (конструктивно).

Если трение и сопротивление от раздвижения воздуха положим равными, то из (47) найдем:

$$\lambda = \sqrt{\frac{C_{X_{ш}} K_{\Phi} C_{X_{пл}}}{4\eta\delta_1} D}. \quad (57)$$

При обычных данных получим:

$$\lambda = 4,88 \sqrt{D}. \quad (58)$$

Эта формула позволяет составить следующую табличку (59):

$D, м$	1	15	20	25	30	40	50
λ	4,88	18,9	21,8	24,4	26,7	30,9	34,5

И эта удлиненность велика. Значит, трением для дирижабля можно пренебречь и принять в расчет одно только сопротивление от инерции. Тогда из (34) и (20) получим, приняв плюс коэффициент инерции ($C_{X_{ин}}$):

$$\frac{X_{ин}}{X_{пл}} = C_{X_{ин}} = t \frac{C_{X_{ш}} K_{\Phi}}{\lambda^2} = C_{X_{ш}} K_{\Phi} \left(1 + \ln \frac{D\lambda}{v}\right) : \lambda^2. \quad (60)$$

Положим тут $C_{X_{ш}} = 0,4$; $K_{\Phi} = 1$; $v = 20 м/сек$; $D = 20 м$.

Тогда вычислим для разных продолговатостей (λ):

$$C_{X_{ин}} = 0,4 (1 + \ln \lambda) : \lambda^2. \quad (61)$$

Отсюда составим таблицу для дирижаблей (62):

λ	3	4	5	6	7	8	9	10
$1 : C_{X_{ин}}$	10,7	16,8	23,8	32,2	41,5	52,0	63,3	75,8

Вторая строчка есть величина обратная коэффициенту сопротивления, это есть полезность формы, которая показывает, во сколько раз сопротивление дирижабля меньше сопротивления площади его наибольшего поперечного сечения. Из формулы (47) можем узнать также, во сколько раз инерция превышает сопротивление от трения при разных продолговатостях (λ).

Полагая $D = 20 м$, получим (63)

λ	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_{ин} : X_{тр}$	53	30	19	13,2	9,7	7,4	5,9	5,3

Следовательно, сопротивление от трения, даже при продолговатости в 10, увеличивает сопротивление дирижабля только на одну пятую. Интересно указать на среднюю толщину прилипающего от трения слоя воздуха, ответ на что могут нам дать формулы (14) и (20). В нашем примере $D = v = 20$. Значит:

$$\delta = \delta_1 (1 + \ln \lambda). \quad (64)$$

Следовательно, таблица (65) будет (δ выражена в см).

λ	3	4	5	6	7	8	9	10
δ	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8

Высоты волн моего металлического дирижабля (или углубления волн) могут быть гораздо меньше (от 4 мм, т. е. в 5—7 раз меньше). Но если от волнистой поверхности степень трения увеличится даже в 2 раза, то и тогда для дирижабля с продолговатостью в 6 оно (сопротивление от трения — *Ред.*) составит только седьмую долю сопротивления от инерции. Из формулы (47) видно, что для тел небольших размеров (D) при той же удлиненности (λ) сопротивление от трения составляет уже более значительную часть общего сопротивления, особенно для тел удлиненных. Положим, что, например, автомобиль или аэроплан имеет наибольшее поперечное сечение в 2 мм. Далее, $\lambda = 10$, а прочее как прежде. Тогда найдем по (47), что сопротивление от трения будет уже в 2,1 раза больше сопротивления от инерции. Поэтому для малых тел трением уже пренебрегать никак нельзя. Тогда надо пользоваться формулами (33) или (34). Для очень длинных поездов хорошей формы можно даже пренебречь инерцией. Так, если в предыдущем примере положить, что $\lambda = 100$, то трение уже будет больше сопротивления от инерции в 210 раз. При $\lambda = 20$ и то трение будет больше в 8,4 раза. Значит, для длинных поездов примерно с 50 м длиной можно откинуть сопротивление от инерции. Тогда из (20) и (34) найдем:

$$\frac{X_{\text{тр}}}{X_{\text{пл}}} = f \frac{4\eta\delta_1}{C_{X_{\text{пл}}} D} = \frac{4\eta\delta_1}{C_{X_{\text{пл}}} D} \left\{ 1 \pm \ln \left(\frac{D\lambda}{v} \right) \right\}^{\pm 1}. \quad (67)$$

Плюс относится к длине ($D\lambda$), которая больше скорости, а минус к длине, которая меньше скорости.

Будущие быстрые поезда могут иметь даже скорость, большую их длины ($D\lambda$). Так что для них придется брать минус. Положим пока, что эта скорость выражается одним числом с длиной вагона. Тогда вместо (67) получим:

$$\frac{X_{\text{тр}}}{X_{\text{пл}}} = \frac{4\eta\delta_1}{C_{X_{\text{пл}}} D}. \quad (68)$$

(69). Положим тут: $D = 3$; $l = D\lambda = 150$; $\lambda = 50$. Тогда вычислим: $X_{\text{тр}} : X_{\text{пл}} = 0,042 : D = 0,014$, т. е. полезность формы будет 71,4. Такая полезность возможна только при соблюдении хорошей, плавной формы тела. Среднюю толщину прилипшего слоя на основании (14) и (20)

определим в 0,84 см. Тут уже на поверхности не должны допускаться неровности и уклонения больше 2—3 мм. При большей скорости ($v > l$) лицевая поверхность должна быть еще ровнее и глаже.

II. СКОРЫЙ ПОЕЗД

Применение: скорый поезд. Идея предмета. Трение поезда почти уничтожается избытком давления воздуха, находящегося между полом вагона и плотно прилегающим к нему железнодорожным полотном. Необходима работа для накачивания воздуха, который непрерывно утекает по краям щели между вагоном и путем. Она велика, между тем, как подъемная сила поезда может быть громадна. Так, если сверхдавление в одну десятую атмосферы, то на каждый m^2 основания вагона придется подъемная сила в одну тонну. Это в 5 раз больше, чем необходимо для легких пассажирских вагонов.

Не нужно, конечно, колес и смазки. Тяга поддерживается задним давлением вырывающегося из отверстия вагона воздуха. Работа накачивания тут также довольно умеренна (если вагон имеет хорошую, легко обтекаемую форму птицы или рыбы). Является возможность получать огромные скорости.

Вследствие этого поезд по инерции, т. е. с разбега, одолевает все наклоны и взбирается на все горы без всякого усилия тяги.

Благодаря этому можно мечтать, что со временем он будет перескакивать через все реки, пропасти и горы любых размеров. Не нужно будет мостов, тоннелей и больших земляных и горных работ. Затруднение — в посадке поездов после прыжка.

Неудобство больших скоростей — в невозможности частых остановок. Чем больше скорость, тем меньше станций и тем больше расстояние между ними.

Торможение состоит в ослаблении или уничтожении прибавочного воздушного давления под вагоном. Такое торможение легко только при обыкновенных скоростях поездов. Остановку экономнее делать на вершине скагов или холмов. Тут останавливает тяжесть, и вагон совершает полезную работу подъема. При больших скоростях поезд быстро мчится сам собою даже без всякого участия тяги, перескакивает через рвы, озера, болота и возвышенности. Затруднение также и в большой начальной скорости, которую иногда приходится непроизводительно терять при остановках.

Разумеется, начнут с опытов, с малых скоростей. Путь будет не очень наклонный. Останутся сначала и мосты и тоннели.

Более точное понятие о скорых поездах дают следующие чертежи, вычисления и таблицы.

Описание чертежей. Чертеж 1 (рис. 1) представляет поперечное сечение вагона (В), полутруб (ТТ) в его основании, рельс (Р) и полотна между ними, составляющего одну плоскость с рельсами. В Т и Т независимыми друг от друга моторами накачивается воздух, который распространяется в узкой щели между вагоном и дорогой. Он поднимает поезд

на несколько миллиметров и вырывается по краям основания вагона. Последний уже не трется о полотно, а висит на тонком слое воздуха и испытывает только совершенно незначительное воздушное трение, как летящий предмет. Благодаря закраинам вагон не может сойти с рельс. Это уменьшает и утечку воздуха, так как поток его тут делает резкое изменение в своем направлении.

Чертеж 2 (рис. 2) изображает полотно (искусственную дорогу) и основание вагона. Основание делается мелкорифленным с двумя открытыми вниз каналами (Т, Т), куда накачивается воздух. Рифленая подпольная поверхность поезда также замедляет утечку газа и, значит, уменьшает работу его накачивания. Воздух поступает снаружи через переднее жерло (Ж) вагона и отчасти вытекает через щели кругом его, отчасти выходит через заднее отверстие (От), где через реакцию, или отдачу дает давление на поезд, заставляющее его двигаться. В, В — есть прибавочные концы вагона, уменьшающие сопротивление воздуха. Мотор, накачивающий воздух в заднее отверстие, также может быть независим от других моторов. Если отверстие это не сообщается с каналами (Т, Т), то давление у отверстия может отличаться силой от давления в каналах (Т, Т).

Чертеж 3 (рис. 3) показывает в поперечном разрезе другое устройство полотна и основания вагона: с круговым цилиндрическим полем. Тут не надо закраин. Кроме того, так как центр тяжести вагона вообще ниже его геометрического центра, то вагон обладает устойчивым равновесием, как пароход. Но устройство такого пути как будто труднее. Возможны и другие формы. Мы указали на более характерные.

Расчеты. Предполагаем путь прямолинейным и горизонтальным.

Для подъемной силы (У) прямоугольного основания вагона имеем выражение:

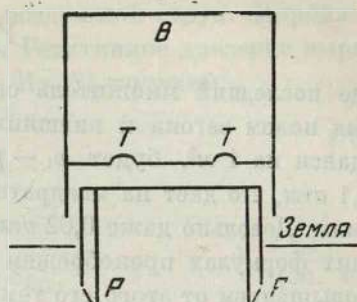


Рис. 1

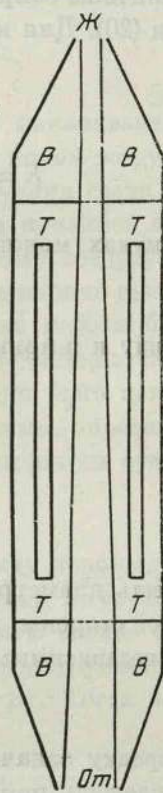


Рис. 2

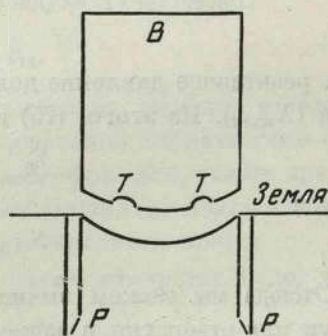


Рис. 3

$$Y = lb (p_1 - p), \quad (70)$$

где последний множитель означает разность между давлением воздуха под полом вагона и внешним его давлением. Подъемная сила, приходящаяся на 1 м^2 , будет $p_1 - p$. Совершенно достаточно сверхдавление в $0,1 \text{ атм}$, что дает на квадратный метр пола более одной тонны подъемной силы. Довольно даже $0,02 \text{ атм}$, т. е. 200 кг/м^2 . Ввиду этого мы в последующих формулах пренебрежем работою сжатия воздуха и незначительным повышением от этого его температуры. Мы считаем его как бы несжимаемой средой. Это уменьшит работу (или даст ошибку) не более чем на 5%.

Для величины сопротивления тел хорошей формы мы имеем уравнения (33), (34) и (20). Для краткости положим вместо (33):

$$X_{\text{полн}} = K v_{\text{п}}^2, \quad (71)$$

где

$$K \approx \frac{\pi D^2}{8g} \rho f \left(\frac{C_{X_{\text{ш}}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot C_{X_{\text{пл}}}}{\lambda^2} + \frac{4\eta\delta_1}{D} \right). \quad (71_1)$$

В формулах можно принять:

$$h = b, \quad (72)$$

т. е. высоту и ширину вагона одинаковой,

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot bh} \quad (73)$$

или

$$D = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{bh}, \quad (74)$$

где D — есть диаметр круга с площадью bh .

С другой стороны, давление реактивной воздушной струи сзади вагона, питаемое независимым мотором и насосами, будет:

$$p_2 = (p_{\text{стр}} - p) \cdot S_{\text{стр}}, \quad (75)$$

где по порядку означены: давление реактивное, разность струйного давления и площадь поперечного сечения струи. Установившееся равномерное движение поезда требует равенства:

$$p_2 = X_{\text{полн}}, \quad (76)$$

т. е. реактивное давление должно равняться полному сопротивлению воздуха ($X_{\text{полн}}$). Из этого, (75) и (71) получим:

$$(p_{\text{стр}} - p) \cdot S_{\text{стр}} = K v_{\text{п}}^2, \quad (77)$$

откуда

$$S_{\text{стр}} = K v_{\text{п}}^2 \cdot (p_{\text{стр}} - p). \quad (77_1)$$

Отсюда мы можем вычислить площадь и диаметр круглого сечения струи или отверстия в задней стенке вагона.

Теперь узнаем скорость ($v_{стр}$) реактивной воздушной струи. Нормальное давление ветра известно из формулы (9). Реактивное давление выражается, приблизительно, этой же формулой. Из (9) получим:

$$v^2 = \frac{2gX_{пл}}{lb\rho C_{X_{пл}}}. \quad (78)$$

Но здесь:

$$v = v_{стр};$$

$$X_{пл} = p_2 = (p_{стр} - p) S_{стр}. \quad (\text{см. } 75)$$

и

$$lb = S_{стр}.$$

Отсюда и из (78) найдем:

$$v_{стр} = \sqrt{\frac{2g(p_{стр} - p)}{\rho C_{X_{пл}}}}. \quad (79)$$

Работа моторов на поезде будет трех видов: 1) накачивание воздуха для поддержания вагона на весу слоем сжатого под полом воздуха; 2) накачивание воздуха под другим давлением для получения сзади давления, преодолевающего сопротивление встречного воздуха (в покойной атмосфере, т. е. без ветра) и, наконец, 3) мы должны встречному воздуху сообщить скорость, равную скорости поезда ($v_{п}$). Но так как давление газов ($p_1 - p$, $p_{стр} - p$) дает еще скорость ($v_{стр}$, $v_{щ}$), то прибавка работы будет соответствовать скоростям: $v_{п} - v_{стр}$ и $v_{п} - v_{щ}$. В последнем случае предполагается, что щельный воздух весь вырывается сзади, чего нет. Поэтому вернее прибавка просто $v_{п}$. Необходимо, между прочим, определить и все эти работы. Площадь отверстия щелей по окружности вагона будет:

$$S_{щ} = 2(b + l)c. \quad (80)$$

Тут c означает просвет, или среднее расстояние между полом вагона и полотном дороги. Количество утекающего воздуха узнаем по сечению щелей (80) и скорости щельного ($v_{щ}$) утекания. Последнюю можно определить по формуле (79). Надо только в ней заменить разность струйного давления ($p_{стр} - p$) разностью подпольного давления ($p_1 - p$). Тогда получим:

$$v_{щ} = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p)}{\rho C_{X_{пл}}}}. \quad (81)$$

Значит, объем утекающего через щели воздуха ($V_{щ}$) будет:

$$V_{щ} = 2(b + l)c \cdot v_{щ}. \quad (82)$$

На самом деле скорость утекания будет гораздо меньше вследствие громадного трения газа между полотном и рифленной поверхностью основания вагона. Потеря будет нормальной, т. е. по формуле, только при увеличении прозора (c) или поднятии вагона. Это поднятие полезно, так как при этом потребуется менее ровное полотно и основание поезда.

Также объем воздуха, убегающего через заднее отверстие, будет равен

$$V_{стр} = v_{стр} \cdot S_{стр}. \quad (83)$$

Теперь легко определить наименьшую для того и другого работу. Один компрессор работает для поддержания вагона на весу (полет своего рода). Ему приходится на единицу площади преодолевать давление $p_1 - p$, и его секундная работа составит:

$$R_{\text{щ}} = (p_1 - p) V_{\text{щ}}. \quad (84)$$

Второй нагнетатель дает другое давление $p_{\text{стр}} - p$, и его работа будет:

$$R_{\text{стр}} = (p_{\text{стр}} - p) V_{\text{стр}}. \quad (85)$$

Работа 3-го вида — работа инерции будет: щельная и струйная. Первая равна:

$$R_{\text{ин. щ}} = \frac{V_{\text{щ}} \rho}{2g} \cdot v_{\text{п}}^2. \quad (86)$$

Вторая:

$$R_{\text{ин. стр}} = V_{\text{стр}} \rho \frac{(v_{\text{п}} - v_{\text{стр}})^2}{2g}. \quad (87)$$

Ввиду сложности формул все четыре работы мы пока будем выражать отдельно. Положим:

$$l = D\lambda, \quad (88)$$

где λ — есть продолговатость поезда, или отношение длины к диаметру его среднего сечения. С помощью этого, (72) и (74) вместо (80) и (70) получим:

$$S_{\text{щ}} = (\sqrt{\pi} + 2\lambda) Dc \quad (89)$$

и

$$Y = \frac{V\sqrt{\pi}}{2} \lambda D^2 (p_1 - p). \quad (90)$$

Определим все четыре вида работы, приходящиеся на единицу подъемной силы. Из (84), (82), (81), (89) и (90) получим:

$$\frac{R_{\text{щ}}}{Y} = \frac{2c}{D} \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \sqrt{\frac{2g(p_1 - p)}{\rho C_{X_{\text{пл}}}}}. \quad (91)$$

Для сокращения формул будем постоянные и малопеременные выражения обозначать буквами: А, Б, Г и т. д.

Так, положим в (91):

$$\sqrt{\frac{2g}{\rho}} = A \quad (91_1)$$

и

$$\frac{2c}{\sqrt{C_{X_{\text{пл}}}}} \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) = \text{Ж}. \quad (91_2)$$

Тогда вместо (91) найдем:

$$R_{\text{щ}} : Y = \text{АЖ} \sqrt{p_1 - p} : D. \quad (91_3)$$

Следовательно, щельная работа уменьшается с увеличением размеров вагона и уменьшением давления под полом.

Прибавочная щельная работа по инерции (на единицу подъемной силы)

будет:

$$\frac{R_{\text{ин. ш}}}{Y} = \frac{V_{\text{ш}} \cdot \rho}{2gY} : (v_{\text{п}} - v_{\text{ш}})^2, \quad (92)$$

или, вернее:

$$\frac{R_{\text{ин. ш}}}{Y} = \frac{V_{\text{ш}} \rho}{2gY} v^2, \quad (92_1)$$

так как воздух из щелей растекается во все стороны.

Из этого и формул (82), (88), (72), (73) и (90) выводим:

$$\frac{R_{\text{ин. ш}}}{Y} = \frac{2c}{D} \sqrt{\frac{\rho}{2gC_{X_{\text{пл}}}(p_1 - p)}} \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) v_{\text{п}}^2. \quad (93)$$

На основании же упрощений (91₁) и (91₂) найдем вместо (93):

$$\frac{R_{\text{ин. ш}}}{Y} = \frac{\mathcal{K} v_{\text{п}}^2}{AD \sqrt{(p_1 - p)}}. \quad (93_1)$$

Отсюда видно, что эта дополнительная щельная работа тоже уменьшается с увеличением размеров (D) вагона и его продолговатости (λ), а также с уменьшением давления под полом. Но большая скорость поезда очень невыгодна.

Из (91₃) и (93₁) определим полную щельную работу ($R_{\text{ш. полн}}$):

$$\frac{R_{\text{ш. полн}}}{Y} = \frac{\mathcal{K}}{D} \left(A \sqrt{p_1 - p} + \frac{v_{\text{п}}^2}{A \sqrt{p_1 - p}} \right). \quad (93_2)$$

С помощью формул (85), (83), (79), (77₁) и (90) найдем реактивную работу струйного давления. Получим:

$$\frac{R_{\text{стр}}}{Y} = \sqrt{\frac{2g(p_{\text{стр}} - p)}{\pi \rho C_{X_{\text{пл}}}}} \cdot \frac{K v_{\text{п}}^2}{\lambda D^2 (p_1 - p)}. \quad (94)$$

Тут K известно из (33) и (71₁). Если же положим в этих формулах, что

$$C_{X_{\text{ш}}} \cdot K_{\phi} \cdot C_{X_{\text{пл}}} : \lambda^2 + 4\eta \delta_1 : D = B, \quad (94_1)$$

то

$$K = \frac{\pi D^2}{8g} \rho B f. \quad (94_2)$$

Теперь из этого, (92₁) и (94) получим:

$$\frac{R_{\text{стр}}}{Y} = \sqrt{\frac{\pi (p_{\text{стр}} - p)}{4C_{X_{\text{пл}}}(p_1 - p)^2} \cdot \frac{B \cdot f}{A \lambda}} \cdot v_{\text{п}}^2. \quad (95)$$

Отсюда видно, что реактивная работа струи уменьшается с уменьшением струйного напряжения и скорости поезда. Она уменьшается также с увеличением продолговатости (λ) и давления под полом вагона.

Действительно, чем оно больше, тем больше подъемная сила и тем работа, приходящаяся на единицу груза, будет меньше. B и f по (94₁) и (20) зависят от λ , но изменяются они не очень сильно.

Вычислим теперь относительную прибавочную работу инерции струи. Она выражается формулой (87). Из нее при посредстве формул (83), (79),

(77₁) и (90) получим вместо (87):

$$\frac{R_{\text{ин. стр}}}{Y} = \sqrt{\frac{2\rho}{\pi g C_{X_{\text{пл}}} (p_{\text{стр}} - p)}} \cdot \frac{K v_{\text{п}}^2}{\lambda D^2 (p_1 - p)} (v_{\text{п}} - v_{\text{стр}})^2. \quad (97)$$

Из этого согласно (94₂) и (91₁) найдем:

$$\frac{R_{\text{ин. стр}}}{Y} = \frac{B \cdot f}{2A^2 \lambda} \sqrt{\frac{\pi}{C_{X_{\text{пл}}}}} \cdot \frac{v_{\text{п}}^2 (v_{\text{п}} - v_{\text{стр}})^2}{(p_1 - p) \sqrt{p_{\text{стр}} - p}}. \quad (98)$$

Отсюда видно, что работа инерции струи возрастает пропорционально четвертой степени скорости поезда, если скорость задней воздушной струи незначительна. Напротив, вся работа инерции обращается в нуль, когда относительная скорость струи сравнивается со скоростью поезда. Вообще же эта работа уменьшается с увеличением продолговатости (λ) вагона и струйного давления под полом вагона.

Полную работу струи ($R_{\text{стр. полн}}$) получим из (95) и (98):

$$\frac{R_{\text{стр. полн}}}{Y} = \frac{B \cdot f}{2A\lambda} \sqrt{\frac{\pi}{C_{X_{\text{пл}}}}} \left\{ \sqrt{p_{\text{стр}} - p} + \frac{(v_{\text{п}} - v_{\text{стр}})^2}{A^2 (p_1 - p) \sqrt{p_{\text{стр}} - p}} \right\} \frac{v_{\text{п}}^2}{p_1 - p}. \quad (99)$$

Она имеет минимум, если:

$$v_{\text{стр}} = v_{\text{п}}. \quad (100)$$

Но тогда имеем условие, вытекающее из формулы (79). Это и (100) дают:

$$p_{\text{стр}} - p = \frac{\rho C_{X_{\text{пл}}}}{2g} \cdot v_{\text{п}}^2. \quad (101)$$

Отсюда видно, что при наименьшей работе струйное давление должно повышаться пропорционально квадрату скорости поезда. Следовательно, при условиях (100) и (101) найдем вместо (99) [см. (91₁)]:

$$\frac{R_{\text{стр. полн}}}{Y} = \frac{B \cdot f \sqrt{\pi}}{2A^2 \lambda} \cdot \frac{v_{\text{п}}^3}{p_1 - p}. \quad (102)$$

Значит, при высшей экономии струйная работа пропорциональна кубу скорости вагона. Но она уменьшается с увеличением его продолговатости и давления под полом вагона. Уравнения (93₂) и (102) нам говорят, что щельная работа возрастает с увеличением скорости поезда медленнее, чем работа струйная. Если обе работы приравнять, то найдем, что

$$v_{\text{п}} = \sqrt{M \left(1 + \frac{v_{\text{п}}^2}{A^2 (p_1 - p)} \right)}, \quad (103)$$

где

$$M = \frac{2A^2 \mathcal{K} \lambda}{\sqrt{\pi} B f D} (p_1 - p)^{3/2}. \quad (104)$$

Положим:

(105). $c = 0,001$; $C_{X_{\text{пл}}} = 1,5$; $\lambda = 10$; $C_{X_{\text{ш}}} = 0,4$; $p_1 - p = 1$; $[K_{\text{ф}} = 1$;
 $K_{\text{стр}} = 0,75$; $\delta_1 = 0,0084$; $D = 3$.

Тогда по формулам (91₁), (91₂) и (94₁) вычислим: $A = 123$; $A^2 = 15\,130$;
 $A^3 = 1\,861\,000$; $\mathcal{K} = 0,002$; $B = 0,0173$ и $M = 813\,000 : f$.

Первое приближение для скорости вагона будет:

$$v_1 = \sqrt[3]{M} = 116 : \sqrt[3]{f}. \quad (106)$$

По формуле (20) $f = 0,53$.

Значит, $v_1 = 144$ м/сек. Второе приближение будет $v_2 = 187$ м/сек.

Третье — более 200 м/сек.

Ввиду того, что дробь в (103) больше единицы, можем для первого приближения единицу выбросить и тогда вместо (103) получим:

$$v_{\text{п}} = M : \{A^2 (p_1 - p)\}. \quad (107)$$

Найдем отсюда $v_1 = 158$ м/сек. Следующие приближения узнаем уже по (103). Второе приближение уже будет близко к истине: $v_2 = 220$ м/сек. Этот способ скорее приводит к цели. Итак, при найденной скорости щельная работа сравнивается со струйной. Поэтому для малых скоростей, до 50 м/сек, мы можем считать одну щельную работу, а при скорости большей 400 м/сек — одну струйную (102). Но не надо забывать условие (100). По формуле (101) вычислим, приблизительно

$$p_{\text{стр}} - p = \frac{C_{X_{\text{пл}}}}{A^2} \cdot v_{\text{п}}^2 = 0,0001 \cdot v_{\text{п}}^2. \quad (108)$$

Например (109):

$v_{\text{п}}, \text{ м/сек}$	10	30	50	100	200	300
$p_{\text{стр}} - p, \text{ т/м}^2$	0,01	0,09	0,25	1	4	9

Скорость часовая в км будет от 36 до 1080, струйное же давление меняется от 0,001 атм до 0,9 (9 τ). При скорости в 1000 м/сек оно доходит до 10 атм. Это увеличивает работу и делает наши формулы работы непригодными.

Для подводных лодок и кораблей струйного устройства, где имеем дело с водой, средой мало сжимаемой, формулы имеют полную силу.

Из формулы (103) видно, что критическую скорость поезда можно увеличить при увеличении M . M же увеличивается (104), когда увеличим продолговатость поезда или давление под полом.

Мы не будем рассматривать случай, когда скорость струи не равна скорости поезда, как не экономный.

Тогда для полной работы ($R_{\text{полн}}$) поезда имеем формулы (93₂) и (102). Из них находим:

$$\frac{R_{\text{полн}}}{Y} = \frac{Ж \cdot A}{D} \sqrt{p_1 - p} + \frac{Ж}{A D} \frac{v_{\text{п}}^2}{\sqrt{p_1 - p}} + \frac{\sqrt{\pi} B f}{2 A^2 \lambda} \cdot \frac{v_{\text{п}}^3}{p_1 - p}. \quad (110)$$

При условии (105) вычислим:

$$Ж A : D = 0,082; \quad (111)$$

$$Ж : (D A) = 0,0000054; \quad (112)$$

$$\sqrt{\pi} B : (2 A \cdot \lambda) = 0,000000101. \quad (113)$$

Этого довольно, чтобы составить таблицу работ для разных скоростей

Из табл. 114 (строка 15) видно, что полная работа на тонну подъемной силы изменяется в метрических силах от 1,8 до 27. Это в 1 сек. На единицу (строка 16) пути она колеблется от 1,8 кгм (при секундной скорости в 100 м) до 6,8 кгм (скорость 400 м/сек). Причем полезность от 556 до 12 (строка 17). При скорости в 1 м/сек полезность пути такая же, как на плохих дорогах, но больше чем на аэроплане. Из таблицы также видно, что до 50 м/сек (строка 15) секундную мощность моторов можно считать постоянной независимо от скорости (8—10 метрических сил). Между 200 и 250 м/сек скорости (как мы и видели) щельная и струйная работа сравниваются. Со скорости 200 м/сек первым членом можно пренебрегать, а с 800—1000 м/сек можно брать даже один третий член, т. е. одну струйную работу.

Из формулы (110) видно, что, с одной стороны, работа увеличивается при увеличении давления под полом вагона, с другой, — уменьшается. Ясно, что работа имеет минимум. Положим в формуле (110):

$$\mathcal{J} \cdot A : D = \Gamma, \quad (115)$$

$$v_{\Pi}^2 \mathcal{J} : (AD) = E, \quad (116)$$

$$\sqrt{\pi B f v^3} : (2A^2 \lambda) = \Pi \quad (117)$$

и

$$\sqrt{p_1 - p} = Y. \quad (118)$$

Тогда вместо (110) найдем:

$$\frac{R_{\text{полн}}}{Y} = \Gamma \cdot Y + E Y^{-1} + \Pi Y^{-2}. \quad (119)$$

Дифференцируя и приравнявая производную нулю, найдем для минимума работы:

$$Y = \sqrt[3]{\frac{2\Pi}{\Gamma} + \frac{E}{\Gamma}} Y. \quad (120)$$

На основании (115—117) вычислим:

$$\frac{E}{\Gamma} = \frac{v^2}{A^2} \quad (121)$$

и

$$\frac{2\Pi}{\Gamma} = \frac{\sqrt{\pi B f D}}{A^2 \lambda \mathcal{J}} \cdot v_{\Pi}^3. \quad (122)$$

По условиям (105) получим

$$\frac{E}{\Gamma} = \left(\frac{v_{\Pi}}{123}\right)^2 \quad (123)$$

и

$$\frac{2\Pi}{\Gamma} = 4,59 \left(\frac{v_{\Pi}}{123}\right)^3. \quad (124)$$

Для скорости, большей 123 м/сек, можно пренебречь вторым членом. Тогда из (120) и (124) найдем:

$$Y = \sqrt{\frac{2\Pi}{\Gamma}} = 0,0135 \cdot v_{\Pi}. \quad (125)$$

Это первое приближение. Например, при скорости в 123 м/сек $Y = 1,66$, при скорости в 100 м/сек — $Y = 1,35$.

Таблица 114

1	1	10	20	25	30	35	40
2	3,6	36	72	90	108	126	144
3	86,4	864	1728	2160	2592	3024	3456
4	0,05	5	20	31,25	45	61,25	80
5	0,14	14	56	88,8	126	173,6	240
6	0,035	3,5	14	22,2	31,5	434	56
7	4,40	2,10	1,41	1,18	1	0,870	0,781
8	1	100	400	625	900	1225	1600
9	0,029	1,41	3,78	4,96	6,03	7,13	8,37
10	0,00001	0,001	0,004	0,00625	0,009	0,01225	0,016
11	0,29	2,9	5,8	7,25	8,7	10,15	11,6
12	274600	5640	2180	1660	1320	1117	952
13	0,82	0,82	0,85	0,85	0,87	0,89	0,91
14	—	0,0021	0,0113	0,0184	0,027	0,037	0,05
15	0,82	0,82	0,86	0,87	0,90	0,93	0,96
16	82	8,2	4,3	3,5	3,0	2,7	2,4
17	12	122	233	286	333	370	417
18	0,000054	0,025	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36
19	0,0102	1,02	4,08	6,08	9,18	12,50	16,32
20	0,02	2	8	12	18	25	32,6
21	—	—	24,5	19,6	16,3	14,0	12,2
22	—	10	40	60	90	120	160
23	—	4,9	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2
24	10	100	200	250	300	350	400
25	0,014	1,4	5,6	8,88	12,6	17,36	24
1	50	60	70	80	90	100	150
2	180	216	252	288	324	360	540
3	4320	5184	6048	6912	7776	8640	12 960
4	125	180	245	320	405	500	1125
5	375	512	735	908	1148	1400	3150
6	87,5	128	171,5	227	287	350	787,5
7	0,662	0,592	0,541	0,505	0,476	0,453	0,383
8	2500	3600	4900	6400	8100	10 000	22 500
9	11,08	14,22	17,79	21,64	25,84	30,35	57,72
10	0,025	0,036	0,049	0,064	0,081	0,1	0,225
11	14,5	17,4	20,3	23,2	26,1	29,0	43,5
12	717	561	447	369	309	262	138
13	0,98	1,01	1,09	1,17	1,26	1,36	2,04
14	0,0825	0,128	0,186	0,259	0,347	0,453	1,28
15	1,06	1,14	1,276	1,429	1,607	1,813	3,32
16	2,1	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	2,2
17	481	526	556	556	556	556	453
18	0,47	0,56	0,63	0,69	0,73	0,77	0,86
19	25,50	36,72	49,98	65,28	82,62	102,00	229,5
20	51	73	100	131	165	204	459
21	9,8	8,2	7	5,4	6,1	4,9	3,3
22	250	370	500	650	830	1020	2300
23	0,98	0,82	0,7	0,54	0,61	0,49	0,33
24	500	600	700	800	900	1000	1500
25	37,5	51,2	73,6	90,8	114,8	140	315
1	200	300	400	500	600	800	1000
2	720	1080	1440	1800	2160	2880	3600
3	17 280	2592	34 560	43 200	51 840	69 120	86 400
4	2000	4500	8000	12 500	18 000	32 000	50 000
5	5600	12 600	24 000	37 500	51 200	90 800	140 000
6	1400	3150	5600	8750	12 800	22 700	35 000
7	0,345	0,303	0,279	0,26	0,245	0,23	0,22
8	40 000	90 000	160 000	250 000	360 000	640 000	1 000 000
9	92,46	18,27	298,8	452	583	984	1473
10	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	6,4	10,0
11	58,0	87,0	116,0	145	174	232	290
12	86,1	43,6	26,7	17,6	13,7	8,1	5,4
13	2,98	5,68	9,48	16,8	19,8	35,8	54,8
14	2,72	8,10	17,9	32,5	52,8	117,8	220,0

Таблица 114 (продолжение)

15	5,70	13,78	27,38	49,3	72,6	153,6	274,8
16	2,8	4,5	6,8	9,86	12,1	19,2	27,5
17	355	222	147	101,4	82,6	52,1	36,4
18	0,90	0,93	0,95	0,958	0,964	0,971	0,976
19	408,00	918,00	1632	2550	3672	6528	10 200
20	816	1836	3264	5100	7344	13 056	20 400
21	2,45	1,63	1,22	0,98	0,803	0,612	0,490
22	4080	9180	16 320	25 500	36 700	65 300	102 000
23	0,25	0,16	0,12	0,098	0,080	0,061	0,049
24	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10 000
25	560	1260	2400	750	5120	9080	14 000

Второе приближение узнаем по формуле (120). Так, для скорости в 123 м/сек $Y_2 = 1,84$. Отсюда по (118) $R_{ид} = 3,39$. Это составляет около 0,34 атм: выгодно, но не практично. Третье приближение дает почти то же.

При больших скоростях наивыгоднейшее давление под полом вагона почти пропорционально квадрату скорости [(125) и (118)]. При очень же малых скоростях, пренебрегая первым членом (120), найдем:

$$Y = v_{п} / 123. \quad (126)$$

Отсюда $R_{ид} = Y^2 = 0,00066 \cdot v_{п}^2$. Так, для

$v_{п}$	10	20	30	40	50	100
$R_{ид}$	0,066	0,264	0,594	1,056	1,65	6,6

Таблица пригодна только для малых скоростей. Так, для 30 м/сек будет около 0,6 т или 0,06 атм. Закон возрастания давления такой же, как и для больших скоростей.

Какова же полезность фактической работы ($R_{полн}$), т. е. щельной, струйной и инерции в сравнении с идеальной работой ($R_{ид}$), идущей на одоление сопротивления среды при поступательном движении поезда или корабля?

Из (71) видно, что работа сопротивления равна

$$R_{ид} = K v_{п}^3. \quad (127)$$

Идеальная работа на единицу подъемной силы будет

$$\frac{R_{ид}}{Y} = \frac{K}{Y} v_{п}^3. \quad (128)$$

На основании (94₂), (91₁) и (90) получим:

$$\frac{K}{Y} = \frac{\sqrt{\pi} B f}{2 A^2 \lambda R_{ид}}. \quad (129)$$

Теперь из (129), (128) и (110) найдем:

$$\frac{R_{полн}}{R_{ид}} = 1 + \frac{2 A \lambda \sqrt{R_{ид}}}{\sqrt{\pi} B f D v_{п}} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{A}{v_{п}} \right)^2 \cdot (p_1 - p) \right\}. \quad (130)$$

По данным (105), получим:

$$\frac{R_{полн}}{R_{ид}} = 1 : \varepsilon = 1 + \frac{16,08 \sqrt{R_{ид}}}{f D v_{п}} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{123}{v_{п}} \right)^2 \cdot (p_1 - p) \right\}. \quad (131)$$

Это величина обратная полезности или использования работы, соответствующая полезности воздушного или гребного винта. Использование

тем меньше, чем больше отношение (131). Полезность, значит, увеличивается с увеличением размера снаряда (D), скорости поезда и уменьшением подпольного давления.

Когда разность $p_1 - p$ близка к 1, а скорость велика, то можно пренебречь щельной работой, и полезность (считая средю несжимаемой и $v_{стр.} = v_{п}$) будет единица, а использование 100%. Положим в формуле (131): $p_1 - p = 1$; $D = 3$; а f по формуле (20).

Тогда составим строку 18 полезностей (114) для разных скоростей вагона по формуле

$$\frac{R_{полн}}{R_{ид}} = 1 + \frac{5,36}{fv_{п}} \left\{ 1 + \left(\frac{132}{v_{п}} \right)^2 \right\}. \quad (134)$$

При малых скоростях полезность можно принять равной

$$\varepsilon = f \cdot v_{п}^3 : 81\,000. \quad (135)$$

Тогда полезность ничтожна, так как сопротивление воздуха при этом незаметно в сравнении с громадной щельной работой. При скорости в 50 м/сек полезность достигает 47%. Затем она все возрастает, приближаясь к единице. При 400 м/сек она составляет уже 95%.

Кривизна пути — горизонтальная и вертикальная — не может быть произвольна. Горизонтальная кривизна может родить центробежную силу, которая опрокинет поезд на бок или снесет его с дороги; а вертикальная кривизна (отвесная составляющая наклонного радиуса кривизны) может или убить центробежной силой пассажира или лишить его на некоторое время тяжести и унести поезд с рельсов.

Положим, что вертикальная кривизна не должна производить прибавку относительной тяжести, бóльшую земной, причем полная относительная тяжесть или удваивается или равняется нулю. В последнем случае вагон едва касается полотна и только что не сходит с пути. В таком случае имеем:

$$v_{п}^2 : r = g, \quad (136)$$

где r — есть отвесный радиус кривизны. Из (136) найдем:

$$r = v_{п}^2 : g. \quad (137)$$

Этого достаточно, чтобы заполнить 19 строку табл. (114). Вертикальная кривизна пути не должна превышать этих величин, т. е. радиусы не должны быть меньше; в противном случае или относительная тяжесть больше чем удваивается (при вогнутости пути), или равнодействующая тяжесть делается обратной (при выпуклости полотна) и поезд поднимается над рельсами. Мы видим, что эта кривизна даже для больших скоростей еще довольно практична. Представим себе наглядно эту кривизну. Возьмем хотя бы скорость 1000 м/сек. По формуле

$$\sigma = l^2 : (2r) \quad (138)$$

можем приблизительно вычислить, какая будет высота (стрелка равна σ) бугра (или вдавленности) при данной длине пути (l) и данном радиусе

кривизны. При скорости 1000 м/сек $r = 10\,200 \text{ м}$ (137). Этот радиус меньше радиуса Земли в 6 тысяч раз. Пусть $l = 1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$. Тогда по формуле (138) найдем $\sigma = 49 \text{ м}$, т. е. на версту пути углубление или выпуклость составит 49 м или $4,9\%$ расстояния. Это громадная кривизна и на равнинах встречается редко.

Когда прибавочная тяжесть вдвое меньше земной, то радиусы кривизны увеличиваются вдвое (строка 20).

Из (138) и (137) получим:

$$\sigma = \frac{g}{2} \left(\frac{l}{v_{\text{п}}} \right)^2, \quad (139)$$

откуда прямо можем получить стрелку пути в зависимости от отношения $l : v_{\text{п}}$. Если, например, длина (клочок) пути и секундная скорость равны, то стрелка составит $4,9 \text{ м}$, что в процентах пути выразится строкою 21.

Горизонтальная кривизна при одном фасоне полотна (рис. 1) производит трение твердых тел и недопустима; при другом же фасоне (рис. 3) наклоняет вагон и может сорвать его с полотна. Тут кривизна допустима, но гораздо менее значительная, примерно, рождающая прибавочную тяжесть в $0,1$ земной или в 1 м/сек^2 ускорения. Тогда радиусы кривизны окажутся в 10 раз больше (137).

Величина стрелок при условии $l = v_{\text{п}}$ будет по (139) в 10 раз меньше. В процентах длины они выразятся строкою 22. Так, при скорости 100 м/сек и таком же пути, стрелка будет полпроцента, т. е. только 50 см .

Сделаем общее пояснение таблицы (114).

1. Секундная скорость поезда в метрах. Берем от 1 до 1000.
2. Часовая скорость в километрах: от скорости пешехода до 3600 км/час . Секундная скорость железнодорожного поезда от 10 до 30 м , аэроплана — от 30 до 40 , а высшая — до 100 м/сек .
3. Суточная скорость в километрах. При 500 м/сек она более скорости экваториальных точек Земли. При ней Земля объезжается кругом менее чем в сутки. Это скорость пули. Высшая скорость (км/сек) близится к скорости пушечного ядра.
4. Числа показывают в метрах высоту, которую может одолеть поезд с разбега, поднимаясь по горке. При рекордной скорости самолета (100 м/сек) преодолеваются холмы в 500 м высоты, при скорости в 400 м/сек поезд взбирается от уровня океана на высочайшие горы Земли.
5. Наибольший (при начальном наклоне движения в 45°) горизонтальный прыжок вагона в метрах, не принимая в расчет сопротивления воздуха. Оно мало изменяет приводимые числа ввиду особой формы удлиненного вагона. Скачок достигает в горизонтальном направлении, даже при рекордной скорости самолета (100 м/сек), 1400 м , при 400 м/сек — 24 км , а при 1000 м/сек — 140 км . Это дало бы возможность нам перелетать (без мостов, конечно) все реки, пропасти и горы, если бы не опасность такого прыжка. Требуется совершенно точная форма пути в начале и конце воздушного перемещения. Как попасть точно на определенное место, если и направление не может быть абсолютно верным и самый полет в атмо-

сфере непрерывно меняется вследствие ее сопротивления и ветров? До некоторой степени возможно достижение определенного пункта при условии управления поездом во время полета, как аэропланом. В таком случае он должен иметь и органы управления, подобные аэропланному. Выставляются они только во время перелетов.

6. Наибольший подъем в воздухе во время прыжка. При рекордной скорости самолета он составляет 350 м, т. е. немного выше башни Эйфеля; но уже при скорости в 500 м/сек поднятие превосходит самые высокие земные горы.

7. Величина f по формуле (20).

8. Квадрат скорости поезда.

9. Сопроотивление среды в кг или потребная тяга. Это есть и величина заднего реактивного давления струи. Пользуемся формулами (71), (94₂), (20) и (94₁). Сначала оно невелико, но при скорости в 1000 м/сек более тонны. Пользуемся формулами (71), (129). Интереснее строка 12.

10. Разность струйного давления или просто струйное давление ($p_{стр} - p$) определяем по формуле (101). Даем его в метрических атмосферах. До скорости 100 м/сек оно не превышает 0,1 атмосферы, но при 300 м/сек уже немного менее целой атмосферы, а при 1000 м/сек равно 10 атм.

Собственно, оно может быть желаемой величины, но мы связали себя условием наименьшей работы, причем скорости струи и поезда должны быть равны.

Площадь струйного отверстия вычисляется по формуле (77₁). Из (77₁) и (101) найдем:

$$S_{стр} = \frac{2gK}{\rho C_{X_{пл}}}. \quad (140)$$

Как видно из формулы, это есть величина постоянная и равная 0,29 м² или 2900 см². При круглом отверстии диаметр его составит 60,8 см.

11. Из (83), (77₁) и (101) получим объем вытекшей в секунду струи:

$$V_{стр} = \frac{2Kv_{пл}^3}{\rho C_{X_{пл}}}. \quad (141)$$

Значит, секундная потеря воздуха (или воздушный прогон) пропорционален скорости поезда, что и понятно при постоянном заднем отверстии.

В 11 строке и дается эта величина в м³. Для вычисления довольно, впрочем, формулы (83). Прогон составляет от 0,29 до 29 м³ при скорости в 100 м/сек и даже до 290 м³ при секундной скорости в 1 км. Заметим, что приводимые числа тем более отклоняются от истины, чем скорость больше. Мы тут не принимаем в расчет сжатие воздуха. Но если принять небольшое определенное струйное давление, например в 1 г (0,1 атм) на м², то легко дать формулы и числа, соответствующие действительности и при больших скоростях поезда. Только тогда не получится минимум работы.

Площадь щельных отверстий определяем по формуле (89). Получим (условие 105) $0,065 \text{ м}^2$, или 658 см^2 . Соответствующий диаметр воображаемого круглого отверстия будет 28,8 см. Щельная площадь в 3 раза меньше площади струйного отверстия. Скорость щельных струй также постоянна. Ее узнаем по формуле (81). Найдем 103 м. Но так как на практике скорость будет гораздо меньше, вследствие большого трения в тесных щелях между рифленным основанием вагона и дорогой (рис. 2), то при той же потере воздуха вагон поднимется и расстояние между вагоном и полотном увеличится. Количество накачиваемого в секунду щельного воздуха найдем (82) в $6,7 \text{ м}^3$. Оно неизменно при постоянном давлении под полом вагона и не зависит от скорости поезда.

12. Числа этой строки показывают, во сколько раз тяга (9 строка) меньше подъемной силы. Последняя имеет постоянную величину и определяется по формуле (90). Найдем 79,65 т, или 79 650 кг. Вначале, при небольшой скорости, тяга почти незаметна в сравнении с подъемной силой. Но и при секундной скорости в 35 м она составляет менее 0,1% подъемной силы, а при скорости 150 м/сек менее 1% и только при скорости 400 м/сек достигает 3,7%. Однако при скорости 1000 м/сек она становится непроизводительно велика, достигая 18,5% подъемной силы.

Из (93₂) и (102) находим:

$$\frac{R_{\text{полн}}}{Y} = \frac{ЖА}{D} \sqrt{p_1 - p} + \frac{Ж}{AD} \frac{v_{\text{п}}^2}{\sqrt{p_1 - p}} + \frac{\sqrt{\pi} Б f}{2 A^2 \lambda} \frac{v_{\text{п}}^3}{p_1 - p}. \quad (142)$$

При условиях (105) вычислим:

$$ЖА : D = 0,082, \quad (143)$$

$$Ж : (AD) = 0,0000054, \quad (144)$$

$$\sqrt{\pi} Б : (2A^2 \lambda) = 0,000000102. \quad (145)$$

Этого довольно, чтобы пополнить нашу таблицу величиною работы, приходящейся на 1 т подъемной силы. Первый член формулы (142) выражает постоянную щельную работу без работы инерции вгоняемого под вагон воздуха. Она составляет 0,082 тм, или 0,82 метрической силы в секунду на каждую тонну поезда. Сумма двух первых членов составляет полную щельную работу, необходимую для удержания вагона на тонком слое воздуха, т. е. уничтожения соприкосновения с полотном и трения твердых тел.

13. Эта щельная работа выражена в метрических силах в 13 строке. Она почти постоянна до скорости 100 м/сек и близка к одной силе на тонну. Но при 400 м/сек она достигает десяти сил, а при 1000 м/сек — 55 метрических сил. Она бы не изменялась ни при каких скоростях, если бы мы пользовались запасным в вагоне материалом для вдувания.

14. Следующая строка указывает работу струйную, или величину третьего члена формулы. Эта работа незаметно мала при малых скоростях. Только при 200 м/сек она близка к величине работы щельной. При больших же скоростях она превышает щельную. Так, при 1000 м/сек она в

4 раза больше щельной. И эта работа была бы гораздо меньше, если бы запас воздуха двигался вначале с самим поездом.

15. Эта строка дает полную работу на тонну подъемной силы. Она колеблется в таблице от 0,8 до 275 метрических сил. Вес легких аэроплан-ных двигателей не поглотит более 28% подъемной силы. Дальнейшее увеличение скорости требует уже еще более легких двигателей. Заметим, кстати, что сгущение воздуха не очень увеличит работу, так как при этом хотя и расходуется как бы излишняя работа, но она дает нагревание, которое при расширении воздуха вновь дает полезную работу движения. Только щельное сгущение нагревает воздух между полом и полотном; воздух быстро остывает и мало возвращает израсходованный на нагревание труд.

16. Эта строка дает величину работы в *кгм* на единицу пути и на тонну веса. Она достигает минимума при скорости 100 *м/сек*, именно 1,8 *кгм* на тонну подъемной силы.

17. Полезность описанного сообщения выражена в следующей строке. Максимум ее доходит до 556 (при скорости 70—100 *м/сек*), т. е. работа горизонтального передвижения тут в 556 раз меньше работы вертикального или работы поднятия. Движение описанным способом достаточно экономно при скорости от 10 до 500 или 600 *м/сек*.

18. По формуле (134) можем вычислить отношение фактической работы к работе сопротивления среды или обратное. Последнее будет соответствовать коэффициенту полезного действия гребного винта у парохода или дирижабля. 18 строка показывает это отношение при разных скоростях [см. (135) и далее].

19. Наименьшие радиусы вертикальной кривизны в метрах [см. близ (136)].

20. Радиусы кривизны, при которых изменение тяжести составляет половину земной [см. выше (139)].

21. Величина углубления или выпуклости (стрелка) пути на длину, равную скорости (строка 1), в процентах пути (139).

22. Наибольшие радиусы боковой кривизны при условии увеличения боковой прибавки (горизонтальной) тяжести на 0,1 земной, в метрах.

23. Соответствующая величина стрелок при условии $v_{\text{п}} = l$ выражена в процентах.

24—25. На приобретение начальной скорости требуется ничтожная работа только при обычных малых скоростях. При больших же скоростях эта работа громадна. Чтобы получить о ней понятие, допустим, что на вагон действует постоянная сила P . Тогда, пренебрегая сопротивлением воздуха, узнаем, во сколько времени (24) и какое при этом будет пройдено расстояние (25) поездом (L). Имеем:

$$a = g : \frac{Y}{P}; \quad (146)$$

$$t = \frac{v}{a}; \quad (147)$$

$$L = \frac{a}{2} t^2, \quad (148)$$

где a — есть секундное ускорение поезда. Отсюда:

$$L = \frac{v_{II}^2 Y}{2gP}. \quad (149)$$

Положим тут: (150). $Y = 79,65$ [см. (12)], или 80 т, тяга P пусть будет составлять 1% подъемной силы, т. е. $0,8$ т, или 800 кг, что близко к тяге при скорости 800 м/сек. [см. табл. (114), строка 9]. Тогда по приведенным формулам вычислим времена (строка 24) и расстояния (строка 25). Ускорение поезда составит $0,1$ м/сек², или около 10 см/сек². Время (24 строка) выражено в секундах. Как видно, получение скорости продолжается довольно долго — до $2\frac{1}{2}$ час при скорости в 1000 м/сек. Обыкновенная скорость 10 — 20 м/сек в течение четверти часа. Расстояния, пройденные при этом, еще страшнее. При обыкновенных скоростях (10 — 20 м/сек) — от $1,4$ до $5,6$ км. Для получения скорости 100 м/сек поезд должен пройти 140 км и для скорости 1000 м/сек — 1400 км.

Скорости можно получить, скатываясь с гор. Строка 4 показывает высоту гор, а строка 1 — соответствующую скорость. Самые высокие земные горы не могут дать скорость, большую 400 м/сек. Строка 4 показывает также и высоту гор, поднимаясь по которым поезд может потерять приобретенную скорость (строка 1).

При тяге в 10% подъемной силы времена (получения скоростей) и соответствующие расстояния сокращаются в 10 раз.

Взрывание может дать и несравненно большую тягу. Приняв ее равной тяжести поезда, времена и расстояния еще сократим в 10 раз, а всего в сто раз сравнительно со строками 24 и 25. Тогда даже для высшей скорости в 1000 м/сек время будет менее 2 мин (100 сек), а разбежное расстояние 140 км. Эти расстояния согласуются с числами строки пятой (5).

Оценка нового способа сообщения сейчас очень затруднительна. С одной стороны, имеем преимущество простоты бесколесного поезда, большой подъемной силы и больших скоростей, с другой, дороговизну аккуратного бетонного полотна с железными или стальными закраинами. Правда, давление на него очень равномерно, без толчков и качаний, но все же оно, вероятно, должно обойтись дороже рельсового пути, если даже не будет закраин. Однако, не окупятся ли затраты на бетонный путь меньшими ремонтными на него расходами? В будущем можно мечтать и об уничтожении мостов через овраги и реки и ослаблении земляных и горных работ. Будущая потребность в больших скоростях, может быть, заставит и принести некоторые материальные жертвы в пользу этого способа сообщения. При малых скоростях, до 10 м/сек, полезность пути (см. строку 17) мала (не более 122) и самая скорость неинтересна. При секундной скорости от 20 до 300 м (или часовой от 72 до 1080 км) привлекает большая полезность, от 222 до 556, и значительная скорость (полчаса езды из Москвы в Ленинград, 10 час от полюса до экватора и менее 2 суток — вокруг Земли по меридиану). Наибольшая полезность использования энергии (строка 17) — при скорости от 70 до 100 м/сек, полезность будет 556. Но и при 150 м/сек полезность 453. В последнем случае горизонтальный ска-

чок (строка 5) достигает 3 км, что в далеком будущем может избавить нас от мостов. Но отвесный скачок не достигает и 800 м. Он недостаточен для перелета через все горы. При больших же скоростях полезность мала. Так, при скорости 400 м/сек полезность 147. Зато горизонтальный прыжок при этом дбходит до 24 км, а отвесный до 5,6 км, что достаточно для всех земных случаев. Заметим, что полезность может быть увеличена на основании наших формул при удлинении поезда (λ), увеличении его поперечных размеров (D) и давления под полом ($p_1 - p$) [см. (110)]. Указанный способ уничтожения трения может быть применен при употреблении взрывных двигателей, для сообщения предварительной скорости космической ракете.

Впрочем, при скорости до 100 м/сек (360 км/час), проще употребить аэропланый винт. Это и рули превратят поезд в бескрылый самолет, скользящий по земле и лишь изредка вздымающийся кверху, чтобы перелететь реку или гору силой разбега или инерции.

КРАТКОЕ ПЕРЕЧИСЛЕНИЕ СУЩНОСТИ НОМЕРОВ ТАБЛИЦЫ (114)

1. Секундная скорость в м. 2. Часовая скорость в км. 3. Суточная скорость в км. 4. Высота поднятия на гору с разбега. 5. Скачок горизонтальный. 6. Скачок отвесный. 7. f [формула (20)]. 8. Квадрат секундной скорости. 9. Тяга в кг. 10. Струйное давление в атмосферах. 11. Выпущенный струйный объем в секунду. 12. Подъемная сила по отношению к тяге. 13. Щельная работа в метрических силах на тонну подъемной силы. 14. Струйная работа на тонну. 15. Полная работа в метрических силах на тонну подъемной силы. 16. Работа на единицу пути (метр) и на тонну веса в кгм. 17. Полезность этой работы. 18. Идеальная работа сопротивления среды по отношению к фактической. 19. Наименьшие радиусы вертикальной кривизны. 20. Те же удвоенные радиусы. 21. Углубления пути или их стрелки в процентах расстояния, равного скорости (строка 1). 22. Наибольшие радиусы боковой или горизонтальной кривизны. 23. Наибольшие стрелки в процентах пути, равного скорости (строка 1). 24. Время в секундах для получения скорости строки 1, предполагая тягу в 1% веса поезда. 25. Соответствующее разбежное расстояние в км.

СКОРЫЙ ВАГОН *

1. Пренебрегая пока трением вагона о дорогу, найдем, что его скорость тем больше, чем больше его секундная работа (мощность), приходящаяся на единицу его объема.

Определим работу сопротивления воздуха, приходящуюся на единицу объема вагона, и такую же относительную мощность. Приравняем то и другое и тогда из этого уравнения определим наибольшую возможную скорость вагона.

2. Опираюсь на мое «Сопротивление 27 г.» **. Мощность сопротивления среды или расход на это получим с помощью (56):

$$\frac{X_{\text{полн}}}{V} v = \frac{15C_{X_{\text{пл}}} \rho v^3}{16gK_V D} f \left(\frac{C_{X_{\text{ш}}} K_{\Phi}}{\lambda^3} + \frac{4\eta\delta_1}{C_{X_{\text{пл}}} D\lambda} \right).$$

3. При большой продолговатости первым членом в скобках можно пренебречь. Потом положим: $\eta = K_V = 1$. Тогда найдем:

$$\frac{X_{\text{полн}}}{V} v = \frac{15\delta_1 f \rho v^3}{4g\lambda D^2}.$$

4. Отсюда видно, что хотя относительная работа рассеяния среды и возрастает с кубом скорости, но ее можно уменьшить следующими способами:

- 1) увеличением продолговатости вагона (λ),
- 2) увеличением его поперечного сечения (D) и
- 3) возрастанием разрежения среды (ρ).

5. Положим, мы достигли скорости 200 м/сек. Как увеличить эту скорость до 8000 м/сек, или в 40 раз? Мы должны или увеличить продолговатость (λ) в 40 раз, или диаметр (D) в 6,3 ($\sqrt[4]{40}$), или двигаться на несуществующих горах, где воздух в 40 раз реже.

6. Но можно взять вдвое менее плотную среду, диаметр вагона вдвое

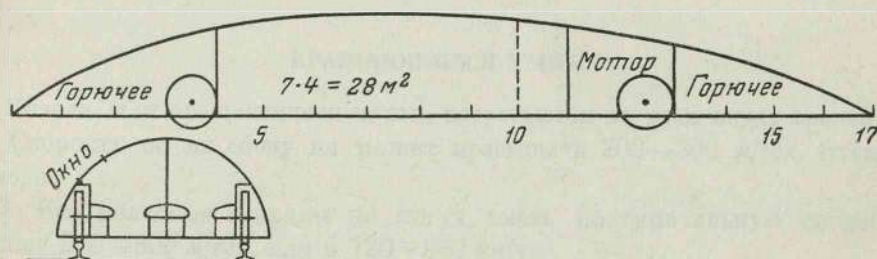
* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Архиве АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 78). Рукопись датирована 26 июля 1932 г., чертеж — 9 ноября 1934 г. (Ред.).

** Здесь Циолковский имеет в виду свою работу «Сопротивление воздуха и скорый поезд». Калуга, 1927 (см. наст. сб.). Номера формул взяты оттуда (Ред.).

больший и продолговатость в 5 раз большую. Тогда получим тот же результат ($2 \cdot 2^2 \cdot 5 = 40$). Значит, есть возможность и при большой скорости затрачивать на движение такую же обыкновенную работу, как при малой.

7. Но какую же мощность могут выделять наши моторы? Имеется в виду мощность относительная, т. е. секундная работа, которая может втиснуться в 1 м^3 вагона.

8. Взрывчатый авиационный двигатель может давать на каждый килограмм своего веса пока не более 2—3 метрических сил (*квт*). Но он требует еще запаса горючего. Потом мотор занимает значительный объем.



Пока мотор в 1000 метрических сил требует около 2 м^3 объема. Следовательно, кубический метр нам даст 500 метрических сил. Это практически, но менее надежные моторы могут дать 1000 и более метрических сил.

9. Взрывчатый мотор ракетного типа может дать мощность гораздо большую, но только при условии большой скорости движения, примерно в 2—5 *квт* (на 1 *кг* своего веса).

10. Если снаряд находится в связи с Землей, т. е. движется по твердой дороге, то энергия может получаться в неограниченном количестве, как в трамвае, в виде электрического тока. Но все же вес электродвигателя и тут даст определенную энергию на каждый кубический метр вагона.

11. Обозначим вообще эту секундную относительную мощность через ($N_{\text{сек}}$). Тогда из 3-го найдем:

$$N_{\text{сек}} = \frac{15 \delta_1 f \rho}{4g\lambda D^2} v^3.$$

12. Положим в 11: $\delta_1 = 0,0084 \text{ м}$; $\rho = 0,0013 \text{ кг/м}^3$; $v = 8000 \text{ м/сек}$; $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$; $\lambda = 100$; $D = 2 \text{ м}$; $L = 2 \times 100 = 200 \text{ м}$; $v : L = 8000 : 200 = 40$; $f = 0,213$.

Теперь вычислим: $N_{\text{сек}} = 1138 \text{ тм}$, или 11 380 метрических сил. Последнее недоступно для современных авиационных моторов. Значит, надо увеличить в 10 раз удлиненность (λ), чтобы мощность дошла до величины доступной. Тогда длина вагона должна дойти до 2000 м.

13. Можно вместо этого диаметр (D) увеличить втрое. Тогда длина вагона будет ($6 \cdot 100$) 600 м.

14. Ракетный мотор может дать мощность и в 1000 *тм*. Также и боковой приток электричества.

14*. Все это непрактично и для начала не годится, так как требует огромных и очень дорогих сооружений необыкновенной абсолютной мощности. Ведь на кубический метр требуется больше 10 тыс. метрических сил.

Сколько же на весь объем, который громаден!?

15. Чтобы начать дело, надо не только не увеличивать D , но даже уменьшить его и поэтому сидеть в вагоне, чтобы не стукнуться головой.

* Здесь Циолковским № 14 ошибочно проставлен второй раз (Ред.).

ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ТРАНСПОРТА *

(1934 г. 16 января)

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ЧАСТИ

Колеса, или вращающиеся части, встречаются во всех видах транспорта. Скорость по их ободу не может превышать 200—300 м/сек. Отсюда выводы.

1. Все колесные снаряды не могут иметь поступательную скорость больше 200—300 м/сек, или в 720—960 км/час.

2. Скорость колесных и винтовых пароходов будет еще меньше (вследствие податливости водяной опоры).

3. Эту скорость не могут превысить и аэропланы с открытым (т. е. обыкновенным) воздушным винтом.

4. То же относится и к другим видам аэроплана: стратоплану, также — аэросаням, гидроплану и проч.

5. Справедливо это и для скорости дирижаблей.

«НОГИ» ИЛИ ШАТУНЫ ВМЕСТО КОЛЕС

Такие экипажи с «ногами» возможны, но они не экономны в отношении расходования энергии. И чем больше скорость, тем меньше экономны. Возьмем в пример животных. Они не могут иметь непрерывно вращающихся частей, потому что во время вращения органа перервались бы все сосуды, снабжающие орган движения кровью.

Теоретически все же нельзя отрицать подобных существ: где-нибудь на иных планетах они есть. Их нет только на Земле. Движение ногами сопровождается их колебанием: мы должны придать скорость ноге, потом остановить ее. При остановке теряется затраченная на движение работа.

Чем больше скорость движения, тем больше и напрасно затраченная энергия. Например, если скорость 1; 2; 3; 4... 10, то работа остановки (в единицу времени) будет 1; 8; 27; 64... 1000. Колесные средства передвижения этой потери или расхода не имеют. Отсюда такие выводы, относящиеся к животным.

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 355) (Ред.).

1. Нога должна быть наименее массивна.
2. Нога должна утоньшаться к краям, касающимся почвы.
3. Источник энергии (мускулы) должен находиться вне ног, или быть как можно ближе к верхнему основанию ноги.

Одни животные соблюдают одни условия, другие — иные, а некоторые — все.

Так, насекомые и другие маленькие существа имеют очень тонкие ноги и нередко источник энергии в туловище. У больших животных мускулы более сосредоточены в верхней части члена. У птиц грудные мускулы вне крыльев. То же мы видим у летающих насекомых.

Стремилась строить экипажи, локомотивы и прочее с «ногами». Это естественнее и может быть выгоднее. Тут затраты на движение можно получать обратно, как в маятнике стенных или карманных часов. Возвращение энергии может быть почти полным. Но тут встречаем большие технические затруднения, а именно:

- 1) чем больше скорость, тем пружина должна быть сильнее — менять скорость, значит, неудобно;
- 2) усложнение от введения упругих частей (поршней, пружин и прочего);
- 3) скорость ноги, как и маятника, будет неравномерна. От этого новое техническое затруднение и потеря энергии.

ВОДЯНЫЕ КОЛЕСА И ГРЕБНОЙ ВИНТ

Водяные колеса для пароходов выгодно употреблять при мелководье, винт же — при большей глубине, т. е. в глубоких реках и в море. Воздушный винт применяется при полном мелководье или для [аэро]саней.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕДУЩИХ КОЛЕС

Колеса пригодны для экипажей небольших скоростей — не свыше 300 м/сек, это — при нескользкой почве, на суше, достаточно ровной и не очень крутой дороге. При крутизне, превышающей $10-15^\circ$, нужна или искусственная дорога с зубчатыми рельсами, или воздушный винт. То же при скользких путях: на снегу или льду. На утоптанном снегу еще помогут рифленые колеса, на льду же или на рыхлом свежем снегу полезен воздушный винт.

При крутой дороге, однако не превосходящей $10-15^\circ$ наклона к горизонту, надо чтобы каждое колесо было ведущим, т. е. приводилось непосредственно двигателем в движение. Чем круче подъем, тем больше должно быть таких колес и меньше холостых, пассивных.

ЧАСТОТА ТОРМОЗНЫХ ОСТАНОВОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ БЫСТРОТЫ ДВИЖЕНИЯ

Чем больше скорость поезда, тем реже должны быть остановки, т. е. тем больше расстояние между ближайшими станциями. На каждой остановке мы теряем энергию движения (кинетическую). Так, если скорости

будут 1; 2; 3; 4... 10, то потери при остановках выразятся такими относительными числами 1; 4; 9; 16... 100.

Часть энергии идет на одоление разных сопротивлений, другая же на остановки. На каждый километр продвижения тонны поезда тратится энергия не меньшая $1 \cdot 1000 \cdot 0,01$, т. е. не меньше 10 тм. Энергия остановки тонны при секундной скорости поезда в 10 м (часовая 36 км) составляет 5 тм. Следовательно, она составляет 50% энергии сопротивления. Это много, и потому остановки поезда при такой скорости на каждой версте не экономны. Они составят 5% при остановках на 10 км. Это сносный расход. Чтобы этот процент не превышался при разных скоростях, нужны такие расстояния между станциями.

Секундные скорости в м	10	20	30	40	50	60	70
То же — часовые в км	36	72	108	144	180	216	252
Расстояние между станциями в км . .	10	40	90	160	250	360	390

Подразумевается одна и та же сила сопротивления.

Но при большей скорости и затраты на сопротивление будут больше. Так что, пожалуй, расстояние между станциями может оставаться постоянным при том же относительном расходе на остановки.

Все это относится к тормозным поездам. Электрические поезда могут возвращать при остановках почти всю энергию, затраченную на движение. В этом одно из их важных преимуществ.

Поезд, дирижабль, аэроплан, корабль и всякий экипаж могут не терять кинетическую энергию, если она затрачивается на одоление сопротивления, без употребления тормозящих средств. При частых остановках без них обойтись трудно, так как отсутствие тормозящих средств уменьшает среднюю скорость движения, хотя и уменьшает расход работы на единицу пути.

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПОЕЗДОВ

Если не употреблять тормозов, то при частых остановках получается движение вроде движения маятника или колебания упругой пластинки. Но в таком случае наибольшая и средняя скорость этого движения будут зависеть от величины дистанций.

Даем таблицу, определяющую наименьшую величину дистанций при естественном сопротивлении для поездов, дирижаблей и аэропланов.

	Уско- рение, м/сек ²	Наиболь- шая ско- рость, м/сек	Средняя скорость, км/час	Время разбега, сек	Длина разбе- га, м	Дис- тан- ция, м
Жел.-дор. поезд	0,1	10	18	100	500	1000
Дирижабль	0,5	25	45	50	625	1250
Аэроплан	1,5	50	90	33,3	833	1667

Дистанции будут больше, так как от увеличения сопротивления при увеличении скоростей она прибывает медленно и надо пройти больший путь для ее достижения, чем показано в таблице.

Так как остановки вообще реже, то естественное торможение (от сопротивления среды, трения и проч.) вполне применимо. При этом средняя скорость уменьшается больше чем вдвое: теряется время. Однако в силу больших дистанций это не окажется заметным. Конечно, торможение неизбежно в конце пути, когда нужно сразу погасить малую скорость.

ПРИОБРЕТЕНИЕ СЕКУНДНЫХ СКОРОСТЕЙ. БОЛЬШИХ 200 м ИЛИ 720 км/час

А. Опора тяжести вагона

При таких скоростях никакие колеса не могут быть пригодны, какой бы величины они не были.

Остается скольжение. Но трение твердых тел друг о друга довольно велико, если даже они смазаны самой лучшей смазкой. В этом случае лучший способ почти устранить трение — это вдуть слой воздуха между

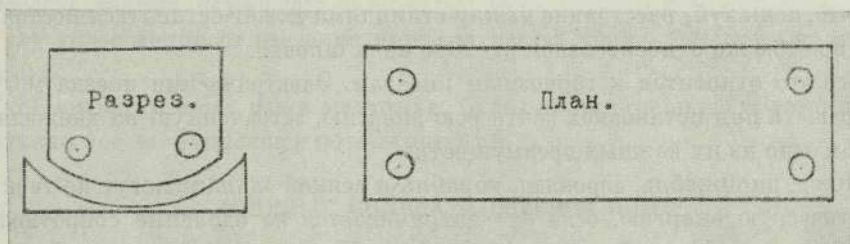


Рис. 1

основанием вагона и полотном. При больших скоростях это не убыточно, но требуется очень правильный искусственный путь. Основание вагона надо делать рифленным для уменьшения потери воздуха и работы.

Чтобы воздух не стал выходить с одного бока и чтобы в другом не было прикосновения и усиленного трения, нужны четыре независимых компрессора в четырех углах вагона (рис. 1). Все это очень сложно и дорого и потому сейчас еще нельзя рекомендовать.

Закрайны

Однако есть средство обойтись не очень ровным путем (полотном). Такой путь будет гораздо дешевле, так как не требует тщательной и неизменяемой формы. Он может быть бетонным или грунтовым с жестяной крышкой. Из чертежа (рис. 2) видно, как для этого должен быть устроен пол вагона. Он должен иметь упругие закраины. Они горизонтальны, когда не вдвывают воздух, но сейчас же наклоняются и прилегают плотно к дороге, лишь только вдвывается воздух и вагон подымается на несколько мм. Ширина этих закраин примерно 1—2 см. Давление на них невелико — всего 100 г на см². Так что эти пружины легко устроить соответствующей толщины и силы.

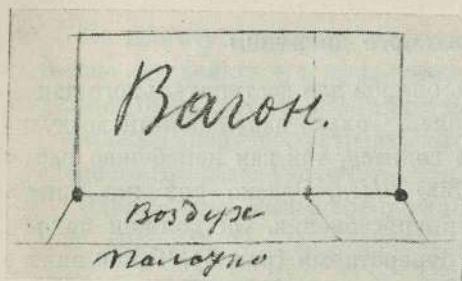


Рис. 2

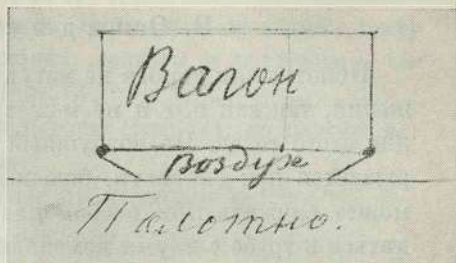


Рис. 3

Можно расположить гибкие закраины иначе — внутрь пола, как показано на чертеже (рис. 3). Тут замыкание будет крепче, но трение больше. Рифление пола при таком прибавлении закраин, конечно, бесполезно.

Б. Форма вагона

Форма также должна быть плавной, наименьшего сопротивления, как у рыбы или птицы. Для небольших скоростей форма мало имеет значения, но при больших — она не только должна быть плавной, но и тем более удлиненной, чем скорость больше.

Даем тут таблицу скоростей и наименьших продолговатостей.

Скорость, км/сек . .	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2
Продолговатость . .	1	1,5	2	2,5	3,5	5	7,5	10

Это условно — для того, чтобы воздух заметно не сгущался. Все же сопротивление будет громадным. Чтобы уменьшить его, надо продолговатость увеличить примерно в 5 раз.

Тогда получим.

Скорость, км/сек . .	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,5	2
То же, км/час. . . .	720	1080	1440	1800	2520	3600	5400	7200
Продолговатость . .	5	7,5	10	12,5	17,5	25	37,5	50

Внизу форма должна быть плоской или цилиндрической (рис. 4). Это не только требуется формой дороги, но выгодно в отношении сопротивления и получения подъемной силы.

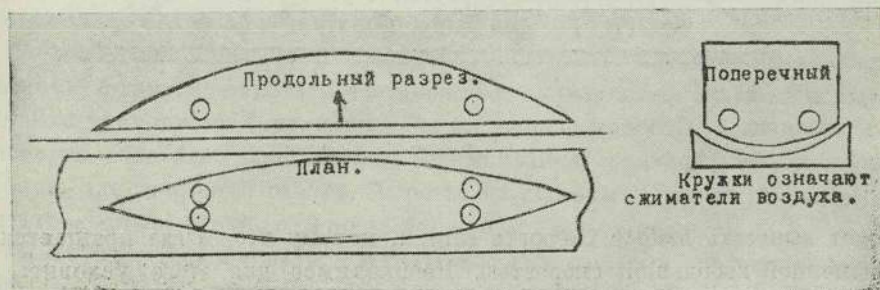


Рис. 4

В. Опора для поступательного движения

Полотно или дорога не могут служить опорой для поступательного движения, так как нет и не может быть колес. Только окружающий воздух для этого годен. Но воздушный винт не годится, так как неизбежно разрывается при скорости, большей 200—300 м/сек. Однако тот же винт может служить при особом для него приспособлении. Он должен находиться в трубе с двумя изменяющимися отверстиями (рис. 5). Такой винт

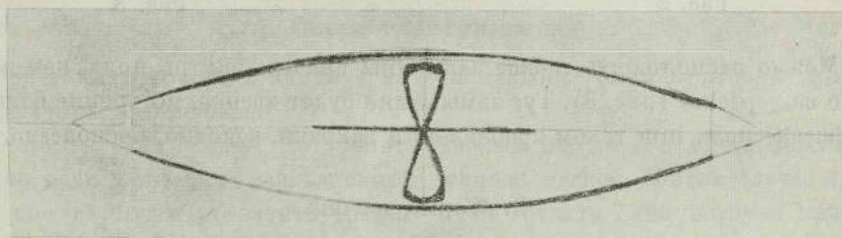


Рис. 5

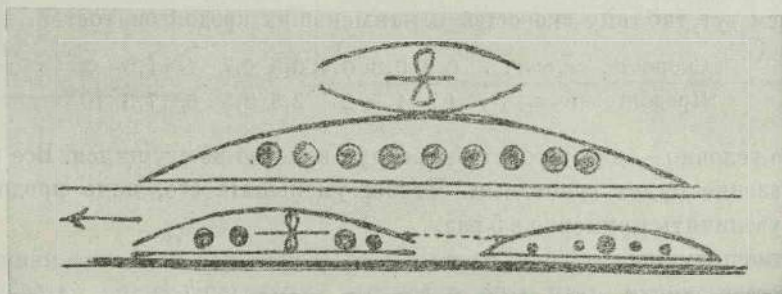


Рис. 6

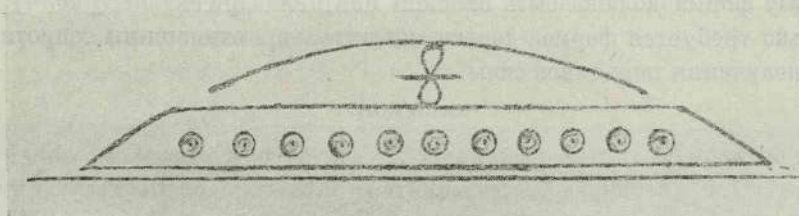


Рис. 7

может выносить любые скорости вагона, потому что всегда вращается с неизменной небольшой скоростью. Необходимое для этого условие: во сколько раз увеличивается скорость винта, во столько раз уменьшается площадь крайних отверстий.

Но где его поместить со своим футляром? Не может он занять центр вагона и сделать его продувным и холодным, тесным и неудобным. Он должен быть спереди, сзади или наверху (рис. 6).

Можно, конечно, устроить его внутри вагона (рис. 7), но размер последнего придется увеличить, что невыгодно.

Однако этот способ мы считаем наиболее практичным.

Г. Мотор

Электрические моторы тяжелы, но пригодны. На короткие расстояния и в городах они наиболее подходят. Но тут имейте в виду большие расстояния и такие же скорости. Здесь более подходят авиационные моторы разных сортов. Наиболее экономные и нетяжелые — быстроходные дизели с нефтяным горючим с придачей реактивного действия продуктов горения.

ГРУНТОВЫЕ ДОРОГИ. СУХОЙ ПУТЬ

Дурное качество всех земных быстроходных поездов есть дороговизна искусственного полотна, мостов и ремонта пути.

Для больших скоростей выгоднее аэропланы, для меньших — дирижабли, для еще меньших — авто и грунтовые дороги.

Скорость движения по грунтовым дорогам зависит от гладкости и прямизны пути. Известно как они устраиваются. Я хочу только показать на аппарат, который придает прямизну дорогам и уничтожает ухабы, раз они образовались. Такие машины очень тяжелые, жесткие и трехкатковые. Понятно из рисунка (см. рис. 8 и 9), как они уничтожают всякий выдающийся бугорок пути. На бугорок будет сосредоточена вся тяжесть машины. Также понемногу уничтожается и углубление или ухаб. Давление на возвышенные части будет больше. Поэтому грунт будет сдавлен и разопрется в бока, заполняя углубление (разумеется, они могут иметь только три широких катка). Можно желать такого устройства у тяжелых автобусов.

Если бы все экипажи были устроены по такому типу (но легкие), то они бы сами исправляли дорогу и не требовали бы рессор. Но требовать таких экипажей пока несвоевременно: они обойдутся дорого и не будут по силам обывателям. Ограничимся устройством тяжелой жесткой гладилки. Пусть только она чаще катается по дорогам.

Форма вагона и рельсы обыкновенных дорог. Вагон должен иметь обыкновенную форму и опираться возможно большим числом точек на рельсы. Это облегчает его вес [приходящийся на каждое колесо], увеличивает безопасность, ослабляет качку, порчу (изнашивание) рельс и [уменьшает] потребную для движения работу. Хорошо бы, например, иметь шестиколесные (трехосные) вагоны или восьмиколесные (четырёхосные).

Неразумно ограничиваться одним высоким рельсом и делать вагон двойным: и масса рельс возрастает, и сложный вагон будет тяжелее, так как увеличатся статические его моменты.

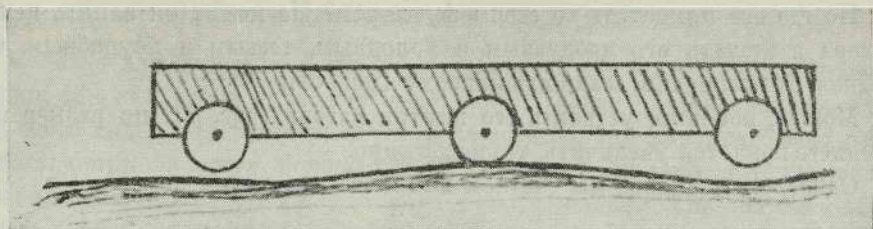


Рис. 8

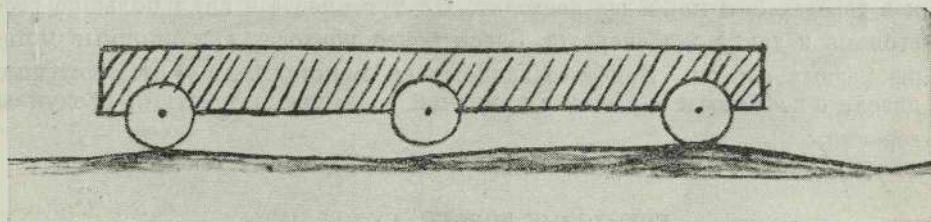


Рис. 9

Не умно также брать воздушную опору при малых скоростях и присутствии колес: при употреблении воздушного винта мы потеряем не менее 25% данной нам для движения энергии. К чему же это?

ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

Какие скорости и когда выгодно применять (21 марта 1934 г.).

Самый дешевый путь — водный. Действительно, для этого всегда пригодны океаны, моря и многоводные (без порогов) реки. В океанах и больших бассейнах транспорт затрудняет волнение. Оно заставляет требовать от судов большей их величины и чрезвычайной крепости. Ветер — то друг, то враг. Чаще — друг. Ветер сильный, производящий волнение и гибель судов, несомненный враг, но умеренный — двигатель парусных судов — друг. Затишье — враг для парусных судов, имеющих и сейчас огромное значение. Впрочем, слабый мотор на парусных судах умеряет вред штиля. Про морские и речные течения можем сказать то же.

Выгода водного транспорта еще в том, что сопротивление воды движению судна может быть произвольно мало — в зависимости от его скорости.

Так, если скорости будут 1, 2, 3, 4, 5, 10, то сопротивление, или препятствие движению, будет 1, 4, 9, 16, 25, 100. Отсюда видно, что большие скорости недостижимы и неэкономны. Напротив, малые скорости сопровождаются почти нулевым сопротивлением. Из приведенных соотношений видно, что расход работы на определенный рейс судна в стоячей воде пропорционален квадрату скорости судна. Или малость расхода сил пропорциональна квадрату малости скорости. Это выражается ясно последним рядом чисел. Поэтому, если перевозимый товар дешев, то всего выгоднее

вести его с малой скоростью. Но чем дороже товар, тем заслуживает он большей скорости. Действительно, надо считать еще и потерю времени при малой скорости; что также составляет убыток.

К счастью, очень малая скорость исключается благодаря использованию ветра.

ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ

То же самое мы могли бы сказать и относительно воздушного транспорта на дирижаблях, если бы не ветер, который заставляет на дирижаблях ставить очень сильные двигатели. Так что тут использовать выгоду малой скорости еще гораздо менее возможно, чем в мореплавании. Но товар, особенно дешевый, на дирижаблях можно перевозить без мощных двигателей, пользуясь направлением ветра, который постоянно меняется по силе и направлению. Если, например, надо перевезти товар на юг, то надо дожидаться северного ветра, уклоняясь от линии ветра насколько нужно и насколько позволяет мощность слабых моторов. А можно поступать еще экономнее: совсем обходиться без моторов, если, например, ветер северный, то и перевозить надо товар, который требуется на юге и лететь прямо по ветру. Тогда каждое направление ветра во всякое время может быть использовано.

В последнем случае затруднение только в отвесной управляемости аэростата, которая тем совершеннее, чем могущественнее двигатели, продукты горения от которых регулируют температуру водорода и высоту положения дирижабля. Без мощных двигателей — плохая вертикальная управляемость, между тем как она совершенно необходима. Надо бы изобрести практические способы изменения подъемной силы воздушного корабля без изменения его температуры и тем более без потери газа и балласта. Тогда бы у нас были прекрасные сплавные воздушные корабли.

Способов предложено много, но все они непрактичны или недостаточно сильны для борьбы с метеорологическими влияниями.

Пока выходит, что обойтись без моторов даже сплавному аэростату невозможно. Но, я думаю, что разными способами можно умерить атмосферное и солнечное влияние. Тогда можно ограничиться небольшой мощностью моторов и сделать транспорт на дирижаблях очень дешевым. Подобно этому среднего тоннажа корабли употребляют одновременно паруса и моторы. Последние пускаются в действие не всегда, а больше при штиле или очень слабом ветре. Так же при противном.

РЕЛЬСОВЫЙ АВТОПОЕЗД*

Предлагаемый мною сверхскоростной автовагон легко осуществим. От него можно будет перейти и к поезду.

На рис. 1 показан вагон сбоку (продольная отвесная проекция). Половина колес погружена в вагон. Половицы вагона находятся на высоте 0,35 м от рельсов. Две боковые двери — посередине. Высота кабины — от 2,5 до 2 м по концам. Вагон имеет четыре оси на уровне пола. Все восемь колес с закраинами, чтобы вагон не сошел с рельсов. Колеса снабжены

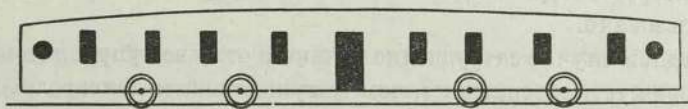


Рис. 1

воздушными камерами (рис. 2)**. Если ширина их больше ширины рельсов, то придется прибавить еще две оси с четырьмя обыкновенными вагонными колесами; эти колеса могут не иметь закраин. Голые железные шины направляющих колес едва касаются рельсов: вся тяжесть вагона распределяется на воздушные камеры.

Боковые стенки вагона (рис. 3) представляют решетчатую ферму, обитую внутри фанерой, а снаружи — жестью.

Рис. 4 изображает горизонтальную проекцию (план вагона). Вагон имеет форму удлиненного, хорошо обтекаемого эллиптического цилиндра. Средняя часть его выходит на полметра вбок от рельсов, а концы висят между рельсами.

На рис. 5 — распределение (в плане) пассажирских мест. Последние находятся по краям стенок в промежутках между окнами. Длина вагона — 20 м. Сиденья располагаются на длине в 14 м. В вагоне можно разместить не менее 30 сидящих пассажиров. Посередине — во всю длину кабины — оставлен широкий проход (не более 1 м в поперечнике). В концах вагона помещаются водители и машинисты и находятся моторы внутрен-

* Впервые опубликовано в газете «Техника» от 30 января 1935 г., № 11 (Ред.).

** На практике пневматические колеса для рельсового поезда применяются в парижском метро в наши дни (Ред.).

него сторания — упрощенные, но с коробкой разных скоростей и тормозным механизмом. Колесные спицы прикрыты с обеих сторон тонкими поверхностями (кругами).

Наибольшая площадь поперечного сечения вагона — $6,25 \text{ м}^2$. При этом условии для преодоления сопротивления воздуха при скорости автогона в 36 км/час потребуется $0,4 \text{ л. с.}$; для скорости в 72 км — $3,2 \text{ л. с.}$; для скорости в 108 км — $10,8 \text{ л. с.}$; для скорости в 180 км — 50 л. с. ; для скорости в 360 км — 400 л. с.

Сопротивление воздушной среды нестрашно даже при скорости до 220 км/час . Но наши рельсы не приспособлены для больших скоростей. Кроме того, закраины колес будут сильно давить на рельсы, что вызовет большое трение, торможение и порчу пути. Поэтому нужна коробка скоростей: на крутых поворотах скорость не должна превышать $10\text{--}20 \text{ м/сек}$.

По моим расчетам, при скорости 180 км/час сопротивление воздуха и работа от трения почти сравняются и составят вместе около 103 л. с.

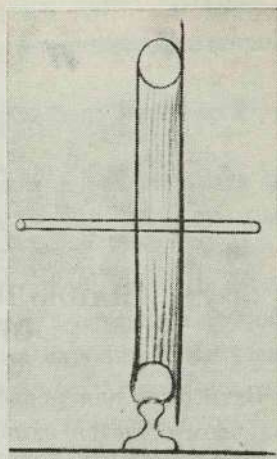


Рис. 2*

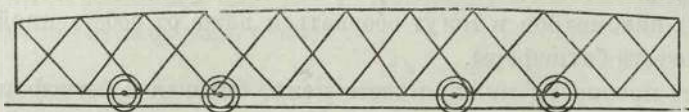


Рис. 3

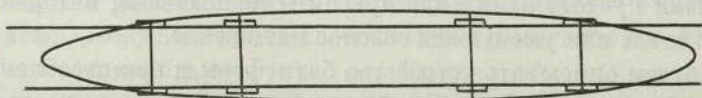


Рис. 4

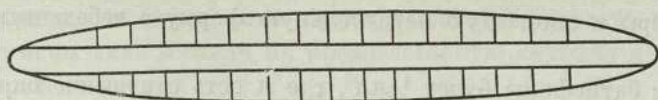


Рис. 5

К большей скорости не приспособлен путь. Но и такая скорость позволит вагону по инерции брать подъем высотой 125 м . При наклоне полотна в одну сотую это составит подъем на гору длиной более 12 км .

* Рисунок публикуется впервые (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 359 (Ред.).

НАИБОЛЬШАЯ ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ ОКЕАНСКОЙ БАТИСФЕРЫ *

Батисфера для исследования морских глубин может быть двух типов. В первом остается запас подъемной силы, батисфера плавает, и только прицепленная внизу тяжесть заставляет ее погружаться. Когда же эта тяжесть отцепляется и падает на дно океана, то батисфера подымается до поверхности бассейна. Она не нуждается в цепях или другом тяжелом соединении с пароходом — ее носителем. Можно ограничиться крепкой проволокой, тросом и телефонным соединением. Второй тип может погружаться гораздо глубже, потому что имеет более толстые стенки. Такая батисфера не может обойтись без тяжелых подъемных цепей. Ее вес больше веса вытесняемой ею воды. Сопротивление стенок значительное и может потому выдерживать давление глубоких вод. Тут цепи достигают длины нескольких километров и могут оборваться даже от собственной тяжести, помимо тяжести батисферы.

Ради их прочности нижняя часть цепи, близкая к батисфере, должна быть тоньше, а отдаленная — толще. Но и этого при большой величине погружения недостаточно. Цепь на всем протяжении может быть снабжена стальными пустотелыми (или другими) поплавками, которые поддерживали бы ее вес или уменьшали опасное натяжение.

Мы не будем описывать устройство батисферы и приспособления, необходимые для жизни и исследований морских глубин, — они достаточно известны. Цель у нас другая. Укажем только на форму кварцевых окон. Они должны быть как можно меньше, иметь боковую опору в круглых прорезях батисферы и сводчатую параллельную форму с небольшим радиусом кривизны.

1. Объем батисферы будет $\frac{4}{3}\pi R^3$, где π есть отношение окружности к диаметру, а R — внешний радиус батисферы. Подъемная сила воды будет $\frac{4}{3}\pi R^3 d$, где d — есть плотность морской воды.

2. Вес металлической батисферы составит $\frac{4}{3}\pi (R^3 - r^3) \gamma$, где r — есть внутренний радиус батисферы, а γ — плотность материала.

3. Свободная подъемная сила (положительная или отрицательная) выразится $\frac{4}{3}\pi R^3 d - \frac{4}{3}\pi (R^3 - r^3) \gamma$.

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 360). На первой странице рукописи рукою Циолковского написано: «1935 г. 15 мая. Для печати» (Ред.).

4. Сопротивление батисферы разрушению равно $(\pi R^2 - \pi r^2)\sigma/n$, где σ — есть коэффициент временного сопротивления разрушению материала от сдвливания, а n — запас прочности.

5. Сила разрушения или давление воды на батисферу будет $r\pi R^2$, где r — есть давление воды на единицу площади.

6. В зависимости от глубины его можно приблизительно выразить формулой $p = h$, где h — есть глубина. Например, на глубине 10 м оно равно 10 т/м². Соленость воды увеличивает ее плотность на 2—3% (смотря по солености). Давление воды от ее тяжести также уплотняет ее. По Колладону и Штурму коэффициент сжатия на атмосферу составляет 0,000050, а на тонну в 10 раз меньше. Так что уплотнение на глубине 10 км составляет 5%. Мы примем во внимание соленость, но учесть сжимаемость от давления довольно трудно. Притом оно уравнивается сжатием самой металлической сферы. Сжатие ее раз в десять менее. Но так как она не сплошная, то сжатие ее будет раз в 10 больше и, значит, уравнивается с уплотнением воды.

7. Приравняем давление воды сопротивлению батисферы разрушению. Тогда на основании 4—6 получим

$$(\pi R^2 - \pi r^2) \frac{\sigma}{n} = dh\pi R^2,$$

где мы ввели плотность морской воды, большую единицы.

8. Из этого уравнения получим интересующую нас наибольшую глубину погружения батисферы, а именно:

$$h = \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \cdot \frac{\sigma}{nd}.$$

9. Из формулы видно, как достигнуть наибольшей глубины, а именно:

а) внешний радиус должен быть как можно больше по отношению к внутреннему, воздушному, иначе — относительная толщина стенок должна быть как можно больше;

б) надо выбрать материал, оказывающий наибольшее сопротивление разрушению сдвливанием;

в) надо брать наименьший запас прочности, т. е. рисковать жизнью. Впрочем, риска не будет, если предварительно погрузить пустую батисферу для испытания в океан на предполагаемую глубину и так испытать ее надежность.

10. Коэффициент разрушения σ при плотности материала около восьми для разных ферросплавов может колебаться от 50 до 200 кг/мм² сечения металла. Прочность можем принять в 6, плотность морской воды в 1,026. Тогда вместо формулы 8-й получим, приняв коэффициент разрушения в 50:

$$h = 8123 \left(1 - \frac{r}{R}\right) м.$$

11. Наименьший размер для r можно положить в 1 м, чтобы при диаметре внутренней воздушной сферы в 2 м исследователь мог свободно стоять. Что же касается до внешнего радиуса (R), то величина его зави-

сит от нас. Полагая этот радиус разной величины, составим такую таблицу:

Внешний радиус (R), м	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Толщина оболочки батисферы, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Наибольшая глубина погружения, м	739	1356	1876	2331	2705

Погружение невелико вследствие большого запаса прочности и обыкновенного, не очень прочного материала. Кроме того, батисфера окажется неудобно толста и страшно тяжела.

12. Дадим другую таблицу для материала более крепкого и с меньшим запасом прочности, т. е. положим σ в 100 кг/мм^2 , $n = 4$, а внешний радиус и толщину стенок такие:

Внешний радиус (R), м	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50
Толщина стенок, см	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Наибольшая величина погружения, м	1157	2208	3170	4048	4858	5629	6312	6970	8115*

13. Определим теперь силу батисферы, стремление батисферы подыматься или опускаться.

Для решения такой задачи имеем формулу 3.

Если это выражение равно нулю, то подъемная сила отсутствует и батисфера не поднимается и не опускается. Если больше нуля, то поднимается, если же меньше, то опускается.

14. Приравняв нулю выражение 3, из полученного равенства найдем

$$\frac{R^3}{r^3} = 1 : \left(1 - \frac{d}{\gamma}\right).$$

Отсюда видно, что для уравновешенной батисферы внешний размер ее (и толщина стенок) тем больше в отношении внутреннего, чем плотность воды больше и плотность материала меньше. Если нужны толстые стенки батисферы, то нужно употреблять легкие сплавы алюминия и магния (дюралюминий, электрон).

15. Положим $d = 1,026$ и составим таблицу для разных плотностей материала.

γ	1,7	2,8	5	8
$R:r$	1,36	1,16	1,08	1,047
$r:R$	0,734	0,859	0,926	0,955

Толщина батисферы в сантиметрах, если диаметр внутренней воздушной сферы составляет 2 м, а радиус 1 м; соответственно: 36; 16; 8; 4,7.

* Наибольшая достигнутая глубина погружения в батисфере 1360 м (1948 г.), а в батискафе — 10919 м (1960 г.) — см. кн.: О. Пикар. На глубину морей в батисфере. Л., 1961, стр. 62 (Ред.).

Более толстые стенки надежнее.

16. Все это относится к сфере, находящейся в равновесии на всякой глубине, фактически же подверженной небольшой отвесной силе — положительной или отрицательной, так как полного равновесия достигнуть трудно. Сравнивая с табл. 12 для сферы плотности 8, видим, что толщины 4,7 и 5 близки, и потому такая уравновешенная сфера может безопасно погрузиться почти на глубину 1157 м. Вообще выходит, что при обычном, все же очень прочном, материале и достаточном запасе прочности уравновешенные сферы не могут погружаться больше чем на 1000 м от уровня океана. Такие сферы не нуждаются в толстых и прочных цепях, даже сами (без цепей) могут погружаться и обратно подниматься на поверхность океана. Действительно, положим, что пустая сфера с придаточным внешним грузом внизу уравновешена. Тогда под влиянием тяжести людей и снарядов внутри она будет тонуть. Пусть тяжесть людей и снарядов в сфере составляет 300 кг. Если ко дну сферы снаружи будет прицеплен свинцовый груз в 500 кг, который легко отцепляется, то, сделав это, водолазы по желанию могут обратно подняться на поверхность воды.

17. Другое дело батисферы с толстыми стенками из ферросплавов, имеющие большой вес и быстро падающие на дно океана. Их надо удерживать и вытаскивать обратно крепкими тросами или цепями. Если они оборвутся, то исследователи погибли.

18. Длина хороших повешенных отвесно тросов может быть в воздухе очень велика, именно до 4 км и даже более, смотря по запасу прочности. Тросы с переменным сечением (равного сопротивления) могут быть еще в несколько раз длиннее.

19. В жидкости тросы теряют часть своего веса, и потому наибольшая длина их может быть в жидкости гораздо значительнее, чем в воздухе. Мы предлагали ради ослабления натяжения тросов поплавки. Но это неудобно, тем более, что без них можно обойтись, употребляя на тросы материал наименьшей плотности. Дадим таблицу удлинений в воде (сравнительно с воздухом) для материалов разных плотностей:

Средняя плотность тросов . .	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	2,8	5	8
Вес в воде	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,8	4	7
Во сколько раз длина троса будет больше в воде, чем в воздухе	11	6	4,33	3	2,43	1,61	1,25	1,14

Видим, что длина тросов из растительных волокон может возрастать в 11 раз и даже более, если они просмолены неплотным веществом. Легкие сплавы дают утроение длины и менее. Тяжелые стальные тросы лишь немного длиннее в воде, чем в воздухе. Ясно, что выгоднее всего легкие органические волокнистые тросы или тросы из электрона (просмоленные).

20. Расчет толщины и веса тросов делается в зависимости от опускающей силы батисферы, т. е. от ее кажущегося веса в воде. Мы говорим про глубоководные снаряды (см. табл. 11 и 12). Какова опускающая сила

снаряда при внутреннем его радиусе в 1 м? Пользуемся формулой 3, знак которой меняем.

Получим:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \left\{ \gamma \left(1 - \frac{r^3}{R^3} \right) - d \right\}.$$

21. Положим тут: $r = 1$, $d = 1,026$ и $\gamma = 8$. Отношение r/R берем из табл. 12. Тогда составим такую таблицу опускающих сил в тоннах.

$R:r$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$r:R$	0,909	0,833	0,769	0,714	0,667
Глубина	2208	4048	5629	6970	8415
Опускающая сила, τ	5,35	17,06	30,8	46,5	60,7

22. Толщина в сантиметрах стальной проволоки в воздухе при таком грузе, не считаясь с весом проволоки и полагая временное сопротивление разрыву в 100 кг/мм^2 , а запас прочности в 4, будет (соответственно с табл. 21): 1,65; 2,95; 3,94; 4,87; 5,61. В воде ее можно делать гораздо тоньше, в особенности из легких материалов.

На первое время придется устраивать уравновешенные и безопасные батисферы, которые сами поднимаются на поверхность воды как только отцепляют привешенный под дном груз.

23. Воспользуемся уравнением 3, в котором сделаем дополнение (G), и напомним его так:

$$\frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3) \gamma + G = \frac{4}{3} \pi R^3 d,$$

где G — означает тягу металлического груза в воде плюс тягу людей и всех предметов в батисфере. Это — условие равновесия.

24. Другое уравнение (7) — есть условие безопасности и прочности. Его оставим без изменения.

Из первого уравнения найдем:

$$R^3 = \left(r^3 \gamma - \frac{3}{4} \frac{G}{\pi} \right) : (\gamma - 1).$$

25. Исключая теперь R из уравнения 7 и определяя h , получим:

$$h = \frac{\sigma}{dn} \left\{ 1 - \frac{r^2 (\gamma - 1)^{2/3}}{\left(r^3 \gamma - \frac{4}{3} \pi G \right)^{2/3}} \right\}.$$

26. По этой формуле составим таблицу глубин в зависимости от временного сопротивления материала, его плотности и запаса прочности. Положим предварительно: $d = 1,026$; $r = 1$ (диаметр 2 м); $G = 0,5 \tau$ (500 кг). Тогда вычислим:

$$h = \frac{\sigma}{1,026n} \left\{ 1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma - 0,4194} \right)^{2/3} \right\}.$$

27. Таблица будет такова (запас прочности n положим в 8).

Коэффициент разрушения, в кг/мм ² сечения	200	150	100	70	40
Плотность материала (γ)	8	8	8	2,8	1,8
Погружение (h), в м	3033	2274	1516	2812	1631
Внешний радиус (R), в м	1,04	1,04	1,04	1,14	1,28
Толщина стенок ($R-r$), в см	4	4	4	14	28

28. Вот другая таблица с менее прочным материалом при запасе прочности в 5:

δ	100	50	30	20
γ	8	8	2,8	1,8
h	2398	1199	1140	1273
R	1,04	1,04	1,14	1,28
$R-r$	4	4	14	28

При вдвое меньшем запасе прочности ($n = 2,5$) погружение будет вдвое больше и дойдет до 4796 м.

ВОЛНОЛОМ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ МОРСКИХ ВОЛН *

Страшна и разрушительна сила океанских волн! Ими затрудняется мореходство, особенно для небольших и небыстроходных судов, благодаря им большинство берегов бывает недоступными для судов. Где нет защиты от морских волнений, приходится устраивать искусственные заграждения (молы).

Человек давно старался покорить морские волнения и использовать их как даровую механическую силу. Много в этом направлении было сделано изобретений; некоторые из них даже осуществлены, но широкого распространения не получили: избыток каменного угля, нефти, дров делает пока эксплуатацию этих последних видов скрытой энергии более выгодной. Более удобной для эксплуатации, чем весьма непостоянная сила волн, а тем более — падение воды в реках, является также и энергия воздушных течений.

Однако наступит время, когда сила движения морских волн будет использоваться не только как источник энергии, но и с целью их укрощения и завоевания океана. Используют же китайцы на речных плотах энергию солнца для своих огородов. Ведь находят же это выгодным! А тут почти беспредельные пустыни океана, недоступные для использования в земледелии только из-за бурной их поверхности и ветров!

Недавно во всех технических журналах был описан волновой двигатель особого типа, предложенный инж. Виммером.

Здесь я предлагаю рассмотреть простейшие основы подобных моторов.

Получать работу из движения волн можно разными способами.

Извлекая через посредство машин энергию движения из волн, мы ослабляем их колебания и тем самым отчасти их укрощаем. Ряд таких машин, следующих одна за другой, могут совсем укротить волнение. Эти двигатели могут заменить мол и явиться искусственной гаванью там, где ее нет. Они могут и предохранить слабый мол от разрушения. При этом первый ряд даст наибольшую работу, второй — меньше, третий — еще меньше.

Опишу сначала простейшее приспособление, а затем — наиболее оригинальное, нигде, возможно, не описанное. Первое может иметь опору в берегах; тогда уже исключается его роль волнолома. Если же оно устанавли-

* Опубликовано впервые в журнале «Вестник знаний», 1935, № 4, стр. 298—300 (Ред.).

вается на особых судах, то его роль как волнолома восстанавливается: за этими судами волны утихают, ослабевают.

Действие мотора основано на том, что в сосуде с крышкой, но без дна, или в кессоне, погруженном в волны, давление на воздух в нем то увеличивается, то уменьшается — конечно, при волнении.

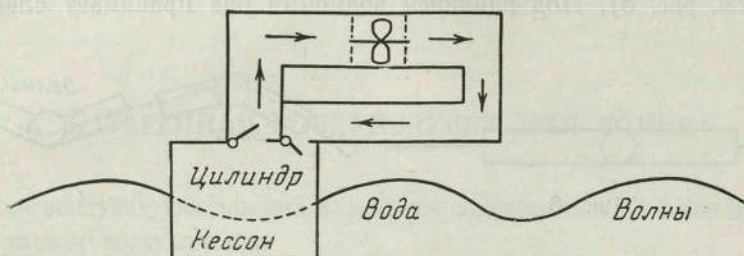


Рис. 1

На рис. 1 наглядно изображен такой прибор. Когда давление увеличивается, воздух в сосуде сжимается, поднимает левый клапан, закрывает правый и устремляется в подобие паровой машины или турбины

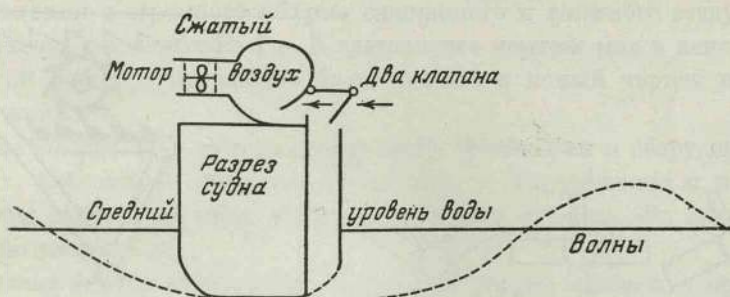


Рис. 2

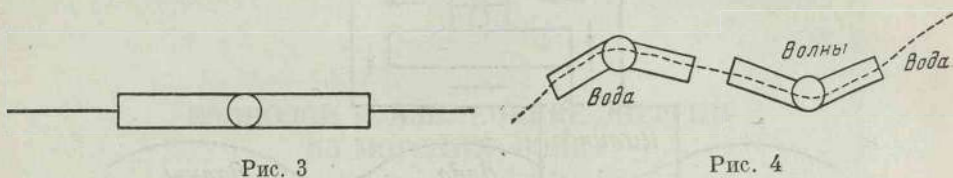
(только работает не пар, а воздух). Когда же давление ослабевает, воздух в кессоне разрежается, левый клапан запирается, а правый открывается, и воздух из левой части прибора перегоняется в разреженное справа пространство. Тот же воздух машины циркулирует через воздушный мотор, извлекая работу из энергии волн. Процент использования этой энергии может быть невелик, но ведь волнение не только ничего не стоит, но даже вредно, и желательным является даже малое ослабление его.

Регулировка и равномерность действия мотора достигается наличием воздушных резервуаров, соединенных с правыми и левыми трубами.

Можно упростить снаряд — обойтись без разрежения, отбросив правую половину его. Оба клапана остаются, но правый выходит прямо в воздух. Действие такой машины будет слабее. Если она на берегу, то ослабит разрушение, производимое волнами. Как береговой прибор она удобна, так как воздушные трубы можно проводить далеко от воды. Если же приборы эти находятся на некотором расстоянии от берега, на моле или на особых судах-плотах, то они как искусственная гавань служат и для охраны от волнения. В таком случае сами суда должны иметь кессоны, в которых сжи-

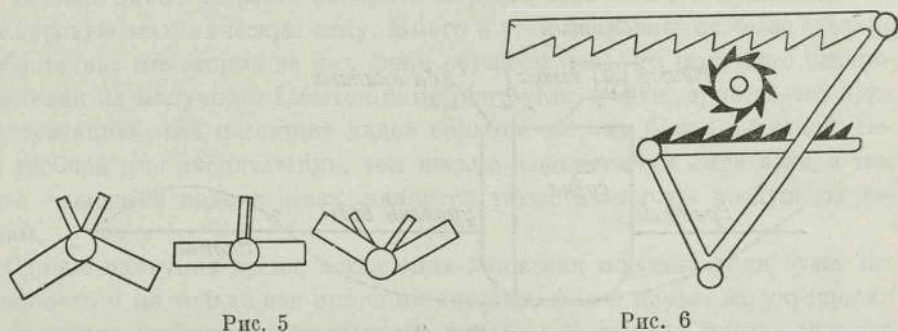
мается воздух (см. рис. 2). Перейдем теперь к описанию наиболее оригинального способа использования и укрощения волн. Возможно, что он уже был предложен когда-нибудь до меня: ведь трудно сказать что-нибудь новое.

Представим себе нечто вроде плавающей дверной петли огромных размеров (см. рис. 3). Под влиянием волнения она принимает следующие



формы (рис. 4), т. е. периодически изгибается вокруг своей оси. Этим мы и пользуемся для извлечения из движения волн работы и их укрощения.

Петли приводят в колебательное движение прилаженные к ним стержни (см. рис. 5). Последние с помощью зубчатых полос вращают зубчатое колесо всегда в одну сторону; сами они вследствие наклона зубцов



(см. рис. 6) скользят в противоположную сторону. Это приспособление работает только при одном направлении качания стержней. При обратном направлении ход их холостой. Но на той же оси могут быть расположены другая пара стержней, зубчатых полос и колеса, но с обратным наклоном зубцов, что дает возможность колесам и оси вращаться благодаря инерции маховика, насаженного на ту же ось. Тогда при движении зубья колес с треском соединяются с зубьями стержней. Как велика может быть получаемая таким путем работа, насколько она может ослаблять волнение и насколько экономична машина, — может показать только опыт.

Возможно, что эти волноломы смогут быть использованы не только для укрощения волнения, но и как даровая энергия при движении судов и для других целей.

Огромные суда-плоты — приюты для аэропланов и дирижаблей среди океанов — могли бы быть полезны также и для погибающих от бури судов.

Эти волноломы являются первыми в завоевании вод. Начало трудно, продолжать начатое будет гораздо легче. Все зависит от развития индустрии.

БАТАРЕЙНАЯ ВОЗДУХОДУВКА ДЛЯ ДОМЕН *

Такая воздуходувка должна давать сверхдавление в 1—3 атм и несколько десятков м³ воздуха в сек.

Поршневые воздуходувки не подходят, а турбовоздуходувки заграничного изделия обходятся в 2—3 сотни тысяч рублей золотом. Кроме того, они чересчур сложны и в СССР не производятся.

В моих книжках: «Стратоплан» и «Сжиматель газов» ** я описал очень простые воздуходувки, как раз удовлетворяющие потребностям большого сверхдавления и огромного объема сжимаемого и гонимого воздуха. Но в «Сжимателе» нет чертежа, а в «Стратоплане» чертеж мал и неясен.

В этой работе я предлагаю более точный и ясный чертеж и краткое его описание.

Производство моих воздуходувок стоит гроши, как и оборудование мастерских. Собственно, никакого специального оборудования и не нужно. Их можно строить на всех железоделательных заводах. Но приступим к описанию сжимателя.

Большая фигура изображает продольный разрез машины, а меньшая — поперечный вид (две проекции). Прибор состоит из двух концентрических цилиндров (с одной осью). Диаметр первого в два раза больше второго. Первый неподвижен, второй вращается с помощью особого мотора. На втором имеется ряд лопаток формы архимедова винта или аэропланых воздушных винтов (1, 2, 3, ... 10). Они прикреплены к внутреннему цилиндру и вращаются вместе с ним. Между лопатками расположены тонкие жестяные ленты (11, 12, ... 20). Их плоскости параллельны оси цилиндров. Ленты неподвижны, так как прикреплены к стенкам большого цилиндра.

В каждой поперечной плоскости может быть две или более лопасти и не менее одной ленты. На чертежах четыре лопасти и три ленты.

Как же работает воздуходувка и какая цель описанного устройства?

Представим себе, что воздух свободно входит справа и также свободно (без суживания левого отверстия) выходит слева. Тогда в результате вращения получим много воздуха и очень слабое сверхдавление. Прибор будет

* Опубликовано впервые в журнале «Вестник инженеров и техников», 1932, № 10, стр. 439—440 (Ред.).

** Циолковский имеет здесь в виду свои работы «Стратоплан полуреактивный», Калуга, 1932 и «Сжиматель газов и его расчет», Калуга, 1931 (Ред.).

работать даже хуже, чем с одним воздушным винтом: остальные их ряды как бы бесполезны, даже вредны, так как поглощают много работы на трение.

Это представление долго сбивало меня с толку и заставляло выдумывать известные за границей очень сложные компрессоры.

Теперь представьте себе, что есть препятствие (например, сужение левого отверстия, как показано на чертеже) выходу воздуха из трубы. Тогда картина получится иная.

Вообразим крайний случай, когда отверстие слева совсем закрыто и воздух из цилиндра выходить не может. Тогда от действия первого круга

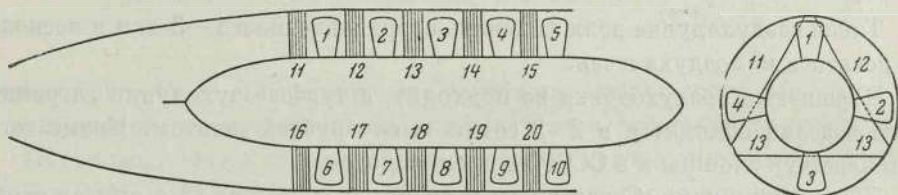


Рис. 1

лопастей (5 и 10) получается некоторое сверхдавление, зависящее от скорости движения лопасти по их окружности. Второй круг лопастей (4 и 9) еще сжимает уже сжатый воздух и т. д. Таким путем давление и сжатие воздуха будет возрастать в трубе, справа налево, пропорционально числу кругов с воздушными винтами.

Если бы не было лент, то воздух мог бы закружиться в большой трубе и не дать того, о чем мы говорим. Вот для чего необходимы эти направляющие ленты (11, 12).

Теперь для краткости буду ссылаться на вышеупомянутые мои книжки.

Наибольшая возможная скорость крайних точек лопастей не превышает 354 м/сек, она может произвести сверхдавление, от одного винтового круга, не больше 0,7 атм.

Таким образом получим следующее наибольшее сжатие воздуха в нашем батарейном компрессоре.

Число винтовых кругов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Сжатие, атм	1,7	2,9	4,9	8,4	14,3	24,0	40,8	70,5	117,6	204,5

Конечно, дело гораздо сложнее, но мы не будем вникать в подробности. Они указаны в моих книжках. Итак, уже 10 воздушных винтов дают сжатие в 204 атм. Но в таком случае потока не будет и подобное сжатие для домен не нужно.

Откроем отверстие слева или уменьшим препятствие к истечению воздуха (меньше 200 атм). Тогда получим поток — тем более быстрый, чем давление при выходе воздуха будет слабее.

Для потребностей домы довольно одной-двух атмосфер сверхдавления. Поэтому не нужны ни такая крайняя и рискованная скорость по

окружности (354 м/сек), ни большое число воздушных винтов. Получим и достаточное давление и сколько нужно воздуха.

Наиболее выгодная и наибольшая скорость потока не может быть выше 150 м/сек. Какое же количество воздуха при этом может всосать турбокомпрессор? Конечно, это будет зависеть от его диаметра. Давление же или сжатие будет зависеть от числа воздушных винтов, т. е. от длины машины.

Даем тут таблицу, показывающую зависимость количества всасываемого воздуха от диаметра трубы.

Диаметр, м . . .	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Объем воздуха . .	8,0	14,2	22,1	31,9	43,4
Число оборотов, сек	156	117	94	78	67

Следовательно, для самой громадной домы довольно трубы с диаметром в 0,7 м.

Но число оборотов (67) будет несколько велико для непосредственной передачи от нефтяного двигателя. Чтобы избежать этого, можно несколько увеличить диаметр трубы и уменьшить окружную скорость лопастей. Последнее будет полезно и в отношении прочности конструкции и в отношении ее осуществления.

Разумеется, до устройства моделей и их испытания нельзя сделать верную оценку этих компрессоров*.

* В заметке К. Э. Циолковский предлагает схему многоступенчатой турбовоздуховки с осевыми колесами (типа пропеллера). Вентиляторы с такими колесами дают к. п. д. не ниже, чем с радиальными колесами, а в некоторых случаях и выше.

Осевые многоступенчатые турбовоздуховки должны быть легче и компактнее радиальных, на что имеется указание в литературе (см. Известия ЭШЕР-ВИСС, август 1932 г.).

Необходимо только отметить, что осевые колеса являются более быстроходными, т. е. при одинаковых перепадах давления осевые колеса требуют больших чисел оборотов, чем радиальные колеса.

Поэтому следует признать желательным выполнение опытной модели осевой многоступенчатой турбовоздуховки.

Привод в действие мог бы быть, по нашему мнению, осуществлен не от двигателя, как предлагает К. Э. Циолковский, а от электромотора, причем диаметр втулки, равный половине диаметра колеса, позволяет поместить электромотор внутри втулки.

Электромотор можно было бы сконструировать с центральным статором и расположенным по периферии ротором. Такая конструкция электромотора для осевого вентилятора была предложена и сконструирована сотрудником ЦАГИ инж. Енгилбартян. (Примечание редакции первого издания).

КАК УВЕЛИЧИТЬ ЭНЕРГИЮ ВЗРЫВНЫХ (ТЕПЛОВЫХ) ДВИГАТЕЛЕЙ*

(Октябрь 1931 г.)

Я имею в виду облегчить вес двигателей, или увеличить их энергию. Это очень краткое исследование.

Более легкие моторы вообще полезны, но особенное значение они имеют в применении к авиации при больших перелетах без спуска. Еще значительнее их роль в приложении к аэроплану высот. Мне кажется, я пришел к верному выводу, что можно усилить энергию мотора.

1. Принимаем пока четырехтактный авиационный мотор. Среднюю толщину δ стенок рабочего цилиндра определяем по среднему давлению p взрывающихся газов. Имеем:

$$\delta \cdot \frac{\sigma}{n} = 0,5Dp,$$

где D — есть диаметр цилиндра, σ — временное сопротивление разрыву, а n — запас прочности. Отсюда:

$$\delta = 0,5 \frac{D \cdot p}{\sigma/n}.$$

2. Вес цилиндра (G) будет:

$$G = \pi D h \gamma \delta k_{\pi},$$

где h — есть высота цилиндра; γ — плотность материала, k_{π} — есть коэффициент цилиндра. Он больше единицы благодаря дну, поршню, шатунам, оси и пр.

3. Из 1 и 2 находим:

$$G = \frac{k_{\pi}}{\sigma/n} \cdot 0,5\pi D^2 h \gamma p.$$

4. Работа одного цилиндра L при одном взмахе, или при двух оборотах, будет:

$$L = 0,25\pi D^2 h p.$$

5. В секунду работа L_s будет:

$$L_s = 0,125\pi D^2 h p n_s,$$

где n_s — есть число оборотов оси в секунду.

* Опубликовано впервые в 1931 г. в Калуге отдельной брошюрой (Ред.).

Из этого, исключая p , с помощью уравнения 3 найдем:

$$5_1. \quad \frac{L_s}{G} = \frac{n_s \sigma / n}{4k_{\Pi} \gamma}.$$

k_{Π} для удлиненных (продолговатых) цилиндров будет меньше, а потому и работа таких цилиндров будет больше.

Выходит, что секундная работа мотора, приходящаяся на единицу веса (т. е. энергия), одна и та же, несмотря на величину давления взрывных газов и размеры цилиндров.

6. Но она еще зависит от числа оборотов n_s . Последнее зависит: 1) от величины клапанных отверстий сравнительно с объемом цилиндра; 2) от быстроты смешения горючего с воздухом; 3) от быстроты охлаждения цилиндра; 4) от сопротивления атмосферы; 5) от температуры продуктов; 6) от их плотности.

7. Остановимся пока на клапанных отверстиях. Во сколько времени могут выйти продукты горения из отверстия?

Объем цилиндра равен:

$$V = 0,25\pi D^2 h.$$

8. Среднее давление продуктов горения — p , отверстие или площадь клапана — S . Скорость выхода в пустоту (приблизительно)

$$v = \sqrt{2g \frac{p}{\rho}},$$

где g — ускорение тяжести и ρ — плотность продуктов горения.

9. Выйдет продуктов в секунду объем, равный $S \cdot v$. Во сколько же времени t освободится объем цилиндра, равный $V = 0,25\pi D^2 h$?

10. Найдем:

$$t = \frac{0,25\pi D^2 h}{Sv}$$

или

$$t = \left(\frac{0,25\pi D^2}{S} : v \right) h.$$

11. Отсюда, исключая v , найдем время вылета продуктов:

$$t = \frac{0,25\pi D^2}{S} \cdot \frac{h}{\sqrt{2gp/\rho}}.$$

12. Видим, что отношение площади клапана к площади основания цилиндра должно быть как можно больше, также и отношение давления продуктов к их плотности. Тогда время будет наименьшим. Но оба эти отношения довольно постоянны для цилиндров всех диаметров и одном горючем.

Выходит, что время освобождения цилиндра от продуктов сгорания тем меньше, чем меньше его высота. Обыкновенно высота цилиндра в определенное число раз больше диаметра его основания (в 1—2 раза). Значит,

время выбрасывания тем меньше, чем меньше размеры цилиндра (т. е. D или h).

13. Из этого и формулы 5 видно, что секундная работа одного цилиндра обратна размерам цилиндра (h). Следовательно, для достижения наибольшей секундной работы цилиндра при одном и том же его весе надо делать цилиндры возможно малых размеров.

14. Попробуем хотя бы приблизительно вычислить время выброса продуктов. Положим в формуле 10 или 11:

$$\frac{S}{0,24\pi D^2} = 0,1;$$

$$v = \sqrt{2g \frac{P}{\rho}} = 500 \text{ м/сек (см. 8)}.$$

Тогда вычислим: $t = 0,02 \cdot h$.

При 1 м высоты цилиндра получим: $t = 0,02 \text{ сек}$.

15. Время половины оборота оси мотора должно быть по крайней мере в 5 раз больше времени выброса продуктов, т. е. время полного оборота в 10 раз больше времени выбрасывания продуктов горения (см. 10). Таким образом, число оборотов оси мотора в секунду будет:

$$n_s = \frac{1}{10t} = 0,1 \frac{Sv}{0,25\pi D^2} \cdot \frac{1}{h}.$$

Так, при условиях 14 найдем:

$$n_s = 5 \cdot \frac{1}{h}.$$

При высоте рабочего цилиндра в 1 м $n_s = 5$.

16. Но если бы могли устроить мотор с цилиндрами в 1 см высоты, то получили бы 500 оборотов в секунду. Тогда работа цилиндра по формуле 5, при том же весе была бы в 100 раз больше.

17. Конечно, такая малость была бы неэкономна, потому что цилиндры оказались бы в моторе при той же мощности чересчур много, машина вышла бы очень сложна, очень дорога и т. д.

18. Кроме того, стенки цилиндров оказались бы непрактично тонки, между тем как их нельзя делать тоньше, например, 0,5 мм.

Оказалось бы громадное непроизводительное увеличение веса, хотя и с огромным запасом прочности в отношении давления взрывающихся газов.

19. Вычислим толщину стенок цилиндра при хорошем материале. Имеем по формуле 1: $\delta = 0,5Dpn/\sigma$. Отсюда видно, что толщина стенок уменьшается с уменьшением размеров (D) цилиндра, но она пропорциональна среднему давлению взрывающихся газов.

Положим в (19): $D = 1$; $p = 200$ (20 атм); $\sigma = 100\,000$ (100 кг/мм²); $n = 5$.

Тогда вычислим: $\delta = 0,005$, или 5 мм.

Но это неслыханной величины тепловой мотор, высота цилиндров которого равна 1—2 м.

20. Положим теперь $D = 0,05$ (5 см).

Тогда $\delta = 0,25$ мм.

Такой малой толщины цилиндры не делают.

Надо еще иметь в виду, что мы обозначаем среднюю толщину. На самом деле в основании, у дна, давление громадно, и тут толщина должна быть во много раз больше средней. Наоборот, у открытого края цилиндра она гораздо меньше. Следовательно, толщина при малых цилиндрах будет непрактично мала (если сделана из лучшего материала).

Как же быть? Если и возьмем малые цилиндры, то все равно их придется делать толстыми (еще и охлаждающие ребра увеличивают их вес). Вес будет бесполезно велик, и для обычного среднего давления окажется у цилиндра напрасный запас прочности.

Вот, чтобы этот запас не пропадал, мы можем употреблять для потребностей горения заранее сжатый воздух. Если, например, запас прочности будет в 10 раз больше, чем нужно, то мы можем сжимать воздух в 10 раз.

Получим в 10 раз больше работы и тогда ни одного грамма вещества * не пропадет даром.

21. Положим, например, в (5): $D = 0,05$ м; $h = 0,1$ м; $\delta = 0,005$ м (5 мм); $S/0,25\pi D^2 = 0,1$; $v = 500$ м/сек. Следовательно, по формуле 15 $n_s = 50$; далее: $\sigma = 100\,000$; $n = 5$; $\gamma = 8$. Теперь по формуле 5₁ найдем:

$$\frac{L_s}{G} = \frac{31000}{k_{\pi}}$$

Это секундная работа в тм — на тонну двигателя. Работа на кг его веса будет $= 31 : k_{\pi}$ или $310 : k_{\pi}$ метрических сил. Если положим, что на дно, поршень, шатуны, ось, клапаны и пр. идет в 9 раз больше, чем на боковую стенку рабочего цилиндра, то $k_{\pi} = 10$ и на кг веса мотора получим 31 метрическую силу.

22. Но мы еще не определяли предварительное сжатие воздуха, питающего рабочий цилиндр. Из формулы 1 имеем:

$$P = 2 \frac{\sigma}{n} \cdot \frac{\delta}{D}.$$

Подставляя числа, найдем (см. 21) $P = 4000$ т/м² или 400 метрических атмосфер.

Среднее же давление примерно 20 атм, следовательно, нужно предварительное сжатие воздуха компрессором до 20 атм. Но зато мы тогда получим энергию, в 31 раз бóльшую обычной.

Но так как прибавляется компрессор и часть работы пойдет на сжатие воздуха, то такого сильного изменения энергии мотора мы не получим. Относительно работы сжатия и компрессора у меня имеются в руках печатные мои труды **.

* Из которого сделан мотор (Прим. ред. издания 1931 г.).

** Здесь Циолковский имеет в виду свою работу «Сжиматель газов и его расчет» (см. в данном томе). (Ред.).

23. Американские двигатели для лодок делают до 4000 об/мин (или до 70 об/сек). Это даже больше найденного (см. 21).

24. Основные наши формулы будут: 5, 15, 8 и 22.

25. Рассмотрим скорость (v) продуктов горения. Она зависит от внешнего атмосферного давления и от температуры выхлопных газов.

Так как мы употребляем сильное предварительное сжатие, то влияние атмосферного давления будет незаметно, в особенности на высотах. Температура выброса гораздо больше, чем мы брали (0°). Поэтому v газов не менее 700—800 м/сек.

При употреблении водорода плотность продуктов (ρ) падает. Поэтому скорость вылета газов (8) увеличивается. Выходит, что употребление водорода или прибавка его к бензину очень выгодна. Она выгодна еще потому, что водород при том же весе содержит почти в три раза больше энергии, чем бензин, и еще потому, что смешение его с воздухом и бензином совершается быстрее.

26. Если вес охлаждающих ребер или колец цилиндра будет равен весу самой цилиндрической поверхности, то поперечное сопротивление (вдоль диаметра) останется то же, а продольное (по высоте цилиндра) уменьшится вдвое. Но последнее допустимо, так как продольное давление газов вдвое менее поперечного (на ту же площадь сечения цилиндра).

27. Достаточным ли окажется воздушное охлаждение, хотя бы при ребрах и малости цилиндров?

При употреблении предварительно сжатого воздуха цилиндры должны быть тяжелы. Также тяжелы могут быть ребра, т. е. они могут иметь большую поверхность и большую охлаждающую силу. Сжатый воздух скорее нагревает цилиндры при взрыве (хотя скорее и охлаждает до взрыва), а потому требуется сильнейшее их охлаждение, между тем как охлаждающий снаружи воздух все тот же, а на высотах даже реже. Выходит, что поверхность охлаждаемых колец должна быть тем больше, чем более предварительно сжат воздух, что соответствует массивности цилиндров.

28. Малость цилиндров, по-видимому, играет небольшую роль в успехе охлаждения. Действительно, при подобии рабочих цилиндров и нагревание и охлаждение их пропорционально поверхности. Так что нагревание соответствует охлаждению при всяких размерах рабочих цилиндров. Но если принять в расчет лучеиспускание внутренней массы газообразных продуктов горения, то преимущество (в отношении успеха охлаждения) все же будет на стороне малых цилиндров.

Большое влияние имеет скорость охлаждающего воздушного потока. Эта скорость должна искусственно тем более увеличиваться, чем выше температура атмосферы, чем она реже и чем предварительное сжатие питающего цилиндры воздуха больше.

29. Действительно ли нужно принимать вес всего мотора в 10 раз больше веса цилиндрических рабочих поверхностей, т. е. не велико ли число 10 для $k_{ц}$? Оставим его пока.

30. Приведем тут упомянутые основные формулы.

$$\frac{L_s}{G} = \frac{n_s \cdot \sigma / n}{4k_{ц} \cdot \gamma}.$$

Это отношение выражает секундную работу мотора на единицу его веса. Ее можно назвать энергией двигателя (см. 5₁).

$$31. \quad v = \sqrt{2gp/\rho}.$$

Тут определяется приблизительно скорость вылета всех продуктов горения из цилиндра (см. 8).

$$32. \quad n_s = 0,1 \frac{Sv}{0,25\pi D^2} \cdot \frac{1}{h}.$$

Здесь узнаем экономическое число оборотов рабочей оси мотора (см. 15). Это число зависит также от сравнительной величины клапанных отверстий. Ее надо на практике брать меньше, чем мы брали, например, в 0,05.

$$33. \quad p = 2 \frac{\sigma}{n} \cdot \frac{\delta}{D}.$$

Эта формула определяет среднее газовое давление, которому подвергаются стенки цилиндра (см. 1).

34. Узнаем еще число потребных рабочих цилиндров (Z) на секундную работу в один тоннометр, или на 10 метрических лошадиных сил. Из формулы 5 получим:

$$Z = \frac{1}{L_s} = \frac{8}{\pi D^2 h p n_s}.$$

34₁. Дадим еще формулу, определяющую мощность мотора при десяти цилиндрах. Получим из 5:

$$10L_s = 1,25\pi D^2 h p n_s.$$

35. Сущность [моего предложения] в том, что мы употребляем малые цилиндры и уплотненный предварительно воздух. Вес же малых цилиндров не пришлось увеличивать, так как у них обыкновенно громадный запас прочности, если они отлиты не из чугуна, а из прочной хромоникелевой стали.

36. Положим в предыдущих основных формулах (30—34) наиболее благоприятные условия, а именно:

$\sigma = 200\,000 \text{ т/м}^2$ (200 кг/мм^2); $n = 5$; $\gamma = 8$; $k_{ц} = 10$; $v = 800 \text{ м/сек}$ (бензин и воздух); $S/0,25\pi D^2 = 0,05$; $\delta = 0,01 \text{ м}$ (10 мм); $D = 0,05$; $h = 0,01$.

Тогда вычислим: $n_s = 40$; $\frac{L_s}{G} = 5000 \text{ тм}$ на тонну веса, или 5 тм на килограмм веса, или, наконец, 50 метрических сил на кг; далее $p = 8000 \text{ т/м}^2$, или 800 атм*.

* Вообще же должна была бы по формуле (33) получиться величина в два раза большая. Это замечание относится также к параграфу 44 (Прим. ред. издания 1931 г.).

Воздух, примерно, предварительно сжимается в 40 раз. Это чрезмерно.

38. Следующие заключения из формул нам будут полезны для составления таблиц.

39. Из (32) видно, что число оборотов (n_s) оси обратно пропорционально высоте (h) цилиндра.

40. Из (33) следует, что давление на единицу площади обратно пропорционально диаметру (D) цилиндра или высоте (h) его.

41. Из (30), исключая число оборотов (n_s) посредством (32), найдем:

$$\frac{L_s}{G} = \frac{bv(S/0,25\pi D^2)(\sigma/n)}{4k_{II}h\gamma}.$$

Значит, секундная мощность, приходящаяся на единицу веса мотора, или его энергия, обратно пропорциональна высоте (h) рабочих цилиндров.

42. Из (34) исключим h , p и n_s и, полагая, что $h = 2D$, найдем:

$$Z = \frac{4}{\pi b v D \delta (\sigma/n) (S/0,25\pi D^2) D}.$$

Отсюда видно, что число цилиндров, потребное для получения единицы работы в секунду, обратно пропорционально размерам (D) цилиндра. Отношение же $S/0,25\pi D^2$ вообще постоянно.

43. Мощность в секунду одного цилиндра видна из формулы (34₁).

Исключим и из нее h , p и n_s . Получим:

$$L_s = \frac{\pi}{4} b v \delta \left(\frac{\sigma}{n}\right) \left(\frac{S}{0,25\pi D^2}\right) \cdot D.$$

Следовательно, секундная работа одного цилиндра прямо пропорциональна размерам (D) цилиндра.

43₁. Оставим условия (36), кроме диаметра (D) цилиндра и пропорциональной ему высоты (h).

Тогда составим таблицу для разных размеров рабочих цилиндров.

44.

h см	5	10	15	20	25	30	40	50
D , см	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25
n_s	80	40	26,6	20	16	13,3	10	8

Секундная работа в метрических силах на кг веса мотора

L_s/G	410	50	33,3	25	20	16,7	12,5	10
p , атм	1600	800	532	400	320	267	200	160

Число цилиндров на 10 000 м. сил. (1000 тм) (см. 34)

Z	64	32	21,3	16	12,8	10,7	8	6,4
---------------	----	----	------	----	------	------	---	-----

Мощность

1570	3140	4710	6280	7850	9420	12 550	15 700
------	------	------	------	------	------	--------	--------

Сколько метрических сил получится на 10 цилиндров в каждом моторе см. 5.

45. Число оборотов невелико. Оно, очевидно, может быть больше. Значит, или клапанные отверстия сравнительно больше, или время вылета га-

зов не в 10 раз меньше времени оборота вала, а, например, в 5 раз. Последнее скорее, и мы положим в формуле (32) числовой коэффициент в 0,2, или вообще:

$$n_s = b \frac{Sv}{0,25\pi D^2} \cdot \frac{1}{h}.$$

46. Энергия великолепна: в 10—100 раз больше энергии авиационных моторов, но среднее полное давление работающих газов чересчур велико, особенно для малых цилиндров, т. е. предварительное сжатие воздуха затруднительно.

Из формулы (33) видно, что его можно понизить или уменьшением средней толщины (δ) цилиндров, или увеличением их размеров. Последнее видно и из таблицы. Мы положим для новой таблицы $\delta = 0,005$ (5 мм) и $b = 0,2$.

46*. Из той же формулы (33) следует, что давление можно уменьшить увеличением запаса прочности (n) или уменьшением σ , т. е. заменой накрепчайшего материала слабым.

Последнее делать нет смысла. Поэтому мы увеличим запас прочности (n).

47. Итак, примем формулы 30, 31, 32, 33, 34₁ (или 5) и условия: $\sigma = 2 \cdot 10^5$; $b = 0,2$; $n = 20$ (в 4 раза больше); $\gamma = 8$; $k_{ц} = 10$; $v = 800$; $h : D = 2$; $\delta = 0,005$; $S/0,25\pi D^2 = 0,05$.

48. Тогда для разных размеров рабочего цилиндра составим следующую таблицу:

h	5	10	15	20	25	30	40	50
D	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25
n_s	160	80	53,3	40	32	26,7	20	16
L_s/G	50	25	16,7	12,5	10	8,33	6,25	5
p	200	100	66,7	50	40	33,3	25	20

Число цилиндров на 10 000 метрических сил (1000 т.м)

256	128	85,3	64	51,2	42,7	32	25,6
-----	-----	------	----	------	------	----	------

Сколько метр. сил получится в каждом моторе при 10 цилиндрах

392	785	1177	1570	1962	2355	3140	3925
-----	-----	------	------	------	------	------	------

Высота моторов при параллельном расположении рабочих цилиндров, см:

15	30	45	60	75	90	120	150
----	----	----	----	----	----	-----	-----

То же при звездном расположении, см

25	50	75	100	125	150	200	250
----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

49. Число оборотов оси мотора в секунду не превышает обыденного. Так, американский лодочный мотор делает до 70 об/сек (4000 в мин).

50. Энергия мотора (L_s/G) при больших цилиндрах в 50 см высоты в 5 раз более обычной, т. е. на кг веса мотора получается 5 метрических сил. При малых цилиндрах энергия пропорционально больше.

* Здесь Циолковский ошибочно повторил № 46 (Ред.).

51. Среднее рабочее давление в больших цилиндрах, выраженное в *атм*, близко к обыкновенному. В малых же цилиндрах оно пропорционально больше и требует предварительного сжатия воздуха в особых компрессорах.

52. Число цилиндров, необходимое для получения 10 000 метрических сил довольно велико. Наиболее энергичная и мощная машина будет сложна.

53. При звездном расположении цилиндров в одном кругу свободно располагаются 10 цилиндров. Работа такого круга показана в таблице. При цилиндрах в 50 *см* высоты работа такого круга близка к 4000 метрических сил. Но звезда из цилиндров доходит до 2,5 *м* высоты.

54. При цилиндрах в 10 *см* высоты звезда имеет в диаметре 1 *м* и дает 1570 сил при энергии в 12,5.

Если бы нам надо было получить 15 700 метрических сил, то пришлось бы употребить 100 цилиндров в 10 кругах. При высоте в 1 *м* этот двигатель имел бы примерно длину в 2 *м*. Вес его составил бы 1256 *кг*.

55. Небольшое предварительное сжатие питающего цилиндры воздуха требует небольшой работы и не нуждается в холодильниках. Но сильное сжатие, необходимое на высотах или при проявлении большой степени энергии, не может обходиться без холодильников.

56. Такие холодильники естественным образом получают при расширении продуктов горения в особых трубах. Особенно это может быть удачно при полуреактивных стратопланах на большой высоте, где продукты горения сильно расширяются и оттого охлаждаются тем более, чем это расширение больше, т. е. чем меньше окружающее атмосферное давление.

Но этот вопрос требует особого обсуждения, которое мы постараемся дать в свое время.

Примечания. Мотор может быть и двухтактный. Бензин может быть заменен нефтью. Например, может быть принят дизель-мотор. Он имеет преимущество не только экономическое, но в его рабочих цилиндрах степень сжатия воздуха неограничена, потому что горючее вбрызгивается после сжатия воздуха в цилиндрах. Ввиду этого можно обойтись без предварительного сжатия воздуха, по крайней мере в плотных слоях атмосферы.

На основании (15) мы поставим в формулах коэффициент 0,1. В формуле 41 и последующих мы это число заменим буквой *b*; *b* может быть больше 0,1. Из (13) видно, что при подобии цилиндров секундная работа (энергия) обратно пропорциональна размерам рабочего цилиндра.

Вообще же (при неподобии) она обратна высоте цилиндра (формулы 40—45). Поэтому выгодно брать наименьшую высоту. Для увеличения же работы лучше увеличивать диаметр основания цилиндра. Но этому мешают разные условия. Обыкновенно диаметр цилиндра делают равным его высоте.

СЖИМАТЕЛЬ ГАЗОВ И ЕГО РАСЧЕТ *

1. Прибор для получения потока сжатого воздуха, теорию которого мы тут даем, состоит из круглой цилиндрической трубы с рядом воздушных винтов, подобных авиационным и с плоскими перегородками между ними. По оси этого цилиндра вращается концентрично другой цилиндр с диаметром вдвое меньшим. Последний имеет закругленные, хорошо обтекаемые концы и весь закрыт со всех сторон. Меньший цилиндр и вращает лопасти прикрепленных к нему воздушных винтов. Но, чтобы не образовалось общего вращательного движения воздуха, каждая пара лопаток отделяется от соседней плоскостью, параллельной оси цилиндра. Пластинки эти, или перегородки, приделаны к большему цилиндру и потому неподвижны.

Воздушные лопасти могут иметь одинаковый наклон и разный, что будет выяснено.

Рассмотрим действие сжимателя при вращении лопаток. Тут могут быть три главных случая.

а) Поток в трубе встречает неодолимое препятствие, когда, например, выходное отверстие сжимателя закрыто. В этом случае каждый воздушный винт сжимает поток на некоторую величину. Но так как воздух сгущается в конце трубы более, чем в начале, то действие пропеллера тем сильнее, чем он ближе к концу трубы. В этом конце сгущение пропорционально числу всех винтов в сжимателе. При равномерном их расположении приращение плотности воздуха пропорционально удалению его от начала трубы, т. е. от входного отверстия.

В этом случае скорость потока наименьшая (нулевая), а сжатие наибольшее.

б) Второй крайний случай получится, когда труба вполне открыта, и поток почти не встречает сопротивления своему движению. Тогда скорость потока наибольшая, а сжатие его наименьшее. Тут не только бесполезно, но даже вредно употребление многих воздушных винтов: довольно и одного.

Если работой потока означим величину произведения его скорости на сжатие, то в обоих этих случаях работа будет нулевой.

в) Третий случай будет, когда поток встречает препятствие, но преодолевает его и потому имеет не только сгущение, но и движение. Тогда работа

* Опубликовано впервые в 1931 г. в Калуге отдельной брошюрой (Ред.)

потока уже не будет нулевой. Максимальная работа получится, как увидим, при некоторой средней скорости.

Эти сжиматели дают в секунду какое угодно давление и какую угодно массу воздуха, но утилизация работы никогда не превышает 50%.

Скорость лопаток по окружности (т. е. наибольшая) не может быть произвольно велика, но вполне определена и зависит не от длины их, а от крепости материала, желаемого запаса прочности и формы их. Эта окружная скорость для цилиндрической палки выражается формулой:

$$\omega = \sqrt{2g\sigma : (\gamma n)},$$

где g — есть ускорение падающих на Земле тел, σ — временное сопротивление разрыву того материала, из которого сделана палка, γ — плотность этой палки и n — запас прочности.

При самой лучшей форме лопатки и крепчайшем материале окружная скорость не превышает 300—400 м/сек.

2. Каждый винт, производя давление, пропорциональное плотности воздуха и квадрату скорости отбрасывания, как бы производит в компрессоре искусственную тяжесть, подобную той, которой подвергается всякая планетная атмосфера.

3. Надо только еще принять во внимание, что чем плотнее газ к концу трубы, тем скорость его меньше, а действие на него лопаток — сильнее. Значит, «тяжесть» и сжатие от этого возрастают еще более.

4. Винт бы должен давать газу, если бы не было трения и инерции, такую скорость v_v . Но вследствие сопротивления она равна $v_{п}$, т. е. скорости потока. Разность этих скоростей $v_v - v_{п} = v$ служит причиной давления p и сжатия ρ газа, а затем и повышения от этого его температуры.

5. Имеем следующие основные уравнения:

$$v_v - v_{п} = v; \quad (6)$$

$$v_{п} = v_{п1} : \frac{\rho}{\rho_1}; \quad (7)$$

$$\rho = \rho_{11} \frac{p}{T}. \quad (8)$$

Тут ρ — есть переменная плотность газа, $v_{п1}$ — скорость вхождения его в компрессор, ρ_{11} — плотность газа при единице давления и единице абсолютной температуры, T — абсолютная температура и p — давление газа на единицу площади.

$$dp = \frac{v^2}{2g} \cdot \rho \frac{dl}{a}. \quad (9)$$

Тут g — есть секундное ускорение падающих на землю тел; l — длина сжимателя по оси цилиндра; a — протяжение, занимаемое одним винтом. Так что $l : a$ — есть число винтов. Кроме того, нам известна зависимость между плотностью и температурой (см. Давление, стр. 6) *.

* Здесь Циолковский имеет в виду свою работу «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Калуга, 1930 г. (Ред.).

Именно:

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A}; \quad 1:A = 0,403. \quad (10)$$

11. Эти пять уравнений содержат шесть переменных величин. Именно: скорость потока (v_{Π}); скорость разностную, или относительную скорость отброса (v); плотность (ρ) упругой жидкости; ее давление (p) на единицу площади; ее абсолютную температуру (T) и число винтов, выражаемое длиной (l) цилиндра.

Исключая из 5 уравнений 4 переменные, получим зависимость между какими-либо двумя переменными величинами.

Нас более всего интересует зависимость между плотностью газа и числом винтов (l). Эту зависимость мы прежде всего и определим.

12. Исключаем из всех уравнений скорость потока (v_{Π}) посредством (7). Получим:

$$v_{\Pi} - \frac{\rho_1 v_{\Pi}}{\rho} = v; \quad (13)$$

$$\rho = \rho_{11} \cdot \frac{p}{T}; \quad (14)$$

$$dp = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\rho}{a} \cdot dl; \quad (15)^*$$

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A}. \quad (17)$$

18. Из этих уравнений исключим T посредством (14)

$$v_{\Pi} - \frac{\rho_1 v_{\Pi}}{\rho} = v; \quad (19)$$

$$dp = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\rho}{a} dl; \quad (20)$$

$$\frac{\rho_{11} p}{\rho \cdot T_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A}. \quad (22)$$

23. Исключаем v посредством (19).

$$dp = \frac{1}{2g} \left(v_{\Pi} - \frac{\rho_1 v_{\Pi}}{\rho} \right)^2 \frac{\rho}{a} dl; \quad (24)$$

$$\frac{\rho_{11} p}{T_1 \rho} = \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A}. \quad (25)$$

26. Из (25) имеем:

$$p = \frac{T_1 \cdot \rho_1}{\rho_{11}} \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A}$$

Значит:

$$dp = \frac{T_1 (1+A)}{\rho_{11} \cdot A} \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A} d\rho. \quad (27)$$

28. Теперь исключим p из (24) и, сделав некоторые преобразования, получим:

$$\left\{ \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{1:A} : \left(1 - \frac{v_{\Pi} \cdot v_{\Pi}}{\rho : \rho_1} \right)^2 \right\} \frac{d\rho}{\rho_1} = \frac{\rho_{11} \cdot A}{2g T_1 (1+A)} \cdot \frac{dl}{a} \quad (29)$$

* Здесь и ниже у Циолковского имеются пропуски в нумерации формул (Ред.).

или

$$\left\{ Z^{1:A-1} : \left(1 - \frac{\Pi_1}{Z} \right)^2 \right\} dZ = \Pi_2 dl, \quad (30)$$

где

$$Z = \frac{\rho}{\rho_1}; \quad (31)$$

$$\Pi_1 = \frac{v_{\Pi_1}}{v_B}; \quad (32)$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho_{\Pi_1} \cdot v_B^2 \cdot A}{2gT_1(1+A) \cdot a}. \quad (33)$$

Допустим при вращении винтов нулевую скорость потока, т. е. $v_{\Pi_1} = 0$. Тогда вместо формулы (30) получим:

$$Z^{1:A-1} \cdot dZ = \Pi_2 dl. \quad (34)$$

Интегрируя, найдем:

$$A \cdot Z^{1:A} = \Pi_2 l + \text{const}. \quad (35)$$

Если сжатие (Z) = 1, то $l = 0$ (начало трубы). Следовательно,

$$\text{const} = A \text{ и } A \cdot Z^{1:A} = \Pi_2 \cdot l + A. \quad (36)$$

Отсюда

$$l = \frac{A}{\Pi_2} (Z^{1:A} - 1)$$

и

$$Z = \left(\frac{\Pi_2}{A} \cdot l + 1 \right)^A. \quad (37)$$

Из (33) видим, что

$$A : \Pi_2 = \frac{2gT_1(1+A) \cdot a}{\rho_{\Pi_1} v_B^2}$$

и

$$\frac{\Pi_2}{A} = \frac{\rho_{\Pi_1} v_B^2}{2gT_1(1+A)a}. \quad (38)$$

Эти уравнения — для нулевого потока. Сжатие наибольшее.

39. Положим: $\rho_{\Pi_1} = 0,0343$; $v_B = 300$ м/сек; $2g = 20$ м/сек²; $T_1 = 273^\circ$ (0° С); $A = 2,5$; $a = 1$ (т. е. на протяжении одного метра один винт).

Тогда вычислим: $\Pi_2 = 0,41$ и $\Pi_2 : A = 0,16$.

40. Значит, вместо (37), найдем: $Z = (0,16l + 1)$.

41. По этой формуле составим таблицу:

l	...	1	2	3	4	5	6	7
Z	...	1,45	2,00	2,67	3,44	4,35	5,38	6,54
l	...	10	50	100	500	1000		
Z	...	10,9	243	1175	58900	329000.		

Большие сжатия относятся к разреженным газам.

42. При неизменной температуре, т. е. при искусственном охлаждении газа, плотности (Z) должны получиться гораздо большие. Тут для решения вопроса довольно четырех уравнений [(6) — (9)], где T — постоянное.

Исключая из них v_{II} посредством (7), найдем:

$$v_B - v_{II} \frac{\rho_{II}}{\rho} = v \text{ (см. 13);}$$

$$\rho = \rho_{II} \frac{P}{T} \text{ (см. 14);}$$

$$dp = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\rho}{a} dl \text{ (см. 15).}$$

Из этих исключаем v . Получим:

$$\rho = \rho_{II} \frac{P}{T}; \quad (43)$$

$$dp = \left(v_B - v_{II} \frac{\rho_I}{\rho} \right)^2 \frac{\rho dl}{2ga}. \quad (44)$$

Из (43) получим:

$$dp = \frac{T}{\rho_{II}} \cdot d\rho. \quad (45)$$

Исключая это из (44), найдем:

$$\left(1 - \frac{v_{II} : v_B}{\rho : \rho_I} \right)^{-2} \left(\frac{\rho}{\rho_I} \right)^{-1} d\rho = \frac{\rho_{II} v_B^2}{2gTa} dl. \quad (46)$$

Положим тут $v_{II} : v_B = \Pi_1; \rho : \rho_I = Z;$

$$\frac{\rho_{II} v_B^2}{2gTa} = \Pi_2. \quad (47)$$

Тогда получим:

$$\left(1 - \frac{\Pi_1}{Z} \right)^{-2} \cdot Z^{-1} dZ = \Pi_2 dl$$

или

$$\frac{Z dZ}{(Z - \Pi_1)^2} = \Pi_2 dl. \quad (48)$$

Интегрируя, получим:

$$l = \left\{ \ln \left(\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} \right) + \left(\frac{\Pi_1}{1 - \Pi_1} - \frac{\Pi_1}{Z - \Pi_1} \right) \right\} : \Pi_2. \quad (51)$$

52. Тут по сгущению (Z) можно узнать l . Если $a = 1$, то l — будет число винтов, необходимое для сгущения (Z).

Положим $\Pi_1 = 0$, т. е. неподвижность газа при вращении винтов. Тогда:

$$l = \ln Z : \Pi_2 = \ln (Z^{1:\Pi_2} : \Pi_2),$$

откуда $\ln Z = \Pi_2 l$

или

$$\lg Z = \Pi_2 l \cdot \lg e = \Pi_2 \cdot 0,4343 \cdot l. \quad (53)$$

54. По условиям 39 $\Pi_2 = 0,568$ (см. 47).

Следовательно, $\lg Z = 0,2467l$. Составим таблицу наибольших сгущений (Z) в зависимости от числа винтов (l).

l	1	2	3	4	5	6	7	
Z	1,77	3,42	5,51	9,73	17,2	30,3	53,6	
l	8	9	10	12	14	16	18	20
Z	94,6	167	295	921	2870	8950	27900	87100

Уже при 12 винтах получается сгущение воздуха более плотное, чем вода. При охлаждении можно сжижать все газы при небольшом числе винтов. Понятно, большое сгущение (Z) относится к разреженным газам высот.

55. По условиям 39 мы приняли $v_B = 300$ м/сек. Допустим $v_B = 100$ м/сек. Тогда по (47) $\Pi_2 = 0,0631$, и таблица получится такая:

l	1	5	10	15	20	30
Z	1,065	1,37	1,88	2,58	3,53	6,68
l	50	100	150	200	300	500
Z	13,7	550	13330	316000	$1,78 \cdot 10^8$	$50,1 \cdot 10^{12}$

Тут для сгущения до плотности воды надо более 100 винтов, при употреблении же особого холодильника — гораздо меньше.

56. Резюмируя предыдущее, скажем.

1. Уравнение (30) относится к газовому потоку при естественном его нагревании от сжатия, без потери тепла.

2. Формула (37) — тоже, но скорость потока равна нулю — при быстром вращении винтов. Тут давление получается наибольшее (табл. 41). Но так как сжатый воздух неподвижен, то он скоро охлаждается до температуры окружающего воздуха и сжатие выражается более простым уравнением (53) (табл. 54).

3. Формула (51) предполагает поток с неизменной температурой.

4. Формула (53) относится не только к неизменной температуре, но и к отсутствию поступательного движения в сжимателе (табл. 54).

Формула (53) применяется к сжижению газов при их охлаждении.

Формула (51) — наиболее практическая. Она применяется к сжатию охлаждаемого воздуха и питанию им моторов.

Уравнение (30) относится к питанию дома сжатым и нагретым воздухом и в других подобных производствах.

57. Выгоднее всего для уменьшения числа винтов и укорочения сжимателя быстрое вращение лопаток. Мы видели, что оно может дойти до 353 м/сек по окружности. При угле, тангенс которого в конце лопатки равен 1 (угол 45°), это рождает максимальную скорость потока в 353 м/сек.

Мы можем надеяться получить поток в 200 м/сек ($v_B = 200$ м/сек).

58. В применении к сжижению воздуха воспользуемся формулами (53), на основании которых составим еще таблицу.

Имеем:

$$\lg Z = \Pi_2 l \cdot \lg e = \Pi_2 \cdot 0,4343l \quad (53)$$

и

$$\Pi_2 = \frac{\rho_{11} v_B^2}{2gTa} \quad (47)$$

Положим тут: плотность при единицах давления и температуры, т. е. $\rho_{11} = 0,0343$; $v_B = 200$ м/сек; $2g = 20$ м/сек²; $T = 273^\circ$ (0° С); $a = 1$ (на погонный метр один винт). Тогда: $\Pi_2 = 0,2366$ и $\lg Z = 0,10275 \cdot l$.

59. Теперь получим:

l	1	2	3	4	5	6	7
Z	1,27	1,61	2,04	2,58	3,28	4,15	5,27
l	8	9	10	11	12	13	14
Z	6,67	8,45	10,7	13,6	17,2	21,8	27,7
l	15	16	17	18	19	20	21
Z	35,1	44,5	56,4	71,45	87,7	115	145
l	22	23	24	25	26	27	28
Z	183	234	296,5	376	477	604	765

60. Значит, 28 винтов довольно для сгущения воздуха до плотности воды. Если каждый винт с перегородками, препятствующими вращению воздуха в трубе сжимателя, занимает протяжение 20 см, то компрессор в 28 винтов займет 560 см, или около 6 м.

61. Теперь обратимся к потоку с неизменной температурой. Имеем

$$l = \left\{ \ln \left(\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} \right) + \frac{\Pi_1}{1 - \Pi_1} - \frac{\Pi_1}{Z - \Pi_1} \right\} : \Pi_2, \quad (51)$$

$$\Pi_1 = \frac{v_{\Pi_1}}{v_B}$$

и

$$\Pi_2 = \frac{\rho_{11} v_B^2}{2gTa} \quad (47)$$

62. Когда же будет число винтов (l) наименьшим? Из формул видно, что оно таково:

1) при наименьшей температуре T ;

2) при наибольших ρ_{11} и v_B ;

3) зависимость от Π_1 или от $v_{\Pi_1} : v_B$ не ясна. Но так как при $\Pi_1 = 0$ сжатие наибольшее, то, очевидно, что чем меньше Π_1 , тем число винтов и скорость потока будут меньше.

63. Мы хотим получить наибольшую утилизацию работы (61). Для этого необходима некоторая скорость потока, примерно в половину наибольшей. Положим $\Pi_1 = 0,5$. Далее:

$\rho_{11} = 0,0343$; $v_B = 200$ м/сек; $2g = 20$ м/сек²; $T = 273^\circ$; $a = 1$. Тогда $\Pi_2 = 0,237$ и $l = 4,32 \cdot \ln [2Z - 1/(2Z - 1)]$. Тут по желаемому сгущению (Z) можем определить число потребных винтов. Например, если $Z = 100$, то $l = 22,9$. Значит, нужно 23 винта. Если $Z = 2$, то $l = 5,62$, т. е. надлежит менее 6 винтов.

64. При $Z = 2$ можно даже ограничиться формулой:

$$l = 4,32 \cdot \ln (2Z).$$

65. Откуда $\ln(2Z) = 0,237 \cdot l$. По этой формуле получим таблицу:

l	. . . . .	5	10	15	20	25	30
Z	. . . . .	7,6	117	1795	27500	420500	6,45 · 10 ⁶ .

Следовательно, при 10—15 винтах сгущение плотнее воды.

66. Формулу (51) вообще при средней величине Z , можно заменить

$$l = \ln \left(\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} \right) : \Pi_2.$$

67. Более точная формула (61) может понадобиться только при малых сгущениях (Z).

68. При $\Pi_1 = 0,5$ получим формулу (63).

Из нее получим:

$$Z^2 - 0,5Z(1 - \phi) - 0,25(1 + \phi) = 0,$$

где $\phi = e^{0,236l}$.

Отсюда найдем:

$$Z = 0,25(1 - \phi) \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \phi}{0,25(1 - \phi)^2}} \right\}.$$

69. Условимся считать за максимальную утилизацию работы, вернее за наибольший успех (эффект) сжимателя, когда произведение скорости потока ($v_{\Pi 1}$) на избыток сгущения ($Z - 1$) становится наибольшим, т. е. когда $(Z - 1) \cdot \Pi_1$ — есть максимум (см. 32).

70. Примем постоянную температуру и приблизительную формулу (66). Из нее имеем:

$$\frac{Z - \Pi_1}{1 - \Pi_1} = b,$$

где $b = e^{\Pi_2 l}$ — постоянное (при определенном числе винтов, см. еще 47).

Из этого получим:

$$(Z - 1) \Pi_1 = \Pi_1 \{ \Pi_1 (1 - b) - (1 - b) \}.$$

Если поток нулевой ($\Pi_1 = 0$) или скорость потока наибольшая ($\Pi_1 = 1$), то в обоих случаях, как видно из формулы, и результат (эффект) нулевой. Когда же эта функция приобретает наибольшую величину?

71. Взяв от нее производную и приравняв ее нулю, получим $\Pi_1 = 0,5$, т. е. $v_{\Pi 1} : v_B = 0,5$ (см. 32).

Следовательно, скорость потока должна быть вдвое меньше возможной винтовой скорости (v_B), которая получается при отсутствии инерции и трения газового потока.

73. У нас еще есть ряд вопросов, на которые отвечают основные уравнения [(6) — (10)].

74. Так, крепость стенок трубы определяется давлением p , т. е. формулой (8), из которой получим:

$$p = \frac{\rho}{\rho_1} T.$$

Разумеется, это давление переменное и к концу трубы увеличивается.

75. Температура (если она не постоянна, т. е. если нет охлаждения или потери тепла) определяется уравнением (10).

76. Скорость потока (v_{Π}) в разных частях трубы различна и вычисляется по формуле (7).

Идеальная скорость, без сгущения среды и ее сопротивления ($v_{\text{в}}$), зависящая от устройства винта и его предельной скорости,— по данной ранее формуле.

78. Скорость отброса или скорость разностная видна из формулы (6).

79. Важное значение имеет температура уплотненных частей потока. Но мы уже давали ранее много раз таблицы температур в зависимости от плотности или уменьшения объема (см. мое «Давление», парагр. 28 и 29)*.

Абсолютная температура повышается приблизительно вдвое при уплотнении в 6 раз. Например, для холода (-73°C) высших слоев атмосферы имеем следующую таблицу:

Сжатие (Z) . . .	1	6	36	216	1296
Темпер. абс. . . .	200	400	800	1600	3200
Темпер. по Цельсию	-73	$+127$	527	1327	2927

Значит, при самом большом естественном холоде, при сжатиях в 200—1000 раз, получается опасная для целости приборов температура. Без охлаждения такое сжатие невысказимо. Но для доми и других нагревательных приборов давление не превышает атмосферы и потому нагревание ничтожно, не более 87°C . Тут не только оно полезно, но температуру еще больше повышают дымовым нагреванием.

80. Интересно определить работу полезную и затраченную, и узнать коэффициент ее полезности (утилизацию).

Мы не можем принять тут в расчет трение, газовые вихри и другие не-правильности в движении потока. Эта работа превращается в тепло и может быть использована только для нагревания каких-либо холодных частей, если это нужно.

81. Представим себе частицу газа в трубе. Без ее инерции винт должен бы сообщить ей скорость вдоль трубы, равную $v_{\text{в}}$. Но она получает меньшую скорость, а именно — только скорость потока, определяемую формулой (7). Отсюда ясно, что использованная часть работы (утилизация = η) выразится отношением $\eta = v_{\Pi}/v_{\text{в}}$.

В разных частях сжимателя использование будет различно, так как v_{Π} переменна и уменьшается с увеличением его сжатия (7).

Из (81) исключим v_{Π} посредством (7).

Получим:

$$\eta = \frac{v_{\Pi}}{v_{\text{в}}} : \frac{\rho}{\rho_1} = \frac{v_{\Pi}}{v_{\text{в}}} : Z \text{ (см. 32)}. \quad (82)$$

Сгущение при постоянной T мы можем получить из (51) или, приблизительно, из 66. Из последнего найдем:

$$Z = (1 - \Pi_1)e^{u_1 l} + \Pi_1. \quad (83)$$

* См. сноску на стр. 378 (Ред.).

Чем больше число винтов (l) и плотность потока (Z) в конце компрессора, тем меньше частная утилизация в трубе (82).

84. При сгущении в единицу ($Z = 1$) она наибольшая, при наибольшем сгущении в конце трубы ($Z = Z_1$) — она наименьшая, т. е. в начале трубы, для 1-го винта, использование наибольшее, а в конце трубы, для последнего винта, она наименьшая.

Из (82) видно, что она вообще тем больше, чем отношение $v_{п1} : v_{в}$ больше, т. е. чем ближе скорость винтовая ($v_{в}$) к скорости потока ($v_{п1}$). При этом и v , или скорость отброса (6), будет наименьшая. Приведем пример. Положим, что $v_{в} = 200$, а $v_{п1} = 198$. Тогда утилизация будет равна $(198 : 200)$ 0,99, т. е. 99%. Конечно, это в начале трубы, также для всей трубы, когда сгущение (Z) очень мало. Но положим $Z = 10$, т. е. 10 атм. Тогда утилизация будет только 9,9% (см. 82). Значит, утилизация будет колебаться между 0,99 и 0,099. При малых сгущениях, менее 2 ($Z = 2$), можно принять среднюю утилизацию; но чем больше сгущение, тем ошибка будет больше.

85. Ясно, что очень невыгодно употреблять большую скорость отброса (82). Также невыгодно большое сгущение (Z).

Но можно получить большое уплотнение (Z) и большую утилизацию, если наклон лопатки винта к его кругу делать тем меньше, чем сгущение (Z) потока больше. Собственно, мы говорим про тангенс этого угла. В таком случае скорость отброса (6) по отношению к скорости потока будет одинакова, как и утилизация работы всякого винта. Это будет очень выгодно в отношении использования работы мотора, хотя и не даст таких сжатий (Z) при том же количестве винтов.

86. Тогда утилизация всегда будет выражаться формулой (82), где скорость потока для разных частей сжимателя будет величиною переменной и станет уменьшаться во столько раз, во сколько увеличится его плотность (Z), т. е. она будет всегда $\eta = v_{п1} / v_{в}$, где $v_{п1}$ — есть уже величина постоянная, как и $v_{в}$.

Мы видели, что получение наибольшего эффекта будет при условии: $v_{п1} : v_{в} = 0,5$ (см. 71).

Но тогда утилизация составит только 50% (86).

Определим наибольшее сгущение (Z) при средней утилизации и среднем отношении $v_{п1} : v_{в}$, т. е. когда уклонение от середины не чрезмерно. Допустим и постоянную температуру.

87. Теперь в формуле (6) все величины переменны, но они все, для каждого винта, уменьшены в одинаковое число раз (Z).

Для первого винта получим: $v_{в1} - v_{п1} = v_1$.

Для винта же, где сгущение потока Z , найдем:

$$\frac{v_{в1}}{Z} - \frac{v_{п1}}{Z} = \frac{v_1}{Z}.$$

Значит:

$$\begin{aligned} v_{в} &= v_{в1} : Z; \\ v_{п} &= v_{п1} : Z; \\ v &= v_1 : Z. \end{aligned}$$

Здесь постоянные относятся к началу сжатия, или к первому винту.
 88. Вместо уравнений (8) и (10) напишем тождественные уравнения (см. 32):

$$Z = \frac{\rho_{11}}{\rho_1 T_1} \cdot p;$$

$$dp = \frac{v^2 \rho_1}{2g} \cdot Z \frac{dl}{a};$$

и

$$\frac{T}{T_1} = \left(\frac{p}{\rho_1}\right)^{1:A}$$

89. При постоянной температуре ($T = T_1$) последнее уравнение не нужно. Исключая отсюда v посредством (87), найдем:

$$Z = cp$$

и

$$dp = \frac{b}{a} \cdot \frac{l}{Z},$$

где

$$c = \frac{\rho_{11}}{\rho_1 T_1} \text{ и } b = \frac{v_1^2 \rho_1}{2g}.$$

Исключая теперь p , получим:

$$\frac{dZ}{Z} = \frac{cb}{a} dl. \tag{90}$$

Интегрируя, найдем:

$$\ln Z = \frac{cb}{a} \cdot l + \text{const}. \tag{91}$$

Если $l = 0$, то $Z = 1$.

Следовательно, $\text{const} = 0$ и $\ln Z = cb(l/a)$ или $Z = e^{cb(l/a)}$ или $\lg Z = \lg e \cdot cb(l/a)$.

92. Из 89: $cb = \rho_{11} v_1^2 / 2gT_1$.

Тут $\rho_{11} = (\rho_1/p_1) T_1$ и $cb = (\rho_1 v_1^2 / 2g p_1) \cdot (T_1/T_1)$.

93. Положим: $p_1 = 10,3 \text{ ат}$; $v_1 = 100 \text{ м/сек}$; $2g = 20 \text{ м/сек}^2$; $\rho_1 = 0,0013$; $T_1 : T = 1$. Тогда $cb = 0,0631$ и $\lg Z = 0,0273 \cdot l/a$.

94. Составим таблицу:

$l : a$	1	2	3	4	5	6	7	8	
Z	1,065	1,13	1,21	1,29	1,37	1,46	1,55	1,65	
$l : a$	9	10	12	14	16	18	20		
Z	1,76	1,87	2,13	2,41	2,73	3,10	3,52		
$l : a$	25	30	35	40	45	50	60	70	80
Z	481	6,60	9,02	12,4	16,9	23,2	43,5	81,5	153

95. Винтов оказывается очень много для сильных уплотнений. Но можно положить для первого винта вдвое больший наклон лопасти, т. е. $\text{tg} = 2$. Тогда $v_1 = 200 \text{ м/сек}$ и $\lg Z = 0,0867 \cdot l/a$. Таблица даст:

96. $l : a$	1	5	10	15	20	25	30	35
Z	1,22	2,71	7,36	20,0	54,2	147	400	1080

При 35 винтах сгущение плотнее воды.

97. Кроме того, можно и окружную скорость лопатки увеличить до 300. Таким образом:

$$v_{в1} = 600 \text{ м/сек (tg} = 2) \text{ и } v_1 = 300 \text{ м/сек.}$$

Тогда $\lg Z = 0,197 \cdot l/a$. Таблица будет:

$l : a$	1	5	10	15	20	25
Z	1,58	9,66	93,3	902	8710	84100

Эта система пригодна для самых разреженных газов при сносной утилизации в 50%.

98. Не забудем, что наши выводы относятся к постоянной температуре, что применимо для стратопланов, где имеем дело с расширением выхлопных газов в разреженной атмосфере и, следовательно, с весьма сильным источником холода. Мы даже можем получить большее сжатие (Z), чем дают таблицы, благодаря этому источнику холода.

99. Окупаются ли работа сжатия избытком механической работы моторов? Да! Но этот вопрос мы разберем в стратоплане*.

100. Сжатие (Z) определяется числом винтов, но количество или масса доставляемого компрессором воздуха зависит от поперечного диаметра трубы сжимателя.

Мы видели, что максимальная скорость потока величина постоянная, как и окружная скорость лопаток винта. Она несколько не зависит от размеров сжимателя. Отсюда видно, что наибольший объем (V) воздуха, доставляемый компрессором, выражается формулой: $V = S : v_{п1}$, где S — есть площадь поперечного сечения потока, $v_{п1}$ — есть начальная скорость его. Она обыкновенно составляет при наибольшем эффекте 50% скорости винтовой ($v_{в}$). Последняя не превышает 363 м/сек. Значит, скорость потока мы можем положить в 150 м/сек.

101. На основании этого даем таблицу, предполагая размер лопаток в 0,25 поперечного диаметра компрессора:

Диаметр D , м	0,1	0,2	0,3
$S = 0,59 D^2$, м ²	0,0059	0,0236	0,0531
$V = S \cdot 150$, м ³	0,885	3,54	7,96
$L_{окр} = \pi D$, м	0,314	0,628	0,946
n_s , об/сек	468	234	156

D	0,4	0,5	0,6	0,7
S	0,0944	0,1475	0,2124	0,2891
V	14,16	22,13	31,86	43,36
$L_{окр}$	1,256	1,572	1,884	2,198
n_s	117	93,6	78	67

* Здесь Циолковский имеет в виду свою работу «Стратоплан полуреактивный». Калуга, 1932 (Ред.).

D	0,8	0,9	1	1,2
S	0,3776	0,4779	0,59	0,8496
V	56,64	71,68	88,5	127,4
$L_{\text{окр}}$	2,515	2,826	3,14	3,768
n_s	59,8	53,2	47,8	39,8
D	1,4	1,6	1,8	2
S	1,1564	1,5104	1,9116	2,36
V	173,4	226,5	286,6	354,0
$L_{\text{окр}}$	4,396	5,024	5,652	6,28
n_s	34,1	29,9	26,5	23,9

Объем воздуха громаден. Так, при двух метрах в диаметре получается 354 м^3 в секунду. Из моего «Реактивного аэроплана» * видно, что на 1000 метрических сил надо только $0,75 \text{ м}^3$. Так что это количество довольно для 472 000 метрических сил. Для тысячи сил потребуется труба с диаметром менее 0,1 м.

Для 1000 сил и менее число оборотов вала в компрессоре неудобно велико. Передача (трансмиссия) неизбежна.

Доменные печи и другие подобные сооружения требуют большого количества воздуха и наши приборы тут могут иметь применение.

При меньшей скорости вращения (чем предельная) они, конечно, будут давать и меньше воздуха, но максимального давления не получится.

Последнее зависит от предельной скорости потока и числа винтов.

102. Сжатие (Z) определяется составленными ранее таблицами. Но мы еще тут приведем одну (умеренного содержания).

Воспользуемся формулами [(91) — (92)] для постоянной температуры, для утилизации в 50% с лопатками разного наклона. Для первой лопатки положим $\text{tg} = 1$ (угол 45°). Для дальнейших он уменьшается пропорционально уплотнению (Z) газа.

Положим еще: $v_b = 300 \text{ м/сек}$; $v_{\text{пл}} = 150 \text{ м/сек}$; $p_1 = 103 \text{ атм}$; $v_1 = 150 \text{ м/сек}$; $2g = 20 \text{ м/сек}^2$; $\rho_1 = 0,0013$; $T_1 : T = 1$. Найдем: $c \cdot b = 0,142$ и $\lg Z = \lg ecb \frac{l}{a} = 0,0617 \cdot \frac{l}{a}$. Таблица будет:

$l:a$	1	3	5	7	10	15	20	25
Z	1,15	1,53	2,03	2,70	4,14	8,42	17,1	31,8
$l:a$	30	35	40	45	50	55	60	65
Z	71,0	144	294	597	1220	2470	5040	10250

Для домн, например, довольно 3—5 винтов. При 50 винтах уплотнение воздуха (при подчинении закону Мариотта) превышает плотность воды почти в 2 раза.

Для охлаждения воздуха и других газов потребные уплотнения при обыкновенной температуре невелики.

* Здесь Циолковский имеет в виду свою работу «Реактивный аэроплан», Калуга, 1930 (Рез.).

СОЛНЦЕ И ЗАВОЕВАНИЕ ПУСТЫНЬ *

Солнечные машины более всего применимы в эфире, когда человек завладеет окоლოსолнечным пространством и будет строить жилища близ планет или поблизости астероидов. Затем они находят применение на земле, в странах безоблачного неба, т. е. в сухих пустынях. Далее — летом в умеренно-холодных широтах, где много в году ясных дней. Менее всего солнечные машины имеют приложение к зимней погоде средних широт и к странам туманным.

Земные применения таковы: 1) регулирование температуры жилищ днем и ночью, зимой и летом; 2) солнечные лечебницы; 3) устройство бань и прачечных; 4) жилища для растений; 5) дезинфекция человеческих жилищ и почвы для растений; 6) нагревание воды для паровых двигателей, кухонь и технических целей; 7) получение перегретого пара для кулинарных и технических целей; 8) перегонка жидкостей; 9) нагревание металлов для плавления иковки; 10) нагревание с химическими целями; 11) непосредственное химическое действие лучей; 12) получение электрического тока.

Все сводится к получению желаемой температуры или к непосредственному химическому действию лучей света (т. е. без растений).

Здесь мы поговорим только об устройстве жилищ в жарких пустынях и получении невысоких температур для работы двигателей и других целей.

Для регулирования температуры жилищ можно будет воспользоваться зеркалами, стеклами, ночным лучеиспусканием (оно, конечно, совершается и днем), движением воздуха и теплоемкостью почвы и воды.

Представьте себе наиболее простое здание в виде одноэтажного прямоугольного ящика со стеклянными стенками. Потолок поддерживается столбами, а полом служит выровненная горизонтально почва, покрытая чем-нибудь вроде асфальта или смесью глины с песком. Небольшие отверстия в стенках дают возможность иметь необходимое, но не излишнее количество свежего воздуха. Оно регулируется днем и ночью. Прозрачные стены и потолки могут закрываться дешевыми гибкими зеркалами, хорошо отражающими свет и теплоту солнечных лучей.

* Опубликовано впервые в журнале «Вестник знания», 1933, № 5—6, стр. 182—188 (Ред.).

Жилище должно иметь достаточно света. Его можно получить с избытком от воздуха и почвы, закрываясь совершенно от непосредственного действия солнечных лучей.

Смотрите на рисунок 1. При таком положении зеркал мы получаем громадное количество рассеянного света от воздуха, окружающих гор и почвы, и ни одного луча от солнца. Лучи солнца означены пунктиром, лучи

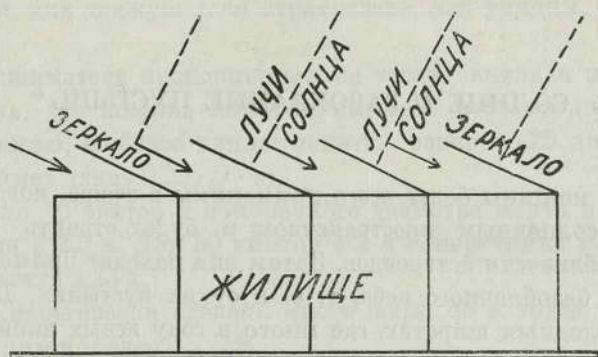


Рис. 1

рассеянного света — стрелками, направление зеркал — наклонными линиями. Прямоугольники — жилище.

Самые пока хорошие и дешевые для нас зеркала — это листы железа, покрытые блестящим никелем (еще лучше и надежнее железо, покрытое хромом). Зеркало укрепляется краевой гофрировкой или рамами.

При нормальном положении зеркал к лучам светила получается минимум температуры в здании. Тепло почти не приходит, а только уходит из жилища.

Конечно, зеркала хоть немного нагреваются солнцем и лучеиспускают в камеру. Также раскаленный солнцем и почвой воздух пустыни нагревает стенки здания. И они и зеркала дают некоторое количество тепла внутренней жилища.

Какова полученная наименьшая температура камеры — решить без опытов трудно.

При начале устройства такого приюта солнце будет некоторое время нагревать его накаленный ранее пол. Но через несколько дней он остынет, и температура дома должна быть по крайней мере сносной, если не холодной. В последнем случае более обильный приток горячего окружающего воздуха через ственные отверстия повысит температуру достаточно.

Так, днем мы можем предохранить себя от излишнего жара. От холода пострадать не можем еще и потому, что, изменяя наклон зеркала, можем пропустить в камеру желаемое количество солнечных лучей.

Для получения крайней степени тепла зеркала располагают вдоль солнечных лучей, так чтобы они не давали тени (см. рис. 2). Неосвещенные прямо солнцем части камеры тогда снаружи должны быть закрыты зеркальными поверхностями, а внутри — освещенные части — черными.

Высокая температура таких помещений может служить для бань, для лечения больных, для дезинфекции и для промышленных целей, когда не требуется температура выше 150°C .

В странах с холодным воздухом — на высотах или далеко от экватора — можно днем при солнце получить желаемую температуру для людей или растений. Для этого надо дать определенный наклон зеркалам к лу-

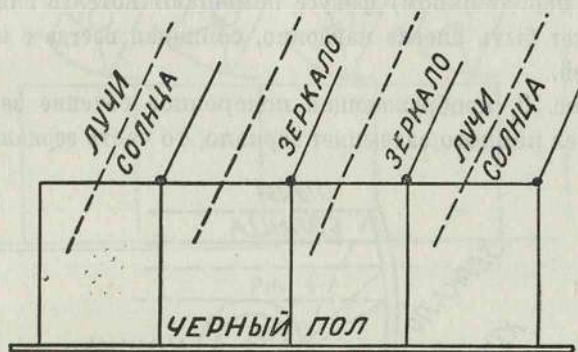


Рис. 2

чам солнца. Этот наклон изменяется от нуля до прямого угла. Необходимо, конечно, оградить жилища от излишнего притока ледяного воздуха.

Для получения в нашем жилище тепла ночью надо все стенки закрывать блестящими, с обеих сторон зеркалами, допуская возможно малое количество внешнего холодного воздуха для целей дыхания. Тогда мы защищены будем от потери теплоты ночным лучеиспусканием. Но все же воздух снаружи может сильно охладиться от ночного лучеиспускания и в особенности от весьма сильно охлажденной тем же лучеиспусканием окружающей почвы. Этот воздух может охладить стенки жилища, хотя бы и зеркальные, и дать ему холод.

Откуда же взять теплоту ночью? Если днем нагревать лучами солнца черный пол, то, конечно, у нас получится запас тепла и для ночи. Но ведь при этом в жилище днем будет невыносимо жарко, и потому воспользоваться этим средством нельзя.

Надо запастись тепло, не нагревая жилища. А для этого днем следует пользоваться зеркалами для нагревания воды градусов на 100 и для сбережения этой воды под полом здания на некоторой глубине. Этой водой ночью и можно отапливать здание.

Нагретая градусов на 200 вода может быть днем использована для непрерывной работы парового двигателя высокого давления. При этом вода остается в котлах, а отработанный пар пропускается под пол в бак с холодной водой, которая и нагревается от пара, запасая тепло для ночи.

Мы невольно приходим к вопросу об устройстве солнечного нагревателя и солнечного двигателя.

Как же воспользоваться зеркалами жилища?

Каждое зеркало на крыше должно иметь вид длинной (во всю крышу) наклонной (более или менее) полосы, расположенной с востока на запад (по параллели). Мы располагаем ее нормально к полуденным солнечным лучам и слегка изгибаем по дуге круга или лучше — параболы (см. рис. 3, 4 и 5). Фокусная линия будет оставаться во все время движения светила на своем месте, перемещаясь только немного вдоль самой себя. В этом линейном (почти неподвижном) фокусе помещают котел в виде трубы. Его положение может быть слегка наклонно, совпадая всегда с наклонной же фокусной линией.

Смотрите рис. 3, изображающий поперечное сечение зеркала и котла. Так как котел немного затемняет зеркало, то часть зеркала может быть

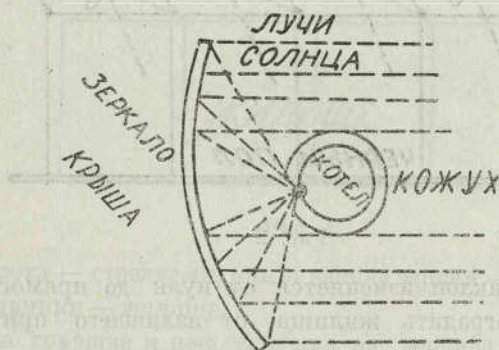


Рис. 3

тусклой или вместо одного зеркала можно употребить два с тусклым промежутком. Опыт доказывает, что температура воды в котле может дать давление пара, достаточное для паровых машин очень высокого давления. Надо только соблюдать следующее. Котел должен быть весь снаружи блестящий, кроме нижней линии, куда падают отраженные солнечные лучи. Эта линия довольно узка. Она на котле должна быть как можно лучше зачернена, чтобы лучи не отражались от нее, а давали теплоту для котла.

Полезна еще предохранительная блестящая с обеих сторон оболочка для котла с узким продольным отверстием для пропуска фокусных лучей. Хорошо, если бы она была закрыта со всех сторон, мешая охлаждению котла движением горячего воздуха или ветра. Для этого отверстие второй оболочки должно быть закрыто кварцевым стеклом, слюдой или другим проницаемым для большинства лучей веществом, не лопающимся от нагревания. Герметичности тут не требуется: лишь бы замедлить охлаждающее течение воздуха.

В жарких странах солнце в полдень стоит почти вертикально. Поэтому фокусное отверстие во второй оболочке находится внизу. Горячий воздух, как более легкий, будет в ней держаться, не выходя из коробки, если ветер не будет его выдувать. Значит, потеря тепла котлом от конвекции почти устранится. Но надо всячески избегать движения воздуха у котлов от ветра. Поэтому недурно было бы зеркала закрывать стеклами. На практике

это затруднительно, если не помещать зеркала под стеклянной крышей (см. рис. 4). Но температура от горячих котлов и неподвижности воздуха в верхней части жилища должна сильно подняться. Насколько она

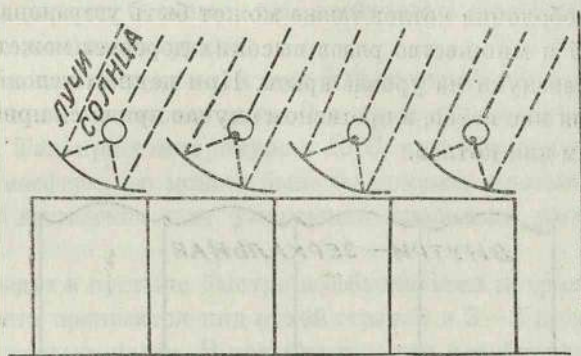


Рис. 4

поднимется в нижней области камеры — решить без опыта трудно. Все же теплота солнечных лучей в громадном количестве при этом поглощается через усиленное кипение воды. Пар переносит эту теплоту в бак с водой под полом. Работа мотора также поглощает до 5—10% солнечной энергии.

НАКЛОН К ГОРИЗОНТУ

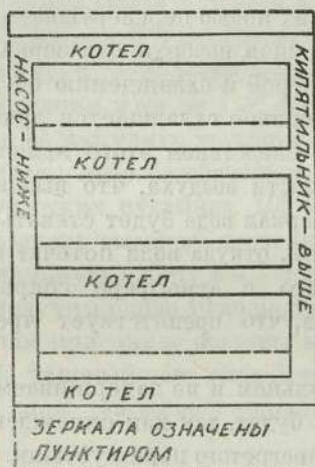


Рис. 5

Ослабить вредное влияние ветра можно обсадкою здания широкою дорожкой высоких и густолиственных деревьев. Это придает жилью уют, защищает от песков и создает возможность, как увидим дальше, извлекать ночью воду из сухого воздуха пустыни.

Предлагаю тут план (горизонтальную проекцию) парового котла (для четырех зеркал). Мы устраняем холодильник, как ненужное усложнение. Высокое давление 50—100 атм дает значительную утилизацию теплоты.

Цилиндрические зеркала устраняют необходимость непрерывного дневного вращения зеркал. Наклон их изменяется только раз в сутки, на 8—10 час работы, да ночью, когда они перевертываются и располагаются горизонтально. Вторая оболочка котлов также может быть устранена. Большое количество зданий и множество рядов высоких деревьев может сильно ослабить движение воздуха на уровне крыш. При данных условиях мы устраним вредный для нас ветер, в противном случае придется прибегнуть к блестящим кожухам для котлов.



Рис. 6

Наши зеркала могут служить также для добывания воды из атмосферы в безоблачной, сухой и жаркой пустыне. Для этого они должны находиться над крышей. В противном случае требуется вполне теплопрозрачное стекло, а это трудно осуществить.

Нижняя часть зеркал должна быть черной, хорошо воспринимающей и испускающей теплоту. Мы их ночью перевертываем и располагаем горизонтально (см. рис. 6). Блестящая поверхность зеркал обращена к камере и мешает их нагреванию камерой и охлаждению последней. Черная поверхность обращена к небу и сильно охлаждается лучеиспусканием, не получая взамен лучей солнца. Следствием этого является охлаждение прилегающего к черной поверхности воздуха, что вызовет появление обильной росы. Благодаря наклону зеркал вода будет стекать по желобам. Все ручьи соединяются одним желобом, откуда вода потечет в подпольный бак.

Ожижение водяного пара в атмосфере сопровождается выделением большого количества тепла, что препятствует чрезмерному охлаждению дома.

При ветре, особенно сильном и не задерживаемом деревьями или другими преградами, росы не будет, так как охлаждение зеркал не будет достаточно для ожижения перегретого пара пустыни.

При неподвижности воздуха или крайне медленном его течении близ зеркал, росы (т. е. воды) получится очень мало, хотя охлаждение зеркал получится наибольшим. Это произойдет потому, что вода будет извлечена только из ближайшего слоя воздуха, а в прилегающем тонком слое ее, конечно, будет очень мало. Есть наиболее выгодная скорость течения, которая дает максимум воды. По моим расчетам она не превышает одного метра в секунду.

Впрочем, холодный воздух на черной поверхности и так будет стекать с нее благодаря своей тяжести и наклону зеркал. Только опыт может дать

тут точные указания. Во всяком случае ветер нужно устранить чередующимися аллеями высоких деревьев или другими способами.

В самых сухих пустынях описанными средствами можно извлекать количество воды гораздо большее, чем необходимо для орошения той площади, которую занимают зеркала.

В самых безводных пустынях при 50% средней влажности атмосфера содержит огромное количество воды. Это — в прозрачном воздухе, при темносинем небе. Так, при температуре в 20° С, если бы извлечь всю воду из этой сухой атмосферы, ею можно было бы покрыть пустыню на глубину в 150 мм. Этого достаточно для умеренного орошения растений даже на круглый год.

Но ведь воздух в пустыне быстро возобновляется ветром. Так что такое количество влаги проносится над сухой страной в 2—3 дня, а в малых пустынях — в несколько часов. В течение года это возобновление повторяется много раз, а именно: обратно размерам сухой местности, но не менее 100 раз (т. е. всей воды в год проносится столько, что составит слой воды глубиной в 15 000 мм). Конечно, мы можем извлечь из воздуха только часть влаги, но это возобновление повторяется много раз.

Ночное лучеиспускание может дать в 12 ночных часов слой воды от 6 до 12 мм при температуре от 10 до +40° С.

При температуре в 20° С максимум доходит до 9 мм воды. Это в 10—20 раз больше чем нужно для орошения растений.

На один м² поверхности зеркала придется до 9 кг воды в ночь. На жилище в 100 м² (10 × 10) получим 900 кг воды. На практике хорошо было бы получить хоть половину, т. е. сорокаведерную бочку жидкости.

Солнце на Земле в среднем дает на 1 м² почвы около 25 кгм работы в секунду. Мы принимаем во внимание круглоту Земли и поглощение лучей атмосферой. Но мы считаем небо безоблачным, как это можно принимать приблизительно в самых сухих пустынях. 100 м² жилища дадут 2500 кгм. Если паровой двигатель очень высокого давления усваивает (утилизирует) 10%, то получим непрерывную работу в 4,3 лошадиных силы. При работе только в течение 8 час получим около 10 лошадиных сил.

Итак, что же дает нам описанное жилище в сухой и жаркой пустыне, при его простейшем и дешевейшем устройстве? (Особенно будут благоприятны результаты при заселении площади в несколько верст и более).

1) Всегда желаемую температуру: днем и летом — прохладу, ночью и зимой — тепло. Температура моментально может быть приспособлена для грудных детей (даже недоносков, погибающих без особых приемов от холода), стариков, слабых, больных.

2) Приют для десяти человек (на 100 м² крыши).

3) Бочку воды ежедневно (500 л).

4) 10 лошадиных сил, работающих непрерывно в течение 8 час.

5) Возможность дезинфекции повышением температуры до 100° С внутри жилища.

6) Отсутствие вследствие этого насекомых и заразных бактерий.

7) Всегда чистый воздух, вдуваемый извне.

8) Всегда желаемая температура и отсутствие насекомых избавляют нас от необходимости носить одежду и обувь, кроме легкого пояса для мужчин и нагрудника с поясом для женщин.

9) Пар из котлов может служить для приготовления чая, кофе, какао и для быстрой варки кушаний (супов, овощей и т. п.).

10) Перегретый пар годится для печения хлебов, пирогов, тортов, жарения и т. п., причем невозможна будет порча продуктов горением или обугливанием.

Кухни, конечно, можно устраивать и без паровых труб в фокусе зеркала. Тут можно помещать камеры для варки и печения. Но эти камеры довольно велики и отнимают солнечные лучи. В них и труднее регулировать температуру. Стряпать на солнце перед зеркалами тоже жарко и неудобно. То ли дело работать паром! Паропроводная трубка из фокусных котлов может идти в прохладное жилище, где помещены варящие и жарящие приборы. Открыл кран с перегретым паром — и в несколько минут все готово!

11) При обилии воды, например близ реки, удобно превращение таких жилищ в прачечные и бани.

12) Влажный и сухой пар из котлов может служить для разнообразных технических целей, не требующих температуры выше 200—300° С.

Главная выгода цилиндрических очень длинных зеркал в том, что их наклон устанавливается один раз на целый день работы, т. е. на 8—10 час. Значит, не надо дорогого вращающего их прибора. Наклон изменяется слегка, раз в сутки. Также преимущество в обширности котлов, в подходящей, не очень высокой температуре, в простоте приготовления зеркал из простых никелированных или хромированных листов жести, слегка изогнутых.

В жилищах этих разводить растения можно только для украшения, так как непосредственное действие солнечных лучей в них очень слабое. Лучи прорываются узкими полосами между параллельными зеркалами.

Для успешного получения воды ночным лучеиспусканием, как мы видели, полезны высокие деревья, замедляющие ветры на высоте зеркал. Ряды этих растений, окружающих здания, могут быть финиковыми пальмами, рожковыми деревьями, кактусами Бербанка и другими растениями, не претендующими на обильное орошение, но в то же время очень плодовитыми. В промежутке между ними могут расти бананы и даже корнеплодные, как таро. Необходима только вода для поливки.

Мы знаем, что можно получить за ночь со 100 м² 500 кг воды. На какую же площадь орошения это хватит? Многое зависит от рода растений. Кактусы и другие приспособленные к сухости растения менее всего нуждаются в воде, несмотря на их иногда изумительную плодовитость (таков кактус Бербанка со съедобными плодами).

Если мы примем достаточным 200 мм в год или полмиллиметра в день водяных осадков, то наших 500 л довольно для орошения площади почвы в 1000 м². Но корнеплодное таро при лучшем урожае дает с 4 м² пропита-

ние одному человеку на круглый год. Значит, 1000 м² могут пропитать 250 человек.

В нашем жилище поместится свободно не более 10 человек, считая по 10 м² на человека. Следовательно, пропитания на них во всяком случае хватит (даже если количество почвы уменьшится в 25 раз, а орошение во столько же раз увеличится).

Но воспитываемых близ одного дома деревьев не будет достаточно для укрощения ветра. Надо одновременно построить несколько тысяч зданий, чтобы получилось сплошное ограждение от движения атмосферы. Оно состоит из домов с продольными и поперечными аллеями между ними.

Что же может стоить такое жилище в простейшем виде в 10 м², т. е. на одного жильца. При обширности здания боковыми стенками можно пренебречь. Пол может быть земляной, выровненный и покрытый смесью песка с глиной. 10 м² стекла с рамами стоят не дешевле 100 руб. 10 м² железных никелированных листов — не менее 20 руб. Мотор в одну силу — 30 руб. Колонны, котлы, подземный бак и другие приспособления могут утроить эту сумму. Значит, на человека придется 400—500 руб. При большем же спросе и развитии промышленности это будет стоить гораздо дешевле.

Немногие жилища, конечно, климата пустыни не изменят. Но представьте себе, что вся пустыня покрыта зеркалами, отражающими солнечные лучи. Тогда температура страны так понизится, что польются необычные для пустыни дожди. Воспользовавшись ими для орошения растений, устраним зеркала. Засияет солнце, растения получают необходимую для них энергию. Вызывая так с помощью зеркал, когда нужно, ливни, мы получим наилучшие урожаи.

ОСВОЕНИЕ ЖАРКИХ ПУСТЫНЬ *

КАРА-КУМ

Остановим наше внимание на пустыне Кара-Кум (черные пески), лежащей на юг от Аральского озера. Будем давать средние, приблизительные сведения, относя их к центру пустыни; точными их назвать нельзя.

Широта 40° . Это значит, что весной и осенью солнце стоит на высоте 50° , т. е. так, как у нас на широте 63° в июне; летом же оно стоит на высоте 73° , а зимой — на высоте 27° , т. е. так, как у нас весной на широте 63° . Летом день продолжается 15 час, а ночь — 9 час; зимой — наоборот. Летом восход солнца в $4\frac{1}{2}$ часа, а заход — в $7\frac{1}{2}$ часов; зимой же — восход в 7 час 30 мин, а заход — в 4 час 30 мин.

Около 10% всей площади Кара-Кум — сыпучие пески с очень редкой растительностью; 90% — имеют более твердую почву; зимой она покрывается цветочным ковром, который засыхает весной на все лето. Пять месяцев зимы (ноябрь — март) сопровождаются скудными дождями. Выпадает примерно 70 мм осадков; остальное время — бездождие, ясное небо и днем яркий солнечный свет.

Средняя температура января — около 0° , июля же 28° ; средняя годовая температура 14° .

Возьмем самый холодный месяц. Ночью, конечно, будет холоднее (ниже нуля), а днем — теплее — (выше нуля); так, примерно, днем в тени будет 2° тепла, а ночью 2° холода. В ясный безоблачный день разность температур гораздо больше; летом ночью 18° , а днем 38° , или же ночью 12° , а днем 44° .

Страна имеет около 25 000 000 га земли. При хорошем орошении, теплом климате, ясном небе и девственной почве она могла бы прокормить не менее 25 млн. чел. Но увы! Орошение здесь очень скудное (и то только зимой); летом же все высыхает на 7 месяцев.

Как же все-таки использовать эту пустыню, эти миллионы гектар?

Человеку необходимы жилище с изменяемой по желанию температурой и чистым воздухом, вода, перегретый пар для приготовления кушанья, нужен мотор. Где все это взять в пустыне?

* Опубликовано впервые в журнале «Вестник знания», 1934, № 10, стр. 661—666 (Ред.).

Кара-Кум дала бы прекрасный урожай фруктов, пшеницы и овощей, если бы там было достаточно воды. Но, как мы уже говорили выше, здесь только зимой выпадает около 70 мм осадков, остальное же время года — полная засуха; она щадит лишь местные растения — саксаул, солянку и пр.

ВОДА ИЗ ВОЗДУХА

Вырываем большую, длинную яму, к концам суженную (рис. 1). Если почва песчаная или вообще проницаемая для воды, то дно и стенки ямы нужно выложить глиной, кирпичем или каким-нибудь другим слоем, плохо

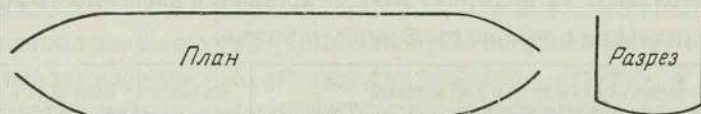


Рис. 1

пропускающим воду. Яма засыпается камнями, по краям — крупными, а к середине — мелкими (галькой)*. Сверху камни засыпаются мелкой галькой, песком, затем — глиной и суглинком. Может быть использована и вырытая земля. Таким образом, мы получаем возвышение, или фундамент, на котором устраивается жилище человека.

Длинная яма, возвышение и дом располагаются в направлении с востока на запад (рис. 2).

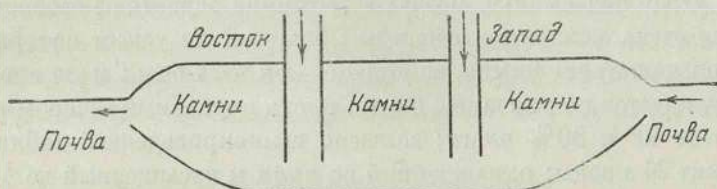


Рис. 2

В одном конце ямы ставится ветрянка, которая работает по желанию, вдувая роторной воздухоудвкой в яму воздух, который входит в один конец и выходит в другой. Эта яма и наберет нам воду.

Температура в глубине ямы вначале равна средней температуре года (14°). Благодаря вдуванию атмосферного воздуха эту температуру мы сможем менять; если мы будем вдувать холодный воздух зимой, то температура быстро понизится, если же произведем вдувание в летний жаркий день, то она повысится. Мелкий камень или песок, находящийся в яме, скоро примет температуру внешнего воздуха. Этим мы и воспользуемся для получения воды из атмосферы.

* Если нет камней, то можно ограничиться сухим песком, который не содержит глины и хорошо продувается воздухом (К. Э. Ц.)

Рассмотрим этот процесс на следующем примере: утром, вскоре после восхода солнца, температура воздуха вследствие ночного лучеиспускания будет наименьшей. В это время мы и произведем вдувание воздуха в яму. Наша каменная масса или песок быстро воспримут эту температуру. Когда это произойдет, мы вдувание воздуха останавливаем, во время жары же — снова его возобновляем; тогда теплый воздух, содержащий влагу, остывает, пары его доходят до степени насыщения и сгущения в воду, которая стекает в углубление ямы (углубленное дно ямы должно быть непроницаемым), откуда по особой трубе и выкачивается по мере надобности (см. рис. 3, изображающий поперечное отвесное сечение ямы).

Количество воды (в граммах) на 1 м^3 воздуха в зависимости от разных температур показано в приводимой ниже таблице:

Температура, град	Количество воды (в г) в 1 м^3 воздуха при насыщении			Температура, град	Количество воды (в г) в 1 м^3 воздуха при насыщении		
	в 100%	в 50%	в 25%		в 100%	50	в 25 %
0	4,8	2,4	1,2	40	51	26,0	12,7
10	9,2	4,6	2,3	50	83	41,5	20,7
20	17	8,5	4,2	60	131	65,0	33
30	30	15,3	7,5	70	199	100	50

Пусть дело происходит в жару, при 40° (в тени). Допустим, что утром температура доходит до 0° (это бывает даже в Сахаре; по утрам иногда замерзает вода); приблизительно такую же будет температура и нашего продутого утром подземелья. Воздух в него надо вдувать не особенно быстро, но и не очень медленно; в первом случае он не успеет потерять свою влагу, а только нагреет камни, во втором — он даст очень мало влаги. Вдувание регулируется по указанию опыта: пусть вдуваемый вечером внешний воздух имеет 40° и 50% влаги; согласно вышеприведенной таблице 1 м^3 его содержит 26 г воды; охлажденный до нуля и насыщенный до 100%, он будет содержать 4,8 г воды. Значит, 21,2 г (26—4,8) оживится из воздуха.

Принятое было бы верно, если бы камни не нагревались. Сначала, действительно, каждый кубический метр воздуха дает 21 г воды, но потом по мере нагревания гальки он будет давать ее все меньше и меньше. Из таблицы видно, что при температуре меньше 30° пар достигает степени насыщения, и оживление его прекращается.

Возьмем среднюю температуру (между 0 и 30°) нагревания камней, т. е. 15° . При 15° 1 м^3 воздуха содержит около 12 г насыщенного пара, так что в среднем оживлению подвергнется избыток $26 - 12 = 14$ г.

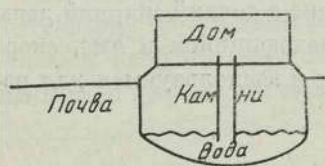


Рис. 3

Спрашивается: сколько же летом воды нам может дать в сутки 1 м^3 камня в нашем сооружении?

Теплоемкость камня примем равной 0,25, массу его кубометра — 2 т; тогда найдем, что нагревание этой массы на 15° поглотит $0,25 \times 2000 \times 15$, т. е. 7500 больших калорий.

С другой стороны, приняв теплоту парообразования для килограмма воды в 600 больших калорий, найдем, что ожижение 14 г пара выделит $600 \times 0,014$, т. е. 8,4 больших калорий, да воздух, содержащий эти 14 г воды, охладится на 15° и потому выделит $1,2 \times 0,24 \times 15$, т. е. 4,3 больших калорий. Всего 1 м^3 воздуха выделит $8,4 + 4,3$, т. е. 12,7 больших калорий, а так как 1 м^3 каменной массы при нагревании на 15° поглощает 7500 больших калорий, то он может охладить воздух и ожижить пар в $7500 : 12,7$, т. е. в 590 м^3 ; воды же при этом выделится $0,014 \times 590$, т. е. 8,26 кг.

Примем в среднем такие измерения ямы: длина — 40 м, ширина — 10 м, глубина — 4 м; получим 1600 м^3 камня; воды из такой ямы летом, днем, в жару, извлечем $8,26 \text{ кг} \times 1600 = 13\,200 \text{ кг}$, т. е. более 13 т. На 1 м^2 площади основания дома получим $(13\,200 : 400)$ 33 кг. Положим, что на одного человека пойдет площадь в 25 м^2 ; тогда он получит в сутки $33 \text{ кг} \times 25$, т. е. 825 кг воды. Сколько же квадратных метров поля или сада можно оросить этой удельной водой? В сутки для орошения земли достаточно слоя воды в 1 мм (365 мм осадков в год), т. е. для орошения 1 м^2 нужен килограмм воды. Следовательно, каждый обитатель этого сооружения сможет иметь сад или баштан с достаточным орошением площадью в 825 м^2 , или 8 аров. Этого достаточно для прокормления одного человека. При непрерывном солнечном дне, девственной почве и высокой температуре — всего только и нужно для этого 4×25 , т. е. 100 м^3 камня, гальки, или, в крайнем случае, песку.

КОЛОДЦЫ

Не легче ли вырыть колодец? Но грунтовые воды находятся на глубине 30—100, редко — 10 м. Это бы еще ничего, но и этих вод немного. Откуда им взяться, если количество годовых осадков не превышает 70 мм? Однако, на первое время для 20% почвы этого достаточно. Можно попытаться рыть колодцы.

ОБЩЕЕ ОБВОДНЕНИЕ СТРАНЫ

Возникает вопрос: нельзя ли упростить мое построение? Это было бы возможно для большой площади земли или, если и небольшой, то такой,

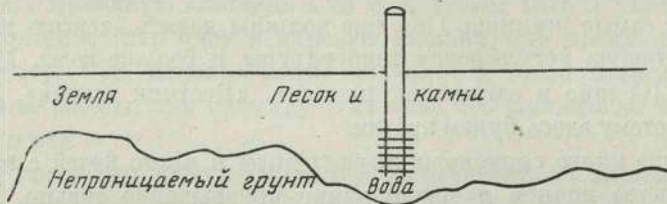


Рис. 4

где грунтовые воды не растекаются вследствие углубления; короче, там, где самой природой создаются колодцы с водой. В такой местности на глубину примерно в 5 м ввинчивается или вбивается чугунная или железная труба. В нее утром вдувается холодный воздух, который охлаждает почву

с 14° средней годовой температуры до нуля. Затем в нее же при наибольшей абсолютной влажности вдувается воздух днем. Так увлажняется почва и накапливаются грунтовые воды. Извлекают их оттуда через ту же или более глубокую трубу. Число труб, конечно, зависит от нас (длина труб от четырех метров) *.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ БАШНИ

Известные холодильные башни сухих местностей преследуют ту же цель, что и моя подземная каменная масса. Но башня имеет следующие недостатки: 1) сооружение ее стоит дороже; 2) успех зависит от тяги, тяга же требует высокой башни и даже и при этом условии бывает недостаточной; 3) правильность тяги нарушается ветрами, которые, например, вместо того, чтобы дать вхождение воздуха в отверстия башни, дают выхождение; 4) регулировка движения воздуха недостаточна; 5) охлаждение и нагревание башни происходит медленно вследствие крупных размеров ее частей; 6) тень от башни занимает полезное место.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДОМА

Мое подземное сооружение может служить и для других целей, например, как фундамент для жилища, через посредство которого последнее можно охлаждать в жару и отеплять зимой. Так, в жару воздух из каменной массы выходит при температуре от нуля и выше. Им можно по желанию охлаждать помещения внутри дома. Этот же воздух ночью может согревать комнаты. Зимой, когда нет нужды в воде, почва и каменная масса имеют среднюю температуру в 14° и потому могут согревать помещение, впрочем ненадолго, так как почва скоро охлаждается холодным воздухом. Умеренное тепло все же можно получить. Днем солнце сильно нагревает воздух в плоских черных железных ящиках. Этим воздухом можно днем нагревать подземелье, а ночью пользоваться запасенным теплом для отопления.

ЖИЛИЩА

Опишем самые жилища. Они еще должны давать энергию для работы, кипятка, лучшую регулировку температуры и больше воды. Мы уже их описывали (Солнце и завоевание пустынь. «Вестник знания», № 5—6 за 1933 г.) и потому здесь будем кратки.

В пустыне много солнечных жарких дней и много ночей с прозрачным воздухом, когда ночное лучеиспускание чрезвычайно сильно. Всем этим мы и пользуемся для получения днем кипятка и пара (насыщенного и перегретого), ночью — обильной росы, т. е. воды, кроме полученной в подземелье. При идеальных условиях ночью, в течение 12 часов, можно получить

* Яму можно заменить бугром из камней, гальки, песка. На нем, как на фундаменте, устраивается дом и ветрянка (К. Э. Ц.).

слой росы от 6 до 12 мм на каждый m^2 , в среднем — 9 мм*. Если принять даже только 50% этого количества, то получим более 4 мм на 1 m^2 . Человек, имеющий жилую площадь в 25 m^2 , получит 100 мм росы, чего достаточно для орошения 100 m^2 . Между тем, подземелье при той же площади дает 1650 m^2 , т. е. в 16 раз больше. Отсюда видна важность получения воды подземным путем.

Кипяток получается, как видно из рисунка, с помощью длинных цилиндрических зеркал, расположенных, как и дом, в направлении с востока на запад.

Вот отвесное поперечное (по меридиану) сечение дома, зеркал и котла (см. рис. 5).

Лучи солнца в течение всего дня дают в определенном, почти неизменном месте фокусную линию, вернее длинный, узкий прямоугольник. Он падает как раз на такую же зачерченную сторону блестящего цилиндрического котла с водой. Котел окружен блестящим кожухом с продольным отверстием внизу, куда проникают отраженные и собранные зеркалом солнечные лучи. Так получаем пар с высоким давлением — в несколько атмосфер. После работы в паровых машинах часть его идет на получение кипятка и нагревание, а другая часть — в такие же, но пустые котлы, где она перегревается и служит уже для печения, жарения и других потербностей, требующих температуру выше 100° . И тот и другой пар проводится в жилища, прачечные, бани, кухни, каменное подземелье и т. д.

Солнце в идеальных условиях дает в сутки на 1 m^2 43 200 больших калорий тепла. Если же принять во внимание ночное время, низкое стояние солнца утром и вечером, а также неполную прозрачность воздуха — получим около 4320 больших калорий. Этого достаточно для нагревания 43 л воды до 100° . На жилую площадь в 25 m^2 получим 1075 л кипятка.

Предварительно пар идет в паровую машину, где производит механическую работу. При использовании только 4% этой энергии получим 1 840 400 кгм работы, а в секунду — 21 кгм, что превышает силу одного человека в 6 раз.

Здание, как и каменное подземелье, располагается с востока на запад. Длина его должна быть раз в 10 больше ширины. Высота — 3—4 м. Все стены здания — непроницаемы, как в вагоне, прозрачны, но могут закрываться ставнями того или другого цвета. Вентиляция — искусственная — через особые отверстия. Крыша — обыкновенная; на ней устанавливается

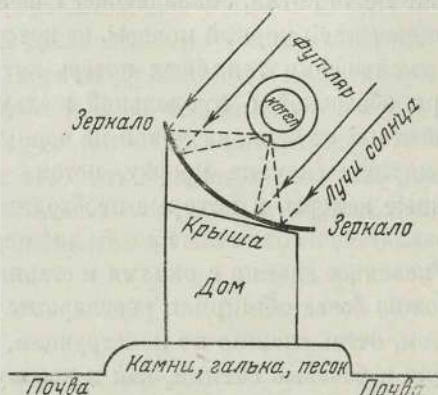


Рис. 5

* См. К. Э. Циолковский. Вода в пустынях. «Социалистическая реконструкция и наука», 1933 г., № 8, стр. 82 (К. Э. Ц.).

длинное цилиндрическое зеркало, ось и фокусная линия которого идут с востока на запад, как и само строение. В силу положения зеркала фокусная линия также почти не изменяет своего положения. Не более раза в сутки изменяют наклон зеркала, чтобы солнечные лучи попадали в одно и то же место котла, совпадающее с фокусной линией. Котел — блестящий, за исключением черной полосы, на которую направляются солнечные лучи. Для уменьшения тепловых потерь котел окружен блестящей снаружи и внутри оболочкой с продольной щелью, способствующей проникновению отраженных от зеркала лучей на черную полосу. Он имеет несколько трубок, идущих сначала кверху, потом — в паровую машину, отсюда же — в разные камеры, в которые необходимо провести пар. Иногда мятый пар направляется в солнечные котлы для перегрева.

Указанное здание с окнами и ставнями разного цвета, цель которого — возможно более обширная регулировка температуры днем и ночью, зимой и летом, очень сложно по конструкции, но можно упростить постройку: северную и боковые стенки, как и крышу, можно сделать непрозрачными и задерживающими тепло; тогда только передняя прозрачная стенка со ставнями разных свойств будет регулировать температуру. Например, летом, во время жары и солнцепека, стена закрывается блестящими снаружи и внутри ставнями; тогда солнечное тепло не будет проникать внутрь жилища, воздух же в него будет входить не внешний, а из подполья. Для освещения могут служить несколько окон с северной стороны. В зимний холод, наоборот, передний южный фас открывается для солнечных лучей, нагревает черные внутри стенки и пол и дает достаточно тепла. Можно пользоваться и подземным теплым воздухом. Но это обеспечивает теплоту только летом, весной и осенью — во время ночных холодов; зимой же подполье быстро простывает. Тут может быть придется прибегнуть к легкому отоплению (я имею в виду Кара-Кум, а не тропические пустыни).

Цилиндрические зеркала и котлы описанного устройства мною испытаны в Калуге лет 10 назад и дали превосходные результаты: вследствие значительного повышения температуры не только кипела вода, но распаялся котел. Зеркало состояло из изогнутого параболически листа обыкновенной луженой жести. День для опытов выбран был ясный, солнечный, с прозрачным воздухом. Но понятно, что всего описанного выше нельзя применить на широте Калуги в виду малой здесь прозрачности воздуха, сильной облачности, низкой температуры и низкого стояния солнца. Пустыни жарких стран и пустыни широт от 40° и южнее — вот арена описанных жилищ.

Кипяток я мог получить в плоских котлах без всяких зеркал (как проф. Трофимов в Самарканде и др.), но едва ли это экономично, хотя в частных случаях и применимо. Котлы эти тяжелы и велики, температура — немного выше 100°C и не может давать работу без холодильников, которые в пустыне трудно устроить за отсутствием воды и низких температур. Пар по низкой температуре не годится для кухонь. Прохлады эти установки не дают, воды — также, температуры жилищ не регулируют.

Мои цилиндрические котлы — небольшого объема и веса, потому что занимают небольшую фокусную линию цилиндрических зеркал. Они, отра-

жая свет и нагревая воду и почву, охлаждают место. Высокая температура пара дает работу, а перегретый мятый пар заменяет кухонный огонь: печет, жарит и варит, ничего не портя. Зеркала — тонкие, железные, покрытые оловом, никелем или хромом. Это — обыкновенное плоское кровельное железо, слегка изогнутое. Для использования 1 м^2 солнечной энергии и нужен только 1 м^2 этого железа, т. е. вдвое меньше, чем для плоского котла (дно и крышка). Но последний подвержен ржавлению (коррозии) от воды и потому должен делаться из толстого железа, что делает его в 10 раз тяжелее зеркала, эксплуатирующего ту же солнечную поверхность.

Из этой статьи, между прочим, ясна чрезвычайная важность развития промышленности (индустрии) для социалистического строительства: стекло и металлы — вот основные его элементы.

ПРОСТОЙ СОЛНЕЧНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К ДВИГАТЕЛЮ, КУХНЕ И ДРУГИМ ЦЕЛЯМ *

Написанная статья составляет извлечение из моей обширной рукописи: «Механика в биологии».

В 1923 г. я произвел много опытов с солнечными нагревателями, о чем и сообщал вкратце Ассоциации натуралистов. Между прочим, был устроен калорифер по образцу далее описанного с поверхностью зеркала в $0,17 \text{ м}^2$. От него теперь остались: медные блестящие котлы, чехлы к ним и штатив. Зеркало же (лист белой жести) было снято и использовано с другими целями.

Уже в простой деревянной черной коробке с обыкновенным оконным стеклом воздушный термометр показывал более 100° по Цельсию. Те же результаты были получены Ленгли, Вери, Фассенди и Шуманом. Известны также зеркальные нагреватели и двигатели Мушо, Эриксона, Телье и других.

Для получения температуры до $200\text{--}300^\circ\text{С}$ довольно цилиндрических зеркал. Они железные, никелированные или хромированные, с железной же или деревянной рамой.

Никель отражает около 70% солнечной энергии, но хорошо сохраняется во всяком воздухе и долго не тускнеет. Железо — наиболее дешевый и прочный материал, тонкая же никелировка также не требует больших расходов.

Берут плоские листы и слегка их изгибают по заранее сделанной раме. Разрез их должен быть параболический. Если снять их с рамы, они опять выпрямятся. Вот и готовы зеркала — собиратели солнечной теплоты. Чем меньше изгиб, тем дальше фокальная линия. Таким образом, ее расстояние зависит от нас и легко изменяется.

Общее (т. е. полное, сложное) зеркало состоит из многих листов, составляющих вместе длинный изогнутый корытом прямоугольник. На раме (штативе) он располагается длинной стороною с востока на запад, нормально к полуденным лучам Солнца. В течение нескольких дней его наклон к лучам можно не изменять, так как в течение этого времени полу-

* Публикуется впервые по рукописи, хранящейся в Московском отделении Архива АН СССР (ф. 555, оп. 1, д. 328). Рукопись датирована 1924 г. и 15 февраля 1933 г. (Ред.).

денная высота светила мало изменяется (особенно при солнцестояниях, т. е. в декабре и июне).

Вот преимущество цилиндрических зеркал: они не нуждаются в непрерывном суточном вращении (паралактический прибор). Их фокальная ли-

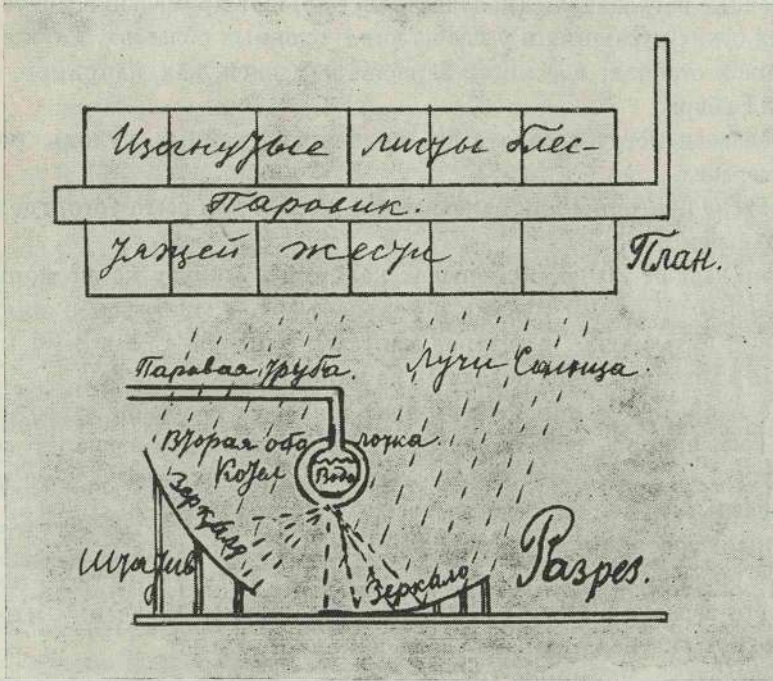


Рис. 1

ния, вернее узкая полоска, где собираются лучи Солнца, в течение 8—10 час остается почти в неизменном положении (см. чертёж).

Тут помещается цилиндрический длинный котел с водой для ее нагревания. Температура котла и плотно (герметически) закрытой воды может дойти, как показывают мои личные опыты, до 200—300°С (при опытах котлы распадались). Этого вполне достаточно для двигателей высокого давления (наиболее простого устройства — без холодильника) и для получения насыщенного (влажного) или перегретого (сухого) пара, идущего в сторону по тонкой трубе в паровые кухни, нагреватели, кубы или какие-либо технические приборы.

Зеркала и котлы для наибольшего получения тепла должны быть защищены от ветра: деревьями, зданиями, заборами, горами, стенами ямы или другими средствами.

Цилиндрический котел может быть довольно велик и толст, но он должен иметь блестящую зеркальную поверхность, кроме нижней его части, куда узкой продольной полоской падают отраженные от зеркала солнечные лучи (место фокальной поверхности). Тут его поверхность должна быть как можно лучше вычернена. Цель: поглощение наибольшего количества тепла и наименьшая его потеря. С этим же намерением полезно за-

крывать котел второй оболочкой, блестящей снаружи и внутри. Но внизу она должна иметь щель для прохода отраженных лучей Солнца (см. чертежи: план и разрез). Это средство ослабляет охлаждающее влияние ветра, если даже он и допущен.

Солнечные нагреватели (калориферы) большое применение могут иметь в жарких сухих пустынях и у нас на юге в степных областях. Также летом в тех наших странах, где много безоблачных дней, как, например, в центральной Сибири.

Нагреватели могут служить для прачечных, чайных, кухонь, ресторанов, мастерских.

Двигатели пригодны для накачивания воды и для всего того, где нужен неподвижный мотор.

Солнце дает от 20 до 30 больших калорий в минуту на m^2 нормально освещенной солнечными лучами поверхности, т. е. килограмм, или литр, воды может быть нагрет в течение минуты на $20-30^\circ C$, а в 3—4 минуты тот же литр холодной воды доводится до кипения.

Но до нас и при ясном небе доходит не более половины этого количества. А если принять еще во внимание несовершенство зеркал и потерю тепла излучением и теплопроводностью окружающего воздуха, то мы можем рассчитывать не более как на десять больших калорий в минуту на m^2 , освещенный перпендикулярными к нему лучами.

Таким образом, в минуту от зеркала в один квадратный метр получим 10 кал., а от зеркала в $10 m^2$ — 100 больших калорий. Это значит, что в минуту литр воды нагревается от нуля до кипения.

Следовательно, в минуту можно удовлетворить в ресторане 5 человек посетителей, подав каждому одновременно стакан горячего кофе, чаю или какао.

Сто больших калорий, получаемых в минуту, соответствуют 42 800 (механический эквивалент — 428) кгм работы. В секунду это составит 711 кгм. Утилизация тепла простейших машин высокого давления положим в 10%, т. е. двигатель такого сорта даст в секунду 71 кгм. Это равно непрерывной работе (в течение примерно 8 час) почти одной лошадиной силы.

$10 m^2$ никелированного железа не должно бы стоить более 10 руб. золотом. Постамент, котел, дешевая простая машина могут довести эту сумму до 200—300 рублей. Без двигателя же для одного нагревания наш калорифер должен стоить очень немного.

Если воспользоваться только 1% всей земной поверхности для целей нагревания тел зеркалами, то эксплуатируемая поверхность в 5 000 000 км² даст в год (предполагая 8 часов солнца в сутки, по 10 больших калорий в минуту) $8 \cdot 10^{18}$ больших калорий, что соответствует теплоте, выделяемой 10^{15} кг угля, или 10^{12} т хорошего кардифа. На одного жителя Земли придется в год 500 т, т. е. в 500—1000 раз больше, чем вырывается его сейчас из земли.

Механическая энергия того же 1% земли (при утилизации в 10%) даст ежедневную восьмичасовую работу в 330 млрд. метрических сил. На человека придется 165 метрических сил (метрическую силу принимаю в 100 кгм).

ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ *

Летняя жара наших средне-азиатских пустынь невыносима. Она делает человека неспособным к труду. Она расслабляет и даже убивает его. Каменные дома с толстыми стенами несколько умеряют этот дневной жар, и человек находит в них приют и передышку от полуденной жары. Но и в них жарко и душно. Можно предложить несложные средства для искусственного охлаждения комнатного воздуха. Здесь мы описываем одно из них: *водяной охладитель-испаритель* нашей системы. Он может оказаться наиболее полезным в сухих и жарких пустынях и вообще в тропических континентальных странах.

Охладитель-испаритель устанавливается на крыше дома (1). В ящиках (2) отделение (3) заливается пресной или морской водой. В воду меньше чем наполовину погружен ряд параллельных дисков (4) на одной оси. Диски медленно вращаются и потому всегда мокры. К ящику приделаны две трубы (5) и (7). В одну (5) входит ветер, а в другую он же выходит через особое окно на крыше дома. Испарение воды быстро и сильно охлаждает воздух. Круги (диски) можно вращать за рукоятку (вручную) или с помощью маленькой ветрянки (8), установленной на ящике.

В случае соленой (морской) воды одновременно получается непрерывно соль, которая осаждается на дне ящика (3).

Само собою разумеется, что воздух (5) может приводиться в движение посредством вентилятора электромотором. Электродвигателем же могут вращаться и мокрые круги.

Охлаждение воздуха через испарение иногда довольно сильно. Поэтому, чтобы в доме не было очень холодно, надо пользоваться регулятором. Это — заслонка (6) в трубе (7), ограничивающая приток в комнаты холодного воздуха.

Из ящика (5, 2) воздух может выходить очень влажным, почти насыщенным. Но, входя в комнаты, он подогревается полом и стенами и потому несколько высушивается, лишаясь вредных для живых организмов свойств насыщенной парами атмосферы.

Если воздух насыщен влагой, т. е. идеально сырой, то не будет испарения, следовательно, не будет и никакого понижения температуры. Если

* Опубликовано впервые в журнале «Наука и техника», 1935, № 2, стр. 15 (Ред.).

же воздух совершенно сух, т. е. совсем не содержит паров воды, то испарение жидкости будет происходить при всякой температуре.

Но понятно, что в атмосфере не бывает этих крайностей. Мы имеем в виду среднюю влажность наиболее жаркой части дня. В одних местах она составит 60—70%, в сухих же и жарких пустынях может днем понизиться до 30% и ниже.

Понижение температуры воздуха и жидкости в приборе совершается только до тех пор, пока пары в воздухе не достигли степени насыщения. Дальше испарение жидкости, а стало быть и охлаждение прекращается.

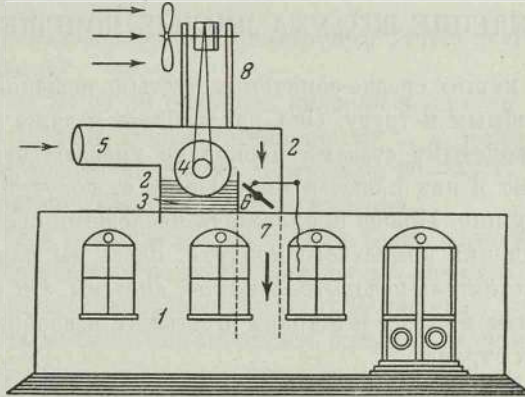


Рис. 1

Например, при температуре воздуха в 40° (по Цельсию) и влажности, равной 50%, испарение воды и охлаждение воздуха продолжают лишь до 28° С.

Ниже воздух при данных условиях охладиться не может. Но это — сравнительно сносная температура ($22,4^{\circ}$ по Реомюру).

Если бы воздух был суше, то он охладился бы не на 12° , а более. Допустим ту же жару в 40° , но влажность пусть будет 30%. Тогда насыщение воздуха водяными парами происходит при температуре 19° . Это уже совсем прохладно (около 15° Реомюра). На практике (из-за неизбежных потерь), впрочем, всегда получаются несколько более высокие окончательные температуры.

Ниже приводим ряд таблиц, показывающих максимальное охлаждение воздуха нашим прибором при разных температурах и разной степени влажности.

1) Максимальное охлаждение при температуре воздуха в 50° С:

Влажность	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Низшая достижимая температура	10	21	28	32	37	40	43	46	48

Как видим, охлаждение при очень сухом воздухе (10%) достигнет 10° С. При 40% влаги температура будет 32° . Это сносно. Но при 70% влаги остывание будет недостаточно, ибо воздух будет не холоднее 43° С.

2) Максимальное охлаждение при температуре воздуха в 40°C :

Влажность	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Температура	2	12	19	24	28	31	34	36	38

3) Максимальное охлаждение при температуре воздуха в 30°C :

Влажность	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Температура	0	10	16	20	24	27	30	32	34

Тут достаточное охлаждение (32°C) возможно даже при 80% влажности. При 10% влажности температура понижается до нуля.

Само собой разумеется, что чем суше воздух (какая бы его начальная температура ни была), тем охлаждение выше. Оно должно дойти до абсолютного нуля (273° холода по Цельсию) при воздухе, не содержащем влаги. Но такому понижению препятствует замерзание жидкости, ослабление ее испарения и теплота входящего воздуха. Напротив, при 100% влажности воздуха ни испарение, ни охлаждение невозможны.

Воды для охлаждения воздуха требуется немного. Легко рассчитать, что 1 кг испаряющейся воды способен охладить на 10°C более 208 м^3 воздуха.

Наибольшее понижение температуры воздуха соответствует вышеприведенным цифрам, если он течет через аппарат настолько медленно, что вполне насыщается влагой.

ВОДА В СУХИХ И БЕЗОБЛАЧНЫХ ПУСТЫНЯХ *

Представим себе в эфире, где-нибудь на расстоянии Земли от Солнца, нормальную к лучам его пластинку. Одна сторона ее, обращенная к светилу, черна и поглощает все падающие на нее лучи, а другая — блестяща и не теряет тепла через излучение. Теплопроводность же в эфире не имеет места. Сначала черная поверхность будет нагреваться, но скоро наступит момент, когда поглощение теплоты сравняется с его потерей, и тогда температура пластинки будет постоянной.

По закону Стефана можно найти эту температуру в зависимости от количества падающего на пластинку тепла. Но количество того тепла, которое дает Солнце на 1 м^2 нормальной к лучам поверхности, известно. Оно составляет от 20 до 40 больших калорий в минуту. Берем среднее число в 30 больших калорий (согласно Ланглею). Обратно, можно найти количество приходящего тепла в зависимости от наибольшей температуры пластинки. Но так как на черной поверхности предполагается равновесие или постоянная температура ее, то, очевидно, что сколько приходит тепла от Солнца, столько должна терять в то же время и черная пластинка через лучеиспускание. Поэтому является возможность узнать, сколько черное тело теряет теплоты в единицу времени при данной его температуре. Мы имеем в виду применить это также к определению количества росы, которое может быть образовано ночью при ясном небе на черной поверхности, а также к решению других подобных практических вопросов.

Предлагаемая таблица требует пояснений. В первой строке она дает температуру по Цельсию черной (с одной стороны) пластинки. Другая сторона идеально блестяща и так или иначе защищена от тепловых потерь. Вторая строка таблицы выражает в больших калориях потерю тепла (соответствующую температуре в 1-й строке) в течение 12 час одним квадратным метром черной поверхности.

Если бы поверхность Земли была покрыта такой пластинкой и лишена атмосферы, то получилась бы потеря ее тепла (в 12 час), указанная во 2-ой строке.

При большой толщине пластинки охлаждение было бы незначительным, так как запас ее теплоты большой. Предполагая идеальную тепло-

* Извлечение из работы «Механика и биология» (1918 г.) (К. Э. Ц.). Опубликовано впервые в журнале «Социалистическая реконструкция и наука», 1933, вып. 8, стр. 82—87 (Ред.).

проводность и огромную толщину, найдем охлаждение в течение ночи незаметным. Наоборот, допуская полную нетеплопроводность или малую толщину, получим охлаждение до абсолютного нуля, или до -273°C . Вообще, чем хуже теплопроводность и тоньше пластинка, тем охлаждение будет больше, и обратно. Подразумевается отсутствие Солнца и других источников тепла.

	Температура по Цельсию							
	-10	0	+10	+15	+20	+25	+30	+40
1. Потеря теплоты в 1 сек ночным лучеиспусканием черной поверхностью в 1 м ² в больших калориях	0,073	0,085	0,101	0,106	0,113	0,120	0,127	0,150
2. Высасывание тепла ночным лучеиспусканием в эфире при черной поверхности с одной стороны (без потери с другой) за 12 час на 1 м ² в больших калориях	3154	3630	4360	4580	4880	5180	5490	6480
3. Вся атмосфера должна бы охлаждаться за 12 час на столько градусов Цельсия	1,9	2,1	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,8
4. На сколько охлаждается слой воды толщиной в 1 м	3,1	3,6	4,4	4,6	4,9	5,2	5,5	6,5
5. То же, но охлаждение почвы за 12 час. Теплоемкость 0,25, плотность 2	6,2	7,2	8,8	9,2	9,8	10,4	11,0	13,0
6. Вес 1 м ³ насыщенного водяного пара, в г	2,30	4,88	9,37	12,66	17,18	22,72	30,13	50,91
7. Упругость насыщ. паров воды, мм рт. ст.	2,09	4,60	9,16	12,70	17,39	23,53	31,55	54,91
8. Давление в кг на 1 м ² или вес в кг всей воды в атмосфере (при насыщении и постоянной температуре). Эти числа выражают и слой воды в мм, равный атмосферной воде	28,7	62,6	124	173	322	428	748	—
9. Сколько сжижается водяного пара ночным лучеиспусканием за 12 час (за ночь) в виде слоя воды в мм	5,9	6,8	8,1	8,5	9,1	9,7	10,2	12,1
10. То же, сколько сжижается воды во все ночи за год	2153	2482	2956	3102	3321	3540	3723	4164

Обыкновенное охлаждение земной поверхности отнимает тепло от наружных слоев воды и почвы: глины, песка, камней. А если поверхность земли покрыта растениями и животными, то от них. Они же охлаждают поблизости и атмосферу. Верхние же слои ее температуру почти не изменяют, так как воздух очень мало охлаждается ночными лучеиспусканиями сравнительно с твердыми телами. Он теплопрозрачен. Также мало он поглощает лучей Солнца, особенно если содержит мало пыли, паров воды и водяных шариков. В противном случае (в тех местах, где содержатся

раздробленные тела) он охлаждается или нагревается так же быстро, как жидкое или твердое тело. Поэтому пыль ночью в верхних слоях атмосферы может производить дождь. Но там пыли как раз очень мало.

Если допустить, что воздух лишен паров воды и все тепло лучеиспускания отнимается от него, а не от почвы (которая каким-нибудь способом защищена от потерь тепла), то 3-я строка таблицы покажет нам, насколько должен тогда охладиться воздух за 12 час. Охлаждение оказывается очень малым и не превышает 2—4° С. Из метеорологии же видно, что при ясном небе воздух, например Сахары, охлаждается за ночь градусов на 20—30, т. е. в 10 раз больше. Это указывает на то, что верхние слои атмосферы очень мало охлаждаются, а охлаждается только слой песка, камней и т. д. От него же охлаждается и прилегающий к нему воздух. Если бы опять пренебречь парами и охлаждением почвы, то надо бы допустить, что воздух Сахары охладился в среднем метров на 800 в высоту. Но так как часть тепла поглощается от песка, то пренебрегая ожижением паров, мы должны ограничить область охлаждения атмосферы раза в два.

Чем сильнее ветер, тем более расширяется область воздушного охлаждения вследствие перемешивания воздуха. Но чем она выше, тем понижение температуры воздуха и почвы будет меньше. Росы тогда совсем не получается от того, что движение воздуха нагревает все жидкие и твердые тела земной поверхности. Наоборот, чем спокойнее атмосфера, тем обильнее охлаждение почвы и сильнее роса, тем слой воздуха охлаждается сильнее, но высота его тем меньше.

Если ночное лучеиспускание отнимает тепло исключительно от слоя воды толщиной в 1 м, или слоя почвы такой же толщины, то строки 4-я и 5-я таблицы покажут нам температуру этого охлаждения. Вследствие подвижности воды охлаждение может проникать даже глубже 1 м и тогда охлаждение глубокого бассейна будет почти незаметно. Только при температуре 4° С и ниже это охлаждение в глубину приостанавливается и делается поверхностным и сильным. Охлаждение же почвы вследствие дурной ее теплопроводности не проникает в одну ночь на один метр, а гораздо меньше, а поэтому охлаждение оказывается сильнее указанного в таблице, особенно если бы не было охлаждения воздуха и сжижения паров воды (росы и тумана).

В атмосфере содержится огромное количество паров воды. Строка 6-я показывает в граммах количество насыщенных паров воды в 1 м³ при разных температурах воздуха. Это количество растет очень быстро с температурой и не зависит от присутствия атмосферы того или другого состава (по закону Дальтона). Строка 7-я показывает на соответствующую упругость пара в мм ртутного столба. В 8-й строке дается давление паров в кг/м² или масса всего насыщающего атмосферу пара в виде слоя воды, глубина которого выражена в миллиметрах.

По закону Дальтона, воздуха как бы нет. Но полученное количество паров воды относится, конечно, к постоянной температуре во всех слоях воздуха. Вследствие понижения этой температуры с высотой количество пара на деле будет меньше. Все это только приблизительно.

Значит, если извлечь эту воду из атмосферы, даже при 10°C , то и тогда ее хватит на годовое умеренное орошение поля (124 мм).

В некоторых пустынях, например в Сахаре, дожди редки и небо безоблачно и днем, и ночью. Колодцы, за редкими исключениями, тоже не дают воды. Если она и находится на большой глубине, то в общем ее недостаточно для орошения страны. Дайте Сахаре воду и она превратится в самую плодородную страну мира.

Строки 9-я и 10-я таблицы показывают, сколько ожижается водяного пара ночным лучеиспусканием за 12 часов, в год, если пренебречь охлаждением почвы и воздуха. Дневное орошение в 1 мм совершенно достаточно для большинства растений. Ночным же охлаждением мы можем получить за ночь от 6 до 12 мм воды, т. е. в 6—12 раз больше, чем нужно.

Интересно определить наибольшее возможное промерзание почвы в течение ночи. Если теплота отнимается только от воды при нулевой температуре, то на основании строки 4-й легко вычислить наибольшую толщину слоя замерзшей воды. Приняв теплоту плавления льда в 80, найдем для нулевой температуры воды слой льда глубиной 4,5 см. Конечно, охлаждение воздуха и ветер мешают такому значительному замерзанию. В почве же воды мало и теплоемкость самой почвы раза в 4 меньше, чем воды. Поэтому ночное промерзание почвы может достигать 4 см в благоприятную для этого ночь.

Возьмем среднюю температуру воздуха в 20°C . Из строки 8-й мы видим, что насыщенный парами воздух содержит при этой температуре 322 мм воды. Влажность океанского воздуха и континентального составляет 70—80%. Влажность воздуха пустынь летом меньше 50%. Если принять ее в среднем равной 50%, то и тогда в атмосфере Сахары найдем воды 161 мм. Нам же довольно извлечь 1 мм в сутки для орошения. Следовательно, этой воды в Сахаре в 161 раз больше, чем ее нужно для полива садов и полей. Довольно, если мы освободим от воды 0,62% (почти полпроцента) воздуха, т. е. слой атмосферы на высоту каких-нибудь 50 м.

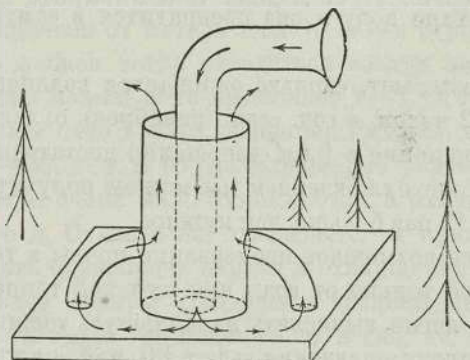
Теперь вопрос о том, может ли ночное лучеиспускание дать слой воды в 1 мм. Оно дает от 6 до 12 мм воды, но надо принять в расчет охлаждение самого воздуха. Охлаждение же почвы можно в снарядах почти устранить зеркальными поверхностями и непроводящими тепло веществами.

Сделаем расчет на воздух, насыщенный парами воды, т. е. с влажностью в 100%. При охлаждении 1 м^3 воздуха с 30 до 20°C выделяется тепла 2,2 больших калорий ($0,17 \times 1,3 \times 10$). При охлаждении 1 м^3 пара с 30 до 20°C выделяется около 7 больших калорий ($0,013 \times 536$ — см. таблицу). Следовательно, при насыщенном парами воздухе главная сумма охлаждения и идет на ожижение паров (7), а не на охлаждение воздуха (2). Значит, за 12 час при этих условиях можно извлечь от 4 до 8 мм воды, а в год от 1500 до 3000 мм, т. е. во много раз больше, чем нужно.

Для охлаждения воздуха на 25°C да для извлечения из него половинного количества воды надо отнять от него 11 больших калорий. Во сколько же времени лучеиспускание отнимает столько тепла. Из таблицы видим, что в 1 сек на 1 м^2 лучеиспускание отнимает при средней температуре

в 15° около 0,1 большой калории. Значит, нужно 110 сек, или около 2 мин.

Если извлекается половинное количество пара из слоя воздуха толщиной в 1 м, то секундная скорость его движения должна быть около 0,009 м. Но едва ли из такой толщ. можно извлечь даже половину воды. Я думаю, что толщина эта близка к нескольким сантиметрам. Приняв толщ. возду-



ха в 5 см, найдем его секундную скорость в 0,18 м, или в 18 см.

Наиболее выгодную толщ. охлаждаемого воздуха и его скорость может показать только опыт. Во всяком случае, эта скорость очень невелика и не превышает 1 м/сек. Вот почему ничтожный ветер уже мешает образованию росы.

Ночью ветер обычно затихает, а в низинах (низкие места,

болота, ямы, доли, замкнутые ущелья, места, загороженные постройками и растениями) он почти отсутствует. Тут получается весьма опасное по своей величине охлаждение, так как извлекается мало росы благодаря застою воздуха, хотя, с другой стороны, углубленное положение, стены, предметы, деревья и т. д. задерживают потерю тепла от лучеиспускания. Этому застою воздуха еще способствует отяжеление его от низкой температуры. Он лежит себе внизу, как ртуть, и не ворохнется, если углубление не имеет выхода, как чаша. В высших или открытых слоях атмосферы может быть при этом сильный ветер, что несколько не мешает неподвижному слою газа получить очень низкое охлаждение.

Устройство снаряда, извлекающего воду из атмосферы, основано на следующих соображениях.

1. Надо получить спокойный слой воздуха примерно в 1 м толщиной. Этого можно достигнуть разными способами, например искусственными заграждениями (заборами). Но это обойдется дорого. Дешевле и надежнее можно достигнуть того же продольными и поперечными рядами растительности из густолиственных кустов или деревьев. Площадь их займет не менее 10% культивируемой поверхности. Можно воспользоваться для пустынь кактусами и другими породами, переносящими сухость. Надо засадить зараз огромную площадь, в противном случае не будет задержан ветер и растительность будет засыпана песком. Это тоже не всегда практично. Можно устроить земляные стены. Но вертикальными их сделать не всегда легко. Каменные же стены дороги. Можно еще покрывать снаряд стеклом. За ним или под ним воздух будет неподвижен. Надо иметь теплопрозрачное стекло. Это тоже пока трудно осуществимо.

2. Необходима изоляция земной теплоты, т. е. наш снаряд не должен нагреваться снизу землей или воздухом еще нагретым.

3. Нужен медленный искусственный воздушный поток в снаряде, извлекаемый из тех слоев атмосферы, где уже явственно дует ветер и воздух

еще не выделил свою скудную влагу в снаряд. Такой воздух находится на небольшой высоте, за искусственными ограждениями, т. е. выше деревьев или стен. Так как поток требуется очень слабый, то можно воспользоваться для его получения давлением ветра. Воздух охлажденный должен быть использован для предварительного охлаждения первой его порции.

4. Охлаждаемая поверхность должна быть черной, вообще способной к наибольшему лучеиспусканию (или поглощению тепла).

Схема указывает, как примерно все это должно быть устроено (см. рисунок).

Из ветряного слоя воздух силою ветра же, регулируемого подвижной заслонкой, направляется по внутренней трубе в плоскую камеру под черную, подвергаемую лучеиспусканию, поверхность.

Здесь воздух охлаждается на 25°C и выделяет в виде росы половину своих паров. Охлажденный, он выходит через трубы в обнимающую трубу и охлаждает воздух центральной трубы. Таким образом, используется первоначальное охлаждение, что значительно увеличивает осадок росы в черной камере. Выходя из концентрической трубы, ниже центральной, он подхватывается ветром и уносится, не смешиваясь с более влажным воздухом и не понижая тем его влажность. Под блестящей поверхностью или основанием камеры находится слой не проводящий тепла. Им даже может служить сама песчаная или другая почва. Но может под этим искусственным слоем помещаться и жилище, огражденное от ночного холода. Все эти сооружения чересчур сложны и не окупаются полученной от них пользой. Они имеют только теоретический интерес. К более практическим выводам я прихожу в другой статье*.

* Соняшна енергія і її застосування. «Знання». (Харьків), 1932, № 23—24; также: Солнце и завоевание пустынь. «Вестник знания», 1933 г., № 5—6 (К. Э. Ц.).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Академик А. Е. ФЕРСМАН

АНАЛИЗ ОБЩИХ РАБОТ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО *

«Вся моя жизнь состояла из работ,
остальное было недоступно».

К. Э. Циолковский

І. ВВЕДЕНИЕ **

Передо мною лежат толстые папки ненапечатанных рукописей и груда книжечек в пестрых обложках с самыми разнообразными и неожиданными заглавиями: «Горе и гений», «Монизм», «Животное космоса», «Пространство, время, мрак», «Прошедшее Земли» — всего свыше 700 страниц текста, свыше 60 рукописей и 40 отпечатанных брошюр. Но все это лишь часть опромного наследства с 1891 по 1935 г., — автор этих замечательных, единственных по своей широте и глубине трудов — скромный, почти глухой учитель в провинциальном городке Калуге, К. Э. Циолковский.

Еще больше работ, не менее замечательных, а подчас и гениальных, лежит на столе у наших воздухоплавателей и исследователей по аэродинамике — там другой мир идей технических этого своеобразного разностороннего ума, сумевшего, однако, и их влить в общие линии своих научных исканий.

Мы говорим об «общих линиях», об «общих работах», ибо совершенно лишены возможности разделить и отделить работы по отдельной отрасли научной мысли, как лишены возможности, несмотря на упорные попытки, отделить чисто популярные статьи от работ чисто научных; мы лишены возможности их классифицировать и по годам, так как мысль его, буйная и ищущая, постоянно возвращалась к любимым идеям молодости. Мы можем лишь отметить в их хронологии два момента подъема творческой энергии — 1920—1923 гг., когда советская власть не только дала ему возможность спокойно работать в материально обеспеченной обстановке, но, главное, окружила его уважением и общественным вниманием, чем дала ему новый стимул для творчества. Второй момент подъема творчества свя-

* Из неоконченной статьи академика А. Е. Ферсмана, написанной в 1940 г. (Ред.).

** Большую пользу при составлении обзора научных трудов К. Э. Циолковского мне оказала книга: К. Э. Циолковский. Издание Аэрофлота 1939 г. с рядом ценных статей Б. Н. Воробьева и др. Им же составлен ценный и полезный труд — библиографический указатель с аннотациями напечатанных произведений К. Э. Циолковского (1891—1938, всего 206 номеров). Необходим аналогичный указатель и для ненапечатанных работ.

зан с 1932—1935 гг., т. е. с теми вспышками особой яркости, которые столь часто мы наблюдаем перед закатом.

Так развернулось его творчество в новых условиях советской страны, окружившей его вниманием и заботой!

II. ИДЕЙНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТ

Научное и литературное наследство неотделимо от личности и жизни его творца, и это положение особенно относится к трудам Циолковского, которые совершенно неотделимы от самой личности автора, от всей его целеустремленной фигуры, с обращенным внутрь себя взором; для него нет оторванных от общих идей отдельных положений науки, все едино в его представлениях, все сливается в единые великие законы мира и человека, все взаимно соподчинено и подчинено законам материалистического развития мира и закономерностям роста человеческой личности. Нет и не должно быть границ между сухой теорией, популярным ее изложением и осуществлением идеи на практике, нет границ между науками, между теорией и практикой, между жизнью и смертью, между прошлым и будущим... В сложном постоянном переплете противоречий сливается жизнь в прекрасную картину мироздания — нет пределов фантазии, нет границ проникновению разума, нет пределов технической мощи, побеждающей природу. И от маленького клубка атомов до грандиозных беспредельных миров вселенной, от масштабов миллионных долей миллиметра до расстояний, измеряемых световыми годами, от клубков жизни бактерий — до новой организации нового человека... — так развивается мысль Циолковского!

И все просто, без иностранных слов, почти без формул, без напыщенных фраз, ясно, понятно, логично, свежо и молодо.

Но все это лишь порывы, иногда незаконченные, часто лишь яркие броски света, нередко лишь блестящие мысли и идеи как бы проповедника.

Дать идейную характеристику таких работ нельзя только по самим работам, их можно понять и изложить лишь в связи со всей замечательной личностью этого скромного калужского учителя.

Эту задачу выполняют другие, я же постараюсь в более скромных масштабах наметить лишь основные вехи к пониманию творческого процесса, лишь дать материалы к его анализу.

Необходимо прежде всего отметить, что даже первичный анализ работ Циолковского представляет значительные трудности как по существу, так и по форме его произведений. По существу он труден потому, что Циолковский в своих работах касается самых разнообразных научных дисциплин и необычайно широко охватывает каждую проблему с самых различных точек зрения. По форме — трудности связаны с тем, что Циолковский постоянно возвращается к одному и тому же вопросу; продолжая и развивая свои мысли, он дополняет их новыми данными, и эти данные рассеяны почти в каждой из новых работ, нередко содержатся в отдельных фразах, выписках из его писем или неожиданно открываются в рукописях совершенно иного содержания. Тем не менее, мы можем прийти в нашем анализе к следующим основным выводам.

1. Самой характерной чертой работ Циолковского является *многообразие его интересов* и охват им целого ряда различных дисциплин и, в первую очередь, нижеследующих:

а) проблем *воздухоплавания*, как основной неизменно увлекавшей его идеи;

б) *аэродинамики*, как основы для решения проблем воздухоплавания;

в) проблем чисто *технических конструкций* и машиностроения;

г) проблем *геофизического и астрономического характера* во всем их многообразии с широкими обобщениями и логическими выводами по астрофизике;

д) проблем *физики*, в частности, вопросов свойств вещества, энергии и строения атома.

е) проблем *геологии и геохимии* с широким охватом биогеохимических вопросов;

ж) проблем чисто *биологических*, вопросов зарождения жизни и распространения жизни в мироздании;

з) проблем *языкознания*, как основы новых социальных подходов к человечеству, организации человеческого общества;

и) проблем чисто *психологического и этического характера*, как подход к анализу социологической и физиолого-психологической деятельности человека и человеческого общества.

Если к этому списку основных интересов Циолковского прибавить еще его несомненный писательский дар и чисто художественно-литературный, его блестящую популяризаторскую поэтическую мысль и научную фантазию, то этим мы охарактеризуем основные черты творчества К. Э. Циолковского.

2. Но при всем многообразии дисциплин, данными которых оперирует Циолковский, замечательно, что весь этот охват характеризуется *единством мысли, исключительной целеустремленностью* всех его идей, которые нередко проходят как бы весь цикл перечисленных выше дисциплин, начиная со строения вещества и кончая главной целью — заботой о человеке, созданием новых для него возможностей и созданием нового человека. Эта целеустремленность в решении конечной проблемы науки и вызывала необходимость у Циолковского касаться разнообразных дисциплин, чтобы охватить проблему человека в природе со всех точек зрения. Отсюда и его более слабые с философской точки зрения выводы о монизме вселенной, об единстве живого и мертвого, об ощущении и т. д.

3. Характернейшей чертой всех работ Циолковского является их форма — *краткость и четкость изложения*, что он сам нередко отмечает и что составляет несомненно особое достоинство всех его работ.

Изложение — блестящее по своей структуре; текст состоит из кратких и ясных фраз, нередко метких сравнений и аналогий, чужд нагромождению иностранных слов, всюду стремится к хорошему русскому языку, доступен каждому и в целом ряде работ может служить примером простой и блестящей популяризации самых сложных проблем.

Одновременно с этим является характерным и то, что всюду, во всех

своих работах Циолковский преследует определенную цель. Это не просто описательные работы, в них всегда сквозит определенная идея, которую он формулирует нередко в очень острой форме в кратких последних фразах работы.

4. Характерной чертой всех работ является поразительная интуитивность мысли, научная фантазия в самом лучшем понимании этого слова. Циолковский неоднократно указывает, что он пользуется очень многими чужими работами для своих исследований, но он не склонен цитировать их по мелочам, не пытается каждый раз обосновать свои положения ссылками на те или иные работы, ибо он поступает совершенно иначе, он схватывает основные руководящие идеи, из каждого автора он берет смысл его работ и с редкой интуитивностью умеет разобраться во всех спорах и противоположениях, намечая дальнейшие блестящие пути в развитии каждого вопроса.

Когда с исторической точки зрения рассматриваешь целый ряд работ Циолковского (например, работы 20-го года), то убеждаешься, с какой тонкой интуитивностью он сумел использовать отдельные отрывочные данные, полученные из иностранной литературы, и как блестяще он развил уже тогда целый ряд таких идей, которые только сейчас входят в обиход официальной науки.

Отсюда и особая смелость мысли, не боясь идти вразрез с существующими научными положениями, частично даже открытая борьба против официальных представителей науки, которые, действительно, в большинстве случаев не понимали Циолковского, не понимали его смелого творческого ума, который в других условиях мог бы дать гораздо больше.

5. В этой борьбе за новые идеи до конца своей жизни Циолковский остается молодым и бодрым, борясь за нового человека, смело разрушая все преграды в борьбе со страданиями человека. Он сам в последних своих работах говорит о том, что некоторые из них носят характер проповеди и что творческая, поразительно бодрая, блестящая мысль сочетается в них с ясной и прекрасной формой.

6. Интересно проследить и изменение творческих идей у самого Циолковского. Его мысль эволюционирует постепенно в определенную сторону. От беспочвенной натурфилософии и идеализма, даже с моментами мистического мировоззрения, он постепенно переходит к материалистическому миросозерцанию, которое он пытался, правда, не всегда успешно, сочетать со своей верой в человека и в его силы, в мощь науки и техники. Он сам пишет в одной из своих работ, что его мысль испытала эволюцию за многие годы научной работы, что каждая эпоха имеет свой язык и что в зависимости от этого изменялись формы, темы и идеи его изложения. И хотя, таким образом, действительно, мы видим все переходы от отвлеченной философии к практическим проблемам сегодняшнего дня, всюду все-таки основной идеей, проходящей через все его работы красной нитью, является мысль о создании новой платформы для развития человечества, мысль о реальной победе над вселенной и ее силами и о расселении человека по всему космосу.

Таким образом, для аналитика и историка работы Циолковского представляют благодарнейшую почву и надо пожелать, чтобы кто-либо из точных исследователей психологов взялся за эту задачу.

7. Интересным является при анализе работ Циолковского выявление и условий, в которых создавалась и развивалась его мысль. Условия необычайно трудные до 1921 г., когда постановлением Совнаркома ему была предоставлена возможность спокойной работы. До этого времени, несмотря на всю скромность Циолковского, в целом ряде его работ проглядывают сетования на исключительно тяжелые условия работы в Калуге в связи с необходимостью зарабатывать хлеб учительским трудом в тяжелых условиях жизни полуголодного существования, без книг, без возможности печатать, без помощи, а нередко и при противодействии со стороны официальной науки. Всякое малейшее внимание отдельных научных учреждений или крупных специалистов давало ему силы и уверенность в своей правоте. Ничтожная сумма в 470 рублей, присланная ему Академией наук в 1900 г., окрылила его в годы самого тяжелого раздумья. Поддержка со стороны проф. Столетова, крупнейшего представителя физики в Москве, убеждала его в правильности физических построений. Но, конечно, главное, что играло роль в его жизни, это та его незримая связь с громадным количеством читателей, которые увлекались блестящими идеями Циолковского, запоем читали его отдельные брошюры, издаваемые им в Калуге, и писали ему письма. Эта переписка, из которой рождались новые идеи, и являлась главным стимулом, который поддерживал в тяжелые минуты Циолковского. Выписки из этих писем он тщательно печатал почти в каждой из своих мелких работ, всегда отвечал на поставленные ему вопросы и таким образом устанавливал связь с огромным коллективом молодых живых сил, искавших в широких идеях Циолковского новых открытий.

Особую роль в поддержке его идей играли отдельные представители передового инженерного мира, как профессор Н. А. Рыниц, Б. Н. Воробьев и, надо сознаться, очень немногие другие.

Перехожу к анализу тех основных идей, которые проходят красной нитью через его работы.

а) Огромное значение в жизни человечества науки и техники и необходимость всемерного увеличения знаний для пользы человечества.

б) Необходимость борьбы с расстоянием не только на поверхности Земли, но и в космических масштабах. Овладение пространством возможно лишь путем создания новых технических методов.

в) Необходимость борьбы с всемирным тяготением, как одной из форм овладения пространством и победы над расстоянием.

г) Задачей человечества является овладение всем миром; создание новых методов передвижения, овладение пространством, развитие техники — все это лишь средства для того, чтобы человек смог овладеть другими мирами.

д) Борьба за мировую энергию. В последние годы жизни Циолковский очень много занимался проблемой энергии, он анализировал ее законы и

всемерно доказывал значение борьбы человечества за овладение всеми видами энергии.

е) Борьба за жизнь, за улучшение форм жизни, за большую приспособленность растений и животных к окружающему миру. И в этих идеях он начинал с проблемы создания жизни, видя в разгадке этой проблемы один из путей для улучшения жизни вообще.

ж) Борьба за человека. Анализ и использование его ощущений в борьбе за нового человека, за новую организацию общества и в качестве последней — вера в человека и в жизнь, в науку и технику, протест против власти природы и глубочайшее убеждение в том, что человек сумеет ее победить, овладев энергией и пространством.

Таковы основные идеи, которые проходят красной нитью через все сочинения К. Э. Циолковского.

8. Переходя к основным чисто научным достижениям, которые вытекают из рассмотрения работ Циолковского, мы должны прежде всего отметить, что многие из них носят чисто интуитивный характер, их доказательства нередко умозрительны и философски, но зато они всегда глубоко схвачены и если они иногда недостаточно обоснованы фактами или опытными доказательствами, то все же в истории науки представляют значительный интерес и безусловно имеют значение. Если бы его деятельность до 1919 г. протекала в иных условиях и если бы он имел возможность не случайно заниматься наукой, а обрабатывать и доводить до конца свои теоретические выводы, то нельзя сомневаться в том, что его положения, обоснованные фактами, явились бы крупнейшим достижением в истории мировой науки.

а) Так, в *физике* в ряде своих работ Циолковский совершенно правильно наметил возможность существования изотопов, физически верно охарактеризовал давление жидкости на плоскость;

б) По *астрофизике*, не зная работ Гельмгольца, Томсона и др., он очень интересно построил теорию влияния тяготения, как источника энергии.

в) По *геологии* и *геохимии* он схватил правильность и глубину идей геохимических исследований и геологической истории Земли с точки зрения тех геохимических превращений, которые определили собой ход развития Земли и жизни на ней. В этой области, несомненно, идеи Циолковского представляют значительный интерес, если особенно отметить, что они были им сформулированы в 20-х г., когда только начиналось современное течение геохимии, то мы сможем назвать Циолковского смелым новатором и одним из идеологов современного геохимического учения. Особенно интересна его основная мысль, которую он проводит через все свои работы — о единстве вещества во всем мироздании и глубокий анализ проблемы атмосферы, определившей судьбу Земли и жизни на ней. Очевидно под влиянием Аррениуса Циолковский не раз возвращается к проблеме угольной кислоты, совершенно верно указывает на ее значение для развития животного и растительного мира и этим намечает те пути современной геохимии, которые вылились в стройное научное течение только в последние годы в работах В. М. Гольдшмидта и В. И. Вернадского.

г) Что касается до работ по аэродинамике, ракетодинамике и воздухоплаванию, то этих работ я не касаюсь в своем обзоре, поскольку их анализ будет дан крупнейшими специалистами Советского Союза *, но интересно отметить, что эти работы в своей основе связаны, с одной стороны, с работами физического характера по изучению той среды, в которой протекает движение самолета или аэронаута, а с другой стороны, связаны с вопросами астрофизического характера — с изучением и анализом свойств междупланетных пространств, атмосферы Земли и других планет и т. д. Поэтому и этот раздел аэродинамических, ракетодинамических и воздухоплавательных работ Циолковского нельзя рассматривать без связи с его другими научными исследованиями.

д) Особый и весьма значительный раздел работ посвящен проблемам астрономии и астрофизики. Их анализ будет дан академиком В. Г. Фесенковым **. И здесь отдельные творческие научные мысли тесно сплетаются с типичными популярно изложенными картинами мироздания и происхождения миров.

Но как ни многогранны и разнообразны были интересы и творческие порывы К. Э. Циолковского, все же все его мировоззрение было исключительно цельным, гармоничным; цель была ясна — счастье будущего человечества, пути определены — овладение миром, сначала атмосферой, а потом и космическими пространствами; все остальное играет подчиненную роль и так или иначе примыкает или к уточнению самой конечной цели, или к разработке технических путей — цельнометаллического дирижабля и ракеты.

III. АНАЛИЗ СВОЕЙ РАБОТЫ. ОТНОШЕНИЕ К ЛИЧНОСТИ И ЧЕЛОВЕКУ

Я не останавливаюсь детально на этом разделе, хотя по существу он лежит в основе всего мировоззрения К. Э. Циолковского.

В опубликованных брошюрах 1922—1927 гг. мы находим основные выводы его научных исследований и всю замечательную идеологию этого человека. Он пишет:

«Основной мотив моей жизни: сделать что-нибудь полезное для людей, не прожить даром жизнь, продвинуть человечество хотя немного вперед. Вот почему я интересовался тем, что не давало мне ни хлеба, ни силы, но я надеюсь, что мои работы, может быть скоро, а может быть и в отдаленном будущем — дадут обществу горы хлеба и бездну могущества» ***.

Далее, в своей сводке 1922 г., озаглавленной «Направление работ», он в кратком очерке высказывает отношение к своей работе:

* А. Е. Ферман имеет в виду статьи, подготавливавшиеся для томов произведений К. Э. Циолковского по аэродинамике, реактивным летательным аппаратам и дирижаблям (Ред.).

** См. стр. 7 данного тома (Ред.).

*** К. Э. Циолковский. Первая модель чисто металлического аэронаута из волнистого железа. Калуга, 1913, стр. 1.

...«Я делаю попытку дать понятие о содержании, направлении и значении моих напечатанных и неизданных еще работ. Я прошу содействия к их изданию. Научите, что делать, как исполнить необходимые формальности? Мне бы хотелось издавать их здесь, в Калуге, хоть по одному печатному листу в месяц. От каждого издания я буду оставлять себе 200 экземпляров, мое желание совершенно бескорыстно. Характер работ: научный, философский» *.

Далее он пишет:

«Мне бы только хотелось избежать предварительного суда специалистов, которые забракут работы, так как они опередили время; также и по общечеловеческой слабости: не признавать ничего оригинального, что так несогласно с воспринятыми и окаменевшими уже мыслями.

Вообще я хочу избавиться от всякого суда и контроля, кроме общественного, после издания моих работ. Если рукописи не будут изданы, то легко могут затеряться после моей смерти (мне 65 лет). Кроме того, обнародование их придаст мне бодрость и силу закончить остальные работы и изобретения. Государство же от своей маленькой жертвы не разорится, так как таких как я немного. Напротив, пренебрежение к скромной просьбе труженика может вызвать равнодушие его к работе и даже уничтожение ее. Скрыл же Марини свой способ консервирования животных тканей, и винить его строго за это нельзя. Слаб человек, и никто не может за себя поручиться» **.

И вот, после этого краткого введения начинается анализ выполненных работ, причем Циолковский подчеркивает как раз те свои исследования, которым, по его мнению, надо придавать особое значение.

Он подробно говорит о создании общечеловеческого алфавита и изобретении специальной пишущей и печатной типографской машины, разбирает свои работы по физике и химии, подчеркивая и здесь свое внимание к тем свойствам вещества, которые нужны для практического их использования.

Он переходит далее к вопросу воздухоплавания, реактивных снарядов, но все это только преддверие для него к решению больших задач об улучшении жизни человека, к попытке, иногда довольно наивной, философского анализа жизни и будущего человечества, с весьма упрощенными социологическими взглядами на создание нового общества, новых форм жизни, брака и труда.

Как основную идею он все время подчеркивает главную задачу своих работ — разработку технической проблемы для овладения расстояниями, для использования всего мироздания человеком и новых условий человеческой жизни, как высшей формы ее развития.

В 1927 г. он вновь возвращается к анализу своих работ, причем статью он озаглавливает так: «К каким новым выводам я пришел». Начинается она со следующего введения:

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 544, л. 2.

** Там же, л. 2.

«Говорю только о том, что публиковалось в известных журналах или издавалось мной и рассылалось по всем ученым учреждениям Европы и Америки.

Я многое открыл, что было уже открыто ранее меня. Значение таких работ я признаю только для самого себя, так как они давали мне уверенность в моих силах. Также должны смотреть на свои открытия ученые, сделавшие их после меня. Обвинять в заимствованиях, конечно, без доказательств нельзя. Все же я думаю, что как мои запоздалые работы, так и других ученых отчасти навеяны отголосками ранее опубликованных трудов. Молва и печать их распространяют иногда и без указания источников. Печатная дата — вот, что решает спор о первенстве (приоритете) и значении ученого»*.

Дальше следует перечисление самых основных его работ, опять-таки в том же порядке, как в 1922 г., начиная с работ физических, переходя к проблемам космических путешествий, аэропланов и заканчивая анализом механизма животных, причин радости и страдания и теории единства мира, «монизма вселенной».

Много раз, в десятках и сотнях своих работ, возвращается К. Э. Циолковский к этим проблемам. Любопытно, что неоднократно заголовки самих статей не отвечают их внутреннему содержанию, правда, по форме, тогда как по существу они являют часто в скрытой форме как раз решение той задачи, которая поставлена в заголовке. Например, его работа «Любовь к самому себе, или истинное себялюбие», изданная в 1928 г. в Калуге брошюрой в 39 страниц, начинается с краткого предисловия о методах измерения расстояний, единицах веса и дальше излагает динамику неба, свойства материи, прошедшее и будущее вселенной, явления радиоактивного распада, роль эфира и, наконец, жизнь как венец природы.

Его отношение к жизни здесь определяется замечательной фразой: «Мы рассмотрели космос с механической точки зрения. Но он бы не имел никакого смысла, если бы не дал биологической жизни»**.

Разбирая потребности этой жизни, Циолковский, как всегда, останавливается в конце концов на проблеме человека и на тех задачах, которые он должен выполнять, чтобы подойти к установлению новой законности, нового общественного строя, наибо́льшего размножения и усовершенствования человека.

Эти же идеи излагает он в брошюре под заглавием «Научная этика», где он пишет об идее единства и материальности всего мира. В статье «Ум и страсти» в 1928 г. Циолковский углубляет свои исследования об ощущениях, пытаясь проанализировать их физиологическую и этическую сущность.

Вопрос организации человечества занимал его уже в 1916 г., когда впервые он опубликовал свою брошюру «Горе и гений». Местами эта бро-

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 548, л. 1.

** К. Циолковский. Любовь к самому себе, или истинное себялюбие. Калуга. 1928, стр. 29.

шора написана очень красиво и увлекательно, но в ней высказываются частью мистические идеи, частью излагаются идеалистические попытки построить новое общество на новых началах, новые условия брака.

Его утопические идеи не подтверждаются настоящим социальным анализом, являются, как и вышеотмеченная статья, одним из временных и неверных этапов его поисков новых путей к благу человечества.

Автор придавал этой статье большое значение, что видно из одного из его писем, причем позднее Циолковский указывал, что она носила «коммунистический характер» и потребовалось много смелости, чтобы ее напечатать при царском режиме; это совершенно верно. Статья явилась формой протеста смелого и свободного ума против тяжелых условий царской темницы.

К этим вопросам он неоднократно возвращается и позднее. Переработаны эти идеи в 1928 г. в брошюре «Общественная организация человечества».

Вряд ли мы должны более детально научно анализировать эти идеи. С чисто социологической точки зрения они являются лишь отдаленным наброском, который сейчас, в свете современных проблем марксизма, приобретает лишь историческое значение. Но исторически надо подходить вообще ко всем работам Циолковского. Их надо рассматривать в свете тех идей, которые господствовали в дореволюционное время среди старой интеллигенции нашей страны, и здесь нельзя не удивляться и смелости идей, и полету фантазии, и решимости в критике существовавших тогда форм жизни. Все они в сущности — протест, может быть не всегда удачный, но протест против старого режима.

Почти в любой его работе, из всех многих сотен отдельных брошюр и статей, мы получаем рассеянные все те же идеи. Но особенно резко мы находим их в рукописях 1927—1932 гг.: «Моя пишущая машина», «Двигатели прогресса», «Новое о моем дирижабле» * и проч.

Он смело и конкретно, хотя частично неверно, разбирает разные типы творцов жизни, эпох, борется против инертности, косности и консерватизма, против ложного себялюбия и узкого эгоизма, отмечает гибельность и вредность капиталистического строя и указывает на необходимость искания новых общественных форм, при которых таланты и гении получали бы полное развитие.

Это — смелый вызов автора, полный бурных исканий, горячего юношеского увлечения и протеста против существующей формы, и, вместе с тем, сколько чуждого нам еще идеализма и непонимания идей диалектического материализма.

Наконец, к этой же проблеме возвращается он и в своей «Нирване» и «Теории монизма». Там он еще шире раскрывает свои идеи нравственного этического характера, реальных ощущений, делает попытку их материалистического анализа, весь уходит в проблемы развития человечества и мечты о новом строе.

* Все три работы опубликованы в одной брошюре в Калуге в 1928 г.

И после этих общих мест, в которых ни слова нет о технике, мы вдруг в последних частях на двух страничках, оставшихся свободными, видим чертежи без всякого объяснения и без всякого текста, строго технический анализ аэронавов!

Такого рода неожиданные скачки от статьи полуфилософского и полуфантастического характера к чисто практическим выводам технического порядка или перечислению ряда писем, полученных им по отдельным вопросам, — таков ищущий склад ума Циолковского, беспокойного, переплетавшего в своих исканиях вопросы науки, техники и философии.

IV. ЗАДАЧИ НАУКИ И УЧЕНОГО

Циолковский в ряде своих работ дает анализ «ученого». Подчеркивает, жестко критикует отрицательные стороны официального ученого мира и, вместе с тем, перечисляет черты тех настоящих ученых, которых он хотел бы видеть в своей родной стране.

Наиболее ярким выражением его отношения к ученым является прежде всего его статья 1928 г. под заголовком: «Двигатели прогресса». В этой статье Циолковский довольно удачно классифицирует двигатели прогресса на 5 категорий, подвергает оценке каждый из них и борется против основных недостатков современной ему интеллигенции и ученого мира. К ним он относит консерватизм, косность и инертность (каменные сердца, привычка — вторая натура), ложь, себялюбие, узкий эгоизм, непонимание общечеловеческого и собственного блага.

Борясь за создание нового типа ученого, Циолковский совершенно определенно подчеркивает и те черты, которыми он должен характеризоваться. Ученый должен быть прежде всего наделен фантазией, ибо, по его мнению, фантазия играет столь же видную роль в науке, как и в искусстве. Фантазия необходима также как и кропотливый труд над собранным материалом. Без фантазии научная работа превращается в нагромождение фактов и умозаключений, пустых, художеских и зачастую бесплодных.

Но в гармоническом сочетании научного исследования и научной фантазии лежит залог движения науки вперед. Циолковский борется против официальных представителей науки, не понявших его и его фантазию. И только тогда, когда советский строй выработал новый подход к научной работе и научной фантастике, он смог с 1920 г. спокойно идти по выбранному пути.

Это новое отношение к научной фантазии было блестяще сформулировано Лениным в следующих словах:

«Напрасно думают, что она [фантазия] нужна только поэту. Это глупый предрассудок! Даже в математике она нужна, даже открытие дифференциального и интегрального исчисления невозможно было бы без фантазии. Фантазия — есть качество величайшей ценности»*.

* В. И. Ленин. Заключительное слово по политическому отчету ЦК на XI съезде РКП(б) 28 марта 1929 года. Собр. соч., т. 33, изд. 4, 1950, стр. 284 (Ред.).

Вместе с этой борьбой против косности в науке Циолковский подчеркивает свое глубочайшее уважение к ней. В статье «Беседы о Земле» (1932 г.) он пишет:

«Я не только признаю заслуги мудрецов, ученых и всех двигателей просвещения и технического прогресса, но и не знаю, как выразить свой восторг и преклонение перед ними. Я не знаю, как выразить мою ничтожность перед наукой*.

«Мои взгляды и учение — несомненный продукт науки и прочитанных мной книг. Вследствие глухоты с детства у меня один источник: написанное или напечатанное. Без науки, без этого склада трудов великих и гениальных людей всех времен и народов я был бы крошечной величиной.

Человек и даже целый народ, предоставленный самому себе, блуждает во тьме и не в силах, например, сам дойти до известной всем теперь нумерации и десятичного обозначения чисел»**.

Наконец, для характеристики анализа самого познания как логической категории, Циолковский в 1932 г. набрасывает несколько отдельных страниц, в которых он намечает различного типа знания: от непосредственного несомненного до знания посредственного логического несомненного, но не доказанного***. И здесь он указывает, что в работах ученых можно установить ряд разных градаций и типов научных доказательств и методов научной работы.

Однако Циолковский не останавливается на анализе отрицательных сторон официальных кастовых ученых, на попытке набросать идеал нового ученого, он пытается ответить на вопрос, при каких же условиях можно будет создать этого нового ученого, как улучшить способ отбора талантливых людей? Еще в своей замечательной брошюре «Горе и гений» в 1916 г. он указывает, что существующие формы жизни не обеспечивают выдвижение талантов и гениев. Он предлагает новые пути организации человечества, в которых могли бы выдвигаться таланты, предлагает ряд новых принципов организации государства, возвышается в своих несколько фантастических построениях до идеи «коммунизма».

Циолковский проповедует улучшение человека не только внутренней его жизнью, но и созданием новых форм общежития. В этих идеях Циолковского мы видим необычайно острое и яркое отражение его личности.

Будущий анализ его работ должен неизбежно связать эту главу с характеристикой самого Циолковского как ученого; при таком анализе сделаются понятными те идеи, которыми он горел, те формы, в которых создавалась его работа, сделается понятной та отрывочность изложения, которая характеризует его исследования, и вместе с тем та юношеская горячность, с которой ему приходилось бороться до 60-летнего возраста за свои идеи.

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 347, л. 5.

** Там же, л. 4.

*** Род или характеристика познания (1932 г.). Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 492.

V. РОЛЬ ТЕХНИКИ

В очень многих статьях с самыми различными заглавиями Циолковский останавливается на техническом прогрессе и неоднократно в течение всей своей жизни возвращается к этой теме. В 1915 г. он дает замечательный прогноз будущего Земли и человечества * и ставит подзаголовком к этой статье «Технический и научный прогресс будущего». Эту работу он публикует в 1928 г. в гораздо более детальном изложении. В 1920 г. он пишет статью «Ступени человечества и преобразование Земли» **, в которой рисует картину утопии, основанную на техническом прогрессе.

Наконец, в 1932 г. им составляется рукопись «Технический прогресс Земли» ***, причем подзаголовком он ставит: «Подробности и доказательства можно видеть из моих печатных работ о Земле и из других». Что характеризует эту работу? Прежде всего глубочайшая вера в силу техники, в способности человека овладеть казалось бы самими трудными и малодоступными силами природы. Отдельные статьи, как показывают отметки, написаны единым порывом и поразительны по блестящей интуиции и глубине подхода к изучению и улучшению техники. Правда, некоторые мысли носят иногда у него идеалистический или утопический характер, в иных случаях он не боится смело фантазировать, считая, что фантазия — один из видов научного творчества. Он придает огромное значение технической мысли, однако совершенно не касается тех социальных условий, при которых только и может сделаться возможным технический и научный прогресс.

Так, в первой своей статье «Будущее Земли и человека» Циолковский пишет:

«Параллельно, или одновременно, будут развиваться: человек, наука и техника. От того, другого и третьего преобразуется вид Земли. Начнем с технического прогресса. Прежде всего достигнут совершенства того, что сейчас производят. Увеличат с помощью машин в сотни раз производительность рабочего. Сделают труд его во всех отраслях совершенно безопасным, безвредным для здоровья, даже приятным и интересным. Сократится время подневной работы до 4—6 часов. Остальное отдадут свободному, необязательному труду, творчеству, развлечению, науке, мечтам, ничегонеделанию: как кто хочет. Но в это-то свободное время и совершается самое великое: движение вперед. Ничто замечательное не укроется. Если я сделал полезное открытие, его рассматривает мое общество» ****.

Так начинается замечательная статья 1915 г., написанная в условиях империалистической войны, обострения внутренних противоречий страны, усиления царского и полицейского режима.

* Будущее Земли и человека. (Технический и научный прогресс будущего). Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 373.

** Там же, дд. 413, 414.

*** Там же, д. 487.

**** Там же, д. 373, л. 1—1 об.

Циолковский смело выступает в сущности с неясно выраженным коммунистическим идеалом. Он перечисляет те задачи замечательных открытий, которые сделает человечество на техническом пути, и многое из его высказываний осуществляется уже сейчас.

«Умножатся и углубятся шахты и подарят нам много тепла, новых веществ и материалов с драгоценными свойствами. Шахты глубокие, горячие, они непрерывно охлаждаются, тепло используется...

Открыты будут материалы всевозможных свойств. Материал режущий — тверже алмаза. Это для обработки твердых веществ: инструментальный сплав. Найдут материалы легкие и необыкновенно прочные, тугоплавкие, неокисляющиеся, или нейтральные, очень легкие газы разных свойств, вещества с громадной химической энергией, вещества упругие, очень теплопроводные и наоборот, радиоактивные в высшей степени, прозрачные и в то же время чрезвычайно прочные. Найдут то средство получать необыкновенно высокую и необыкновенно низкую температуру и пользоваться этим для обработки сырых продуктов и других целей» *.

Замечательное предсказание. Вещества, близкие к твердости алмаза и частью даже более твердые, уже найдены для инструментов — карбид бора, для самолетов открыты замечательно легкие металлы.

Проблема прозрачности металлических веществ уже поставлена на очередь. Новые машины академика Капицы дают необыкновенно низкие температуры, обеспечивают дешевое получение огромных промышленных количеств жидкого кислорода и азота.

Дальше идет новое предсказание:

«Эксплуатация морского дна» (сравни работу по добыче нефти в Каспийском море).

Далее следует фантастическая картина устройства домов и городов, борьба против вредителей сельского хозяйства, увеличение жизни и полное уничтожение всего вредоносного.

«Мало-помалу простирает человек свою руку и на воды, и на океаны, и на моря».

В опубликованной в 1928 г. статье под тем же заголовком он возвращается к этим же проблемам, излагает их более детально, приводит ряд технических моментов и еще глубже обосновывает новую власть техники.

К этой работе он предпосылает любопытное предисловие:

«Тут я только слегка обрисовываю прогресс человечества. В громадной картине, которую я даю, не может быть места подробностям. Они бы утомили читателя и заставили бы его оставить чтение. Они были бы и непонятны среднеобразованному человеку. Но предлагаемая картина последовательных успехов человечества основана на моих многочисленных работах, которые будут изданы в свое время» **.

Заканчивая на этом изложение основных обших идей Циолковского в области техники, было бы ошибкой думать, что этим ограничиваются вы-

* «Будущее Земли и человека...», ф. 555, оп. 1, д. 373, лл. 3, 4—5.

** К. Э. Циолковский. Будущее Земли и человечества. Калуга, 1928, стр. 1.

сказывания автора в своих работах. В сущности вся его работа проникнута не только верой в технику, но и настоящей технической мыслью. Все его вычисления аэронавов, вся грандиозная работа по проталкиванию мелочей технического снаряжения, новых способов передвижения человечества пронизаны той же технической мыслью и верой в ее значение.

В целом ряде отдельных своих писем и ответов многочисленным корреспондентам Циолковский бросает отдельные яркие мысли в этом направлении, и нет никакого сомнения, что будущие историки, которые попытаются глубже войти в анализ его творчества, посвятят много страниц более детальному освещению путей его технической мысли.

Многие пытались видеть в его техническом полете только смелую фантазию и красивую мысль. Но его полет фантазии далек от дилетантизма и прав был Я. Перельман, когда писал: «Технические его идеи — плод долгих систематических размышлений, настойчивых изысканий, многократных опытов и пространственных математических вычислений». Только путь его работы был особый: «Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка; за ними шествует научный расчет, и уже, в конце концов, исполнение венчает мысль... Но нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия»*, — так характеризовал К. Э. Циолковский последовательные этапы своей исследовательской работы.

VI. ВОПРОСЫ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И ХИМИИ

Трудно подвергнуть детальному анализу отдельные физические и химические работы и выводы К. Э. Циолковского. И здесь он не был настоящим исследователем-экспериментатором, как это мы привыкли сейчас ожидать от физиков и химиков. Он был самобытным философом, почти самоучкой, который путем исключительной тонкости ума и умозаключений доходил до фактических открытий и ряда совершенно правильных выводов интуитивного характера. В нем было особое дарование самобытности интуиции и недаром такие своеобразные его работы, как «Исследование механики живых существ для понимания процессов передвижения», были одобрены таким строгим критиком, каким был профессор физики Московского университета А. Г. Столетов.

Совершенно самостоятельно разработал он еще юношей (в 1882 г.) теорию газов, очень близко подойдя к основам современной кинетической теории, что и было отмечено «Физико-химическим обществом» в Петербурге единогласным его избранием в члены Общества.

В детстве и юношестве К. Э. Циолковский весь свой досуг посвящал «физическим забавам и серьезным математическим работам». Технический эксперимент увлекал его, всегда поставленный им самобытно и своеобразно; позднее Циолковский никогда не работал экспериментально в области физики и химии, но нет никакого сомнения, что своей гениальной интуицией он еще до открытия Резерфорда и Астона предусмотрел возможность

* К. Э. Циолковский. Исследование мировых пространств реактивными приборами. «Вестник воздухоплавания», 1911, № 19, стр. 16—17.

существования изотопов, т. е. элементов, которые тождественны химически, но отличаются атомными весами.

В 1891 г. в «Трудах общества любителей естествознания» он опубликовал небольшую работу, посвященную вопросу давления жидкости на равномерно движущуюся в ней плоскость*. Он математически вывел формулу, определяющую давление среды на движущиеся части геометрического тела, и впервые показал, что давление потока различно в зависимости от характера поверхности и ее геометрической формы, на которую поток давит.

Эту идею он подтвердил и опытами с элементарными приборами. Очень остроумно в том же году он доказал на столь же элементарных опытах, что всякое тело и, в частности, организм можно предохранить от толчков и тяжести, если погрузить в жидкость той же плотности как и средняя плотность тела.

Уже тогда этот вопрос для него был чисто вспомогательным для решения проблемы о поведении организма в условиях действия на него усиленной тяжести.

В 1893 г. Циолковский разработал теорию лучеиспускания. В своей научной автобиографии он пишет об этой работе так: «В это время ничего не было известно о внутриатомной энергии. Знали только о сравнительно слабой химической энергии».

Принимая ее за источник лучеиспускания солнц, мы должны допустить, что она должна истощиться в течение нескольких тысяч лет. Это противоречие фактам.

Гельмгольц коснулся этого вопроса, а я, не зная о том, дал довольно подробную теорию лучеиспускания, объясняя его сжатием небесных тел силою тяжести, падением всей массы солнца к центру, механической работой тяготения, которая, превращаясь в тепло, и поддерживает лучеиспускание звезд в течение миллионов лет. Это было ближе к истине, но не исчерпывало вопрос о лучеиспускании светил. Я доказал также, что сжатие вещества и сокращение солнц может идти гораздо далее, чем думают, и, следовательно, время лучеиспускания теоретически для больших солнц чуть ли не беспредельно.

Я указал еще, что внутренние части солнц имеют температуру в несколько миллионов градусов. Этот запас тепла также увеличивал время лучеиспускания**.

В том же, 1893, году он увлекся проблемами мирового тяготения; не зная работ Гельмгольца и Томсона, он стал рассматривать тяготение, как источник мировой энергии***. Его сообщение в Нижегородском кружке

* К. Э. Циолковский. Давление жидкости на равномерно движущуюся в ней плоскость. Труды Отделения физических наук Общества любителей естествознания, т. IV, вып. 2. М., 1891, стр. 13—17.

** К каким новым выводам я пришел (1927 г.). Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 548, лл. 3—4.

*** К. Э. Циолковский. Тяготение как главнейший источник мировой энергии. «Наука и жизнь», 1893, № 44—46.

любителей физики и астрономии было встречено очень сочувственно. Роль тяготения он блестяще осветил в фантастической повести «На Луне», выдержавшей 8 изданий (1893—1938), и в замечательном произведении в духе Жюль Верна «Грёзы о земле и небе» (1895—1938 — 5 изданий).

В 1898 г. в статье, опубликованной в «Вестнике опытной физики», он дал ряд интересных анализов давления воздуха на поверхность, введенную в искусственный воздушный поток *. Причем, вывел ряд эмпирических законов, измеряя сопротивление в искусственном воздушном потоке с особыми построенными им снарядами. Эту работу он провел при финансовой поддержке Академии наук. Этой статьей устанавливается бесспорный приоритет Циолковского в сооружении в России первой аэродинамической трубы с открытой рабочей частью.

В 1914 г. он посвятил ряд исследований второму началу термодинамики. Вопрос этот оказался в дальнейшем гораздо более сложным, чем предполагал тогда К. Э. Циолковский, и распределение тепла в сложной системе и разных ее частях устанавливается иными путями, чем те, которые казались тогда единственными для его объяснения. Но сама постановка проблемы была интересна, и она была необходима для ряда чисто практических построений Циолковского.

В 1919 г. он в статье по кинетической теории света ** дал свою схему взаимоотношений вещества, энергии и эфира и пытался обосновать свойства эфира типом характерных для него колебаний.

В свете современных представлений вряд ли можно поддерживать основные идеи этой гипотезы, но здесь все же интересно, что наравне с ней он приходит к установлению невозможности тепловой смерти вселенной и применяет эти идеи к космическим туманностям, совершенно справедливо доказывая возможность их образования из гелия и водорода. Общие идеи о взаимоотношениях между физикой и химией он выразил в очень интересной работе 1923 года «Значение основных наук о веществе» ***.

Хотя статья носит чисто популярный характер, но она интересна с общей точки зрения тем, что указывает на отсутствие границ между отдельными дисциплинами, «что наука едина... и что наука основная о веществе имеет чрезвычайную, даже осязательную, так сказать, хлебную важность» ****.

В том же году Циолковский набросал очень оригинальное исследование «Гипотеза Бора и строение атома» *****. Правда, впоследствии (как это видно из надписи на рукописи) он сам отказался от своей теории, но все же замечательна интересная мысль, которую он высказал тогда, когда

* К. Э. Циолковский. Давление воздуха на поверхности, введенные в искусственный воздушный поток. «Вестник опытной физики и элементарной математики». Одесса, 1898, № 269, 270; 1899, № 271, 272.

** Кинетическая теория света. Калуга, 1919 г.

*** Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 325.

**** Там же, л. 7.

***** Там же, д. 323.

гипотеза Бора только начинала пробиваться в области понимания периодической системы Менделеева.

Эта работа показала, как живо Циолковский откликался на все новые теории и новые идеи. Он понимал, что использование вещества невозможно без изучения его электростатических сил, и пробует творческим и критическим умом сразу разрешить эти проблемы техники элементарной математикой.

Наука пошла, однако, более сложным путем, и волновая механика потребовала совершенно новых представлений для понимания структуры вещества. Но попытка определить строение атома, сделанная Циолковским, является интересным историческим этапом в развитии этих идей.

Начиная с 30-х годов, Циолковский посвящает целый ряд своих рукописей и брошюр анализу понятия о «веществе» и о «химических представлениях».

В двух рукописях 1932 г.* он сводит свои представления о веществе, и хотя в наше время при успехах современных идей кристаллохимии развиваемые им представления являются сильно устаревшими, тем не менее, они интересны по четкости и оригинальности мысли. И здесь анализ вещества начинается им с атома, заканчивается «единицей вещества» — человеком и его ощущениями.

В том же 1932 г. Циолковский дает совершенно популярное изложение строения атома под названием «Невидимые частицы вещества»**. Он показывает сложность мельчайших единиц, из которых складывается атом, а также намечает задачи изучения протона и электрона. Его общее физическое мировоззрение неизбежно ведет к необходимости признания эфира или какой-то еще более первичной единицы, т. е. единицы, которая нам известна. Весь мир представляется Циолковскому как постепенное осложнение сочетаний этих многочисленных единиц. Отсюда его теория однообразия монизма, приводящая его к ряду «философских» обобщений. Но вещество в его представлении не есть что-то мертвое, безжизненное и неизменное. В ряде своих статей, начиная с 1931 по 1935 г., Циолковский посвящает свое внимание ходу природных процессов, и здесь основной его идеей является диалектический анализ обратимости природных процессов.

В 1931 г. он дает первый вариант об обратимости биологических явлений. В том же году пишет об обратимости химических явлений и об обратимости физических явлений. Эти свои работы он переделывает в 1934/35 гг. под заголовком «Обратимость явлений вообще»***.

Последние две статьи дают прекрасное представление о глубоких идеях Циолковского в этом отношении. Все течет и течет в разных направле-

* «Свойства вещества» (1931—1932), ф. 555, оп. 1, д. 340; «Вещество» (1932), ф. 555, оп. 1, д. 350.

** Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 351.

*** Обратимость явлений, Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 336; Обратимость химических явлений, там же, д. 338; Обратимости физических явлений, там же, д. 335; Обратимость явлений вообще, там же, д. 362.

ниях, химические, физические и биологические процессы всегда одновременны и созидают, и разрушают, будучи направлены одновременно в противоположные стороны. И ход природных процессов в зависимости от окружающих условий суммируется то с одним, то с другим знаком. Эти выводы он переносит и на анализ биологических явлений. Здесь он слишком механистичен в понимании процессов психики и биологии, хотя решительно борется против религиозных суеверий и пытается обосновать свои материалистические позиции в этом вопросе.

VII. СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ И ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИИ

Ряд работ Циолковского посвящается вопросам строения Земли, химическим процессам, которые в ней идут и шли в течение всей ее геологической истории.

Вопросы прошлого нашей планеты всегда интересовали Циолковского, и, начиная с 1921 г. вплоть до 1932 г., мы имеем ряд отдельных брошюр и рукописей, посвященных прошлому и современному состоянию Земли с широким охватом различных, связанных с этим проблем.

Нам, однако, в этой главе интересует одна сторона вопроса — те геохимические подходы, которые так резко выявлены были в этих работах. Здесь Циолковский явился не только новатором, но и смелым пророком будущих путей современной геохимии.

Со всей своей проницательностью Циолковский в области прошлого и настоящего Земли ставит в основу ее не геологические процессы как таковые, а те *причины*, которые их вызвали, и те *химические явления*, которые их сопровождали. Химизм прошлого прежде всего интересен для того, чтобы объяснить состав нашей атмосферы, чтобы связать происхождение жизни с составом воздуха и воды. В этом отношении такие работы Циолковского, как популярная статья «Из прошлого Земли» (1921 г.) * всего на 6 страницах, может служить прекрасным доказательством, что вместо банальных геологических подходов можно проанализировать природу гораздо глубже с точки зрения ее геохимических превращений.

Действительно, в этой статье мы видим попытку широко осветить проблему угольной кислоты, ее роль в истории современной атмосферы и жизни. Может быть сейчас, в свете блестящих достижений геохимии, отдельные факты являются ненужными, а выводы неправильными, но по существу основной идеи эта статья открывает совершенно правильные пути для решения важнейшей проблемы атмосферы, ее состава и роли угольной кислоты. Только в последние годы, благодаря работам в биогеохимии академика В. И. Вернадского и, с другой стороны, работе Виктора Морица Гольдшмита, мы получили точное и верное решение проблемы миграции углевода и образования угольной кислоты. К этой идее Циолковский возвращается в работе 1923 г. «Образование суши и атмосферы Земли» **.

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 319.

** Там же, д. 320.

И здесь вместо сухого изложения факторов и их геологической последовательности мы имеем блестящий анализ химизма процессов. Автор не только указывает на последовательность самих явлений, ему хочется понять почему происходила их смена, каковы были причины поступательного хода геологической истории. И поставив этот вопрос, автор решает его в сторону химии. Как настоящий геохимик, он видит причины изменений геологической истории в изменении прежде всего химической обстановки.

Правда, все эти идеи изложены автором весьма отрывочно и популярно, местами, с нашей современной точки зрения, являются неточными и требуют коренных поправок, но сама живая геохимическая мысль, которая их пронизывает, представляет значительный интерес.

Этими же идеями проникнуты его брошюры «Прошедшее Земли» (1928 г.), «Современное состояние Земли» (1929 г.).

Как и в других работах, он дает подробный анализ вещественного состава, количества отдельных элементов, анализирует состав океана и атмосферы, но это все им анализируется только как основа для решения тех задач, которые всегда его увлекали: о том, как создалась жизнь, как будет размножаться человечество и как оно сумеет использовать энергию мира, как поднимается на более высокую ступень культура и техника. Отсюда его мысль перебрасывается в будущее Земли и человечества, и здесь он строит это будущее на умении использовать химические и физические свойства вещества и умении человека бороться с высокими и низкими температурами, на постепенном создании нового человека.

В 1932 году он суммирует все свои выводы в блестящей статье «Беседы о Земле»*. Он начинает с общего анализа своей психологии, как автора и ученого. Он проникнут полной скромностью, но тем не менее глубоко убежден в значении, правильности и глубине своих новых идей и потому пытается сделать их доступными широким массам. В том же введении (как он это много раз делает) он дает сначала краткую характеристику тех упрощений, которые им даются в тексте, и тех методов, которыми он пользуется, чтобы читатель мог бы понять следующий далее текст. Затем начинается само изложение в 59 отдельных пунктах, в которых последовательно, шаг за шагом Циолковский подводит итоги своих представлений.

1, 2 и 3-й пункты дают характеристику Земли как планеты, 4-й пункт определяет ее географическую характеристику, 5-й сразу ставит вопрос о том, кому принадлежит Земля и что нужно с ней делать, и, переходя к вопросу земледелия, он в пунктах 7, 8 и 9 ставит ряд проблем о будущем человека, его личной энергии.

Пункты 10, 11 и вплоть до 15-го посвящены анализу психологии человека, и при всей нелогичности ряда построений и наивности отдельных выводов, нельзя не признать некоторой смелости в подходе, не вытекающем прямо из общего хода его рассуждений.

* Архив АН СССР, ф, 555, оп. 1, д. 347.

Но вот в пунктах 16 и 17 начинается анализ роли атмосферы для жизни и ее развития. Здесь в широкой географической картине, связанной с ее химическими особенностями, дается детальный анализ тех характерных черт, которые образует воздушная стихия, и той роли, которую она играет в созидании жизни.

В 27-м пункте он переходит к водному океану и в блестящем физическом и геохимическом анализе, вплоть до 33 пункта, высказывает ряд весьма любопытных, иногда очень смелых, мыслей, тем не менее часто замечательных по резкости своей формы и по смелости стремлений.

Начиная с 35-го пункта, он переходит к твердой части Земли, характеризует ее физические условия, вплоть до глубин, переходит к анализу ее центральных и недоступных частей, кратко останавливается на геохимических чертах и, начиная с 46-го пункта, исходя из вопросов состава, переходит к возможным представлениям об условиях образования Земли и распределения в ней химического вещества. Это чисто геохимические выводы увлекают его все дальше и дальше вглубь веков и вглубь земных недр и он заканчивает 49-й пункт восклицанием: «Как важно было бы для людей углубиться во внутренность Земли и воспользоваться находящимися там богатствами!»*.

Начиная с 52-го пункта, он переходит к вопросу об энергии Земли и возвращается к проблеме использования энергии Солнца, роли человека и тех путей, которые помогут ему сделаться истинным хозяином земли, воды, атмосферы и солнечной энергии.

Условно мы можем отнести к этому же циклу работ еще следующие четыре исследования К. Э. Циолковского.

«Солнце и завоевание пустынь», где дается описание гелиостанции по системе автора.

«Вода в сухих и безоблачных пустынях», где излагается принцип устройства, предлагаемого им для получения воды из воздуха в жарких пустынях и иллюстрируется схемой этого устройства. Вопрос и сейчас сохраняет свою актуальность и принцип заслуживает проверки.

«Освоение жарких пустынь». В статье трактуется в сущности только часть проблемы освоения пустынь, а именно: получение воды с помощью различных устройств, предлагаемых и описываемых им в статье (вода из воздуха, холодильные башни, снабжение водой жилищ, а также регулирование температуры дома и гелиостанции).

«Волнолом и извлечение энергии из морских волн»**. Автор предлагает устройство волнолома, на котором в то же время воздвигнуты механизмы для использования энергии морских волн, своего рода волновой мотор. «Действие мотора основано на том, что в сосуде с крышкой, но без дна, или в кессоне, погруженном в волны, давление на воздух в нем то увеличивается, то уменьшается — конечно, при волнении»***. Схематические рисунки иллюстрируют изложение.

* «Беседы о Земле», ф. 555, оп. 1, д. 347, л. 27.

** Вышеназванные четыре статьи см. в данном томе (Ред.).

*** См. стр. 362 данного тома (Ред.).

VIII. РАБОТЫ ПО МЕТЕОРИТКЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ

В сущности, широких проблем геофизики касаются очень многие работы и статьи Циолковского, причем многие из них очень тесно соприкасаются с вопросами космической физики, воздухоплавания и даже некоторых проблем астрономии и астрофизики. Очень любопытна работа о болиде, виденном в Московской области в 1934 г.* Циолковский живо откликнулся на это интересное геофизическое явление и не ограничился лишь сообщением о своих наблюдениях, но собрал свыше 200 писем от лиц, видевших болид, и пытался их свести в определенную картину. В этом вновь проявилась его активная творческая мысль. Мелкое природное явление он подверг настоящему научному описанию и научному анализу, сравнил все имеющиеся материалы и в результате дал прекрасную статью, освещающую не только данный метеорит, но вообще явление падения метеоритов в целом. Любопытно, что и здесь он не мог отрешиться от своей основной установки о взаимоотношении явлений с человечеством и его развитием, поэтому неизбежно в конце своей работы он ставит проблему: можем ли мы опасаться падения на планету большого болида диаметром в несколько километров. «Как же люди могут избавиться от такого ужаса?» И дает любопытный ответ:

«Я думаю, что прежде, чем это случится, мы найдем возможность спасти человечество и цивилизацию в заатмосферных областях Земли»**.

Другой характер носит его рукопись 1921 г. «Земные катастрофы», которая была перечитана в 1931 г. и послана для печати в 1932 г. Автор называет ее самостоятельным астрономическим очерком; по существу, в ней ставится та же проблема, которой он окончил свою статью о болиде: «Не мешает знать те мировые враждебные силы, которые могут погубить человечество, если оно не примет против них соответствующих мер спасения. Знание всех угрожающих сил космоса поможет развитию людей, так как грозящая гибель заставит их быть настороже, заставит напрячь все свои умственные и технические средства, чтобы победить природу. Посильные борьба и препятствия развивают силу»***. Эта прекрасная идеология объясняет внутренний смысл этой статьи, причем и здесь Циолковский начинает с опасности причин чисто геохимических: недостатка кислорода или исчезновения углекислого газа и подчеркивает какую огромную силу играет геохимический баланс этих газов в окружающей нас природе. Далее переходит к проблемам понижения температуры, затем к вопросам внутреннего равновесия Земли и, наконец, к тем проблемам астрономических катастроф, которые всегда его интересовали и которые он связывал с широкими проблемами астрофизики и происхождения мира.

По существу статья представляет собой чисто популярный очерк, очень интересный новизной ряда идей и глубиной подхода.

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 291.

** Там же, л. 19.

*** «Земные катастрофы» (Мировые катастрофы). Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 247, л. 4.

IX. ВОПРОСЫ БИОЛОГИИ И БИОХИМИИ

В целом ряде работ Циолковский останавливается на процессах жизни. С одной стороны, его интересует возможность жизни на других планетах, с другой, его привлекают новые формы жизни на Земле и усовершенствование ее процессов.

Работа 1919 г., озаглавленная «На Весте (Условия жизни в иных мирах)»*, может служить образцом популярного подхода к очень сложному понятию о роли тяготения и связанных с ним условий жизни на таком маленьком астероиде, каким является Веста. Конечно, сейчас мы не сумеем принять все отдельные положения Циолковского, но задача поставлена остроумно и оформлена блестяще.

По-видимому, работа никогда не была напечатана в этом контексте, хотя к вопросам, связанным с условиями жизни и тяготения, Циолковский возвращался неоднократно**. Гораздо ближе к проблеме жизни подходит он в ряде своих рукописей и работ 1928/29 гг.

Наибольший интерес представляет рукопись 1928 г. «Совершенство жизни вселенной».

Статья, несомненно, интересная, она очень близко примыкает к идеям современной биогеохимии и, в частности, к работам академика В. И. Вернадского. Автор подробно разбирает вопрос об органической жизни, о возможности широкого ее развития и размножения, о перенаселении Земли, о необходимости поисков новых пространств для жизни. Вся основная его идея заключена в следующих заключительных словах:

«Если бы жизнь не распространилась по всей вселенной, если бы она была привязана к планете, то эта жизнь была бы чисто несовершенной и подверженной печальному концу, т. е. катастрофам (взрыв солнца и планет). Но в том-то и штука, что жизнь, зачавшись на одной из миллиарда планет, жизнь счастливая, достигшая высочайшего знания и могущества, расходилась не только по планетам, но и вне их, в эфире, на некотором самом благоприятном расстоянии от солнц. Тут она создавала жилища без громадных и массивных планет»***.

Следующая работа, которая наиболее полно излагает идеи автора — это брошюра, изданная им в 1929 г. и состоящая из трех статей: «Растение будущего», «Животное космоса» и «Самозарождение».

Первая статья, несомненно, интересна, полностью характеризует блестящий биологический анализ автора и несомненно должна быть вновь напечатана. Эта статья интересна по своему анализу природы и жизни растений с указанием на те отрицательные стороны, которые надо улучшить в энергетическом балансе и в химизме растительных организмов. Автор совершенно блестяще рассматривает эти стороны растений, которые с точки зрения механизма оказываются несовершенными и говорит, что устранение этих несовершенств составляет одну из задач человеческой техники. Блестящая идея, которая, как мне кажется, никем в этой форме

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 237.

** Условия жизни в иных мирах, д. 251 (1923 г.); д. 264 (1927 г.).

*** Совершенство жизни вселенной. Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 463, л. 8.

до Циолковского не была поставлена и поэтому требующая детального анализа с научной точки зрения. Любопытно, что во введении к этой статье он пишет:

«Моя цель — в малом и доступном объеме дать много. Горю стремлением внушить всем людям разумные и бодрящие мысли. При этом я тружусь самостоятельно и ново, только основы научны, стары и известны. Множество имен, мнений и дат мешает главному — усвоению истины. Дело специалистов исторических наук давать эти даты, имена и их противоречивые мнения. Я же выбираю из всего материала то, что считаю наиболее вероятным. Компилляции требуют, конечно, иного изложения. Мои же работы не компилляции» *.

В этих словах Циолковский совершенно правильно характеризует основные методы своей работы, что относится не только к данной статье, а ко всем остальным, и в особенности к предыдущей, которая связана с проблемой всеобщего распространения жизни в космосе и ее разнообразия. Автор в интересной, несколько фантастической картине указывает «...на миры в мирах, на периодичность и усложнение материи и явлений — без конца, на существование бесконечно удаленных эпох, когда были «эфирные» животные, неподобные земным и трудно вообразимые, хотя совершенные и сознательные» **.

Х. ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ И ПОВЕСТИ

Вопрос о популяризации науки вытекал из самого научного подхода Циолковского к проблемам науки и техники. Для него всякая работа, как бы глубоко научная она ни была, должна быть изложена в общепонятной доступной форме.

Циолковский придавал особое значение популяризации науки, очень удачно писал статьи и всегда привлекал молодежь к своим идеям.

В этом отношении отдельные его работы представляются нам совершенно замечательными по манере изложения, по простоте подхода и по глубине тех вопросов, в которые читатель незаметно включается в ходе постепенного изложения автором.

В сущности все работы — около сотни, посвященные проблемам общего естествознания, в тех или иных частях являются образцом такого популярного изложения. Но для того, чтобы полностью оценить характер этих работ, я приведу отдельные его статьи.

Первая из них является лишь частью из работы 1913 г. под названием «Первая модель чисто металлического аэронаста из волнистого железа». Из этой работы, научная оценка которой с технической точки зрения дается в другом томе, я рассматриваю ниже лишь последнюю главу «Картина после введения аэронаста в жизнь» — это блестящий прогноз, достойный пера крупнейшего писателя, прозорливое видение в будущее. Вот ее начало:

* Растение будущего. Животное космоса. Самозарождение. Калуга, 1929, стр. 1.

** Там же, стр. 10.

«Что это за черная полоса виднеется вдали на горизонте? Это металлический воздушный корабль. Вот он ближе и ближе: темная черточка понемногу растет, удлиняется и утолщается; сверкают... ее части; стали видны окна длинной каюты, оперение. Довосится гул машины. Блестит прозрачный круг гребного винта» *.

Так начинается картина будущего динамического строения, широкого по своим проблемам, смелого по своим заключениям.

Вторая брошюра — незаконченный набросок 1914 г. под заголовком «Между солнцами. (Фантастическое путешествие от планеты к планете)» **. Это совершенно замечательная статья по форме изложения в духе Фламариона труднейших проблем о контурах Земли и понятии тяжести.

Как всегда в своих работах автор от конкретного материала переходит к общим большим проблемам, которые лежат в основе всех его дум. Изложение ясное, простое, педантичное, совершенно правильное и заслуживает внимания не только в историческом разрезе.

Автор предсказывает, что перемещения на 10 тыс. км требующие сейчас 10 с половиной суток, скоро будут осуществляться в один день.

Третья популярная статья «Сколько времени существует вселенная?» — рукопись 1920 г. ***

Если учесть состояние научных знаний в 1920 г., то надо поразиться как тонко, умело, интуитивно правильно Циолковский охватил основные положения оценки времени в процессах Земли и мироздания.

Поражает знание литературы, умение выхватить на лету самое главное и основное. В свое время такая статья явилась блестящей попыткой наметить разрешение тех проблем, которыми сейчас еще занимаются астрофизики и геохимии.

Наконец, третья статья — «Вселенная без орудий исследования и науки» написана 15 июня 1933 г. Она по существу разрешает все те же основные проблемы, которые постоянно интересовали Циолковского, но метод ее изложения совершенно поразительный, и она может служить прямо образцом типа популярной статьи. Циолковский пытается подойти к различным природным явлениям самыми простыми словами и самыми простыми понятиями. Он пытается так построить свое изложение, чтобы сами явления, их черты логически вытекали бы из предыдущего. Он пытается без какого-либо сложного научного построения простыми логическими умозаключениями подойти к решению многих научных проблем, и эти мысли им выражены в первой его фразе:

«Я хочу показать, что даже без теперешних наук проникательные люди древности могли до познания многих истин. Это изложение может много дать даже ничему не учившимся людям. Ученые же могут найти подтверждение изложенному в обильных складах знаний, накопленных мудрейшими в течение всех времен» ****.

* Первая модель чисто металлического аэронаута из волнистого железа. Калуга, 1913, стр. 11.

** Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 232.

*** Там же, д. 241.

**** Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 498, л. 2.

Наравне с приводимыми короткими полярными статьями К. Э. Циолковский написал несколько совершенно замечательных по художественности и научно-фантастической смелости повестей, которые много раз переиздавались и хорошо известны. Таковы: «На Луне», «Грезы о Земле и небе», «Вне Земли».

XI. РАБОТЫ ОБОБЩАЮЩЕГО И ФИЛОСОФСКОГО ХАРАКТЕРА

Значительная часть рукописей касается тех проблем, о которых мы говорили раньше, и связана с философскими обобщениями.

Сюда мы прежде всего относим рукопись 1907 г. под заголовком «Вещество, строение и жизнь Земли»*.

Эта статья являет исключительный образец популярного изложения сложнейшей проблемы. Очерк написан совершенно блестяще и, хотя некоторые отдельные частности получили сейчас несколько иное объяснение (например, превращение водорода в гелий и неон), тем не менее очерк поразителен по своей интуиции, умению среди противоречивых данных на первое место выдвинуть как раз те установки и проблемы, которые сделались сейчас достижением науки в целом. Основная идея этого очерка — это постоянные изменения и перегруппировки вещества, то, что автор так удачно назвал метакимией и что в последующие годы превратилось в современную науку геохимию и частично в химическую физику.

Очень интересен подход к анализу вещества небесных тел, что он очень характерно называет *вещественностью неба*.

В 1921 г. этой же проблеме Циолковский посвящает очень любопытную статью под заголовком «Пространство, время, мрак и неодушевленная материя не могут погасить жизнь»**.

Автор в умелой форме подходит к анализу явлений *энтропии*, разбирает существующие гипотезы о том, что мир идет к постепенной смерти, очень оригинально подходит к процессам круговорота и бесконечности, природным явлениям, бесконечности жизни и победы над смертью.

Несколько «полуфилософское» изложение последних страниц ослабляет ясность и глубину изложений этой, несомненно, очень интересной работы, в которой особенно резко проявляются основные идеи Циолковского — значение жизни, назначение человечества и победы человека над силами природы.

Еще шире он освещает эти вопросы в незаконченной работе 1932 г. «Круги новых познаний»***. К ним же он возвращается в брошюре «Воля вселенной, неизвестные разумные силы и существо разных принципов эволюции»****, и здесь, в строках, напечатанных жирным шрифтом, автор подчеркивает свои основные идеи, касающиеся проблемы жизни, ее везде-

* Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 314.

** Там же, оп. 1, д. 421.

*** Круги новых познаний (1931—1932 гг.), ф. 555, оп. 1, д. 477.

**** Воля вселенной. Неизвестные разумные силы. Калуга, 1928.

сущности, связи с космосом, механичности вселенной и бесконечной вечности самих процессов.

В работе «Круги новых познаний» мы находим все то же основное содержание, которое очень ярко выявляет ход размышлений автора.

Можно, конечно, возражать против целого ряда идеологических построений этой статьи, но во всяком случае очень хороши заключительные ее слова:

«Все это мне кажется сейчас ненаучным, необъяснимым и даже нелепым. Я понимаю все эти заблуждения и могу их научно отвергнуть. Однако и прежде отвергали гипотезы, которые потом оказывались истиной... Необходима и плодотворна научная скромность. Мы верим в современную науку, но мы верим и в ее ограниченность, в ее более сложное и исправленное будущее. Поэтому сомнения не мешают, в особенности, если они ведут человечество к благу» *.

В работе «Научные основы мышления» ход размышлений тот же, что и в предыдущих главах, хотя работа не закончена.

Приведу содержание первой главы по тексту 24/1 1934 г.:

«Одно из двух: или она [вселенная] ограничена, или бесконечна. Среднего же мнения быть не может. Первое нельзя себе представить. Значит, нужно принять безграничность и бесконечность времени. Было бы после этого большим диссонансом ограничивать пространство. Из этого вытекает безграничность вселенной и ее материи, потому что пространство есть свойство материи: где есть это свойство, там есть и материя. Итак, что мы знаем о вселенной — только бесконечно малая частица полного знания» **.

В 1928 году Циолковский издал маленькую брошюру — «Любовь к самому себе или истинное себялюбие». Он смело ставит ряд острых проблем, говоря во введении: «Мы начнем с наиболее точных наук, откинув от них все сомнительное. В гуманитарных же и философских науках примем то, что согласуется с нашими выводами из знаний несомненных. Будем смелы. Не будем бояться кары авторитетов, хотя бы за ними стояли тысячелетия. Мы охотно за ними пойдем, если они, с точки зрения несомненных знаний, пришли к верным, хотя и недоказанным ими выводам» **.

Дальше идет обычный ход рассуждений Циолковского: современное состояние неба (вернее, мира), прошедшее и будущее вселенной, свойства материи и динамика неба, биологическая жизнь.

В заключение ряд выводов этического характера, основанных на построении своеобразного мировоззрения, выраженного в заглавии этой книжки.

В работе 1932 г. «Свойства космоса» Циолковский еще глубже ставит вопрос о бесконечности и вечности природы. Основные его выводы следующие:

* Круги новых познаний, ф. 555, оп. 1, д. 477, л. 16.

** Научные основы мышления, ф. 555, оп. 1, д. 511, лл. 1, 45.

*** Любовь к самому себе или истинное себялюбие. Калуга, 1928, стр. 4.

«...Космос так устроен, что в нем вечно бушует, переливается лучистая энергия, источник органической жизни. Значит, он мудро устроен, храня в себе бесконечные, никогда не истощающиеся силы — источник жизни и ощущений **».

В 1934 г. эти положения он сводит к 14 пунктам под заголовком «Научные основы мышления» **, но не дает в них чего-нибудь нового по отношению к своим старым работам.

Однако наиболее полное выражение своего мировоззрения Циолковский дает в напумевшей брошюре «Монизм вселенной». Эта работа синтезирует все основные представления, выражаемые понятием — монизм вселенной.

Было бы совершенно неправильным рассматривать работы Циолковского по философским вопросам вне той исторической обстановки, в которой они сложились, вне самой личности К. Э. Циолковского и его жизни. По существу все его работы так называемого философского характера сложились еще в условиях той исключительно тяжелой обстановки, в которой приходилось ему жить и работать до 1918 г., когда, как он сам говорит, «иногда руки опускались» от сознания того разрыва, который был в его жизни: между глубочайшими идеями, в которые он верил, и реальными условиями жизни бедняка, глухого учителя, в глухой провинции без средств, поддержки и помощи. Вот этот разрыв между желаниями и потенциальными возможностями, даровитой природой и фактическими условиями осуществления заставил Циолковского искать выхода в иных путях разрешения социальной и личной проблемы и, как всегда бывает с одиноко ищущими умами, эти пути были многообразны, путанны, переплетались, часто были неверными, но всегда критически себя пересматривали и искали истины.

В своей автобиографии, в самом начале, он очень хорошо говорит: «По природе или по характеру я революционер и коммунист... Почему же из меня не вышел активный революционер? Причины в следующем: 1. Глухота с десяти лет, сделавшая меня слабым и изгоем. 2. Отсутствие, вследствие этого, товарищей, друзей и общественных связей. 3. По этой же причине: незнание жизни и материальная беспомощность.

Исход моим реформаторским стремлениям был один: техника, наука, изобретательство и естественная философия. Сначала все это было в области мечтаний, а потом мое новаторство стало выползать наружу и было причиной, отталкивающей от меня правоверных несомневающих ученых. **Я был выскочка, реформатор и как таковой не признавался** ***».

И вот в новых условиях революционной страны Циолковский постепенно стал сбрасывать с себя пережитки своих неудачных философских идей. Однако, несмотря на это, ему не удалось довести это до конца, и он не сумел отрешиться до последних дней полностью от своего увлечения

* «Свойства космоса». Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 481, л. 8.

** Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 511.

*** К. Э. Циолковский. Черты из моей жизни. Архив АН СССР, ф. 555, оп. 2, д. 14, л. 1.

идеями, сочетавшими радость, разум и истину. В его философских идеях почти до конца оставался восторженный пантеизм, понимание мира было узко механистическим, он придавал природе свойства чувствительности, не видя различия между органическими и неорганическими телами. Но прав был Л. Кассиль, когда он говорил, что спорные, во многом ошибочные воззрения этого замечательного ученого были насыщены жизнерадостностью, уверенностью в силе человеческого разума, он полон истинного оптимизма, он по своему видит в революции путь человечества через муки к совершенной радости и овладению вселенной.

Именно с этой исторической точки зрения мы должны рассматривать наследие К. Э. Циолковского в области философских идей. В нем шел глубокий внутренний процесс переплавки старого человека и мы должны прямо сказать, что в последние годы перед смертью он уже выходил на правильную дорожку настоящего материалиста!

ПРИМЕЧАНИЯ

К разделу «Астрономия»

В данное издание включены в основном статьи, затрагивающие наиболее общие проблемы астрономии — вопросы космогонии и космологии. Развиваемые в них космогонические представления служат К. Э. Циолковскому основой для решения целого ряда других вопросов, затрагиваемых в последующих статьях (таков, например, вопрос о происхождении и развитии органической жизни на планетах). Это и следует иметь в виду при чтении всех помещенных в разделе работ.

К статье «Тяготение, как источник мировой энергии». Эта работа К. Э. Циолковского для своего времени была в высшей степени прогрессивной. Она вводила читателя в круг самых свежих идей о временной шкале развития звезд — так называемая шкала Гельмгольца — Кельвина. Для эпохи написания статьи характерны упорные поиски источника энергии Солнца и звезд, остававшиеся бесплодными до утверждения в этой роли термоядерных процессов, что произошло уже во второй четверти XX в.

В последующих работах К. Э. Циолковский говорит об атомной энергии, но в данной ограничивается рассмотрением энергии, выделяющейся при гравитационном сжатии.

Производимые при этом расчеты основаны на тех числовых данных, которыми располагала наука в то время.

Так, например, число Лангеля (стр. 18) принимается равным $30 \text{ ккал/м}^2\text{сек}$, что соответствует $3 \text{ кал/см}^2\text{сек}$ и в 1,5 раза превышает современное значение солнечной постоянной, близкое к $2,0 \text{ кал/см}^2\text{сек}$, а этому соответствует ежегодный расход энергии Солнца $1,24 \cdot 10^{30} \text{ тм}$. К. Э. Циолковский не учитывает, что при гравитационном сжатии лишь часть потенциальной энергии может быть превращена в тепло. При той степени сжатия, какую дает современная теория, на лучеиспускание может уйти лишь половина освобождающейся энергии.

Читая раздел «Вращение Солнца», следует помнить, что Солнце вращается не как твердое тело, т. е. скорость вращения на разных широтах различна, увеличиваясь от 25,5 суток на экваторе до 35 суток вблизи полюсов.

Современные данные не подтверждают строгой закономерности изменения плотности планет, принятой К. Э. Циолковским. Так, плотность Меркурия — $5,7 \text{ г/см}^3$, плотность Венеры меньше плотности Земли, а плот-

ности последних трех планет, начиная с Урана, больше плотности Сатурна.

Высказываемую в заключении статьи мысль о будущей «агонии» Солнца не следует воспринимать как убежденность ученого в окончательной смерти Солнца. В дальнейших работах (см. например, «Эфирный остров», стр. 77) он проводит идею о цикличности развития материи во Вселенной.

К статье «Образование солнечных систем». В этой работе К. Э. Циолковский вместе со своими современниками уже говорит о возможном значении атомных превращений для протекания природных процессов на звездах. При этом еще не разделяются в силу ограниченности знаний того времени процессы синтеза тяжелых элементов из легких и радиоактивный распад.

Некоторые из принятых для расчетов числовых величин и в настоящее время известны с недостаточной степенью точности. Так, например, момент инерции Солнца составляет от $160 \cdot 10^{36}$ до $610 \cdot 10^{36}$.

Действие светового давления на движения планет рассматривается К. Э. Циолковским слишком упрощенно (стр. 58). Оно определяется формулой $p = s(1 + R)/c$, где s — мощность электромагнитных колебаний, R — коэффициент отражения света поверхностью, c — скорость света.

К статье «Эфирный остров». В работе дается наиболее полное изложение космологических представлений ученого. Будучи в основном правильными, они в некоторых частностях не могут быть приняты в настоящее время.

Таково, например, предположение о наличии стадии взрыва в эволюции абсолютно всех небесных тел (стр. 81). Равным образом, кометы не могут считаться продуктами извержения Солнца (стр. 84).

Большинство числовых данных о размерах солнечной системы, расстояниях в Галактике, числе звезд в ней и т. д. правильны (во всяком случае, по порядку величины). Однако при рассмотрении более удаленных объектов недостаточная полнота научных данных того времени по сравнению с современными начинает сказываться.

Так, например, в настоящее время телескопы позволяют регистрировать галактики, находящиеся на расстояниях до 1 млрд. св. лет, а радиотелескопы до нескольких млрд. св. лет. Сверхгалактика, в которую входит наша звездная система, имеет поперечник около 100 млн. св. лет. Наибольшая скорость движения Галактики составляет 120 000 км/сек.

Необходимо учесть также, что работа написана в то время, когда существование Галактики еще не было обнаружено.

К статьям «Органический мир Вселенной» и «Температура планет». В этих работах К. Э. Циолковский дает формулировку условий, необходимых для развития органической жизни на планетах, близкую к современной. Интересным является и то, что он рассматривает возможность существования жизни на основе замещения в органических соединениях углерода кремнием. Эта идея еще ранее высказывалась Н. А. Морозовым, а в недавнем прошлом широко обсуждалась и попала на страницы научно-фантастической литературы.

Некоторые положения, например о первоначальной огненно-жидкой стадии в развитии Земли, в настоящее время не могут быть безоговорочно приняты, так как большинство научных данных говорит, что наша планета, вероятно, не была в раскаленном состоянии.

Кроме того: ввиду очень высокой температуры вещество в центре звезд всегда находится в состоянии газа (нормального или вырожденного).

Согласно современным подсчетам в нашей Галактике число планет, на которых возможно возникновение и развитие жизни, составляет несколько сотен тысяч. К. Э. Циолковский использует (стр. 86) слишком завышенные данные.

К статье «Образование двойных звезд». В этой работе ценной является критика космогонической гипотезы Джинса, которая во время ее написания имела широкое распространение. Основная мысль о малой вероятности возникновения планетной системы по гипотезе Джинса совершенно справедлива, но сами подсчеты в настоящее время нуждаются в уточнении. По оценкам П. П. Паренаго промежуток времени между тесными сближениями звезд составляет $2,7 \cdot 10^{15}$ лет, а между столкновениями — $6,3 \cdot 10^{17}$ лет. Эти величины превышают и возраст Солнца ($6 \cdot 10^8$ лет) и возраст Галактики по современным данным.

*Доктор физико-математических наук
Д. Я. Мартынов*

К очерку К. Э. Циолковского «Механика в биологии»

Поглощенный своей основной творческой работой по теории и практическому осуществлению космических полетов человека, К. Э. Циолковский успел, однако, уделять время продумыванию гораздо более широкого круга вопросов, образующих своего рода мост между механикой и биологией. На современном языке этот круг вопросов следует обозначить как вопросы биофизики и биомеханики.

Предлагаемый очерк написан К. Э. Циолковским в первоначальном своем виде более 80 лет тому назад (1882). Затем К. Э. Циолковский на много лет отложил его в сторону и вернулся к нему снова только в 1920 г. уже во всеоружии своих знаний и с прочно укрепившейся за ним славой научного деятеля первого ранга. Константин Эдуардович переработал заново весь текст с более зрелых и обоснованных позиций и с опорой на свои ранее выполненные исследования механики аэропланов и дирижаблей. С тех пор прошло тоже немало времени, и притом времени, насыщенного огромным и быстрым прогрессом науки и техники. Некоторые соображения и выводы из числа включенных в этот очерк не могли не устареть, утратив уже научное значение для нашего времени. Это — те догадки, к которым Циолковскому приходилось поневоле прибегать в своих построениях из-за бедности или полного отсутствия в ту пору фактических данных. К таким гипотезам приходилось ему обращаться, например, при оценках мышечной силы человека, прочности костных скелетов, частот колебательных движений крыльев у насекомых и птиц и т. д.

В настоящем издании очерк К. Э. Циолковского печатается в том виде, как он был подготовлен автором к печати в 1920 г. Этот очерк, в полной мере насыщенный той яркой талантливостью и тем популяризаторским даром, которым К. Э. Циолковский обладал в высшей степени, и до сих пор не утратил своего значения.

Представим себе два геометрических тела или две статуи, строго подобные между собой. Пусть один объект превышает второй по линейному размеру в P раз ($P = 2, 10, 100$ и т. д.). В таком случае можно сразу сказать, что все соответственные *площади* окажутся у второго тела или статуи больше в P^2 раз, а соответственные объемы — больше в P^3 раз. Если оба объекта, которые мы сравниваем, состоят из одинакового и притом однородного материала, например мрамора, бронзы и т. д., то и массы соответственных взаимно подобных частей будут различаться у них между собою в P^3 раз. Эти результаты исчерпывают собой все, что может вытекать из факта геометрического подобия пары неживых трехмерных объектов из однородного материала.

Но если обратиться к подвижным, живым существам, выбрав среди них два возможно более близких к геометрическому подобию между собою, при линейном коэффициенте P , как и выше, то выводы и следствия из этого подобия их форм получатся несравненно более сложными и богатыми содержанием, чем это было в случае пары мертвых статуй.

Собственно говоря, осложнения начинаются уже и раньше: они явственно обнаруживаются, например, как только мы от простого рассматривания неподвижных фигур перейдем к воздействию на них каких-нибудь сил. Вот самый простой пример. Пусть наши статуи изображают человека с опущенной рукой; линейный коэффициент P положим для конкретности равным 10. Теперь навесим на руку каждой из статуй по пропорциональному грузу; очевидно, эти грузы будут различаться между собой в P^3 , т. е. в 1000 раз. А между тем, площадь поперечного сечения руки у большей из статуй превосходит площадь меньшей только в $P^2 = 100$ раз; значит у большей статуи запросы к прочности ее руки окажутся (на единицу площади сечения) вдесятеро больше, чем у маленькой, и если мы будем постепенно увеличивать ту и другую нагрузку, все время сохраняя требуемую пропорциональность между ними, то первую отломится рука, разумеется, у более крупной фигуры. Если рука у статуи вытянута горизонтально, то моменты нагрузок, навешанных на руки обеих статуй, будут различаться в P^4 или в 10 000 раз, а прочности рук на излом — P^3 или 1000 раз. И здесь, следовательно, условия для большой фигуры будут в 10 раз хуже.

Уроним два однородных куба с линейным коэффициентом подобия $P = 10$ на жесткую площадку с одной и той же высоты. Картина получится та же, что и в примере со статуями: масса и вес большего куба будут больше в 1000 раз, а площади, воспринимающие удар, будут отличаться только в 100 раз. Если же мы, стремясь соблюсти подобие во всех отношениях и подробностях, уроним больший куб еще и с вдесятеро большей высоты, сообщив ему во столько же раз большую кинетическую энергию на каждую единицу массы, то ему придется, относительно, еще хуже.

Следует указать здесь, что для всех условий, относящихся к области задач теоретической механики, еще Ньютоном была найдена и изложена в его знаменитом труде «Математические принципы натуральной философии» теорема о динамическом подобии; из этой теоремы следует выведенная им же совершенно общая формула, которой и посейчас пользуются при всякого рода модельных испытаниях, например при испытании уменьшенных моделей кораблей в опытных бассейнах. В эту всеобъемлющую формулу Ньютона действительно укладываются все случаи, какие могут встретиться в области механики неживых объектов.

Но исчерпает ли формула Ньютона также и все те случаи, которые относятся к поведению живых существ, т. е. к области задач биофизики и биомеханики? Такой вопрос, по-видимому, никем и ни разу не ставился в науке до Циолковского.

Он не прошел, конечно, мимо тех элементарных противоречий между возрастанием нагрузки и возрастанием прочности, которые и в живой природе сказываются в такой же мере, как и в примерах, приведенных выше. Но, проанализировав все те виды задач, которые охватываются формулой Ньютона, Циолковский сразу обнаружил, что, кроме того, живые существа проявляют и совсем особые, иного порядка осложнения по линии подобия, которые не встречались и вряд ли могли встретиться в области механики неживых объектов.

Вот первое и, может быть, одно из важнейших осложнений такого рода. Выберем два экземпляра животных, которых можно с небольшой натяжкой принять за геометрически подобные по внешним очертаниям их тел, и которые разнятся по линейным размерам в $P = 10$ раз, как и в наших предыдущих примерах. В качестве таких пар можно было бы назвать, например, маленькую лягушку-древесницу и обитающую в Японии гигантскую «лягушку-вола», современную новозеландскую птичку киви-бескрыла и недавно вымершего там же исполинского динорниса-моа. У обеих названных пар дыхательными приборами являются легкие, т. е. воздухоносные мешки, разделенные внутри на большое число ячеек — альвеол, что обеспечивает большое увеличение полезной поверхности — подобно, например, ребрам на радиаторах или на цилиндрах моторов с воздушным охлаждением.

Рассмотрим теперь два случая. Пусть, в первом случае, линейные размеры альвеол выросли у более крупного животного в $P = 10$ раз по сравнению с мелким, подчиняясь общему условию подобия между ними обоими; а во втором случае будем рассматривать эти альвеолы как сложные и тонкие приборы для дыхательного газообмена, в которых самую существенную роль для успешной деятельности играют их абсолютные размеры. В этом втором из мыслимых случаев в тысячу раз (P^3) большие по объему легкие крупного существа будут содержать в себе в тысячу же раз больше альвеол, чем легкие маленького существа, притом, однако, альвеол одинакового размера у обоих сравниваемых животных.

Что произойдет в том и другом случае? 1-й случай: альвеолы участвуют вместе со всем телом животного в соблюдении подобия; у большого они

линейно крупнее в $P = 10$ раз, а их рабочие площади больше в $P^2 = 100$ раз. По соблюдаемому здесь условию строжайшего подобия число их у крупного животного больше в $P^3 = 1000$ раз; значит, с кислородным снабжением ему будет вдесятеро труднее, нежели маленькому. 2-й случай: альвеолы по величине неизменны; по нашему предположению это необходимо для их правильной функции. Число таких стандартных альвеол будет, очевидно, пропорционально объемам легких, т. е. у крупного экземпляра будет больше в $P^3 = 1000$ раз. Во столько же раз возрастет и общая дыхательная поверхность легких; следовательно, величина полезной площади альвеол, приходящаяся на единицу массы тела животного, будет теперь одна и та же независимо от абсолютных размеров животных.

Само собою разумеется, что действительный путь, который избрала природа по ходу эволюции различных органов и систем, может быть установлен только путем фактического изучения и измерения их строения у различных живых существ. К. Э. Циолковский совершенно справедливо подчеркивает, что в подобного рода примерах перед нами — не что-то исключительное; это, наоборот, типичные проявления того, какие отклонения от простого ньютоновского правила подобия встречаются на каждом шагу в живых организмах. Строение и фактура костей, свойства кровеносно-сосудистой сети, число и распределение всасывающих ворсинок в желудке и кишечном канале, наконец, строго стандартные, но по-разному группирующиеся системные элементы, из которых построены печень, почки, железы, нервная система, — все это примеры того, насколько необходимо тщательно изучить опытным путем, к какому из наших двух крайних случаев ближе подходит организация каждого из перечисленных органов. Показатель степени при величине P не обязан быть точно 2 или 3, как в приводившихся примерах; он может в действительности оказываться и дробной величиной, лежащей где-то между этими цифрами может даже, судя по косвенным данным, становиться больше 3 или спускаться ниже 2. Циолковский обозначает этот переменный показатель степени буквой H , и поневоле приписывает ему в разных случаях те или другие предположительные значения, поскольку в его время такой материал и не начинали разрабатывать единственно правильным, опытным путем. К нашему времени сравнительная физиология и особенно новая отрасль физиологии — так называемая физиология регуляций — смогли уже выяснить здесь многое из того, что было загадкой еще полстолетия назад.

Круг интересов Циолковского определил собою то, на каких вопросах он преимущественно останавливал свое внимание. Это, во-первых, энергетика двигательных актов живых существ: бега, прыжка, подъема в гору, плавания и т. д., а во-вторых, вопросы, относящиеся к сравнительной механике крыла у мелких (насекомые) и крупных (птиц) организмов, в сопоставлении здесь еще с огромными искусственными «птицами», сделанными руками человека — самолетами.

На каждом шагу приводя яркие иллюстрации диалектических переходов количества в новые качества, Циолковский показывает, как вместе с относительными размерами крыльев (площадью, толщиной и т. д.) ме-

няется сама конструкция их, фактура материала, кинематика движений при полете и т. п.

Время от времени Циолковский отходит от строгой, суховатой формы изложения, с расчетами, формулами и таблицами и дает дорогу научному воображению. Под его пером возникают картины того, что должно бы было произойти, если бы линейные размеры живых существ изменились в $P = 10$, 100 или 1000 раз в ту или другую сторону. Он рисует, как по мере возрастания коэффициента P все сильнее растут добавочные требования к поддержанию в поле тяготения безмерно увеличивающегося (в P^3 раз) веса животного, пока этот вес, наконец, не расплющит его. Он показывает нам картину существования на земле воображаемых человечков в $P = 1/1000$, демонстрируя наглядно, насколько по иному выглядел бы для них мир, в каких отношениях им было бы выгоднее и легче по сравнению с нами, а в чем, наоборот, затруднения, совершенно пренебрежимые для нас по своей малости, должны были бы оказываться для таких ультралилипутов абсолютно непреодолимыми.

Бесцельное фантазирование? — скажет, может быть, читатель. Нет, это будет с его стороны серьезной ошибкой, проявлением научной близорукости. И в этом же очерке мы как раз встречаемся с убедительными примерами того, насколько анализы подобного рода все более актуальны в условиях нашей современности. Мы действительно не властны изменить размеры наших тел в 10 или в 100 раз. Но нечто, создающее очень сходные изменения условий, мы могли бы наблюдать на других телах нашей солнечной системы, — на телах, которые уже не сегодня-завтра окажутся реально доступными для нас, начиная с самого близкого к нам тела — нашего спутника, Луны. На поверхности этих тел имеют место самые разнообразные значения напряжения силы тяготения, — от сравнительно высоких, как на Юпитере, и ничтожно малых, как на мелких астероидах. Повышенные или, наоборот, уменьшенные значения напряжения силы тяжести, с которыми нашим будущим космонавтам придется встретиться на таких телах, будут ощущаться ими во многом сходно с тем, как ощущались бы изменения собственных размеров на поверхности нашей родной планеты. Сюда же, наконец, надо огнести напряжения за счет высоких ускорений в активных фазах космических полетов — напряжения, с которыми уже довелось реально столкнуться космонавтам, как во время тренировок на центрифугах, так и во время вылетов в космические просторы. Со времен К. Э. Циолковского было написано немало научно-фантастических повествований о впечатлениях и трудностях воображаемых путешественников по космосу после высадки их на те или другие космические объекты, но мы никогда не забудем того, что Циолковский был первым пролагателем путей в этом направлении, не ограничившимся притом одними только картинными описаниями, но впервые попытавшимся подвергнуть строгому анализу зависимости между размерами тела живого существа, его статикой и динамикой и напряжением поля тяготения. В этом — его неувядающая заслуга.

*Член-корр. АМН,
доктор медицинских наук
Н. А. Берштейн*

К статье «Освоение жарких пустынь»

Отсутствие водных бассейнов, с одной стороны, и ничтожное количество осадков, с другой — делает значительные площади земного шара почти совершенно бесплодными. Орошение этих пустынь или полупустынь путем добывания воды из недр земли встречает подчас невероятные и технически непреодолимые трудности.

Особенного внимания поэтому заслуживают предложения К. Э. Циолковского получать воду из воздуха. Земная атмосфера, как известно, всегда содержит значительное количество водяного пара. Подсчитано, что 1000 м³ воздуха способны дать 0,5—1 кг воды. Так как осуществим постоянный приток свежего воздуха, то, очевидно, что этот воздушный источник воды может быть почти неисчерпаемым.

Для осуществления своей идеи К. Э. Циолковский предложил соорудить яму, заполненную камнем либо песком, хорошо продуваемым воздухом. Статья трактует не новый принцип добывания пресной воды путем конденсации паров из более теплого и охлаждаемого воздуха. Уж в 90-х гг. у нас были поставлены опыты такого добывания воды в Крыму, в Феодосии. Данные об этом опубликованы горн. инженером Зибольдом в брошюре «Роль подземной росы в водоснабжении г. Феодосии» (1915 г.) и в книге Палканова «Феодосия, прошлое города и его археологические памятники».

Как на одну из древних попыток получения искусственной грунтовой воды указывается на сооружения греческой колонии, некогда бывшей на месте Феодосии. Эти сооружения состоят из ям, вырытых в горе и заполненных крупными камнями. Нагретый атмосферный воздух, с заключенными в нем парами, проникал в такую яму, и водяные пары, соприкасаясь с охлажденной поверхностью камней, конденсировали и в виде воды стекали на дно ямы.

К. Э. Циолковский подошел к разрешению задачи на основе точного расчета, что дает возможность осуществления «конденсаторов» или «воздушных колодцев» большой производительности и более эффективных, чем примитивные сооружения отдаленного времени.

Дальнейшее развитие идея «орошения воздухом» получила в Институте гидродинамики СО АН СССР, проведшего экспериментальную проверку идеи «пневматического орошения» на примере освоения Кулундинской степи под руков. акад. П. Я. Кочинной.

«Иглы» — трубы с мелкими отверстиями погружаются в почву, приближаясь к первому ярусу грунтовых вод. По резиновым шлангам сжатый воздух от компрессорной установки подается через «иглы» в грунтовую воду и поднимает ее. Вода испытывает механическое давление и поднимается вверх, с другой стороны частицы воздуха стремясь подняться на поверхность почвы, увлекают за собой воду. (Этот эффект «Эрлифта» использовал В. Г. Шухов для поднятия нефти на поверхность земли.)

Газированная вода, обогащенная кислородом воздуха, активно воздействует на корни, ускоряя обмен веществ в корневой системе.

Доктор технических наук Ф. Я. Нестерук

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции 5

АСТРОНОМИЯ

<i>В. Г. Фесенков.</i> Характеристика астрономических работ К. Э. Циолковского	7
Тяготение, как источник мировой энергии	16
Продолжительность лучейспускания Солнца	33
Образование солнечных систем	48
Дополнение к образованию солнечных систем	65
Эфирный остров	77
Органический мир Вселенной	86
Температура планет	97
Образование двойных звезд	103
Из прошлого Земли	111

БИОЛОГИЯ

<i>А. И. Опарин.</i> Работы Циолковского над проблемой происхождения жизни	117
Образование простейших живых существ	122
Начало растений на земном шаре и их развитие	131
Механика в биологии. Подобие организмов и уклонение от него	161
Механика в биологии (происхождение живого до человека)	264
Растение будущего	286
Животное Космоса	292

ТЕХНИКА

<i>А. С. Федоров.</i> Работы К. Э. Циолковского в области техники	307
Сопротивление воздуха и скорый поезд	311
Скорый вагон	342
Общие условия транспорта	345
Рельсовый автопоезд	354
Наибольшая глубина погружения океанской батисферы	356
Волнолом и извлечение энергии из морских волн	362
Батарейная воздуходувка для домен	365
Как увеличить энергию взрывных (тепловых) двигателей	368
Сжиматель газов и его расчет	377
Солнце и завоевание пустынь	391
Освоение жарких пустынь	400
Простой солнечный нагреватель и его применение к двигателю, кухне и другим целям	408
Охлаждение воздуха жилых помещений	411
Вода в сухих и безоблачных пустынях	414
Приложения	421
<i>А. Е. Ферсман.</i> Анализ общих работ К. Э. Циолковского	423
Примечания	452

Константин Эдуардович Циолковский

Собрание сочинений, том IV
Редактор составитель Б. Н. ВОРОБЬЕВ

Утверждено к печати Отделением философских и правовых наук Академии наук СССР

Редактор издательства *В. И. Левин.* Технический редактор *Л. И. Матюхина*

Сдано в набор 3/IX 1964 г. Подписано к печати 25/XI 1964 г. Формат 70×108²/₄. Печ. л. 28,75=39,39 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 30,1. Тираж 2000 экз. Изд. № 4020/64. Тип. зак. 1137. Темплан 1964 № 1232-1232

Цена 2 р. 30 коп.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

Типография № 2 Изд-ва «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 19

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
3	17 св.	пособия	подобия
50	Ф-ла (1)	g	J
64	Пункт 6, 1-я графа слева	810^3	в 10^3
65	14 св.	$= 80; M_{\zeta} =$	$= 80 M_{\zeta} =$
67	Ф-ла (18)	M_1	M_{ζ}
	{ 10 св.	$6 - 3$	$6,3$
162	Ф-ла (7)	$\sqrt{-}$	$\sqrt{-}$
	{ 1 св. }	S_{01}	V_{01}
163	{ 2 св. }		
211	{ 6 св. }	S_0	ρ
	{ 4 св. }		
279	2 св.	\sqrt{t}	$t\sqrt{t}$

К. Э. Циолковский, том IV

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции	5
-----------------------	---

АСТРОНОМИЯ

В. Г. Фесенков. Характеристика астрономических работ К. Э. Циолковского	7
Тяготение, как источник мировой энергии	16
Продолжительность лучеиспускания Солнца	33
Образование солнечных систем	48
Дополнение к образованию солнечных систем	65
Эфирный остров	77
Органический мир Вселенной	86
Температура планет	97
Образование двойных звезд	103
Из прошлого Земли	111

А. И. Опарин. Работы	
Образование простейших	
Начало растений на Земле	
Механика в биологии	
Механика в биологии	
Растение будущего	
Животное Космоса	

А. С. Федоров. Работы	
Сопrotивление воздуха	
Скорый вагон	
Общие условия транс-миссии	
Рельсовый автопоезд	
Наибольшая глубина погружения	
Волнолом и извлечение энергии	
Батарейная воздушная энергия	
Как увеличить энергию	
Сжиматель газов и его применение	
Солнце и завоевание космоса	
Освоение жарких пустынь	
Простой солнечный нагреватель	
Средства для достижения космических целей	
Охлаждение воздуха и воды	111
Вода в сухих и безоблачных пустынях	414
Приложения	421
А. Е. Ферсман. Анализ общих работ К. Э. Циолковского	423
Примечания	452

Константин Эдуардович Циолковский

Собрание сочинений, том IV

Редактор составитель Б. Н. ВОРОБЬЕВ

Утверждено к печати Отделением философских и правовых наук Академии наук СССР

Редактор издательства В. И. Левин. Технический редактор Л. И. Матюхина

Сдано в набор 3/IX 1964 г. Подписано к печати 25/XI 1964 г. Формат 70×108³/₄. Печ. л. 25,75 = 29,39 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 30,4. Тираж 2000 экз. Изд. № 4020/64. Тип. зак. 1137. Темплан 1964 № 1222-1233

Цена 2 р. 30 коп.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

Типография № 2 Изд-ва «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

