

К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

РЕАКТИВНЫЕ
ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ
АППАРАТЫ

K

ЛИСТОК СРОКА ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

Количество пред. выдач _____

--	--	--

Кр 21
570926

18

45

01

66

Kpdt



К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

6Т5.20
Ц-662

КрЖ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт истории естествознания и техники

К. Э. Циолковский

Реактивные
летательные
аппараты

570926



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1964

ИЗДАНИЕ ПОДГОТОВЛЕНО
КОМИССИЕЙ ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНОГО НАСЛЕДИЯ
К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО

академик А. А. Благонравов (председатель), доктор
физ.-мат. наук А. А. Космодемьянский, доктор техн.
наук В. А. Семенов, доктор техн. наук М. К. Тихонра-
вов, инженер Б. Н. Воробьев (ученый секретарь)

РЕДАКТОРЫ-СОСТАВИТЕЛИ

Б. Н. Воробьев, В. Н. Сокольский

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

А. А. Космодемьянский



МОСКОВСКОЕ РАДИОТЕЛЕВИДЕНИЕ
Москва 1964

акт 01с

Человечество не ограничено
только на земле, но, во
погоню за светом и
просураживанием, смачивая
рубко проникнув за
предельми атмосферы,
и задушил завоевать
себя все около солнечная
просураживаю

К. Циолковский*

* Из письма К. Э. Циолковского Б. Н. Воробьеву от 12 августа 1911 г.

К. Э. Циолковский — основоположник современной ракетодинамики

«Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои работы о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества».

(К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ, Настоящее издание, стр. 188).

I

Мы — современники величайшей научно-технической революции. Овладение процессами преобразования внутриядерной энергии, создание межконтинентальных и космических ракет, быстрое развитие сверхзвуковых реактивных самолетов, разнообразные, порой прямо фантастические, возможности быстродействующих вычислительных машин, успехи электроники и телеуправления — невероятно ускорили научно-технический прогресс. Пробуждены, организованы и активно действуют такие силы промышленности и науки, о которых даже не могли мечтать в предшествующие периоды истории человеческого общества.

4 октября 1957 г. человечество вступило в новую эру — эру экспериментального изучения космического пространства при помощи реактивных летательных аппаратов. В этот день был выведен на эллиптическую орбиту первый в мире советский искусственный спутник Земли — творение и гордость советского народа. Впервые в истории человечества была достигнута первая космическая скорость полета, равная 7912 м/сек. Вместе со спутником вышла на орбиту последняя ступень межконтинентальной баллистической ракеты, которая была использована в качестве ракеты-носителя.

2 января 1959 г. советская наука и техника одержали новую замечательную победу: в СССР был осуществлен первый космический полет в пределах внутренних планет Солнечной системы. В этом полете последняя ступень ракеты-носителя с многочисленными научными приборами достигла **второй космической скорости**, равной $11\,189$ м/сек, прошла вблизи Луны и стала спутником Солнца, т. е. искусственной новой планетой Солнечной системы.

Вторая советская космическая ракета, успешный запуск которой был осуществлен 12 сентября 1959 г., положила начало **эпохе межпланетных сообщений**. Последняя ступень ракеты-носителя прошла расстояние от Земли до Луны, равное $384\,000$ км по траектории, близкой к расчетной, и 14 сентября в 0 час 02 мин 24 сек по московскому времени достигла поверхности Луны — прилунилась. В ознаменование этой выдающейся победы советской науки и техники на поверхность Луны были доставлены вымпелы с изображением герба Советского Союза и надписью «Союз Советских Социалистических Республик. Сентябрь, 1959 год».

Третья советская космическая ракета, стартовавшая утром 4 октября 1959 г., в день двухлетнего юбилея запуска первого в мире советского искусственного спутника Земли, вывела на орбитальную траекторию, охватывающую Землю и Луну, **автоматическую межпланетную станцию**. На этой станции были размещены многочисленные научные приборы, при помощи которых успешно проведена широкая программа научных исследований космического пространства в окрестностях Земли и Луны. При первом облете Луны был выполнен замечательный научный эксперимент — **фотографирование невидимой с Земли обратной стороны Луны**.

Луна при своем движении вокруг Земли обращена к Земле всегда одной и той же стороной, и фотографирование невидимой с Земли стороны Луны можно выполнить только с межпланетного корабля. Полученные снимки были проявлены на борту межпланетной станции автоматически действующим устройством и телевизионным способом переданы наземным станциям. Часть полученных фотографий Луны была опубликована и получила весьма высокую оценку виднейших астрономов мира.

Успешные полеты советских искусственных спутников Земли и космических кораблей позволили нашей стране 12 апреля 1961 г. начать космические полеты человека. Первооткрывателем космических трасс был летчик-космонавт, Герой Советского Союза Юрий Алексеевич Гагарин. На управляемом космическом корабле «Восток-1» он совершил облет земного шара за $89,1$ мин и приземлился в заданном районе. К середине 1963 г. в Советском Союзе произведен успешный запуск уже шести пилотируемых космических кораблей, причем шестой пилотируемый ко-

рабль «Восток-6» впервые в мире управлялся женщиной-космонавтом, Героем Советского Союза Терешковой Валентиной Владимировной.

Мы приведем здесь основные данные всех шести полетов советских космических кораблей:

Название космического корабля и дата вывода на орбиту	Летчик-космонавт	Период обращения для 1-го витка, мин.	Удаление от поверхности Земли, км		Общая продолжительность полета	Число оборотов вокруг Земли	Пройденное расстояние, км
			мин.	макс.			
«Восток - 1» 12 апреля 1961 г.	Гагарин Юрий Алексеевич	89,1	181	327	1 час 48 мин	1	41.000
«Восток - 2» 6 августа 1961 г.	Титов Герман Степанович	88,46	183	244	25 час 18 мин	17	703.150
«Восток - 3» 11 августа 1962 г.	Николаев Анд- риан Григорь- евич	88,33	180,7	234,6	94 час 22 мин	64	2.640.000
«Восток - 4» 12 августа 1962 г.	Попович Павел Романович	88,39	179,8	236,7	70 час 57 мин	48	1.980.000
«Восток - 5» 14 июня 1963 г.	Быковский Ва- лерий Федоро- вич	88,27	175	222	119 час 06 мин	81	более 3.300.000
«Восток - 6» 16 июня 1963 г.	Терешкова Ва- лентина Вла- димировна	88,3	181	231	70 час 50 мин	48	около 2.000.000

Мы можем с полным правом гордиться этими замечательными достижениями советских людей, достижениями советской науки и техники.

Никита Сергеевич Хрущев, приветствуя советских космонавтов в связи с осуществлением первого в мире группового полета летчиками-героями Николаевым А. Г. и Поповичем П. Р., сказал: «Советских людей особенно радует, что именно нашему Советскому государству, нашему народу выпала честь совершить такой исторический подвиг. Нашему народу удалось подготовить страну в промышленном, научно-техническом, культурном отношениях и главное — подготовить ученых, конструкторов, инженеров, рабочих, которые смогли создать такие совершенные космические корабли, на которых стало возможным осуществить беспрецедентные полеты. Наша страна воспитала нового человека. Он мастерски владеет новейшими достижениями науки, умело управляет космическими кораблями и совершает подвиги, которые восхищают все человечество».

Советская научно-техническая мысль стоит в наши дни во главе мирового прогресса в области ракетной техники.

Современные достижения советских ракетостроителей неотделимы от истории развития нашей страны, борьбы нашего народа за создание материально-технической базы коммунизма, истории научно-технического прогресса в России и СССР.

Основоположником теории реактивного движения, первооткрывателем принципов, на которых зиждется развитие новых направлений науки и промышленности, вдохновенным пропагандистом межпланетных путешествий человека был замечательный деятель отечественной науки, изобретатель и мыслитель, Константин Эдуардович Циолковский.

Движение реактивных летательных аппаратов (ракет, реактивных самолетов) определяется законами более сложными, чем движение артиллерийских снарядов и винтовых самолетов. Наиболее важным фактором, усложняющим выявление закономерностей движения реактивных аппаратов, является **значительное изменение их массы** во время работы двигателя. Участок полета реактивного летательного аппарата, на котором работает двигатель, обычно называют активным участком полета. Для современных одноступенчатых баллистических ракет среднего радиуса действия активный участок полета занимает (по времени) обычно около 2—3 мин и за это время масса (вес) ракеты уменьшается в 6—9 раз.

Существенное изменение массы реактивных летательных аппаратов не позволяет использовать для расчета их летных характеристик формулы классической механики, являющейся теоретической базой для расчетов закономерностей движения тел, масса которых постоянна (неизменна) во время движения. Чтобы знать законы движения ракет, необходимо было расширить классическую механику.

Изучение движения ракет, как тел переменной массы, было поставлено на твердую научную почву К. Э. Циолковским. Он внес существенный вклад в создание нового раздела теоретической механики — механики тел переменной массы.

II

Константин Эдуардович Циолковский родился 17 сентября 1857 г. в селе Ижевском Спасского уезда Рязанской губернии, в семье лесничего. Его детские годы были омрачены тяжелой болезнью — десяти лет он заболел скарлатиной и почти совершенно потерял слух. Глухота не позволила мальчику продолжать учение в школе и с 14 лет Константин Эдуардович начал заниматься самообразованием, используя книги, которые имелись в библиотеке его отца. Тогда же в нем пробуждается страсть к изобретательству: он самостоятельно строит из тонких деревянных пластинок и папиросной бумаги воздушные шары, делает маленький токарный станок и конструирует коляску, ко-

торая движется под парусом при помощи ветра. Циолковскому было 16 лет, когда отец направил его в Москву для продолжения самообразования.

В эти годы у Циолковского зарождается мысль о завоевании человеком безграничных мировых пространств. Был момент, когда ему показалось, что можно подняться в космическое пространство, используя свойства центробежной силы. «Я был так взволнован, даже потрясен, — писал позднее Константин Эдуардович, — что не спал целую ночь — бродил по Москве и все думал о великих следствиях моего открытия. Но уже к утру я убедился в ложности моего изобретения. Разочарование было так же сильно, как и очарование. Эта ночь оставила след на всю мою жизнь, через 30 лет я еще вижу иногда во сне, что поднимаюсь к звездам на моей машине и чувствую такой же восторг, как в ту незапамятную ночь» *.

Осенью 1879 г. Константин Эдуардович сдал экстерном экзамен на звание учителя народного училища и в январе 1880 г. был назначен на должность учителя арифметики и геометрии в Боровское училище Калужской губернии.

Работая учителем уездного училища, Константин Эдуардович начал свои первые научные исследования. Можно утверждать, что основные научные работы Циолковского были тесно связаны с тремя большими комплексными техническими проблемами, к исследованию которых он подходил и как изобретатель.

Этими проблемами являются: **цельнометаллический дирижабль, аэроплан и ракета дальнего действия.**

Большинство работ, связанных с цельнометаллическим дирижаблем, было выполнено с 1885 по 1892 г. Описание и расчеты аэроплана — хорошо обтекаемого, с легким двигателем — были опубликованы в 1894 г. С 1896 г. Циолковский систематически занимался теорией движения ракет и предложил ряд конструктивных схем ракет дальнего действия и ракет для межпланетных путешествий. В последние годы жизни, с 1926 по 1935 г., Циолковский много и плодотворно работал над созданием теории полета многоступенчатых ракет и реактивных самолетов.

Работы по теории реактивного движения являются наиболее ценными и прогрессивными из всего обширного научного наследия Константина Эдуардовича. Все величие таланта ученого, его творческая самобытность и оригинальность проявились во всей глубине именно при исследовании законов полета ракет и реактивных аппаратов. Циолковский расширил границы человеческого знания, а его идея применения ракеты для исследования мировых пространств только в наши дни начинает познаваться во всей ее грандиозности. Он — **родоначальник те-**

* Н. А. Рынин. К. Э. Циолковский — его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931 г., стр. 10.

рии полета современных жидкостных ракет дальнего действия и основоположник строго научной теории межпланетных путешествий.

В 1881 г. 24-летний К. Э. Циолковский самостоятельно разработал кинетическую теорию газов. Он послал эту работу в Петербургское физико-химическое общество. Работа получила одобрение видных членов Общества, в том числе и гениального химика Д. И. Менделеева. Вторая работа — «Механика животного организма» — также получила сочувственный положительный отзыв ряда членов Общества. Эту моральную поддержку своим первым научным исследованиям Циолковский вспоминал с благодарностью всю свою жизнь. В предисловии ко второму изданию своей работы: «Простое учение о воздушном корабле и его построении» (1904 г.) Константин Эдуардович писал: «Содержимое этих работ несколько запоздало, т. е. я сделал самостоятельно открытия, уже сделанные ранее другими. Тем не менее Общество отнеслось ко мне с большим вниманием, чем поддержало мои силы. Может быть оно и забыло меня, но я не забыл гг. Боргмана, Менделеева, Фан-дер-Флита, Петрушевского, Бобылева и, в особенности, Сеченова»*.

С 1885 г. К. Э. Циолковский начал усердно заниматься вопросами воздухоплавания. Он поставил своей задачей создать металлический управляемый аэростат. Циолковский обратил внимание на весьма существенные недостатки дирижаблей с баллонами из прорезиненной материи: такие оболочки быстро изнашивались, были огнеопасны, обладали весьма незначительной прочностью, и наполняющий их газ быстро терялся вследствие проницаемости ткани. Результатом работы К. Э. Циолковского было обстоятельное сочинение «Теория и опыт аэростата». В этом сочинении дано научное обоснование конструкции дирижабля с тонкой металлической оболочкой (железной или медной); для наглядного пояснения сути дела в приложениях разработаны многочисленные схемы и чертежи.

Эта работа над совершенно новой задачей, без научной периодики, без общения с учеными, требовала невероятного напряжения творческих сил и колоссальной энергии. «Работал я два года почти непрерывно, — писал Циолковский. — Я был всегда страстным учителем и приходил из училища сильно утомленным, так как большую часть сил оставлял там. Только к вечеру я мог приняться за свои вычисления и опыты. Как же быть? Времени было мало, да и сил также, ...и я придумал вставать чуть свет и, уже поработавши над своим сочинением, отправлялся в училище. После этого двухлетнего напряжения сил у меня целый год чувствовалась тяжесть в голове»**.

* Простое учение о воздушном корабле..., 1904, стр. V.

** Н. А. Рынин. К. Э. Циолковский — его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931, стр. 11.

Циолковскому принадлежит замечательная идея постройки аэроплана с металлическим остовом. В статье 1894 г. «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина» даны описание и чертежи моноплана, который по своему внешнему виду и аэродинамической компоновке превосходит конструкции самолетов, к которым авиационная техника пришла через 15 лет.

У аэроплана, разработанного Циолковским, крылья имеют толстый профиль с округленной передней кромкой, а фюзеляж — хорошо обтекаемую форму.

Весьма интересно, что в этой статье Циолковский впервые в истории развития самолетостроения особенно подчеркивает необходимость улучшения обтекаемости аэроплана для получения больших скоростей полета. Конструктивные очертания аэроплана Циолковского были несравненно совершеннее, чем более поздние конструкции братьев Райт, Сантос-Дюмона, Вуазена и других изобретателей. Для оправдания своих расчетов Циолковский писал: «...при получении этих чисел я принял самые благоприятные, идеальные условия сопротивления корпуса и крыльев; в моем аэроплане нет выдающихся частей, кроме крыльев; все закрыто общей плавной оболочкой — даже пассажиры» *.

Циолковский ясно предвидит значение бензиновых двигателей внутреннего сгорания для авиации. Вот его слова, показывающие полное понимание устремлений технического прогресса: «Однако у меня есть теоретические основания верить в возможность построения чрезвычайно легких и в то же время сильных бензиновых или нефтяных двигателей, вполне удовлетворяющих задаче летания» **. Константин Эдуардович предсказывал, что со временем маленький аэроплан будет успешно конкурировать с автомобилем. Но и эта идея Циолковского не получила признания среди официальной русской науки. На дальнейшие изыскания по аэроплану не было ни средств, ни даже моральной поддержки. Об этом периоде жизни ученый писал с горечью: «При своих опытах я сделал много новых выводов, но новые выводы встречаются учеными недоверчиво. Эти выводы могут подтвердиться повторением моих трудов каким-нибудь экспериментатором, но когда же это будет? Тяжело работать в одиночку многие годы, при неблагоприятных условиях, и не видеть ниоткуда ни просвета, ни поддержки» ***.

Вопросы межпланетных путешествий интересовали Циолковского с самого начала его научного творчества. В этой книге

* К. Циолковский. Защита аэронавта. Калуга, 1911, стр. 3.

** К. Э. Циолковский. Собр. соч., том I. М., Изд-во АН СССР, 1951 стр. 70.

*** Н. А. Рынин. К. Э. Циолковский — его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931, стр. 13—14.

публикуется своеобразный научный дневник Константина Эдуардовича «Свободное пространство», в котором рассмотрено протекание простейших явлений механического движения в пространстве без действия сил тяготения и сил сопротивления среды. Рассматривая способы сообщения (или передачи) движения в свободном пространстве, Циолковский приходит к выводу, что проще всего сообщить движение неподвижному телу (или изменить имеющееся движение) можно отбросом массы, т. е. реакцией отбрасываемых от данного тела частиц. Вот две записи из его работы.

«28 марта 1883 года. Утро.

«Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее тончайших кранов, то газ непрерывной струей устремится из бочки, причем упругость газа, отталкивающая его частицы в пространство, будет также непрерывно отталкивать и бочку.

Результатом этого будет непрерывное изменение движения бочки.

...Вообще, равномерное движение по кривой или прямолинейное неравномерное движение сопряжено в свободном пространстве с непрерывной потерей вещества (опоры).*»

Таким образом, принцип реактивного движения был осознан Циолковским в самом начале его самостоятельной научной деятельности. В статье «Свободное пространство» еще нет количественных результатов, все заключения строятся на качественных выводах из закона сохранения количества движения и теоремы площадей для замкнутых механических систем, но целесообразность использования реакции истекающей струи для перемещений в свободном пространстве сформулирована отчетливо и ясно. Нам кажется несомненной связь этой ранней работы Циолковского с его фундаментальной статьей «Исследование мировых пространств реактивными приборами», опубликованной на 20 лет позднее (в 1903 г.).

III

Рассмотрим более подробно важнейшие результаты Циолковского, полученные в теории полета ракет. Не приводя здесь подробных математических выкладок, которые можно найти в оригинальных статьях, собранных в этой книге, отметим только самые важные достижения ученого в данной области.

При исследовании законов движения ракет Циолковский идет строго научным путем, последовательно вводя основные силы, от которых зависит движение ракеты. Сначала он желает выяснить, какие возможности заключает в себе реактивный принцип

* Свободное пространство; см. наст. книгу, стр. 56—57.

создания механического движения, и ставит простейшую задачу в предположении, что силы тяжести и сопротивления воздуха отсутствуют. Эту задачу называют сейчас **первой задачей Циолковского**. С качественной стороны эта задача была рассмотрена Циолковским еще в 1883 г. Движение ракеты в этом простейшем случае обусловлено только процессом отбрасывания (истечения) частиц вещества из камеры реактивного двигателя. При математических расчетах Циолковский вводит предположение о постоянстве относительной скорости отброса частиц, которым до настоящего времени пользуются многие авторы теоретических работ по ракетодинамике. Это предположение называют **гипотезой Циолковского**.

Вот как обосновывает эту гипотезу Константин Эдуардович: «Чтобы снаряд получил наибольшую скорость, надо, чтобы каждая частица продуктов горения или иного отброса получила наибольшую относительную скорость. Она же постоянна для определенных веществ отброса... Экономия энергии тут не имеет места: невозможна и невыгодна. Другими словами: в основу теории ракеты надо принять постоянную относительную скорость частиц отброса»*.

Циолковский весьма простыми рассуждениями получает основное уравнение движения ракеты в среде без действия внешних сил. Из классической механики известно, что для замкнутых механических систем имеет место закон сохранения количества движения. Если в начальный момент при $t=0$ скорости точек системы были равны нулю, то количество движения будет оставаться равным нулю в течение всего времени движения. Пусть в момент $t=0$ масса ракеты была M и ее скорость $v=0$; пусть за время dt двигатель ракеты отбросил массу dM со скоростью V_r , а ракета получила скорость dv .

Из закона сохранения количества движения получим

$$V_r dM + M \cdot dv = 0$$

или
$$dv = -V_r \frac{dM}{M}. \quad (1)$$

Приняв гипотезу Циолковского, мы можем проинтегрировать (1). Будем иметь $v = -V_r \ln M + C$.

Так как при $M = M_0$ скорость $v = 0$, то $C = V_r \ln M_0$ и, следовательно,

$$v = V_r \ln \frac{M_0}{M}. \quad (2)$$

Максимальная скорость ракеты получится при израсходовании всего запаса топлива. Если массу ракеты без топлива

* Исследование мировых пространств реактивными приборами, 1926; см. наст. книгу, стр. 206.

обозначить M_s , то из (2) получим

$$v_{\max} = V_r \ln \frac{M_0}{M_s}. \quad (3)$$

Формула (3) известна в современной ракетодинамике как формула Циолковского.

Если учесть, что масса топлива будет $m = M_0 - M_s$, тогда формулу (3) Циолковского удобно написать так:

$$v_{\max} = V_r \ln \frac{M_s + m}{M_s} = V_r \ln (1 + z), \quad (4)$$

где $z = m/M_s$ (отношение массы топлива к массе пустой ракеты) называют числом Циолковского.

По современной терминологии участок траектории, пройденный ракетой за время работы двигателя (время, когда происходит отброс частиц), называют активным участком полета. Участок траектории, на котором ракета движется как тело постоянной массы, называют пассивным участком полета.

Из формулы (3) следует, что:

а) скорость движения ракеты в конце горения (в конце активного участка) будет тем больше, чем больше относительная скорость отбрасываемых частиц; если относительная скорость истечения удваивается, то и скорость ракеты возрастает в два раза;

б) скорость ракеты в конце активного участка увеличивается с увеличением отношения начального веса ракеты к весу ракеты в конце горения. Однако здесь зависимость более сложная, она дается следующей теоремой Циолковского:

«Когда масса ракеты плюс масса взрывчатых веществ, имеющих при реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость ракеты увеличивается в прогрессии арифметической»*.

Этот закон можно выразить двумя рядами чисел:

Относительная масса ра-								
кеты	2	4=2 ²	8=2 ³	16=2 ⁴	32=2 ⁵	64=2 ⁶	128=2 ⁷	
Относительная скорость								
ракеты	1	2	3	4	5	6	7	

«Положим, например,— пишет Циолковский,— что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8. Я отбрасываю четыре единицы взрывчатых веществ и получаю скорость, которую мы примем за единицу. Затем я отбрасываю две единицы взрывчатого материала и получаю еще единицу скорости; наконец, отбрасываю последнюю единицу массы взрывчатых веществ и получаю еще единицу скорости; всего 3 единицы скорости». Из

* Исследование мировых пространств реактивными приборами. Дополнение, 1914; см. наст. книгу, стр. 155.

теоремы и пояснения Циолковского видно, что «скорость [ракеты] далеко не пропорциональна массе взрывчатого материала: она растет весьма медленно, но беспредельно»*.

Из формулы Циолковского (3) следует весьма важный практический результат: для получения возможно больших скоростей ракеты в конце процесса горения более эффективно идти по пути увеличения относительных скоростей отбрасываемых частиц, чем по пути увеличения относительного запаса горючего.

Так, например, если бы захотели в два раза увеличить скорость в конце активного участка для ракеты ФАУ-2, имеющей отношение начального веса к весу пустой (без горючего) ракеты, приблизительно равным 3, то можно идти двумя путями:

или увеличить относительную скорость истечения из сопла реактивного двигателя в два раза;

или увеличить запас топлива настолько, чтобы отношение начального веса к весу ракеты стало равным $3^2=9$.

Следует заметить, что увеличение относительных скоростей истечения частиц требует совершенствования реактивного двигателя и разумного выбора составных частей применяющихся топлив, а второй путь, связанный с увеличением относительного запаса топлива, требует значительного облегчения конструкции корпуса ракеты и, к сожалению, уменьшения полезной нагрузки.

Работа Циолковского по исследованию мировых пространств реактивными приборами, как всякая прогрессивная научная идея, указывает практикам-инженерам рациональные пути дальнейшего развития ракетостроения.

В истории интеллектуального развития человечества можно выделить сравнительно немного открытий, которые бы оказали столь же радикальное влияние на последующее развитие науки, техники и промышленности. Для современного ракетостроения исследования К. Э. Циолковского по ракетодинамике имеют громадное значение и как образец величия и проницательности человеческого ума, разъяснившего основные закономерности в новой области технического творчества, и как ежедневное руководство инженерам при осуществлении новых проектов ракет и космических кораблей.

IV

Детально выяснив, что при помощи реактивных двигателей можно достигать космических скоростей, Циолковский тщательно изучает влияние сил тяжести на полет ракеты. Следует отметить, что Константин Эдуардович считал силу тяготения как бы цепью, приковывающей человека к нашей планете. Область

* Исследование мировых пространств реактивными приборами. Дополнение, 1914; см. наст. книгу, стр. 155.

действия сил тяготения он назвал панцирем тяготения. Чрезвычайно интересны расчеты Циолковского по определению необходимых запасов топлива для преодоления панциря тяготения. Прежде всего заметим, что сила тяготения убывает с подъемом на высоту. Если вес человека на поверхности Земли равен 80 кг, то на высоте, равной радиусу Земли (около 6400 км), вес человека будет только 20 кг. Спрашивается, какую работу нужно совершить, чтобы человек полностью преодолел панцирь тяготения? Расчеты Циолковского дают следующий результат: «Пусть сила тяжести не уменьшается с удалением тела от планеты. Пусть это тело поднялось на высоту, равную радиусу планеты; тогда оно совершит работу, равную той, которая необходима для полного одоления силы тяжести планеты»*.

Доказательство теоремы Циолковского можно получить из следующих простых соображений. Работа A в потенциальном силовом поле при перемещении из точки B_1 в некоторую точку B_2 равняется разности потенциалов, т. е. $A = U_{B_2} - U_{B_1}$.

Потенциальная (силовая) функция U для поля ньютоновского притяжения, как известно, будет $U = \frac{k}{r}$.

Значение k можно найти из условия, что сила тяготения на поверхности Земли при $r = R$, где R — радиус Земли, равна весу тела ($-mg_0$).

Таким образом,

$$\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=R} = -mg_0,$$

откуда

$$k = mg_0 R^2.$$

Пусть тело весом mg_0 совершает перемещение с поверхности Земли до бесконечности, тогда работа силы тяготения будет

$$A = U(R) - U(\infty) = mg_0 R,$$

т. е. равна весу тела, умноженному на радиус Земли.

Движение ракеты по вертикали в поле силы тяжести Земли с учетом сил сопротивления воздуха требует выбора оптимального режима работы реактивного двигателя, так как очевидно, что при очень форсированном режиме работы будут очень большие перегрузки, обусловленные реактивной тягой и чрезмерно большие силы сопротивления в плотных слоях атмосферы, а при медленном сжигании топлива ракета может вообще не подняться, так как реактивная тяга может оказаться менее собственного веса ракеты. Эта идея Циолковского послужила темой

* Исследование мировых пространств реактивными приборами. Дополнение, 1914; см. наст. книгу, стр. 153.

ряда работ советских ученых по определению оптимальных (наивыгоднейших) режимов движения ракет в поле силы тяготения.

Циолковский много занимался исследованием сил сопротивления воздуха. Он первый в истории ракетной техники сделал оценку запасов топлива, нужных ракете для того, чтобы пробить слой земной атмосферы. Так как сопротивление воздуха препятствует увеличению скорости ракеты, то Циолковский назвал область действия сопротивления воздуха панцирем атмосферы.

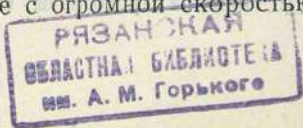
Панцирь тяготения и панцирь атмосферы держат ракету вблизи Земли. Преодолейте их, и вы будете жителем космического пространства, вы можете направить вышу ракету к любой планете или астероиду!

Циолковский впервые сделал вычисления наивыгоднейшего угла подъема реактивного аппарата, пробивающего слой воздуха переменной плотности; он же изучил условия взлета ракет с различных планет и астероидов и решил задачу о необходимом запасе топлива для возвращения ракеты на Землю.

В работах по ракетодинамике Циолковский впервые в истории науки определил коэффициент полезного действия ракеты и указал на выгодность реактивных двигателей при больших скоростях движения. В ряде своих работ он отмечает один случай движения, когда коэффициент полезного действия ракеты будет равен единице. Этот случай имеет место, если относительная скорость отброса частиц равна скорости полета ракеты; легко сообразить, что «абсолютная» скорость отбрасываемых частиц относительно Земли будет в этом случае равна нулю. Так как скорости отброса частиц (продуктов горения) в современных реактивных двигателях имеют величину от 1800 до 3500 м/сек, то становится ясным, при каких скоростях полета ракеты особенно выгодны.

Работы К. Э. Циолковского по реактивному движению не ограничиваются теоретическими расчетами; в них даны и практические указания инженеру-конструктору по конструированию и изготовлению отдельных деталей ракеты, выбору топлива, геометрическим параметрам сопла; разбирается вопрос о приемах, обеспечивающих устойчивый полет ракеты в безвоздушном пространстве.

Ракета К. Э. Циолковского представляет собой металлическую продолговатую камеру, по форме похожую на дирижабль или аэростат воздушного заграждения. В головной, передней, ее части находится помещение для пассажиров, снабженное приборами управления, светом, поглотителями углекислоты и запасами кислорода. Основная часть ракеты заполнена горючим и окислителем, которые при своем смешении образуют взрывчатую массу. Взрывчатая масса загорается в определенном месте, вблизи центра ракеты, а продукты горения, горячие газы, вытекают по расширяющейся трубе с огромной скоростью.



Получив исходные расчетные формулы для определения движения ракет, К. Э. Циолковский намечает обширную программу последовательных усовершенствований реактивных аппаратов вообще. Вот основные моменты этой грандиозной программы. 1. Опыты на месте (имеются в виду лаборатории, где производятся опыты с неподвижно закрепленными ракетами). 2. Движение реактивного прибора на плоскости (аэродроме). 3. Взлеты на небольшую высоту и спуск планированием. 4. Проникновение в очень разреженные слои атмосферы, т. е. в стратосферу. 5. Полет за пределы атмосферы и спуск планированием. 6. Основание подвижных станций вне атмосферы (ракеты-спутники Земли). 7. Использование ракетоплывателями энергии Солнца для дыхания, питания и некоторых других житейских целей. 8. Использование солнечной энергии для передвижения по всей планетной системе и для индустрии. 9. Посещение самых малых тел Солнечной системы (астероидов и планетоидов), расположенных ближе и дальше, чем наша планета, от Солнца. 10. Распространение человеческого рода по всей нашей Солнечной системе.

V

Константин Эдуардович много занимался исследованием различных топлив для реактивных двигателей. Он формулировал основные требования к топливам, которыми до сих пор руководствуются ученые и инженеры. Вот итог его изысканий:

«Элементы взрывчатых веществ для этой машины должны обладать следующими свойствами.

1. На единицу своей массы при горении они должны выделять максимальную работу.

2. Они должны давать при соединении газы или летучие жидкости, обращающиеся от нагревания в пары.

3. Они должны при горении развивать возможно низкую температуру..., чтобы не испортить ствола (дюзы).

4. Должны занимать небольшой объем, т. е. иметь возможно большую плотность.

5. Должны быть жидки и легко смешиваться. Употребление же порошков сложно.

6. Они могут быть и газообразны, но иметь высокую критическую температуру и низкое критическое давление, чтобы удобно было их употребить в ожиженном виде. Ожиженные газы вообще невыгодны своей низкой температурой, так как они поглощают тепло для своего нагревания. Потом, употребление их сопряжено с потерями от испарения и опасностью взрыва. Не годятся также дорогие, химически неустойчивые или трудно добываемые продукты»*.

* Достижение стратосферы; см. наст. книгу, стр. 399—400.

Детальные исследования прямолинейных движений ракет и изучение скоростей отброса, получаемых при употреблении различных топлив, убедили Циолковского, что достижение больших космических скоростей — очень трудная техническая проблема. Для того, чтобы достигнуть космических скоростей при уже известных в то время топливах, Циолковский в 1926 г., а более подробно в 1929 г., предложил использовать составные (или многоступенчатые) ракеты или ракетные поезда и дал их подробную математическую теорию*. «1. Под ракетным поездом, — пишет Циолковский, — я подразумеваю соединение нескольких одинаковых реактивных приборов, двигающихся сначала по дороге, потом в воздухе, потом в пустоте вне атмосферы, наконец, где-нибудь между планетами и солнцами. 2. Но только часть этого поезда уносится в небесное пространство, остальные, не имея достаточной скорости, возвращаются на землю. 3. Одиночной ракете, чтобы достигнуть космической скорости, надо давать большой запас горючего. Так, для достижения первой космической скорости, т. е. 8 км/сек, вес горючего должен быть по крайней мере в 4 раза больше веса ракеты со всем ее остальным содержимым. Это затрудняет устройство реактивных приборов. Поезд же дает возможность или достигать больших космических скоростей, или ограничиться сравнительно небольшим запасом составных частей взрывания».

Если относительную скорость отбрасывания частиц из сопла реактивного двигателя считать за единицу, то по расчетам Циолковского при относительном запасе топлива в каждой камере, равном 3, получается следующая окончательная скорость последней камеры в долях относительной скорости отброса:

Число камер . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окончательная скорость . . .	1,386	1,856	2,118	2,325	2,491	2,622	2,735	2,835	2,924	3,05

Если относительную скорость отбрасывания довести до 3 км/сек, тогда поезда в 7 — 8 ракет вполне достаточно для получения космических скоростей, и последняя ракета может обратиться в спутника Земли.

VI

В последнее десятилетие своей жизни К. Э. Циолковский много работал над созданием теории реактивных самолетов. В его статье «Реактивный аэроплан» подробно выясняются преимущества и недостатки реактивного самолета по сравнению с

* Космические ракетные поезда; см. наст. книгу, стр. 314. Теоретическое рассмотрение летных характеристик двухступенчатой ракеты было сделано в 1926 г.; см. наст. книгу, стр. 254.

самолетом, снабженным воздушным винтом. Указывая на большие секундные расходы горючего в реактивных двигателях Циолковский пишет: «... наш реактивный аэроплан убыточнее обыкновенного в 5 раз. Но вот он летит вдвое скорее там, где плотность атмосферы в 4 раза меньше. Тут он будет убыточнее только в 2,5 раза. Еще выше, где воздух в 25 раз реже, он летит в 5 раз скорее и уже использует энергию так же успешно, как винтовой самолет. На высоте, где среда в 100 раз реже, его скорость в 10 раз больше и он будет выгоднее обыкновенного аэроплана в 2 раза». Эту статью Циолковский заканчивает замечательными словами, показывающими глубокое понимание им законов развития авиационной техники: «За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных или аэропланов стратосферы»*.

Следует отметить, что эти строки были написаны Константином Эдуардовичем за 10 лет до того, как первый реактивный самолет поднялся в воздух.

В статьях «Восходящее ускоренное движение ракетоплана» и «Стратоплан полуреактивный» Циолковский дает теорию движения аэропланов с жидкостным реактивным двигателем и развивает впервые в технической литературе идею турбокомпрессорного винтового реактивного самолета.

«Наш самолет подобен обыкновенному аэроплану,— пишет Циолковский,— но он имеет небольшие крылья и у него нет совсем наружного воздушного винта. Он заменяется особым пропеллером. Самолет обладает очень сильным мотором, который выбрасывает продукты горения через особые конические трубы назад, к кормовой части снаряда. Получается отдача, отталкивание, реакция, силой которой снаряд усиливает свое ускоренное восходящее движение»**.

Преимущество ракетоплана по сравнению с обычной ракетой состоит в том, что **окислитель для сжигания горючего в камере сгорания берется из воздуха**, чем достигается значительное повышение энерговооруженности аппарата.

Первые работы Циолковского по ракетодинамике, написанные в дореволюционной России, не получили поддержки со стороны правительства и «официальной» науки. Его выдающиеся идеи о ракетах дальнего действия считались беспочвенными фантазиями и дилетантством.

Циолковского постигла судьба многих ученых и изобретателей царской России. В 1913 г. во Франции появилась работа французского инженера Эсно Пельтри «Соображения о результатах безграничного уменьшения веса моторов», в которой излагались некоторые формулы ракетодинамики. В этой статье

* Реактивный аэроплан; см. наст. книгу, стр. 376—377.

** Восходящее ускоренное движение ракетоплана. Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 64, л. 1.

фамилия Циолковского даже не упоминалась. В 1919 г. профессор Годдард в Америке написал работу по теории прямолинейных движений ракет, где еще раз была получена формула Циолковского и поставлена задача об отыскании оптимального режима вертикального подъема ракеты. Годдард ни одной строчки не посвятил результатам Циолковского, хотя к тому времени вышло в свет несколько работ Константина Эдуардовича, опубликованных в виде брошюр и статей в журналах.

В 1923 г. Оберт в Германии широко популяризировал идею космической ракеты и также не считал нужным привести вычисления и проекты Циолковского, хотя во многих случаях результаты Оберта лишь повторяют опубликованные на 20 лет раньше труды Циолковского. Только благодаря настойчивости многих русских инженеров и ученых и большого числа полемических статей в советской прессе Оберт в частных письмах к Циолковскому признал его приоритет в разработке ракет для космических полетов.

Приоритет Циолковского в создании основ динамики полета ракет доказывается чрезвычайно просто сравнением соответствующих страниц опубликованных работ. Как мы указывали, первая зарубежная работа Эсно Пельтри была опубликована только в 1913 г., т. е. спустя десять лет после первой работы Циолковского.

Успехи советского ракетостроения, запуски первых советских искусственных спутников Земли и космических кораблей заставили многих деятелей науки и культуры Запада пересмотреть неверные оценки достижений русской и советской научной мысли. В наши дни можно указать на целый ряд фундаментальных зарубежных изданий по вопросам ракетной техники, в которых даются подробные и объективные оценки работ К. Э. Циолковского*. Его имя стоит в первом ряду зачинателей теории полета ракет и межпланетных путешествий.

В работах по ракетодинамике, собранных в этой книге, каждый внимательный читатель увидит подлинного новатора, создателя новых методов исследования, смелого и оригинального теоретика.

Именно Циолковский дал ракетодинамике тот широкий революционный размах и глубину заключений, которые характерны для бессмертных творений человеческого ума. Это есть бесспорный вклад отечественной науки в сокровищницу человеческой культуры.

VII

После Великой Октябрьской социалистической революции условия жизни и работы Константина Эдуардовича совершенно изменились. В 1919 г. он был избран членом Социалистической

* См. например, Ehrlicke K. A. «Space Flight», vol. I, New-York, 1960.

академии*. Ему была назначена персональная пенсия. Комиссия по улучшению быта ученых взяла на себя заботу о Циолковском, обеспечив ему нормальные условия жизни в тот трудный и напряженный период гражданской войны.

Правительственные и общественные организации нашей страны стали оказывать помощь Циолковскому в издании его работ. За 1917—1935 годы было издано в 4 раза больше статей, брошюр и книг Циолковского, чем за весь предшествующий период его деятельности. За 7 лет, с 1925 по 1932 год, было опубликовано около 60 работ Циолковского, посвященных физике, астрономии, механике и философии. Повседневное внимание партии и советского правительства к научно-исследовательской работе Константина Эдуардовича способствовало широкой популяризации и признанию его работ. По существу, тот колоссальный прогресс ракетной техники (особенно в области баллистических ракет), свидетелями которого мы все являемся, был начат в конце XIX столетия К. Э. Циолковским и в значительной степени подготовлен исследованиями самого Константина Эдуардовича и его многочисленных последователей в 30-х и 40-х годах нашего века.

Группы по изучению реактивного движения (ГИРД) были организованы в Москве и Ленинграде. Инженеры ГИРД имели тесную связь с Циолковским и в ряде случаев советы Константина Эдуардовича легли в основу первых планов научно-технических исследований по ракетной технике в этих группах. Коллективы ученых, изобретателей и инженеров, работая под идейным руководством Циолковского, добились результатов первостепенного научного и технического значения. Циолковский перестал чувствовать себя одиноким.

Великая Октябрьская социалистическая революция была той могучей силой, которая вдохнула в 60-летнего Циолковского новые творческие дерзания. Его талант выявился во всем могуществе и блеске. Он предстал перед современниками как зачинатель новой области человеческого знания, новой науки, новой техники в промышленности.

Полеты ракет наблюдали многие и до Циолковского. История говорит нам, что первые ракеты были построены более тысячи лет назад. И, однако, никто из строителей ракет, никто из многих миллионов людей, наблюдавших фейерверки и иллюминации, не пришел к созданию новой науки — теории полета ракет. Более того, пороховые ракеты были предметом внимания значительного круга высококвалифицированных военных специалистов в середине XIX столетия, но все же **теории реактивного движения до работ Циолковского не существовало.**

* Социалистическая академия была организована в июне 1918 г. В 1923 г. она была переименована в Коммунистическую академию, основные институты которой в 1936 г. были переданы в Академию наук СССР.

Все величие таланта Циолковского, вся его творческая самобытность и оригинальность проявились во всем блеске именно в задачах изучения движения ракет, где многие не видели ничего достойного внимания.

Умение выявить всю важность исследования полета ракет как тел переменной массы в условиях экономического и научного уровня развития России начала XX столетия представляется нам выдающимся явлением. Расширить границы познания, проложить новые пути исследования и дать результаты классической ясности и простоты мог только человек выдающегося дарования.

В работах Циолковского математические формулы и расчеты не загораживают ясных технических идей, сформулированных оригинально и четко. Как во всяком бессмертном произведении, для которого проверка временем лишь выявляет и подчеркивает величие идей, внимательный читатель почувствует в статьях Константина Эдуардовича ту могучую народность творчества и высокую мудрость проникновения в закономерности природы и техники, которые свойственны классическим сочинениям.

В своем известном письме в ЦК ВКП(б) Циолковский писал: «Все свои труды по авиации, ракетоплаванию и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды»*.

Можно смело сказать, что научное наследство К. Э. Циолковского, переданное большевистской партии и Советской власти, не хранится так, как «архивариусы хранят старую бумагу». Советская наука преумножает научные достижения создателя ракетодинамики. Революционный размах и большевистская деловитость при решении новых проблем, воспитанные Коммунистической партией у советских людей, — залог успешного осуществления самых дерзновенных мечтаний Циолковского.

VIII

Я прочитал почти все написанное К. Э. Циолковским по философии, социальным проблемам, естествознанию, ракетной технике и мне хочется высказать еще несколько мыслей о своеобразии творческого стиля и методов работы этого выдающегося ученого, мыслителя и Человека.

Он был неистовым мечтателем. Его душа кипела множеством идей. Он размышлял об источниках колоссальной энергии Солнца, о законах движения ракет, о создании цельнометаллических дирижаблей и аэропланов, о новых формах государственного устройства, о межпланетных искусственных островах, населенных смелыми потомками людей, уже превративших своим трудом нашу планету в цветущий сад, о новом научном интерна-

* Газ. «Правда» от 17 сент. 1935 г., № 257.

циональном языке, вместо средневековой латыни, и множестве других вопросов.

Строгий математический анализ — число — обуздывали эти полеты фантазии. Девизом его исканий был научный расчет, который шествовал за мечтой, фантазией, сказкой.

Он стремился показать своим современникам новые, неизведанные пути научных исканий, новые неоткрытые миры, новые человеческие отношения, иную жизнь. Он тревожил умы, звал к созиданию, возбуждая желание размышлять, искать, творить. Он был могуч в своих свершениях, но и заблуждениях. Он обаятелен в своей страстной и горячей вере в силу разума, силу науки, силу неукратимого стремления человека к лучшему.

Он учился созидая. Нередко тернистыми путями приходил к открытому ранее другими, но его неудержимо увлекал процесс интеллектуального творчества. Радость созидания согревала и питала его воображение.

Многие ученые его не понимали. Он публиковал свои статьи в журналах, мало читаемых научными деятелями. Его больше знали инженеры-изобретатели, люди, чуткие к новому, неожиданному. В те дни для большинства ученых был неактуален сам предмет исследований Константина Эдуардовича. С «общего согласия» ракеты были похоронены в восьмидесятых годах XIX столетия. Ленивым и холодным умом казалось, что Циолковский пишет о несбыточном, уже отвергнутом ходом истории. Форма и стиль его статей часто раздражали педантов. Русифицированные обозначения, применявшиеся Циолковским для записи привычных со школьной скамьи формул, считали блажью умирающего славянофильства. Отсутствие ссылок на опубликованные результаты предшественников многие называли гордыней и игрой в гениальность.

Горестная жизнь почти всех дореволюционных открытий Циолковского поднимала в душе его бурю протестов. Он мысленно листал великую книгу истории науки и сравнивал свои открытия с открытиями великих мужей естествознания и техники. Ему импонировали многие сравнения и аналогии. Он говорит в предисловии к работе «Ракета в космическое пространство»: ...«Ламарк написал книгу, где разбирал и доказывал постепенное развитие существ от низших организмов до человека. Французская академия во главе с знаменитым Кювье изымалась над этой книгой и публично приравнивала Ламарка к ослу. Галилей был пытан, заключен в тюрьму и принужден с позором отречься от своего учения о вращении Земли. Только этим он спасся от сожжения. Кеплер сидел в тюрьме. Бруно сожжен за учение о множестве миров и за отказ от суеверий. Французская академия отвергла Дарвина, а русская — Менделеева. Колумб, после открытия им Америки, был закован в цепи. Майер был доведен измывательством ученых до сумасшедшего дома. Химик

Лавуазье был казнен... Не перечислить сожженных и повешенных за истину. История переполнена фактами такого рода. И почему это академиям, ученым и профессионалам суждено играть такую жалкую роль гасителей истины и даже ее карателей?»*.

Циолковский, после 1917 года, в резких выражениях писал о слепоте официальной дореволюционной науки к новому и ее приверженности к дряхлеющему, канонизированному. Он понимал, что находится в первых рядах зачинателей великого и ему хотелось открыть всем глаза на те богатства, которые ежедневно стояли перед его умственным взором.

Условия творчества Константина Эдуардовича были ужасными даже для царской России. Мизерная зарплата. Большая семья. Тесная и неудобная квартира. Пожары и наводнения неоднократно уничтожали почти все рукописи и черновые расчеты. Он не имел ни в Боровске, ни в Калуге необходимой научной литературы. О журналах (текущей научной периодике) можно было только мечтать. Грубые насмешки обывателей провинциальной России были единственным поощрением ученому. Вряд ли способствовали продуктивности работы почти ежедневные жалящие уколы коллег-преподавателей, готовых придрасться к мельчайшему методическому нововведению в преподавании. Все недовольны тем, что бедняк Циолковский печатает на собственные средства научные статьи и рассылает их бесплатно. Мне кажется, что глухота спасла от тины «благонамеренного и толстокожего» мешанства величие этого человека. Содержание научных статей Циолковского в дореволюционной Калуге понимали максимум десять человек.

Он писал профессору Н. А. Рынину в 1926 году, характеризуя дореволюционные условия своего научного творчества: «Книг было тогда, вообще, мало, и у меня в особенности. Поэтому приходилось больше мыслить самостоятельно и часто идти по ложному пути. Нередко я изобретал и открывал давно известное. Я учился творя, хотя часто неудачно и с опозданием... Зато я привык мыслить и относиться ко всему критически. Впрочем, самобытность, я думаю, была в моей природе. Глухота же и невольное удаление от общества только расширили мою самодеятельность»**.

Он не владел всеми тонкостями математической техники XX века. Применимый им в работах математический аппарат очень прост и доступен каждому изучавшему обычный вузовский курс высшей математики. Но он видел суть многих явлений и не боялся ошибаться при попытках овладеть новыми закономерностями.

* К. Э. Циолковский. Ракета в космическое пространство, 1924, стр. IV.

** Н. А. Рынин. К. Э. Циолковский — его жизнь, работы и ракеты. Л., 1931 г., стр. 10.

Математическая техника и символика — это нечто вроде нотной грамоты или правил стихосложения. Можно великолепно объяснять, какие аккорды и последовательности аккордов заложены в менуэтах Гайдна и Моцарта, но не уметь написать самостоятельно ничего. Можно по-разному трактовать структуру стихов и Пушкина, и Блока, и Есенина, но с грустью убеждать, что в этих знаниях нет ни на грош истинной поэзии. Вы можете воспроизводить на память все чудесные открытия по математике, сделанные до Вас, но не уметь применить их к самому простому реальному делу. Есть какой-то логически неуловимый скачок в нашем сознании, когда мы начинаем идти от известного к неизвестному, когда открытое великими предшественниками не мешает Вам видеть в этом мире новое, еще не открытое, бывшее до Вас незамеченным.

Самое трудное в научном воспитании состоит в том, чтобы обучающийся не попадал под обаяние известных, часто более могущественных, предшественников, а сохранял творческое, свое понимание действительности.

Циолковский не любил просматривать до деталей пути-дороги предшественников. Он обычно быстро схватывал «изюминку» нового в любой научной работе, а доказательства придумывал сам. Поэтому даже известные в науке результаты изложены у Циолковского по-своему, неожиданно, свежо, оригинально. Он умеет мечтать и видеть «обольстительные и важные перспективы» ракетной техники, он **мудр и точен в своих формулировках и выводах, он тревожит ум и находит дорогу к самому лучшему в вашем сердце, когда ставит новые проблемы.**

Можно обучить математической технике. Познать созданное другими — это только терпение. Но едва ли можно научить создавать великое. Польза самой лучшей научной школы состоит в том, что она дает возможность пробудить и усовершенствовать природные данные, если они хороши, но никакая научная школа не может заменить недостающие способности, не может выработать проницательности и остроумия — если их нет.

Он имел выдающиеся способности, проницательный взгляд на явления природы, колоссальную силу воли и терпение.

Я не хотел бы писать, как писал он, но я мечтаю открыть для людей хотя бы небольшую часть того, что открыл он.

Характерной чертой большого исследователя является уверенность в новых, едва заметных и уловимых для современников направлениях технического развития общества. Правильное предвидение путей прогресса, полное понимание устремлений общественного развития дают ученому великую уверенность в победе тех новых идей, которые высказываются впервые часто в логически несовершенной форме. Г. В. Плеханов в известной статье «К вопросу о роли личности в истории» указывает, что вполне правильно называть великих людей начинателями. Это

очень удачное название. Великий человек является именно начинателем, потому что он видит дальше других и хочет сильнее других. Он решает научные задачи, поставленные на очередь предыдущим ходом умственного развития общества; он указывает новые общественные нужды, созданные предыдущим развитием общественных отношений.

Именно таким великим начинателем и является К. Э. Циолковский.

IX

В данном издании публикуются все основные работы К. Э. Циолковского по ракетодинамике и теории межпланетных путешествий, вошедшие во II том Собрания его сочинений. Работы Константина Эдуардовича расположены в хронологическом порядке. Важнейшее научное значение имеют статьи Циолковского под общим названием «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Эти статьи печатались в различных изданиях в разное время, и вследствие этого в них имеются повторения важнейших результатов, а обозначения в математических формулах не согласованы. В настоящем издании в этом цикле статей произведена унификация обозначений, причем в качестве исходных взяты, как правило, обозначения первой статьи Циолковского 1903 года.

Следует также указать, что с момента выпуска в свет II тома Собрания сочинений К. Э. Циолковского (реактивные летательные аппараты), изданного Издательством АН СССР в 1954 г., существенная работа была проведена сотрудниками Московского отделения Архива Академии наук СССР. Были найдены подлинники рукописей, подготовленные к печати Циолковским, тексты которых и приняты в данном издании. Кроме того, текстологическая работа, проведенная сотрудниками Института истории естествознания и техники АН СССР, позволила установить, что тексты, опубликованные в Собрании сочинений 1954 г., базировавшиеся на предыдущих изданиях произведений К. Э. Циолковского (1934 и 1947 гг.), в ряде случаев имели неоправданные купюры и редакционные изменения.

Учитывая новые данные, Комиссия по изданию трудов К. Э. Циолковского решила всюду исходить из текстов первых публикаций соответствующих работ Циолковского или из текстов, находящихся в архиве и подписанных Циолковским, причем в примечаниях указывается, какой текст принят за основу в данном издании.

Подготовка текста была произведена сотрудниками Института истории естествознания и техники АН СССР И. В. Баландиной, В. Ф. Буравлевым, И. У. Калининим, В. К. Кузаковым и Н. И. Рогачевой под руководством кандидата технических наук С. А. Соколовой.

Мы стремились максимально бережно относиться к оригинальному тексту научных статей Циолковского, сохраняя его своеобразную манеру выражений, единую нумерацию абзацев и формул, полемические замечания и, может быть, преувеличенные оценки некоторых научных достижений.

Целый ряд научных данных, приводимых в статьях Константина Эдуардовича, устарел (например: данные о верхних слоях атмосферы, аэродинамических силах при трансзвуковых и сверхзвуковых скоростях полета, ядерной энергии и др.), на что редактор этой книги обращает внимание читателей краткими примечаниями. Некоторые из утверждений Циолковского, относящиеся к условиям жизни человека на межпланетном корабле, его суждения об общественном устройстве межпланетных поселений и ряд высказываний по биологии являются или опровергнутыми развитием науки, или весьма спорными. В двух-трех местах мы дали соответствующие примечания и в нескольких местах допустили незначительные купюры в тексте.

В небольшом числе случаев мы уточнили термины, относящиеся к ракетной технике, дабы избежать более пространных примечаний.

При подготовке к печати данного издания большую помощь оказали мне ученый секретарь Комиссии по разработке научного наследия и подготовке к изданию трудов К. Э. Циолковского инженер Б. Н. Воробьев, а также кандидат технических наук В. Н. Сокольский, которым приношу мою глубокую благодарность.

Собранные в этой книге работы К. Э. Циолковского по ракетодинамике и теории межпланетных сообщений были исторически **первыми** серьезными изысканиями в мировой научно-технической литературе. Большой опыт советских ракетостроителей, полученный при создании межконтинентальных и космических ракет, лишь подчеркивает глубину открытого и грандиозность замыслов Константина Эдуардовича. **Его труды помогают осуществлять новые дерзания советской науки и техники.**

Наша Родина может гордиться своим великим ученым — начинателем новых направлений в науке и промышленности.

Профессор А. А. Космодемьянский

Свободное пространство*

Определение своб[одного] простр[анства]

20 февраля 1883 г.

Воскресенье

Свободным пространством я буду называть такую среду, в границах которой силы тяготения или совсем не действуют на наблюдаемые тела, или действуют весьма слабо в сравнении с земной тяжестью у ее поверхности (с тяжестью, которую испытываем мы — люди).

Наблюдаемые тела, помещенные в свободном пространстве, естественно назвать свободными. Такая среда теоретически может и не иметь границ, в таком случае я назову ее безграничной. Существование свободного пространства кажется невысказанным в действительности, потому что силы тяготения не могут быть устранены.

Распространенность своб[одного] простр[анства]

Но на основании законов же тяготения я объясню, что такая среда приблизительно может быть получена искусственно в мире и даже на нашей Земле.

Мало того — она не только может быть получена, но даже существует в действительности и не в виде исключения, но я сейчас докажу, что большая часть видимого нами звездного пространства есть приблизительно пространство свободное. Звезды помещены в своб[одном] простр[анстве], и большая часть мирового простр[анства] — есть пространство свободное.

* Эта работа является первой законченной монографией К. Э. Циолковского по межпланетным сообщениям. Написана она была в 1883 г. Впервые опубликована в Собр. соч. К. Э. Циолковского, т. II. Изд-во АН СССР, 1954. (Ред.).

Представим себе мировое пространство, усеянное звездами и планетами.

Наблюдения астрономов показывают (последующие числа взяты из популярной астрономии Араго), что скорость, с которою движется центр тяжести Солнечной системы, составляет около 8 км/сек .

Движения других звезд также не очень многим отличаются от движения нашего Солнца. Так, наибольшая из замеченных скоростей — скорость Арктура составляет приблизительно 80 км/сек .

Если бы скорость Арктура никогда не изменяла своей величины и направления, то из этого можно [было] бы заключить, что Арктур движется по инерции и что на него не действует тяготение окружающих звезд. Или, может быть, тяготение одной части звезд уничтожает притяжение остальной противоположной части звезд.

В последнем случае пространство Арктура можно назвать средою уравновешенных сил тяготения.

Явления этой среды совершенно те же, что и явления среды, совсем лишенной тяготения. Поэтому и в таком случае можно сказать, что пространство Арктура — свободное пространство. Но, может быть, Арктур не движется равномерно, может быть, он даже несколько тысяч лет тому назад совсем был неподвижен и только влияние звезд сообщило ему скорость в 80 км/сек ! В таком случае нужно допустить, что равнодействующая сил тяготения звезд не равна нулю, а имеет некоторую величину.

Определением этой величины я и займусь. Если эта равнодействующая имеет какую-нибудь определенную величину, то, по крайней мере, в продолжение нескольких тысяч лет величина и направление этой равнодействующей не могли измениться. Действительно, угловые положения звезд с древних времен почти не изменились, так что и равнодействующая сил, истекающих из этих звезд, также не могла изменить ни своего направления, ни напряжения.

Итак, в продолжение нескольких тысяч лет (допустим 3 тыс.) на Арктур действовала постоянная сила тяготения, которая сообщила ему скорость не более 80 км/сек . [Предполагая это ускорение постоянным, нетрудно его вычислить и сравнить с ускорением тел у земной поверхности].

Ускорение Арктура в 1 сек равно $80 \cdot 1000 : (3000 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)$, т. е. около $1/1\,000\,000 = 0,000001 \text{ м/сек}^2$.

Ускорение же тела у земной поверхности составляет около 10 м/сек^2 . Последнее больше первого в $10 : 1/1\,000\,000 = 10\,000\,000$.

Следовательно, земная поверхностная тяжесть в десять миллионов раз больше той тяжести, которая приводит в движение Арктур.

Но, по всей вероятности, на Арктур действует почти постоянная сила, почти по одному направлению уже миллионы или триллионы лет, и, следовательно, величина этой силы в миллиарды раз меньше земной тяжести у поверхности.

Действие тяготения на другие звезды гораздо слабее его действия на Арктур, который, может быть, находится близ какой-нибудь звезды. Так, [скорость] движения Солнца, я уже говорил, составляет около 8 км/сек.

Итак, большинство небесных тел (звезды) помещены в пространстве, где они почти предоставлены самим себе, потому что влияние на них окружающих звезд чрезвычайно слабо.

Таким образом, мировое пространство есть свободное пространство, а звезды — тела свободные.

Конечно, с миллионами лет должно обнаружиться влияние их друг на друга, криволинейность их путей — верный признак влияния сил тяготения, но в продолжение нескольких веков их движения не могут заметно отличаться от тех движений, которые бы они совершали, если бы были помещены в свободном пространстве.

Хотя звезда, рассматриваемая как целое, и помещена в свободном пространстве, но нельзя того же сказать про части этой звезды, которые имеют более или менее значительное притяжение друг к другу.

Так, тела, лежащие на поверхности Солнца, помещены в среде, тяготение которой в 28 раз больше земного.

Вообще сила тяжести заметно обнаруживается только на телах, находящихся от поверхности звезды на расстоянии не очень большом в сравнении с радиусом звезды. С удалением же посторонних тел от центра она быстро ослабевает. Так, на расстоянии от центра звезды в тысячу радиусов сила ее притяжения уменьшается уже в 1 000 000 раз сравнительно с поверхностным притяжением звезды.

Межзвездные же расстояния огромны не только в сравнении с поперечниками небесных тел, но даже в сравнении с тысячами этих поперечников; так что понятно, объем среды едва заметного или даже вовсе незаметного тяготения (по отношению к земной тяжести) во много раз превышает объем среды заметного притяжения.

Место в природе для наблюдений явлений своб[одного] прост[ранства]

Вообразим, что одна из звезд, напр[имер] Сириус, исчезла без следа, и на место этой звезды явилась группа тел, сумма масс которых составляет не более тысячи или миллиона тонн. В таком случае взаимным притяжением их можно пренебречь; ежедневный опыт на Земле не показывает, насколько незначительно это

притяжение,— он показывает только, что оно незаметно или ничтожно.

В теорию же тяготения пока нет надобности вдаваться. Таким образом, группа взятых тел будет находиться в свободном пространстве.

Вместо того чтобы уничтожать и притом без следа звезду, мы можем нашу группу поместить где-нибудь между звездами — только подальше от их поверхностей, так чтобы из этой группы все небесные тела и, между прочим, наше Солнце казались маленькими звездочками. Этот способ отыскать себе местечко для наблюдений явлений свободного пространства гораздо естественнее предыдущего.

Можно даже и не создавать желаемую группу между звездами, потому что, несомненно, такие группы в бесчисленном множестве рассеяны по всему мировому пространству, и мы можем выбрать любую — стоит только поискать. Разве поиски могут быть трудны? Ну в этом лежит гипотеза.

Даже у нас, близ земного пути, вокруг Солнца вращается множество таких групп, что доказывается частым прохождением аэролитов через земную атмосферу. Если мы не видим их в телескопы вне Земли, на некотором удалении от нее, то единственно только по их малости.

Мы замечаем факт в Солнечной системе: Солнце одно, планет * больше (8), спутников еще больше, астероидов еще больше (500) *, камней (аэролитов) бесчисленное множество, потому что эти камни пролетают иногда через одну земную атмосферу в одну ночь в таком количестве, что вид их напоминает падающий снег.

Вообще, чем меньше величина небесных тел, тем большее число их мы видим. Если солнц в мире так много, то тем более должно быть много планет и еще более астероидов — маленьких планеток,

Это все тела, близкие к Солнцу и подверженные его притяжению! Но разве кометы не приходят к Солнцу из бесконечности и не уходят от него в бесконечность, совершенно освобождаясь от влияния тяготения!

Кометы же состоят отчасти из группы тел. Так что могут и твердые, плотные тела описывать параболы или гиперболы и, следовательно, удаляться от Солнца в бесконечность, чтобы вечно бродить по прямой линии в свободном пространстве.

* По современным данным: планет 9, спутников 29 и астероидов до 1600. (Ред.).

Практическая важность явлений] свобод[ного] простр[анства]

Я прежде постараюсь как можно проще и ярче изложить явления, свойственные свободному пространству.

Если я выбрал для этого несколько далекое место, то вовсе не потому, что явления, свойственные свободному пространству, больше нигде нельзя встретить. Хотя свободное пространство и существует только в междузвездном пространстве, но явления, совершенно одинаковые с явлениями свободного пространства (что я покажу в разных местах этого сочинения), не только встречаются на каждом шагу в нашей Солнечной системе, но даже близ земной поверхности и на самой этой поверхности, под самым нашим носом. Мы увидим, что каждый человек бывал в относительном свободном пространстве в продолжение полсекунды. Хотя многие из этих испытавших не имеют ни малейшего понятия о явлениях свободного пространства.

Картина места

Мы в междузвездном пространстве, откуда все солнца кажутся более или менее блестящими звездами, откуда из всех тел нашей Солнечной системы видно только Солнце в виде тусклой звездочки, куда световой луч от нашей Земли (если допустить, что она видна через необыкновенные телескопы) доходит лет через сто; так что через эти чудесные телескопы, направленные на поверхность Земли — на Европу, мы видим события Французской революции и затем лет через двадцать — нашествие Наполеона со своей армией на Европу.

Взгляните кругом — вы не увидите наше прелестное голубое или темно-синее небо в виде полушара с рассеянными кое-где светлыми облаками. Вы не увидите также наше ночное небо с мигающими, как бы живыми, звездами. Нет.

Вы увидите мрачный, черный, как сажа, полный (а не полусферу, не свод) шар, в центре которого, вам кажется, помещены вы. Внутренняя поверхность этого шара усыпана блестящими точками, число которых бесконечно больше числа звезд, видимых с Земли. Каким мертвым, ужасным представляется это черное небо, блестящие звезды которого совершенно неподвижны как золотые гвозди в церковных куполах! Они (звезды) не мерцают, как кажется с нашей планеты, они видны совершенно отчетливо. Впрочем, чернота кое-где кажется, как будто, чуть позолоченной. Это — туманные пятна и Млечный путь, который в виде светлой широкой полосы идет по большому кругу черного шара.

Если бы нам позволили выбирать, то мы могли бы выбрать даже такую точку мира, из которой вид еще мрачнее.

Сейчас мы глядим из точки, взятой внутри нашего Млеч-

ного пути, вид которого — диск или кольцо и сущность которого состоит из отдельных звезд. Млечный путь не один — таких кружков множество*; они представляются с Земли маленькими туманными пятнышками, иногда видимыми только в телескоп.

Если перенестись к одному из этих туманных пятнышек, то пятнышко представится состоящим из множества звезд и Млечного пути. Наш же Млечный путь покажется оттуда туманным пятнышком.

Мы выберем точку вне каждого из этих звездных дисков. Тогда мы не увидим уже отсюда блестящих точек звезд; мы увидим только черноту и туманные — белесоватые или золотистые — пятна, каждое из которых есть Млечный путь.

Но это уже слишком: я предпочитаю выбрать звездное небо. (Заметим, что некоторые туманные пятнышки могут быть действительными туманностями вроде кометных, потому что сильнейшие телескопы не открывают в них отдельных звезд).

23 февраля

Выбор почвенника

Итак, мы там. При наблюдении явлений приходится перемещать наблюдаемые тела; а при перемещении тел нужно на них давить; а когда вы на него давите, и оно на вас давит; а когда оно на вас давит, вы передвигаетесь по направлению его давления, передвигаетесь вместе с телом, которое вам служит опорой и которое я буду называть почвенником.

Передвижение почвенника, к которому относятся явления, представляет неудобство, для устранения которого необходимо его сделать неподвижным, независимым от движения наблюдаемых тел и наблюдателей, которые должны иногда иметь в нем опору; в противном случае мы будем наблюдать явления, отнесенные к подвижному почвеннику, т. е. в таком случае мы будем наблюдать не абсолютные, но относительные явления.

К чему же прибить или прикрепить наш почвенник? К другому телу. А его к чему?

У берега на тихом неволнующемся море неподвижно стоят лодка и пароход. Спрыгните с непривязанной лодки на берег, — лодка тихо задвигается и отплывет от берега; спрыгните с парохода, движение его труднее заметить, но и он с течением времени подастся несколько от берега.

Подпрыгните над Землею хоть на один фут. Вы думаете, что она не приобрела или не изменила своего движения пока вы находились в воздухе? Можно теоретически точно определить ту скорость, которую она приобретает от вашего толчка или прыжка. Но, конечно, эта скорость, это движение в миллиарды миллиардов раз меньше той, которую приобрели вы сами упругостью ваших ножных мускулов.

* Надо сознаться, что это только гипотеза.

Если наш почвенник будет иметь массу, довольно значительную в сравнении с массою наблюдателей и наблюдаемых тел, то его можно считать неподвижным практически, как неподвижная стоячая барка в стоячей воде, на которой (барке) расхаживают люди.

Если мы возьмем для почвенника чугунный шар, имеющий в поперечнике 100 м, то сила тяжести у его поверхности (на основании известных коэффициентов притяжения) будет в 100 000 раз меньше земной тяжести у поверхности.

Таким притяжением можно пренебречь и такой почвенник можно считать неподвижным от действия на него таких масс, как масса в 100 или 1000 раз большая массы человеческого тела.

Впрочем, сила притяжения зависит не от массы только, но и от формы, от расположения этой массы, от ее вида и ее плотности. Можно строго доказать, что произвольно большая масса может оказывать на наблюдаемые тела произвольно малое притяжение.

Притяжение нашего чугунного шара иногда может более или менее нарушать строгость явлений чистого свободного пространства.

Можно выбрать другую форму громадной массы (что полезно и для большей устойчивости, неподвижности почвенника) и вместе с тем почти бесконечно ничтожного притяжения. В главе о ньютонском тяготении это будет разъяснено.

Хотя, для простоты, я и беру почвенник в виде чугунного шара или даже куба, но во всяком случае при последующем описании явлений свободного пространства я буду разумеать строгое свободное пространство, а не среду притяжения, которой в сущности нельзя вполне избегнуть.

Свободное пространство есть предел, к которому натуральные явления могут быть только более или менее близки, могут даже казаться совершенно совпадающими, но это опять только результат несовершенства или кратковременности наблюдения.

Явления неподвижности одного или нескольких тел

Тело называют неподвижным, если все его части неподвижны. Если только три точки твердого тела, не лежащие на одной прямой, неподвижны, то и все остальные его точки также будут неподвижны.

Чтобы на Земле тело было неподвижно (конечно, по отношению к Земле), необходимо, чтобы его поддерживало другое неподвижное тело, в противном случае наблюдаемое тело начинает ускоренно двигаться к центру Земли.

Наблюдаемое тело и опорное тело, т. е. то, которое делает первое неподвижным, дают друг на друга с одинаковой силой по противоположному направлению.

Ускоренное движение наблюдаемого тела или, лучше сказать, способность его к ускоренному движению, есть причина этого взаимного давления; если бы способности к ускоренному движению не было, то и давления бы не было.

Давление на Землю заставляет падать или разрушаться сгнившие столбы, балки и деревья, непрочно устроенные здания, наклонившиеся стены и колонны. Оно ломает стул, на котором я сижу. Это давление препятствует давать зданиям и другим сооружениям желаемую высоту и произвольно прихотливую форму.

Действительно, тяжесть заставляет давать стенам и столбам вертикальное направление и тяжесть родила строительное искусство.

Тяжесть препятствует мне поставить карандаш на его острие.

Я покажу в своем месте, что она более или менее ограничивает размер растений и животных и даже высоту планетных гор.

Она служит причиною того, что большинство громадных небесных тел, Солнце, звезды, планеты и спутники имеют почти совершенно правильную форму шара.

24 февраля

В свободном же пространстве наблюдаемое тело никогда не стронется само собой со своего места, если только оно в какой-нибудь момент было неподвижно. Раз оно неподвижно — и вечно (без влияния силы) останется неподвижным. Например, если наблюдаемое тело, будучи в какой-нибудь момент времени неподвижным, находится от почвенника на расстоянии одного миллиметра, то сколько бы ни прошло времени, оно всегда будет находиться на этом расстоянии. Поэтому в свободном пространстве наблюдаемое тело не давит на опору и — обратно.

Поэтому, если бы в свободном пространстве нужны были жилища, то, как бы ни были они велики, они не могли сами собой разрушиться от своей непрочности.

Целые горы и дворцы, произвольной формы и величины, могли бы держаться в пространстве без всякой поддержки и связи с опорой.

Если я стану на острие у поверхности Земли, то оно проколет мою ногу; если же это случится в свободном пространстве, то мое тело не будет давить на иглу, и там я могу стоять на острие штыка так же спокойно, как на ровном полу.

На Земле в руках я не удержу 4 пуда, а в свободном пространстве тысяча пудов несколько не отяготит мою руку или мой мизинец.

Осыпьте меня кругом бесчисленным множеством пятипудовых чугунных ядер, и они меня не раздавят, что непременно случилось бы на Земле.

Так как в свободном пространстве нет падения или, точнее, ускоренного движения по одному направлению, то человек

не нуждался бы там в опоре для предупреждения падения. Ему не нужны бы были ни полы, ни лестницы, ни стулья, ни кровати.

Всякое место свободного пространства может служить превосходной кроватью и превосходным стулом.

Так же не нужны бы были и столы, этажерки и прочее, потому что все предметы могли бы свободно держаться в пространстве без опоры или без соприкосновения с другими телами.

Тюфяки и подушки служат на Земле для того, чтобы давление человеческого тела от тяжести не было сосредоточено на одну или несколько его точек, но чтобы оно распространилось на возможно большую поверхность его тела; таким образом, посредством подушки давление на каждую точку тела делается ни большим, ни малым, а средним. В свободном пространстве, очевидно, не нужны ни подушки, ни тюфяки, всякое место его служит нежнейшей периной.

Там нет ни верху, ни низу, нет, например, низу, потому что низ есть та сторона, в которую тела ускоренно двигаются. Но при начальной неподвижности не лежащего и не висящего ни на чем тела этого никогда в свободном пространстве не может быть.

Поэтому там нет также вертикальных и горизонтальных линий и плоскостей. Гирька отвеса или плотничего ватерпаса не натягивает нить ни в каком направлении и торчит даже совершенно бестолково. Нет там пропастей и гор. В пропасть не падает камень и не срывается неосторожное животное, а с горы он не скатывается, и животное не скользит. Как над Землей висит месяц и не падает на Землю, так человек может висеть покойно над ужасной, для жителей Земли, пропастью, висеть, конечно, без веревки, как парящая птица, но только без крыльев, как уравновешенный аэростат.

Пропасти и горы уже не представляют препятствий для перемещения. Также и заборы, выстроенные человеком. Там нельзя сказать — я поднимаюсь, я опускаюсь, я выше, вы ниже; нельзя сказать нижний этаж, высокое дерево. Там уже не привязал бы себя маляр к трубе веревкой из боязни поскользнуться, упасть на мостовую и расшибить череп или вывихнуть член.

Там маятник не качается и часы не ходят. Но время можно отлично узнавать посредством карманных часов или, вообще, посредством часов, у которых маятник качается не силою тяжести, а упругостью стальной пружины.

На Земле человек днем принимает по преимуществу вертикальное или сидячее положение, а ночью — горизонтальное. Но с течением времени всякое положение его утомляет, в особенности стоячее. А в свободном пространстве невозможно определить — стоит человек или лежит, стоит он кверху ногами или как следует, поднял он руки или опустил.

Все возможные положения его совершенно для него безразличны по своим результатам; ни одно его не утомляет, или все утомляют совершенно одинаково.

В свободном пространстве можно только говорить, и это уже не безразлично: тело имеет такой-то размер, субъект распрямился, согнулся, скрючился, вытянул руки перпендикулярно к направлению выпрямленного тела.

Моими ногами я касаюсь почвенника, который на этот раз имеет вид плоскости. Если я буду до него касаться головой, при му перпендикулярное к почвеннику положение, то вид будет такой, как будто бы я стоял кверху ногами.

Но кровь моя не притечет с особенной силой к моей голове, лицо мое не делается багровым, жилы (вены) мои не растянутся, не переполнятся кровью, не посинеют, я не буду чувствовать мучительности или неудобства этого положения, как это случилось бы на Земле, если бы я стал кверху ногами.

Напротив, я буду чувствовать себя лучше, чем если бы я лежал на тонкой резиновой перине, наполненной вместо пуха воздухом.

Как там определить или назвать то или другое направление, принимаемое человеком или другим продолговатым предметом?

Вот Сириус или другая ближайшая к нам (к почвеннику) звезда ярко, но покойно, мертво без мерцания светится, посылая к наблюдателю свои лучи из черного неба.

Страшно в этой бездне, ничем не ограниченной и без родных предметов кругом: нет под ногами Земли, нет и земного неба! Человек может расположиться одинаково покойно, без нарушения равновесия, и по направлению лучей звезды — головой к звезде или ногами к звезде (вот два направления), и перпендикулярно к этим лучам, и наклонно.

Направление тут можно определять градусами, как определяют астрономы широту и долготу звезды.

25 февраля
Пятница

Нечто о неудоб[ствах] свободн[ого] пр[остранства]

Из этого описания видны преимущества свободного пространства.

Главное заключается в том, что постройки разного рода, а также постройки природы — организмы, могут принять произвольные размеры при произвольной их непрочности.

Еще много мне придется сказать в своем месте о преимуществах и неудобствах свободного пространства перед средой тяжести, в которой мы (люди) теперь живем.

Вот одно неудобство, один вопрос, который я теперь не решаю обстоятельно.

Я сказал что неодушевленный предмет в свобод[ном] простр[анстве], будучи раз неподвижен, всегда неподвижен. А человек или животное? Помогут ли им их органы, их двигательные члены, рожденные Землей, помогут ли им их члены сдвинуться с места, если нет кругом опоры? Ее и не нужно, чтобы быть в равновесии.

Но можно ли обойтись без нее, чтобы сдвинуть хоть на одну точку центр [тяжести] своего тела? Подумайте!

Я пока только, возбуждив любопытство, скажу: нельзя. В этом случае одушевленный предмет приравнивается по своей беспомощности неодушевленному.

Никакие страстные желания, никакие дрыгания рук и ног, дрыгания производимые, нужно сказать, крайне легко, ничто такое не в состоянии сдвинуть центр [тяжести человеческого тела].

Сказав о явлениях неподвижности и надавления тел в св[ободном] пр[остранстве], я буду теперь говорить как раз о движении в свободном пространстве.

Прямо[линейно]е равномерное движение в св[ободном] пространстве

Когда все точки какого-нибудь тела двигаются по прямым линиям и равномерно, т. е. когда все они (точки) в равные промежутки времени проходят равные пространства, или когда пройденное пространство пропорционально времени, то тогда такое движение тела я буду называть прям[олинейн]ым и равномерным.

Свободное тело, т. е. тело, помещенное в свободном пространстве, имея в какой-нибудь момент времени такое прямо[линейно]е равномерное движение, сохраняет это движение, без всякого изменения, неопределенно долгое время, т. е. это движение никогда, без влияния силы, ни ускоряется, ни замедляется, ни меняет свое направление.

Представим себе неподвижную Землю и железнодорожный поезд на всем ходу.

Рельсы прямы и параллельны, т. е. поезд двигается на плоскости. Движение поезда будет прямолинейным и равномерным. Допустим, что рельсы внезапно обрываются, и далее следует пространство без границ.

Если скорость поезда менее 11,17 км/сек, то наш поезд, сорвавшись в пропасть, опишет большой или малой величины эллипс, что заставит его сделать тяжесть и, ударившись о Землю, расшибется в прах.

Если же допустить, что за обрывом рельс следует свободное пространство, то как бы мало ни разъехался поезд, какую бы малую скорость он ни приобрел, он никогда ее (скорость) не

потеряет, он вечно будет носиться в свободном пространстве с одной и той же скоростью, по одному и тому же направлению; пассажиры его с каждой минутой будут все более и более удаляться от родной планеты.

При движении тела, даже на горизонтальной земной поверхности, поглощается более или менее порядочная работа вследствие трения, возбуждаемого земной тяжестью.

Эта работа пропорциональна пройденному пространству и, кроме того, во многих случаях очень увеличивается от увеличения скорости передвижения.

Так, движение корабля или рыбы в жидкости и движение аэростата или птицы в воздухе возбуждает сопротивление, пропорциональное, по крайней мере, квадрату скорости тела. Так же и работа тут при одном и том же пространстве пропорциональна квадрату скорости. Вот почему скорость передвижения земных тел так ограничена.

Трение о твердое тело и, следовательно, работа уменьшается посредством колес и смазки, но никогда не уничтожается совсем, так что какую бы скорость ни имело земное тело, как бы ни был гладок и горизонтален путь, по которому оно движется, как бы ни были верны и легки (хороши) колеса и оси,— тело непременно рано или поздно потеряет весь запас своей работы, всю свою скорость и остановится.

Чтобы оно не останавливалось, необходим постоянный расход сил. Например, пароход и паровоз при своем движении постоянно поглощают силу, или, точнее, работу, заключенную в дровах или угле. Животное же расходует свои собственные ткани: мускулы, жиры и проч.; они восстанавливают[ся] питанием.

На Земле путешествие кругом земного шара для желающего не только (даже теперь) очень продолжительно (три месяца), но и сопровождается расходами нескольких тысяч или, по крайней мере, сотен рублей и даже сопряжено с разного рода опасностями для жизни. В свободной же среде более громадные передвижения и несравненно быстрее не стоят ни полушки. Или, точнее, на переезд произвольно большого пространства по произвольно желаемому направлению только в начале движения затрачивается работа, величина которой зависит единственно от скорости и массы путешествующего свободного тела.

Да притом и эта потеря может быть получена обратно, по превращении движения или по окончании путешествия, так как в свободном пространстве движение тела превосходно сохраняется бесконечное время. Движение может совершаться по всем направлениям; и от почвенника, и к почвеннику, и параллельно, и перпендикулярно, и наклонно к его поверхности. Это не так, как на Земле, где пропасти, горы, непроходимые тропические леса и болота, море, покрытое движущимися горами льда, составляют, пока до развития воздухоплавания, непреодо-

лимые препятствия; где движение совершается большей частью по горизонтальной или малонаклонной к горизонту поверхности; где пространство движения ограничено, несносно, душно: сверху — небом, снизу — землей. Кверху не пускает тяжесть, а лустит — так немножко и погрозит сломать шею; снизу — не пускает Земля, которая от тяжести обваливается в прорытых дырах. Много и других проказ тяжести.

Как велико препятствие Земли, видно из того, что люди не проникают глубже 2 верст от поверхности.

26 февраля.
Вечер.

Картина передвижения

Представим себе в свободном пространстве несколько неподвижных почвеников, которые, положим, составляют селение обитателей космоса (так я назову существующих или несуществующих жителей свободного пространства) и которые (почв[енники]), может быть, отстоят друг от друга на сотни тысяч верст.

Обитателю космоса необходимо совершить переезд из того селения, в котором он находится, в соседнее или, положим, нужно переправить огромную массу какого-нибудь вещества, например жилище-дворец.

Тогда обитателю космоса вместе с его товаром и дворцом сообщают каким-нибудь образом (об этом буду говорить далее) некоторую желаемую скорость по направлению к другому селению, к которому и прибудет масса, двигаясь по прямой линии, без дороги и всякой опоры, без малейших толчков — так спокойно, как будто бы движения, может быть быстрого, как ветер, как молния, как движение Земли — и помину не было.

По окружающим телам (если они есть), находящимся в покое или имеющим другие движения, может только заметить обитатель космоса о своем собственном движении и движении своего экипажа.

Да и то вы, земной житель, не испытавший никогда такого мягкого движения, будете твердо убеждены в собственной неподвижности и в движении мелькающих кругом тел, хотя, может быть, они-то именно и неподвижны.

Мы так привыкли к нашему безобразному движению с громом и гамом, треском и толчками разного рода, что, наконец, эти самые, неестественные в другой жизни, толчки привыкаем считать за верный признак движения, без которого даже его, будто бы, и нет. Мы тысячи лет неслись по пространству в бесколесном экипаже со скоростью 27 верст в секунду, а может быть, и больше, без толчков и шуму. Но до Галилея и Коперника не замечали этого движения, потому что у нас не болела

спина. Вообще, когда движение совершается покойно, мы его или совсем не замечаем, или приписываем его окружающим предметам, например: берегам, когда едем на лодке. Движение Земли также долгое время (до Гал[илея] и Коп[ерника]) приписывалось не ей, а Солнцу и звездам. Легко ли убедить человека, что Земля вместе с его деревней катит быстрее его телеги. Он скажет: «где же признаки движения, которые я всегда замечал? Где стук и толчки?».

Свободный центр тела

Как сообщается в свободн[ом] простр[анстве] прямо[линейно]е — равномерное движение тела.

Во всяком теле можно отыскать опытом или вычислением одну точку, которую я буду называть центром инерции тела и которая совпадает с центром тяжести его; если на эту точку твердого и неподвижного (вначале) тела некоторое время действует одна или несколько сил произвольного направления и напряжения, то по окончании действия этих сил тело приобретает прямо[линейно]е равномерное движение.

Итак, вот способ сообщать прямо[линейно]е равномерное движение телам, находящимся в свободном пространстве.

Известно, что такое центр тяжести тела: тело, будучи укреплено в этой точке, но без потери способности вращаться вокруг этой точки, остается в равновесии или в неподвижности и при действии тяжести Земли или другой планеты, если только оно в какой-нибудь момент времени было неподвижно, т. е. не вращалось. На эту-то точку и может действовать совершенно произвольная сила или равнодействующая нескольких сил, чтобы тело по прекращении ее действия получило равномерное прямо[линейно]е движение.

27 февраля

Центр [инерции] большей части тел лежит внутри вещества данного тела; в таком случае нужно, чтобы сила действовала по направлению линии, проходящей через центр тела.

Например, чтобы шар приобрел прямо[линейно]е равномерное движение, нужно, чтобы сила действовала по направлению диаметра шара. Но иногда центр [инерции] тела может лежать на поверхности тела или даже, очень часто, вне этой поверхности. Например, у кольца, у пустого шара, стакана и бочки. Такой центр, лежащий вне вещества данного тела, можно назвать нематериальным.

В этом случае невещественный центр можно сделать вещественным. Так, если к обручу прикрепить материальный диаметр, то для сообщения прямо[линейно]го равн[омерного] движения сила может действовать на середину этого диаметра. Можно

также действовать по направлению линии, проходящей через центр и встречающей какую-нибудь вещественную точку тела, которая и может служить точкою приложения.

Но как, напр[имер], без прибавки материального диаметра сообщить кольцу прямо[линейно]е равн[омерное] движение, перпендикулярное к его плоскости? Как сообщить, например, движение бочке с выбитыми днами, чтобы она прошла через меня (но не мимо) и не задела меня своими внутренними стенками?

Для этого можно действовать двумя или несколькими, параллельными или непараллельными силами, приложенными к материальным точкам тела, и теоретическая равнодействующая которых проходит через нематериальный центр тела по желаемому направлению.

На практике сила никогда не бывает изолирована, т. е. никогда не бывает отделена от материи; в природе нет сил, которые бы ни исходили из материи — будут ли они притягивающие или отталкивающие — это все равно.

Силы притяжения, упругости (стальная пружина), мускулов (животное), магнетизм, электричество, — все это, как всякому известно из физики, исходит из небесных или земных тел; из планет и Солнца, из магнита и электромагнита, из наэлектризованного тела и пр.

То, из чего исходит сила, можно назвать опорой. Впрочем, и то, на что действует сила, также можно назвать опорой и действующей силою. Если Солнце действует на Землю, то ведь и Земля действует на Солнце, если магнит действует на железо, то ведь и железо притягивает магнит; если я спрыгнул с Земли, то и Земля спрыгнула с меня, хотя ее прыжок в бесконечное число раз меньше моего прыжка — во столько раз меньше, во сколько ее масса больше массы моего тела.

На практике Земля зовется для меня и моих действий опорой. Вообще на практике чаще бóльшую из взаимодействующих масс называют опорой.

Так, прилично Солнце назвать опорой для планет, ружье — для пули, хотя и ружье отскакивает (отдает) от пули. В теории же между опорой и отталкиваемым телом нет никакого существенного различия. Только для отличия одного тела от другого, одно из тел (какое — это от меня зависит) я буду называть опорным, другое — отталкиваемым или, иногда, наблюдаемым, хотя ничто не мешает оба их наблюдать.

Я уже говорил, что если одно тело (назовем его опорным) будет иметь массу громадную в сравнении с массою отталкиваемого тела, то опорное тело приобретает ничтожную скорость в сравнении со скоростью отталкиваемого. Селения обитателей космоса можно считать неподвижной опорой. Но движение телу, в своб[одном] простр[анстве], можно сообщить также и посредством подвижной опоры, имеющей незначительную массу.

Движение опоры и наблюдаемого тела

Представим себе в свободном простр[анстве] два близких друг к другу и неподвижных тела.

Сами собой они не стронутся. Неподвижной опоры нет. Положим, что одному из них нужно сообщить какую-нибудь скорость по какому-нибудь направлению. Если между данными телами поместить какую-нибудь силу, напр[имер], сжатую, легкую стальную пружину, концы которой упираются в свободные центры [инерции] тел [рис. 1], то при расжатии пружины оба тела, очевидно, получат прямые равномерные движения.

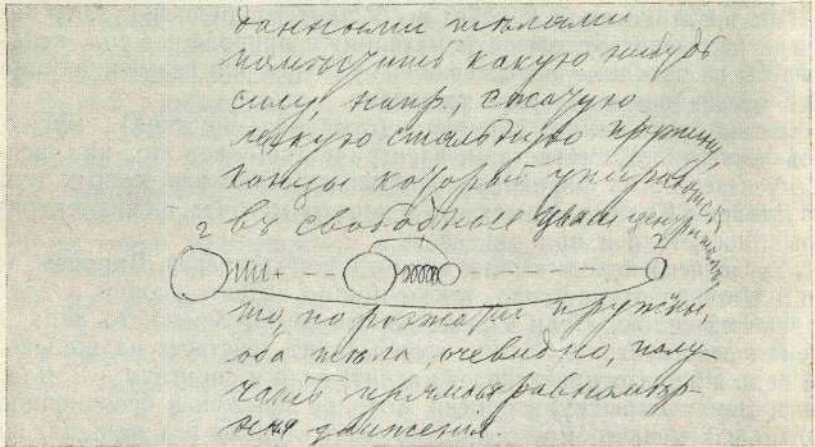


Рис. 1

Пружина, прикрепленная, положим, к одному из тел, действовала на оба тела с одинаковой силой и одинаковое время. Большее из тел, т. е. имеющее большую массу, оказывает большее сопротивление и потому приобретает меньшую скорость, чем меньшее тело, которое приобретает большую скорость. Приобретение скорости, таким образом, можно сравнить с приобретением скорости лодкой посредством отталкивания веслами воды. В обоих случаях опора зыбкая.

Вот точное выражение законов движения тел, отталкиваемых друг от друга или собственной упругостью двух сжатых тел, или упругостью легкой пружины. Я говорю «легкой», хотя в свободном простран[стве] пуд так же легок, как и золотник, я употребил это слово в смысле малой массы.

Итак:

1) центры тел, до и после их движения, всегда находятся на одной прямой линии;

2) меньшая из масс приобретает скорость, во столько раз большую скорости большей массы, во сколько раз масса большего тела больше массы меньшего тела.

На чертеже [рис. 2] изображены 6 положений тел, чередующихся через 1 сек. Центр остается неподвижен. Скорость движения единицы массы вдвое более скорости движения двух единиц массы. Из этого выводят, что общий нематериальный центр системы двух подвижных тел, бывших вначале в покое, остается вечно неподвижным и после действия силы (пружины).



Рис. 2

Центр инерции подвижных тел

Считаю здесь нелишним дать простое, но точное определение центра инерции несоединенных, да еще и подвижных тел.

Вот система подвижных или неподвижных тел. Нужно узнать, где находится их общий центр [инерции] в какое-нибудь данное время. Пусть в это время все тела мгновенно остановятся. Скрепим их все в одно целое крепким твердым, но безынертным веществом, не изменяя несколько их положения. Законы инерции, о проявлении которых в свободном пространстве я уже говорил, состоят в том, что тело не может само собой задвигаться или изменить свое движение, например ускорить его или повернуть в сторону. Я скрепил данную систему тел безынертным веществом, т. е. таким, которое не подчинено законам инерции — оно не представляет никакого сопротивления при сообщении ему движения. Такое безынертное вещество существовало бы приблизительно, если бы в мире нашлось тело, чрезвычайно крепкое, но чрезвычайно малой плотности; крепкое, как сталь, и мало плотное, как кометный туман.

Если мы теперь в данной скрепленной безынертной массе найдем точку, действие произвольной силы на которую всегда при-

водит скрепленную систему в прямое равномерное движение, то точка эта и будет центром инерции системы для того момента времени, в который мы остановили все тела системы. Центр [инерции] системы подвижных тел совпадает с центром тяжести этой системы. Конечно, центр инерции в свободном пространстве, как и центр тяжести, отыскивается и теоретически, и практически. Определение центра [инерции] произвольного числа подвижных тел нам еще пригодится.

Вот некоторые применения к свободному пространству законов движения двух взаимодействующих тел.

1. Я нахожусь от почвенника на расстоянии 60 м. Кругом, ближе почвенника ничего нет. Только в руках моих камень, масса которого 1 кг. Мне нужно быть у почвенника. На сколько сил хватило, я отбросил камень по направлению, противоположному тому, куда я хочу двигаться. Камень получил скорость в 10 м/сек.

Масса моего тела 100 кг (6 пудов), следовательно, мое тело оттолкнулось к почвеннику со скоростью, в 100 раз меньшей скорости камня, т. е. со скоростью $\frac{1}{10}$ м/сек, или 1 дм/сек. 60 м расстояния, отделяющего меня от почвенника, я пролечу в $(60 : \frac{1}{10}) = 600$ сек или 10 мин. Камень же будет нестись в пространстве до тех пор, пока его (хотя бы через тысячу лет) не встретит и не притянет к себе какая-нибудь значительная масса. Довольно трудно силой мускулов оттолкнуть камень так, чтобы отталкивающий не получил вращательного движения.

1 марта

2. Нас двое, мы находимся на одной линии с двумя почвенниками. Наше положение вы видите из чертежа [рис. 3]. Нам нужно попасть: одному на один почвенник, другому на другой. При нас нет никаких посторонних тел, кроме платья, с которым мы не хотим расстаться. Наши тела имеют одинаковые массы и одинаковые силы. Мы, как будто, приготовились к прыжку и упираемся с одинаковой силой пятками друг в друга. Теперь наши ноги одновременно распрямляются, и мы несемся с одинаковой скоростью в противоположные стороны. Если бы отталкивались два человека с такими силами, как я, а я могу прыгнуть на Земле на высоту $\frac{1}{3}$ м, то каждый бы из нас задвигался со скоростью 12 км/час. До почвенника, находящегося на расстоянии 120 км, я бы долетел в 10 час. Лошадям бы такая скорость и то в пору. В первом примере для сообщения человеку движения потребовался неодушевленный предмет (камень), который так же уносится в пространство и, если не будет пойман другим и не возвращен каким-нибудь способом обладателю, теряется для последнего бесследно.

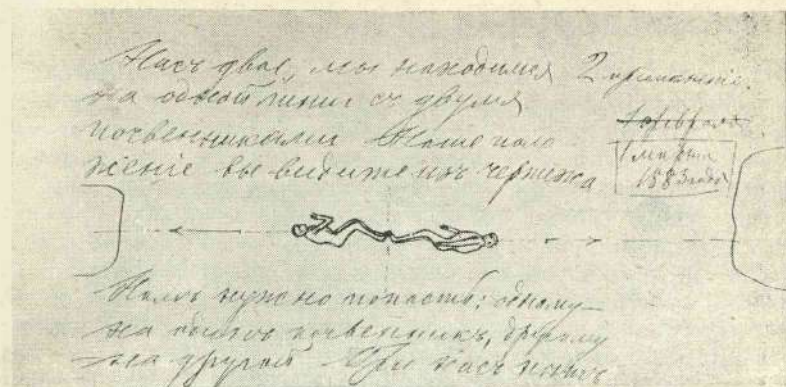


Рис. 3

В этом случае можно сказать: без потери материи невозможно движение в свободном пространстве.

Впрочем, если свободное пространство со всех сторон ограничено материальной поверхностью, например, стенками полой сферы, то опора не уходит в бесконечность и не пропадает для обладателя.

Во втором примере два человека, находившиеся вместе, пропадают друг для друга, потому что без влияния сил не могут никогда сойтись. В обоих примерах движение и опоры, и отгаливаемого тела беспредельны.

Вот третий пример, где эти движения хоть и не беспредельны, но и не сопровождаются потерей материала (опоры), который может быть по желанию всегда получен и тысячу раз употреблен в дело.

Мне пить хочется; на расстоянии 10 м от меня, ничем не подерживаемый, висит в пространстве графин с водой. В моем жилетном кармане часы, в моих руках — клубок тонких ниток, массой которых я пренебрегаю. Свободный конец нитки я привязываю к часам и эти часы бросаю по направлению, противоположному тому, в котором я вижу графин. Часы быстро от меня уходят; клубок ниток развивается; я же сам постепенно приближаюсь к графину [рис. 4]. Наконец, я касаюсь последнего своим телом; тогда я останавливаю свои часы посредством скользящей у меня между пальцами нитки. Я останавливаюсь и напиваюсь воды. Часы имеют массу, в 1000 раз меньшую массы моего тела; поэтому они удалились на расстояние, в тысячу раз большее, чем на какое удалился я. Я пролетел 10 м; они пролетели 10 000 м, или 10 км.

Я стал тянуть часы назад — к себе и свивать нить на клубок. Когда я свил нить длиною, очевидно, в 10 010 м и схватил часы, то увидел опять себя на прежнем месте — на расстоянии 10 м

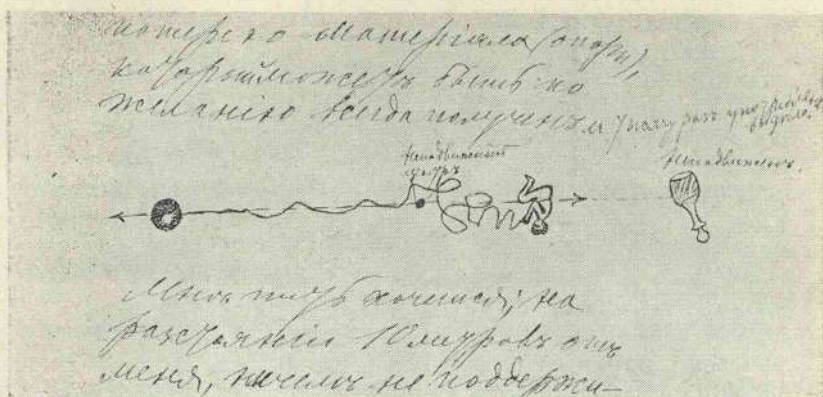


Рис. 4

от графина с водой. И прежде последний находился в стороне Сириуса и теперь он (виден) в том же направлении. Возвратив себе часы и нить, я снова могу уже в другом желаемом направлении совершить маленькое путешествие. И так до бесконечности. Вместо часов я мог бы связать свою одежду и оттолкнуть ее и опять притянуть. Во всяком случае центр тяжести моего тела, со всеми предметами при нем, останется всегда на одном месте. Чем больше отталкиваемая масса, тем короче может быть нить.

Так, если я бы оттолкнул камень массой в мое тело, то в предыдущем примере для достижения графина (10 м) нужна была бы нить только в 20 м. Если опора очень велика (например, почвенник), то нить должна быть длиною только в то расстояние, на которое надо удалиться.

Конечно, способ передвижения без потери опоры применим только при незначительных передвижениях по разным направлениям.

2 марта

**Скорость движения тел в свободном простран[стве]
под влиянием сил,
выраженных земными мерами сил [тяжесть]**

Когда опора имеет, сравнительно, очень незначительную массу, то хотя скорость отталкиваемого тела во много раз меньше скорости опоры, тем не менее скорость отталкиваемого тела все-таки может быть произвольно велика. Например, масса опоры в 100 раз меньше массы отталкиваемого тела, а скорость опоры 10 км/сек; тогда скорость отталкиваемого тела в 100 раз меньше и равна (10 км/сек : 100 = 10 000 м/сек : 100 = 100 м/сек) 100 м/сек.

За опоры можно принять пушечное ядро, за отталкиваемое тело — пушку. Для взятых чисел пушка получит скорость в 100 м/сек.

После того как я сказал о способе сообщения телу при посредстве неподвижного почвенника (или опоры) прямо[линейно]го равномерного движения, мне нужно было нарисовать картину о влиянии мускулов животного и других житейских сил на передвижение больших и малых тел в своб[одном] простр[анстве]. Я это сделаю теперь. Силу давления члена, например, руки измеряют на Земле тем грузом, который она в состоянии поднять на Земле, исключая вес самого члена. Говорят: сила руки в 10, 100 кг. Так же на Земле измеряют и другие силы: упругость газов, твердых тел и жидких, магнетизм и пр. Но в свободном пространстве тяжести нет! Как же судить о силе?

На 1 кг вещества действует тяжесть или сила в одну единицу. Эта силовая единица, как показывает земной опыт, сообщает массовой единице в одну секунду скорость в 10 м. Положим теперь, что сила руки в свободном пространстве, действуя с неизменяющейся силой и по одному направлению на массовую единицу (1 кг), сообщила ей в 1 сек скорость также в 10 м.

Тут две силы — тяжесть и сила мускула, действуя порознь на одинаковые и сначала неподвижные массы, дали одинаковые результаты — скорость в 10 м/сек.

Очевидно, эти две силы равны.

Итак, о силе, действующей в свободном пространстве, можно судить по той скорости, которую приобретает тело в конце секундного влияния силы*. На Земле от тяжести на единицу вещества всегда действует одна единица силы; на 100 единиц вещества всегда действует 100 единиц силы; на $\frac{1}{100}$ единицы вещества действует $\frac{1}{100}$ силовой единицы.

Поэтому на Земле тела всякой величины приобретают от тяжести в секунду одну и ту же скорость. В свободном же пространстве на единицу вещества может действовать 10 силовых единиц, и тогда приобретаемая в 1 сек скорость увеличивается в 10 раз (100 м/сек). Наоборот, если массовая единица приобрела в 1 сек скорость в 100 м, то из этого можно заключить, что влияет сила в 10 единиц. На Земле, на горизонтальной поверхности льда, можно сделать то же заключение о силе руки по скорости, приобретенной салазками.

В свободном пространстве может действовать одна силовая единица на сто массовых единиц.

* На основании теоремы о количестве движения для точки, движущейся прямолинейно, имеем $mv - mv_0 = \int_{t_0}^t F dt$. Если $F = \text{const}$, $v_0 = 0$, а $t - t_0 = 1$, то $v = \frac{F}{m}$. Следовательно, если масса m известна, то о величине силы «можно судить по той скорости, которую приобретает тело в конце секундного влияния силы» (Ред.).

Тут одна силовая единица дарится ста массовым единицам, следовательно, одной массовой единице приходится $\frac{1}{1000}$ силовой единицы. От этой $\frac{1}{1000}$ силовой единицы каждая массовая единица приобретает скорость в 10 раз меньшую, чем от целой единицы, т. е. в 1 м/сек (10 м/сек : 10 = 1).

Поэтому скорость при одной и той же силе обратно пропорциональна движущейся массе.

И обратно — о силе, действующей на массу, нужно судить не только по скорости этой массы, приобретаемой в 1 сек, но и по величине этой массы. Сила пропорциональна массе, получившей определенную скорость. На Земле, под влиянием постоянной силы тяжести, скорость, приобретаемая массой, пропорциональна времени (показывает опыт).

Наоборот, чтобы судить о силе, приведшей свободное тело в движение, нужно узнать скорость, полученную им в 1 сек. Для этого реальную скорость тела нужно разделить на время действия силы. Из всего этого делаем два вывода и составляем две формулы.

1. Скорость свободного тела пропорциональна силе и времени ее действия, и эта скорость обратна массе тела

$$\text{Ск[орость]} = \frac{\text{сила} \times \text{время}}{\text{масса}} \cdot 10 \text{ м.}$$

2. Сила, действующая на свободное тело, пропорциональна скорости и массе этого тела, и сила эта обратна времени

$$\text{Сила} = \frac{\text{ск[орость]} \times \text{масса}}{10 \times \text{время}}$$

10 м/сек² называют ускорением Земли (g). Поэтому формулы можно написать иначе:

$$\text{Ск[орость]} = \frac{\text{уск[орение]} \times \text{сила} \times \text{время}}{\text{масса}}, \quad (1)$$

$$\text{Сила} = \frac{\text{ск[орость]} \times \text{масса}}{\text{ускорение} \times \text{время}}. \quad (2)$$

Из первой формулы можно математически вывести вторую и еще три других; всего пять формул.

Одна из формул дает возможность определить массу тела в свободном пространстве]

$$\text{Масса} = \frac{\text{уск[орение]} \times \text{сила} \times \text{время}}{\text{ск[орость]}}. \quad (3) *$$

* Имеем при $F = \text{const}$, $v_0 = 0$, $mv = Ft$; $m = \frac{p}{g}$ и, следовательно, $v = Ft$.
Отсюда $p = \frac{Fg \cdot t}{v}$. Таким образом, Циолковский именует здесь вес тела массой.
(Ред.).

В свободном пространстве по объему только легко определить массу воды. Эта формула служит для определения массы всякого тела.

Впрочем, на Земле измеряют разные силы, в том числе и тяжесть, не только приборами, основанными на явлении тяжести, напр[имер] простыми десятичными весами, но и приборами, не основанными на явлении тяготения. Один из самых употребительных силомеров, или динамометров, основан на явлении упругости стальной пружины. Этот прибор называется просто силомером, динамометром, или пружинными весами. Приборы, основанные на явлении тяжести, не годятся для свободного пространства. Силомеры же без изменений вполне пригодны для измерения сил свободного пространства.

Так, пружинным силомером можно измерять в свободном пространстве силу мускулов или членов животного.

На Земле ручными мускулами я приподнимаю вертикально собственное тело — не больше. В свободном пространстве пружинный силомер при сокращении рук показывает напряжение в 65 кг, т. е. как раз равное весу моего тела на Земле.

Можно придумать для свободного пространства силомер, основанный на упругости какого-нибудь газа. Наконец, центробежные машины.

Рассмотрим теперь влияние человеческого усилия в 10 кг (65 кг — напряжение, чересчур утомительное) на различные массы.

Человек действует на массу по одному направлению посредством нити, сопротивление разрыву или крепость которой должна быть более или равна усилию мускулов (10 кг). В конце первой секунды действия силы масса в 100 кг приобретает скорость в 1 м/сек.

Если теперь сила перестанет действовать, то масса начнет двигаться равномерно со скоростью 1 м/сек.

Вот таблица, показывающая результат действия непрерывной силы в 10 силовых единиц на 100 массовых единиц:

Время, сек	$\frac{1}{100}$	$\frac{2}{100}$	$\frac{3}{100}$	$\frac{99}{100}$	1	2	3	3 $\frac{1}{2}$	4	10	1000	3600	86400
Скорость, м/сек	$\frac{1}{100}$	$\frac{2}{100}$	$\frac{3}{100}$	$\frac{99}{100}$	1	2	3	3 $\frac{1}{2}$	4	10	1000	3600	86400

Движение это называется равномерно-ускоренным.

На Земле не всякая малая сила может сдвинуть всякую большую массу. Трение на Земле требует для своего одоления определенную часть самой массы. В свободном же пространстве посредством паутины и усилием, которое не может перервать это нежное произведение паука, можно передвигать горы веще-

ства, сообщая им в более или менее продолжительное время желаемую большую или малую скорость.

Так, усилием в 1 г (0,001 кг) в продолжение 100 000 сек (несколько более суток) приобретает скорость в 1 м/сек масса в 1000 кг (в 15 раз она больше массы моего тела).

2 марта

Остановка или изменение первоначального движения тела с помощью подвижной опоры

Если тело, которое назовем наблюдаемым, уже имело прямо[линейно]е равномерное движение, то это движение можно с помощью опоры (связанной с наблюдаемым телом и имеющей с ним вначале одно неразрывное движение) изменить, т. е. ускорить, замедлить и даже совсем уничтожить. Можно изменить также не только скорость наблюдаемого тела, но и его направление. Для всего этого необходимо наблюдаемому телу оттолкнуться от опоры. Хотя при этом свободные центры опоры и набл[юдаемого] тела изменяют свои движения, однако общий их центр сохраняет первоначальное движение. Чтобы получить новые скорости опоры и набл[юдаемого] тела, нужно к первоначальным их тождественным движениям придать те движения, которые они получили бы от действия отталкивающей и разъединяющей их силы, при первоначальной их неподвижности, потому что одна и та же сила даст одни и те же результаты, будут ли тела в покое или в тождественном прямом равномерном движении [рис. 5].

Последующие примеры объяснят сказанное.

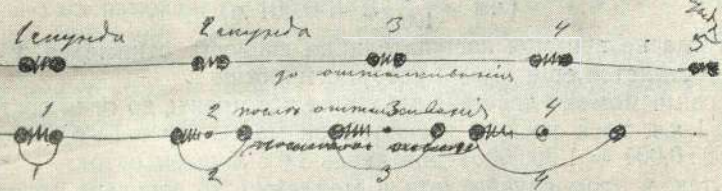
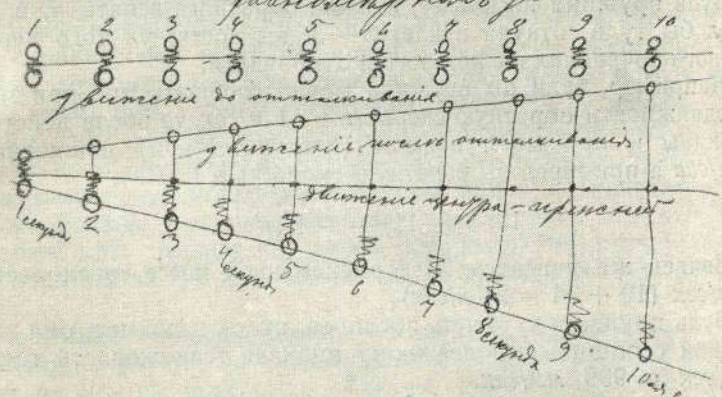
4 марта

Я мчусь со скоростью 10 м/сек. На моем пути лежит масса огня или, лучше сказать, масса накаливаемого вещества. Если я не сумею изменить свое движение, я неминуемо сгорю или пострадаю от жара. Мне необходимо: или остановиться на безопасном от огня расстоянии, или изменить поступательный путь на обратный, или же, наконец, уклониться в ту или иную сторону от огня. Изменить или уничтожить свое движение я могу только с помощью опоры. Со мной летит свинцовый шар весом в 65 кг. Столько же весит и мое тело. Между центром моего тела и центром шара помещена сжатая, сильная стальная пружина.

Если дать возможность пружине разжаться, то своей упругостью она в состоянии была бы сообщить мне и шару, если бы мы были вначале неподвижны, равные скорости, допустим, в 10 м/сек.

Я приблизился к огню и, положим, теперь хочу остановиться и его рассмотреть.

и ось градусов, отмашивая
 будет и посредством
 ось сивы, при мерзотка
 ось неподвижности; по
 ось одна и манс
 сива данна одна и манс
 разбивается — дудух и
 манс в покров и сива в
 Готсонверкава при манс
 равномансва дудухи.



Мансва дудухи при манс
 абарствит сива манс.

Рис. 5

Для этого я располагаю пружину так, что линия центров — моего и шара — совпадает с направлением движения, а шар обращен к огню.

До действия пружины я вместе с шаром имел поступательную скорость в 10 м/сек , от действия пружины я приобрел обратную скорость в 10 м/сек (-10). Если к начальной скорости придать приобретенную, то получим нуль, или отсутствие движения

$$10 + (-10) = 0.$$

Итак, я остановился перед огнем и его спокойно рассматриваю. Понятно, что свинцовый шар стал приближаться к огню с удвоенною скоростью — в 20 м/сек .

$$10 + 10 = 20.$$

Будь пружина сильнее, и я бы обратился вспять, т. е. полетел бы туда, откуда прилетел — я бы достигнул того неподвижного почвенника, с которого я отправился.

Например, если бы пружина могла сообщить мне при моей неподвижности обратную скорость в 11 м/сек , то после действия пружины и при моем прямом (поступательном) движении в 10 м/сек я приобрел бы обратную скорость в 1 м/сек .

$$10 + (-11) = -1 \text{ м/сек}.$$

Свинец же двигался бы к раскаленной массе со скоростью 21 м/сек ($10 + 11 = 21 \text{ м/сек}$).

Будь пружина чуть-чуть послабее, пусть, например, она в состоянии сообщить неподвижному вначале телу скорость только 9 м/сек и 999 мм/сек .

$$(\text{мм} = \frac{1}{1000} \text{ м} = 0,001 \text{ м}).$$

Тогда не вся моя поступательная скорость отнимется у меня — останется еще 1 мм/сек скорости к огню.

Если в момент действия пружины расстояние до огня составляет 1 км , то я коснусь раскаленной массы через $1\,000\,000 \text{ сек}$ ($1\,000 : 0,001 = 1\,000\,000$), или через 11 с лишком суток.

Итак, в этом случае, хотя и медленно, но роковым образом я должен попасть в огонь.

7 марта.
Вечер

Чтобы от огня уклониться в сторону, нужно центры расположить так, что линия центров должна быть перпендикулярна или, по крайней мере, наклонна к направлению первоначального движения. После разжатия пружины скорости и направления обоих тел изменятся, и они могут миновать огонь.

Путь каждого тела составляет ломаную линию с одним углом. Значит, в случае одного опорного тела полный путь путешествующего тела, которое я назвал наблюдаемым, состоит из двух прямых, потому что тело при отталкивании изменяет только раз свое движение.

Ломаное равномерное движение с помощью подвижных опор

Если же опорных тел несколько, то и путешествующее тело может несколько раз изменить свое движение. Если, напр[имер], при мне пять тел, то и движение свое я могу изменить совершенно произвольно пять раз — до тех пор, пока я не потеряю все свои опоры.

Конечно, если я сразу оттолкну все опоры, то изменю только раз свое движение — опоры нужно отталкивать последовательно. В последнем случае путь тела будет содержать столько углов, сколько опор, и столько прямых линий, сколько опор + 1.

Так, при пяти опорах траектория тела, после потери всех опор, имеет пять углов и состоит из шести (5+1) линий.

Понятно, что если опорные тела отталкивать по той же линии, по которой двигалось путешествующее тело, то траектория последнего будет по-прежнему прямая линия. Однако скорость все же должна измениться столько раз, сколько опорных тел. Поэтому, хоть опорных тел много, напр[имер] 100, путь тела может состоять из 1, 2, 3, ..., 101 линии, но не больше, чем из 101-й линии.

Покамест я подразумеваю, что сила, отталкивающая тела, постоянно действует на свободные центры этих тел, или, по-земному, на центры тяжести их. Так что каждое тело сколько бы раз оно ни изменило свое движение, всегда имеет прямое равномерное движение; это значит, что оно, при своем поступательном движении, не имеет ни малейшей примеси движения вращательного, потому что все его точки двигаются с одинаковой скоростью по прямым линиям.

8 марта.
Вечер

Итак, мы видим, что посредством достаточного количества опор путь тела в свободном пространстве может быть произвольно извилист; так что, если бы данному телу была надобность обходить множество преград, пробираться узкими путями и часто изменять свою скорость, то в теоретическом отношении в этом нет ничего невозможного. Но во всяком случае путь тела представляет периметр разомкнутого или сомкнутого косоугольного или плоского многоугольника с несколько закругленными краями.

Общий центр [инерции] нескольких взаимодействующих тел

Я дал понятие о свободном центре подвижных тел и сказал, что он совпадает с центром тяжести этих тел. Я также говорил, что общий центр двух взаимодействующих [тел], несмотря на произвольно разнообразные движения последних, никогда не изменяет ни скорости, ни направления своего движения; если же общий центр неподвижен, то и вечно он остается неподвижным, несмотря на движения составляющих тел.

Эта же самая истина справедлива и в том случае, когда опоры взаимодействующих тел столько, сколько угодно.

Поэтому, хотя численное или бесчисленное множество опор и главное — путешествуемое тело, для которого служат эти опоры, — и движутся по самым разнообразным направлениям, с самыми разнообразными скоростями, однако же есть точка, называемая свободным центром данных тел, которая никогда не изменяет своего движения, т. е. ни своего направления, ни своей скорости; если же центр этот в какой-нибудь момент был неподвижен, то и всегда он неподвижен, несмотря на всевозможные взаимодействия составляющих тел.

27 марта.

Вечер.

Воскресенье

Человек, висящий в свободном пространстве и не имеющий никакой опоры, может принимать всевозможные положения, какие только он может принимать на Земле, но центр тяжести частиц его тела при этом должен остаться на том же месте, на каком он был до взаимодействия членом силою мускулов.

Это взаимодействие может быть непрерывным, поддерживая тело в состоянии постоянной вибрации или движения, но центр тяжести (или своб[одный] центр) от этого не придет никогда в движение или вибрацию. По окончании взаимодействия членом все части тела приходят в абсолютный покой.

28 марта.

Утро

Криво[линейно]е движение с помощью газа или жидкости или даже твердой опоры

Когда у тела бесчисленное множество опор, от которых данное тело отталкивается непрерывно, то тело изменяет свое движение непрерывно, так что путь его может иметь вид кривой линии. Скорость тела также при этом изменяется непрерывно и может быть ускорительной или замедлительной.

Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее тончайших кранов, то газ непрерывной струей устремится из бочки, причем упругость газа, от-

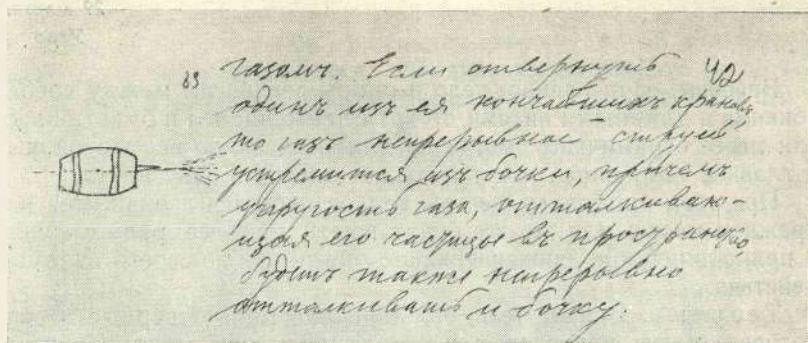


Рис. 6

талкивающая его частицы в пространство, будет также непрерывно отталкивать и бочку [рис. 6].

Результатом этого будет непрерывное изменение движения бочки.

Если, например, бочка была неподвижна, а отталкивание газа происходит по линии, соединяющей свободный центр инерции тела с отверстием крана, или если бочка имела прямое движение, совпадающее с направлением отталкивания газа, то бочка будет иметь от действия газа прямое ускорительное или замедлительное движение. А если бочка имела движение, не совпадающее с направлением отлетающих частиц газа, то движение ее будет параболическое, предполагая, что газ отталкивается с постоянной силой и в постоянном количестве. Посредством достаточного количества кранов (шести) можно так управлять выходением газа, что движение бочки или полового шара будет совершенно зависеть от желания управляющего кранами, т. е. бочка может описать какую угодно кривую и по какому угодно закону скоростей. Может, например, равномерно описывать окружность, хотя притягивающей центральной силы и не будет. Во всяком случае, общий свободный центр тела и отлетающих молекул газа всегда сохранит свое первоначальное движение или свой первоначальный покой. Изменение движения бочки возможно только до тех пор, пока не вышел из нее весь газ. Но так как потеря его идет непрерывно и при средних условиях эта потеря пропорциональна времени, то и движение может быть произвольным только ограниченное время — минуту, час, день, а затем оно делается прямолинейным — равномерным. Вообще, равномерное движение по кривой или прямо[линейно]е неравномерное движение сопряжено в свободном пространстве с непрерывной потерей вещества (опоры). Также ломаное движение сопряжено с периодической потерей вещества.

29 марта.
Утро

Впрочем, если главное тело и опоры соединены между собой тонкими и длинными нитями, то хотя движение тел и будет более или менее ограничено, смотря по длине нитей, но все же опоры и главное тело вновь могут быть соединены в одну кучу.

При этом свободные центры тел останутся и окажутся на прежнем месте; или же все будут иметь прежнее равномерное и прямо[линейно]е движение, какое они имели до своего взаимодействия.

Теорема. Всякое тело, большие или малые твердые части которого могут притягивать и отталкивать друг друга, — всякое такое пластичное (вначале неподвижное) тело может принять любую форму и в любом направлении.

О параллельном движении

Я говорил до сих пор только о параллельном движении, т. е. о таком, какое, напр[имер], имеет земная ось в продолжение года — о таком движении в свободном пространстве, при котором все точки тела двигаются совершенно одинаково. Это значит, что траектории их равны и скорости в каждый данный момент одинаковы по величине и направлению. Если, напр[имер], одна какая-нибудь точка описывает эллипс, то и все остальные точки описывают совершенно равные эллипсы; притом скорости точек, будучи, может быть, в различные времена различны, в один и тот же момент тождественны.

Но кроме этого параллельного движения точки, хотя бы и неизменяемого по форме твердого тела, могут описывать в свободном пространстве различные пути и с различными скоростями даже в один и тот же момент. Таково движение вращательное и циклоидальное. Этим последним именем я назову смесь движений вращательного и параллельного. Напр[имер], движение планет я назову циклоидальным. Циклоидальные движения могут быть, конечно, очень разнообразны: прямо[линейно]е циклоид[альное] дв[ижение], круговое, и пр.

30 марта.
Утро

Вращательное движение. Устойчивое вращение

Укрепим неподвижно две какие-нибудь точки тела. Если теперь тело посредством силы будет приведено в движение, то это движение и будет вращательным. Прямая, проходящая через эти укрепленные, неподвижные точки, называется осью; она также неподвижна.

Все точки, лежащие вне этой оси, описывают окружности. Чем дальше отстоят точки от оси, тем скорости их больше и тем самые пути их больше. Точки, находящиеся на равном расстоянии от оси, описывают равные окружности, и для данного момента времени, с одной скоростью.

Вращательное движение называется равномерным, если точки, равноотстоящие от оси, двигаются равномерно, т. е. когда эти точки в равные времена проходят равные линии одинаковой длины, или когда тело в равные времена поворачивается на одно и то же число градусов. В свободном пространстве вращательное движение может совершаться и вокруг неукрепленной оси, свободно висящей в пространстве. Такую ось проще всего назвать свободной. О таком-то вращательном движении твердого тела вокруг свободной оси я и поговорю.

Не всякая прямая, проведенная через тело, есть свободная ось, т. е. не вокруг всякой неукрепленной прямой может вращаться свободное тело. Известно, что вращение маховых колес у машин иногда сопровождается дрожанием оси и самой машины. Это бывает тогда, когда фактическая ось маховика не совпадает с его свободной осью.

Свободные оси

Свободная ось должна проходить через свободный центр тела, или через центр его тяжести.

В каждом теле не менее трех свободных осей, взаимно-перпендикулярных. Но может быть только три. Может быть и больше трех. Может быть и бесчисленное множество; так в шаре всякий диаметр — свободная ось. Можно легко вообразить тело, которое бы имело данное число свободных осей, но не менее трех. Свободная ось иногда лежит вне вещества данного тела, и тогда ее можно назвать невещественной. Напр[имер], в кольце, в пустой кадке без дна — есть такие оси.

После я скажу о свободных осях и вращении изменяемых (пластичных) по форме тел (мягких); а также об осях системы нескрепленных тел.

Если не укрепленное и не подпертое ничем тело приобрело каким бы то ни было способом в свободном пространстве вращательное движение вокруг свободной оси, то это движение, без вмешательства сил будучи не иначе, как равномерным, никогда не может само собой прекратиться. Наоборот — если твердое тело не имело вращательного движения, то оно, само собою, никогда не приобретет его.

Способ с помощью неподвижной опоры сообщать устойчивое вращение телу

Вращательное движение вокруг неукрепленной оси можно сообщить телу различными способами.

Можно, напр[имер], если есть неподвижная опора, укрепить какие-нибудь две точки, лежащие на свободной оси данного тела, и затем заставить произвольную силу сообщить телу движение вокруг этих точек.

Если, по прекращении действия силы, принять осторожно те два острия, которые удерживали ось в неподвижности, то данное тело приобретет равномерное вращательное движение вокруг свободной неподвижной и ничем не укрепленной оси.

Этот способ годится, когда свободная ось вещественна, т. е. когда несколько точек свободной оси лежат в веществе данного тела. Но можно сообщить вращательное движение телу и не укрепляя предварительно свободную ось.

Вообразим прямую, перпендикулярную к свободной оси; вообразим на ней две точки, равноотстоящие от оси; проведем плоскости через прямую и ось.

Вообразим теперь, что на взятые две точки действуют равные, но противоположные силы по направлению, нормальному к этой плоскости.

То [по] прекращении их действия тело приобретет равномерное вращательное движение вокруг свободной неукрепленной оси. Этот метод применяется для тех тел, которые не имеют вещественной оси.

Одним словом — телу можно сообщить устойчивое вращение также парю сил.

2 апреля

Вращение неустойчивое

Впрочем, если даже заставить вращаться тело вокруг несвободной материальной оси, но только проходящей через центр тяжести, то и тогда тело после освобождения делает несколько колебаний и начинает вращаться вокруг свободной неукрепленной и неподвижной оси. При этом работа вращения уменьшается и пропавшая часть ее обращается в частичные силы (тепло).

Иное вращательное движение без влияния постоянно действующих сил и невозможно в свободном пространстве. Такое вращение вокруг несвободной оси можно назвать неустойчивым, потому что оно более или менее скоро превращается в устойчивое.

Сообщение устойчивого вращательного движения посредством подвижной опоры

Представим себе два неподвижных, разделенных, ничем не связанных тела, и пусть одно из них, каким бы то ни было способом, но не иначе, как при посредстве другого тела, играющего роль опоры, приобретает вращательное движение; тогда другое тело приобретет противоположное вращение. Оси свободные могут принять произвольные (желаемые) положения, но должны быть параллельны, в противном случае вращение неустойчиво и должно само собою превратиться в устойчивое, причем пропавшая часть работы превращается в тепло; если же телам устройство препятствует принять параллельное относительно осей положение, то тела совсем постепенно останавливаются и нагреваются. Только посредством неподвижной [оси] можно сообщить не параллельное движение телам.

Скорости же тел могут быть и равны и различны.

Под скоростью же вращательного движения твердого тела я подразумеваю скорость точек этого тела, находящихся на расстоянии единицы от оси. Это то же, что угловая скорость. Отношение между такими скоростями зависит от формы и массы данных тел. Чем больше масса тела и чем далее отстоят от оси его частицы, тем труднее оно приходит в движение и тем менее угловая скорость, приобретаемая им. И наоборот.

Инерция вращения

Суммою моментов инерции или просто моментом инерции и называют ту силу, которая, действуя на расстоянии единицы от оси, в состоянии сообщить точкам твердого тела, находящимся на расстоянии единицы от оси, скорость, равную в конце секундного действия силы, — единице.

Отношение угловых скоростей равняется обратному отношению моментов инерции

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\text{момент инерции первого тела}}{\text{момент инерции второго тела}}$$

Я сказал, что момент инерции зависит от расположения массы; поэтому хотя масса опоры может быть незначительна, однако момент инерции ее или сопротивление вращательному движению может быть произвольно громадно, так что, в пределе, [она] может считаться даже неподвижной массой. В параллельном движении (прямо[линейно]м) сопротивление (инерция прямо[линейно]го параллельного движения) зависит только от массы, которой оно пропорционально, и несколько не зависит от формы вещества. Во вращательном движении инерция зависит от расположения массы относительно оси.

Способ сообщать устойчивое вращение посредством подвижной опоры

Вот как [можно] представить себе способ сообщения двум неподвижным телам устойчивого вращательного движения. Оси параллельны; силы действуют в какой-нибудь плоскости, перпендикулярной к этим осям. Четыре точки приложения двух равных и параллельных сил находятся на равном расстоянии от линии, соединяющей оси и лежащей на той плоскости. Сил две: одна стремится сближать свои точки приложения; другая, равная первой, — удалять свои точки приложения. Очевидно, при таких условиях на каждое тело будет действовать пара сил, которая каждому из них сообщит устойчивое вращательное движение. Движения тел — обратные, как движение двух смежных зубчатых колес какой-нибудь машины. Точно так же сообщается устойчивое вращательное движение телам и тогда, когда они параллельны.

Вращение человека

С помощью игрушки — волчка, которому дети сообщают движение пружиной или шнурком, с помощью такого снаряда человек может сообщить себе в свободном пространстве вращательное движение. При этом коробку, в которой заключается пружина, нужно держать крепко в руке так, чтобы свободная ось волчка лежала на одной линии с одной из свободных осей человеческого тела. Если теперь заставить пружину разжиматься, то она сообщит вращение не только волчку, но и человеку. Смотря по расположению оси волчка, человек может получить вращение вокруг продольной оси своего тела или вокруг одной из двух поперечных.

Если масса волчка в 200 раз меньше массы человека, а момент инерции его в 10 000 раз меньше момента инерции человека, то угловая скорость волчка будет в 10 000 раз меньше угловой скорости человека. И обратно. Так, если волчок делает сто оборотов в секунду, то человек сделает в секунду только $100/10\,000 = 1/100$ оборота, т. е. целый оборот он сделает в 100 сек, или в $1\frac{2}{3}$ мин.

Такое, по-видимому, медленное вращение, однако, гораздо быстрее вращения Земли, которая оборачивается в продолжение 1440 минут.

Можно рукой сообщить вращение опоре и вместе с тем собственному, вначале неподвижному телу; но только трудно это сделать так, чтобы при этой манипуляции избежать сообщения телам кроме вращательного движения поступательного.

Ощущение вращения

При таком медленном вращении, как в предыдущем примере, центробежная сила, происшедшая от этого вращения, так незначительна в сравнении с силой мускулов, что ее можно считать несуществующей. Между тем как при более быстром вращении она не только ощутима (руки вытягиваются в одну линию, ноги раскорячиваются), но даже может повредить человеку — может даже разорвать его на части. Очень медленное вращение легче всего заметить по обратному, кажущемуся вращению окружающих неподвижных тел.

Человеческому глазу совершенно убедительно будет казаться не собственное вращение, но противоположное вращение окружающего черного звездного шара вокруг точек, находящихся на одной прямой с его глазом.

Спор о вращении Земли

Ему будет казаться то же, в чем были твердо убеждены [люди] в древние и средние века, которые никак не соглашались признать вращение Земли, а видели только вращение хрустального синего свода. Это было до Галилея, которого они чуть не сожгли за противоречие.

4 апреля.
Утро

Вращение здания или снаряда

Вообразим неподвижное здание и внутри его различные, тоже неподвижные предметы. Внутри здания колесо, свободная ось которого совпадает с одной из свободных осей здания, взятого как одно целое вместе с находящимися в нем предметами.

Пусть колесу мускульная или другая сила, находящаяся в здании, сообщит быстрое или медленное вращение; тогда люди в здании тотчас же заметят его вращение по кажущемуся движению звезд, которые спокойно, ровно плывут, чередуясь, перед окнами. Только две звезды кажутся неподвижными; через эти звезды (полярные) проходит прямая линия, параллельная оси вращения здания и составляющая диаметр черного шара.

Если увеличить скорость вращения колеса, то и вращательная скорость здания так же увеличится; если уменьшить в 10 раз скорость колеса, то и скорость здания уменьшится в 10 раз.

Если остановить колесо, то и здание остановится; переменить вращение колеса на обратное — и здание поворотится вспять. При определенном положении оси вращения колеса положение оси вращения здания так же неизменно; но ничто не мешает нам повернуть здание вокруг этой оси на желаемое число градусов. Допустим, что момент инерции колеса в 360 раз меньше момента инерции здания; тогда если колесо сделает один

полный оборот и остановится, то здание в это время сделает $1/360$ оборота и также остановится. При 90 оборотах колеса здание сделает $90/360$ окружности, или повернется на 90° .

В здании может быть не одно колесо.

Посредством одного колеса можно поворачи[вать] здание вокруг одной его свободной оси; посредством другого колеса — вокруг другой его оси. При описании снаряда для путешествия в свободном пространстве, я покажу, что здание посредством одних внутренних сил и без потери вещества может принять любое положение, но без перемещения свободного центра.

При некоторой ловкости два человека, вначале неподвижные, могут сообщить друг другу силой своих мускулов обратные вращательные движения. Вращение, конечно, будет совершаться вокруг свободных и параллельных осей. В различные моменты этого вращения они то глядят друг на друга, то в противоположные стороны, то в одну сторону. Остановка или замедление одного влекут за собою остановку или замедление другого, и обратно.

8 апреля

Ускорение, замедление и остановка вращательного движения

Если тело вместе с опорой уже имело одну и ту же угловую скорость вокруг одной и той же свободной оси вращения, то движение это посредством опоры может быть усилено, ослаблено, остановлено и сделано обратным.

При увеличении скорости движения опоры, движение снаряда замедляется; и замедляется до тех пор, пока снаряд не остановится; при дальнейшем увеличении скорости вращения опоры движение снаряда делается обратным, и скорость этого движения возрастает до тех пор, пока возрастает скорость опоры.

При замедлении вращательной скорости опоры снаряд или другое тело ускоряет свое вращение — ускоряет до тех пор, пока опора не остановится; но и далее, когда вращение опоры делается обратным, движение снаряда продолжает ускоряться по мере ускорения обратного вращения опоры. Вообще тут существует закон: сумма произведений моментов инерции тел на их угловые скорости (или их работы вращения) до и после их взаимодействия одна и та же. Обратная скорость считается отрицательной и самое произведение момента инерции на отрицательную или обратную скорость также — отрицательным.

Этот же закон применяется и в том случае, когда взаимодействующих вращающихся тел столько, сколько угодно. Этот закон вращения аналогичен закону параллельных движений, который гласит: количество движения системы есть величина постоянная или сумма произведений масс на скорости не изменяется.

Описание снаряда.**Устойчивость снаряда.****Устойчивое циклоидальное движение (прямо[линейно]е).****Неустойчивое (круговое)**

Снаряд для путешествия в свободном пространстве, который я сейчас опишу, будет служить для передвижения человека и различных предметов в абсолютной пустоте без пути, т. е. без неподвижной опоры и по желаемому направлению.

Пустота абсолютная и свободное пространство

Вообразим железный или стальной шар, могущий выдержать давление заключенного в нем воздуха [рис. 7].

Этот шар снабжен многими круглыми отверстиями: справа, слева, спереди, сзади — со всех сторон.

Отверстия эти, служащие окнами, герметически закрыты толстыми прозрачными стеклами, крепость которых в состоянии выдерживать воздушное давление, положим, в сто килограммов на квадратный дециметр.

Эта упругость близка к атмосферной у поверхности Земли. Снаряд, взятый как одно целое вместе с заключенными в нем одушевленными и неодушевленными телами, как и всякое простое или сложное тело, имеет по крайней мере три оси, взаимно-перпендикулярных и проходящих через свободный его центр.

Одну из осей (Π , Π_1) назовем полярной, другую (M , M_1) меридиональной, третью (\mathcal{E} , \mathcal{E}_1) экваториальной.

Через эти оси можно провести три плоскости.

Плоскость, проходящую через две последние оси — меридиональную и экваториальную, назовем экваториальной; пересечение ее с шаром — экватором.

Плоскость, проходящую через оси — полярную и меридиональную, назовем меридиональной; пересечение же ее с шаром — меридианом.

10 апреля

Для того чтобы повернуть меридиональную плоскость снаряда, не изменяя положения экваториальной, служит материальная ось, совпадающая с полярной и могущая вращаться вместе с укрепленными концентрически, на ее концах, кругами или колесами (можно и одно колесо).

На том и другом конце меридиональной оси (в плоскости экватора) укреплены два прибора. Один (M), вроде пушки, служит для того, чтобы отбрасывать ядро по направлению меридиональной оси.

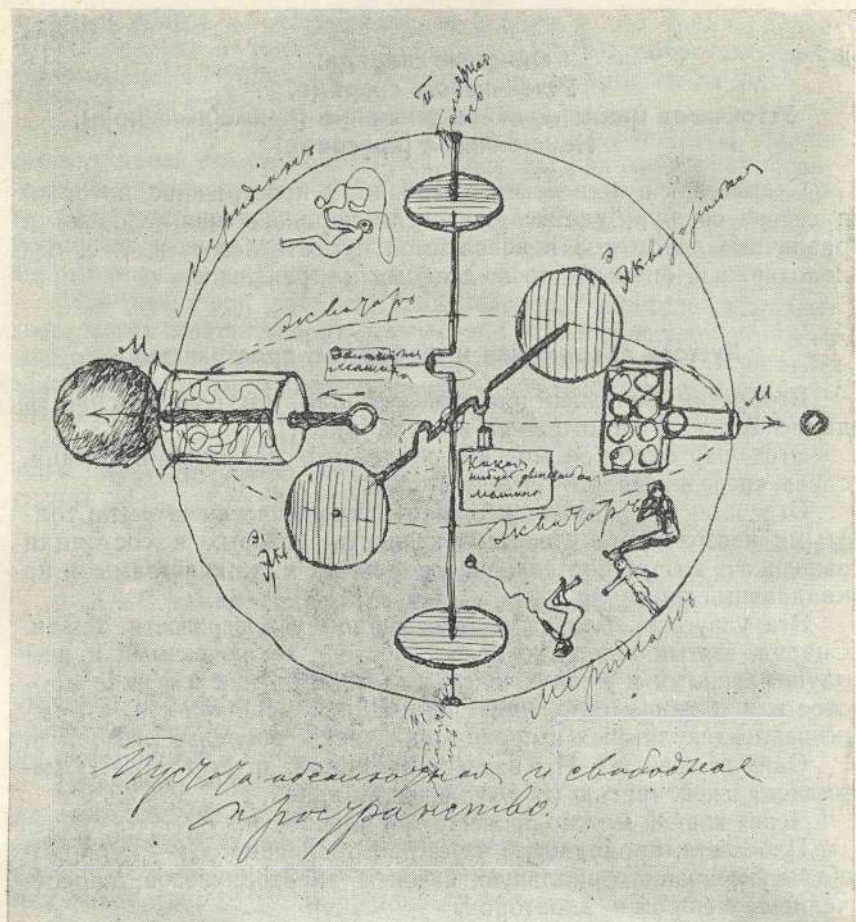


Рис. 7

Другой назначается для того же и имеет также вид толстой трубы с соответствующим ядром значительной величины и плотности.

Это ядро отбрасывается уже не порохом или другим взрывчатым веществом, как в первом снаряде, а менее значительной силой, например, пружиной или силой руки, причем к ядру этому прикреплена нить большой длины, которая не позволяет ему удаляться в бесконечность, между тем как каждое выброшенное ядро первой пушки пропадает для путешественников навеки, если только не будет поймано другими путешественниками и возвращено.

Пушка служит для перемещения всего снаряда по прямой линии на неопределенно большое расстояние; второй же прибор служит для удаления путешественников на незначительные расстояния — насколько позволяет длина нити, с помощью которой ядро притягивается обратно на прежнее место, точно так же, как и сам снаряд.

Посредством этих приборов (пушки) передвижение возможно только по одному направлению.

Полярная ось с кругами дает возможность поворачиваться шару вокруг этой оси и вместе с тем поворачивать меридиан и оба прибора, которые все-таки остаются в плоскости экватора.

Силой руки или какой-нибудь машинки я заставляю поворачиваться ось с кругами; вследствие этого поворачивается и шар, но в противоположную сторону и до тех пор, пока силой руки, машины или по инерции движется полярная ось.

Когда пушка прошла по экватору желаемое число градусов, я мгновенно останавливаю ось — останавливается и шар с пушкой и меридианом.

Теперь остается выпалить, и шар с путешественниками помчится в беспредельной плоскости экватора по желаемому направлению.

Чтобы иметь возможность поворачивать самый экватор (шара) или пушку в меридиональной плоскости, служит такая же ось с кругами, как и полярная, но совпадающая с экваториальной осью.

С помощью полярной оси пушка приобретает любое положение в плоскости экватора, с помощью же экваториальной оси — любое положение в плоскости меридиана. Первая ось поворачивает меридиан шара, вторая — экватор его.

Очевидно, с помощью этих двух осей пушке можно дать в пространстве всякое положение, и, следовательно, шар может двигаться во всяком направлении. Движения пушки сходны с движениями трубы теодолита. Как трубу этого последнего можно направить на любую звезду, так и пушке можно дать желаемое направление и отправить шар с путешественниками к любой звезде.

Достижение устойчивости снаряда для путешествия в абсолютной пустоте свободного пространства

Если масса шара не очень велика в сравнении с массой находящихся в нем людей, то всякие движения последних вызывают также и движения шара, движения тем более неправильные, чем неправильнее передвижение находящихся в нем предметов. Ненужное поворачивание шара, вследствие этой причины, влечет за собой ненужное поворачивание пушки. Во всяком случае, это ненужное поворачивание может быть произвольно ослаблено.

Дело в том, что чем скорее вращается диск, тем труднее действием силы изменить определенным образом его ось вращения или плоскость вращения.

Всякие силы, действующие не по направлению к центру тела, стремятся сообщить ему вращение. Если же это тело будет очень быстро вращаться, то подобного рода силы приблизительно не изменят оси вращения, но сообщат ей, может быть, параллельное движение.

Представим себе, что в шаре для путешествия имеются два быстро вращающихся кружка*, оси которых или плоскости которых взаимно перпендикулярны (или только наклонны).

Тогда неправильные (не центральные) действия сил на шар, в веществе которого вращаются оси с кружками, сообщают приблизительно и шару, и осям только параллельное движение, а не вращательное. Таким образом, посредством особой пары кружков достигается тем большая устойчивость шара, чем быстрее они вращаются. С помощью неподвижной опоры можно сообщить им быстрое движение без поворачивания шара. Впрочем, и посредством подвижной опоры можно достигнуть того же. В таком случае устойчивость достигается двумя парами кружков. У каждой пары кружков оси или совпадают, или параллельны, а самые кружки вращаются в противоположные стороны.

Если представим, что в центре описанного шара для путешествия в абсолютной пустоте свободного пространства оси разделяются пополам и каждая половина со своим диском может вращаться независимо от других половинок, то получим **снаряд, который может не только направиться туда, куда желают находящиеся в нем, но и принять большую или малую устойчивость.**

Действительно, давши пушке определенную (желаемую) широту и долготу, как было описано, после чего кружки останавливаются, сообщим теперь им противоположные и равные угловые скорости (если их моменты инерции равны).

От этого пушка не изменит свое направление, но получит вместе с шаром тем большую устойчивость, чем быстрее вращение кружков, скорость которых, конечно, произвольна, лишь бы их не разорвала центробежная сила.

Устойчивое циклоидальное движение

Смесь прямого движения с вращательным образует прямое циклоидальное движение. Не центральное действие силы на свободное тело всегда вызывает такое движение после действия силы.

* Два ротора гироскопов, по современной терминологии. (Ред.)

Вот практическое представление этого движения. Пусть на Земле в вагоне находится тело, имеющее равномерное вращение вокруг укрепленной свободной оси тела! Допустим теперь, что вагон имеет прямо[линейно]е равномерное движение по какому-нибудь направлению, тогда тело, вращающееся в вагоне, будет иметь прямо[линейно]е циклоидальное движение, точно также, как и все его точки, за исключением точек оси, которая будет иметь прямо[линейно]е равномерное движение! Относительно вагона движение будет, конечно, вращательное, но относительно пути, по которому он (вагон) движется — циклоидальное.

Такие-то прям[олинейн]ые циклоидальные движения совершаются в свободном пространстве, только без вагонов и укрепленных осей. Если плоскость вращения тела параллельна движению оси, то каждая точка будет описывать циклоиду, расположенную на плоскости. Это — плоская циклоида; так движется колесо катящейся телеги.

Если же плоскость вращения не параллельна движению осевых точек, то каждая точка тела будет описывать циклоиду, расположенную на эллиптическом цилиндре или, если эта плоскость перпендикулярна направлению прямого движения, — на круглом цилиндре. В последнем случае точки описывают всем известные винтовые линии.

Плоские циклоиды, даже принадлежащие точкам одного и того же тела, не подобны между собой.

11 апреля.

Утро

Условия сохранности газов и жидкостей в свободном простран[стве]

Я скажу немного о сохранении газов и жидкостей в свободном пространстве, потому что без этих видов материи там невозможна органическая жизнь, подобная земной, — невозможно, значит, и существование самого человека в свободном пространстве, достижение которого для человека, я докажу в своем месте, не абсолютно невозможно.

Я буду говорить про незначительные, сравнительно с земной массой, количества материи, взаимным влиянием которых, не противореча много закону ньютонова тяготения, я совершенно пренебрегаю, иначе это уже и не будет свободное пространство.

Ньютоново тяготение одной своей силой вполне способно сохранить в постоянном состоянии и значительной плотности газы и летучие жидкости (вода), как это мы видим на планетах; но не об этом я теперь говорю, не о влиянии громадных масс материи на газы.

Физика указывает два рода жидкостей: одни при обыкновенной температуре почти не дают испарений, даже в пустоте, подобно большинству твердых тел: например деревянное масло,

серная кислота. Другие же испаряются, уменьшаясь в массе и объеме.

Для сохранения этих последних в жидком виде, точно так же как и некоторых летучих тел в твердом виде (лед), необходимо заключать их в закрытый со всех сторон сосуд, сделанный из твердого вещества достаточной крепости или толстоты.

Если при этом внутренний объем сосуда больше объема вмещаемой им жидкости, то оставшаяся пустота наполняется парами жидкости, плотность и упругость которых будет соответствовать окружающей температуре.

То же самое можно сказать и о сохранении летучих твердых тел (лед). Объем сосуда может быть так велик, что вся масса помещенной в нем жидкости или твердого тела обращается в пар или газ. Для сохранения же неиспаряющихся жидкостей нет надобности ограждать их твердыми стенками — они могут существовать, не изменяясь, в количестве и виде, так же как большая часть твердых тел, если только одного рода жидкость не приходит в соприкосновение с разными твердыми и жидкими телами, причем уже вступают в свои права силы волосности.

Жидкости обоих родов, но как я уже сказал, без соприкосновения с твердыми и жидкими телами иной природы, принимают сплошную сферическую форму, зависящую от частичных свойств жидкости. Не та ли эта сила, которая солнцам и планетам также дает вид правильных капель? Вычисления показывают, что частичные силы капли воды или другого какого-нибудь твердого или жидкого тела несравненно больше, или, как говорят, бесконечно больше, чем то следует по закону тяготения, рождающему круглую форму небесных тел.

При взаимном соприкосновении твердых и жидких тел образуются самые разнообразные формы жидкостей, причем ярко в громадных размерах обнаруживаются явления волосности потому, что в свободном пространстве эти явления не подавляются тяжестью, как на Земле. Впрочем, массам жидкостей, примерно больше стакана воды, малейшее давление может придать желаемую форму.

12 апреля

Закон Паскаля. Барометр. Сифон. Уровень с воздушным пузырьком. Нивелиры

В свободном пространстве закон Паскаля о передаче давления жидкости, заключенной в замкнутом сосуде, обнаруживается во всей чистоте. Но сифон не действует и в газообразной среде, что и понятно, потому что движение жидкой струи сифона зависит главным образом от тяжести, атмосферное же давление, или в свободном пространстве — упругость, дает только связь жидкой струе, не позволяя ей разрываться.

Если бы частицы жидкости имели между собой такую же

связь, как звенья цепи, то сифон действовал бы и в пустоте, вне газообразной среды.

Так же бездействуют в свободном пространстве и различного рода фонтаны, хотя деятельность их, так же как и сифона, в курсах физики обыкновенно приписывается не тяжести, которая составляет душу этих приборов, а атмосферному давлению, роль которого второстепенна.

Так же бесполезны в свободном пространстве ртутные барометры (столбовые), уровни, разного рода сп[и]ртомеры, солемеры, ареометры, гидростатические весы, также и рычажные, нивелиры. Хотя в свободном простр[анстве] и возможна более или менее значительная упругость газов, но эта упругость может измеряться только упругостью же, а не весом, которого в св[ободном] пр[остранстве] нет. Поэтому для этой цели пригодны барометры, anerоиды и манометры со сжатым воздухом или другим упругим телом.

У обыкновенного барометра, перенесенного с Земли в воздушную среду свободного пространства, ртуть тотчас же упругостью газа заполняет собой всю трубку, какой бы она длины ни была, хотя бы не в метр, а в километр. Вообще, все приборы, основанные не на законах тяжести, с успехом, даже большим, чем на Земле, применяются и к свобод[ному] пр[остранству]. Например, термометр, рычажные и другие машины, назначенные для умножения силы или быстроты, как-то: блоки, гидравлические и рычажные прессы и пр.

12 апреля

Закон Архимеда. Аэростат и птицы, корабли и рыбы

Тело, погруженное в газ или жидкость свободного пространства, очевидно, никуда не движется при начальном спокойствии и отсутствии действующих на него сил.

Оно не испытывает также того ужасающего давления, которому подвергаются земные тела, погруженные в морскую глубину, и которое измеряется миллионами килограммов на квадратный дециметр. На глубине 10 км давление 10^6 кг/дм².

Действительно, давление морской воды на 1 км ниже уровня моря составляет уже более чем 1 000 000 силовых килограммов на каждый квадратный дециметр поверхности погруженного на эту глубину тела. По закону Архимеда, всякое тело, погруженное в жидкую среду, теряет из своего веса, или делается легче на столько, сколько весит объем вытесненной им жидкости. Так как вес этого последнего в свободном пространстве равен нулю, то и потеря в весе также равна нулю. В пустоте св[ободного] пр[остранства] оно весило нуль, да при погружении в жидкость потеряло нуль весу, следовательно, и в жидкости вес его остается равным нулю.

Итак, хотя закон Архимеда и применим к свободному пространству, но все же в свободном пространстве мы не увидим ни потопления, ни всплытия тел. Представлю эти явления рельефнее. Кусок железа или дерева, находящийся на поверхности или внутри жидкости, не тонет и не всплывает, но остается на своем первоначальном месте. Вот шар воды в несколько десятков метров в диаметре, человек касается его поверхности ногами, но не погружается в воду.

Волосностью я пренебрег, хотя она этого самого человека, довольно, впрочем, медленно, приказала бы воде смочить и одеть своей массой (окружить) при соприкосновении с водой. Но усилия ее так слабы, что мушиных сил достаточно, чтобы их преодолеть, да притом и слабые эти усилия возможны только при полном соприкосновении.

При постройках,двигающихся в жидкой среде, нет надобности чтобы, например, объем лодки или корабля соответствовал его весу. Он (корабль) не потонет ни при каком большом весе и ни при каком малом объеме. Кусок платины, погруженной в газ даже плотности воздуха, не падает и не поднимается, точно так же как и легкий шар, наполненный водородом и быстро поднимающийся в воздушной среде сил, параллельных и равных (на Земле, например).

Тяжесть, нужно отдать ей справедливость, соблюдает некоторый порядок: менее плотные жидкости занимают высшие места, более плотные — низшие. Тяжесть распределяет тела по порядку их плотности: внизу — ртуть, выше — вода, далее — масло и, наконец, — воздух.

Свободное пространство несколько не соблюдает этих порядков: ртуть, вода, масло и воздух перемешаны у него (свободного пространства) самым безалабернейшим способом. В среде тяжести менее плотные или более нагретые подвижные тела вытесняются по одному определенному направлению, что составляет так называемую естественную вентиляцию и тягу печей, ламп, свечей, самоваров. В свободном пространстве эта естественная тяга и вентиляция никуда не годятся. Печи там страшно надымят и сейчас же потухнут; так же лампа и свеча не горят ни минуты без искусственного возобновления воздуха. Громадной высоты заводские трубы не имеют там ни малейшего смысла. Самоварную трубу тоже лучше не покупать. Впрочем, тяжесть — штука неважная, уничтожить ее трудно и приобрести ее и воспользоваться ее малыми благодеяниями (я покажу со временем) легко.

13 апреля

Снаряды, назначенные для движения в воздухе свободного пространства, будут приспособлены не к борьбе с тяжестью, которая очень тяжела и вследствие которой человек на Земле

до сих пор не летает, но единственно только к рассечению воздушного пути. Птица со связанными крыльями, брошенная в воздушную среду свободного пространства, не падает камнем, как на Земле, но движется сообразно отброшенной силе, подобно лодке, оттолкнутой от берега в стоячей воде. Всякое тело, имеющее ось симметрии и брошенное по ее направлению, движется в газообразной среде свободного пространства по прямой линии со скоростью меньшей и меньшей, которая, однако, по теории никогда не обращается в нуль, хотя и приближается к нему все более и более. Даже пройденное пространство со временем безгранично возрастает.

Тело же, брошенное как-нибудь, движется по кривой линии и, конечно, с замедленной скоростью.

Только путь шара всегда прямолинеен.

Для того чтобы движение тела было равномерно, необходима постоянная сила, равная тому сопротивлению, которое встречает тело при своем движении в жидкой среде.

Условия роста и размножения растений

Мы знаем вообще, что нужно для развития и размножения растений. Им нужны некоторые газы (азот, кислород, углекислота, — главным образом, и пр.), жидкости с их парами (особенно вода), твердые вещества в раздробленном виде и хотя в малой степени растворимые в воде. Каждому растению нужна температура, не выходящая из определенных границ, солнечный или электрический свет.

Но тяжесть! Есть ли она необходимое условие растительной жизни?

Не думаю, потому что, как показывает опыт, изменение направления и силы тяжести посредством центробежной силы не уничтожает процесса растительной жизни. (Об этом мне придется еще говорить).

Мы видели ниже, что газы и жидкости, не говоря уже о твердых телах, могут сохраняться при известных условиях в свободном пространстве без изменения своего состояния. Мало того, впоследствии я докажу, что создание относительной тяжести произвольного напряжения в свободном пространстве несколько нетрудно и не стоит никаких издержек. Это я говорю на тот случай, если бы тяжесть оказалась необходимой принадлежностью растительного процесса.

Но я избрал место наблюдения свободных явлений чересчур далеко от Солнца, так что оно светит, как звезды, а звездного света, конечно, недостаточно для жизни растения. Я уже говорил, хотя и не доказывал еще, что свободные явления могут быть не только на расстоянии Земли от нашего Солнца, но даже

у самой солнечной поверхности, на таком расстоянии, которое, вероятно, достаточно для расплавления железа и угля.

Поэтому недостатка в солнечном свете, во всяком случае, быть не может.

Итак, при доступе света в закрытый герметически, но прозрачный сосуд (стекло), заключающий в себе необходимые атрибуты растения, это последнее, при достаточной температуре, прекрасно бы развилось, дало семена и потомство.

Чрезвычайно были бы интересны земные опыты, которые бы показали, при какой именно плотности и при каком давлении газов и паров совершается более или менее успешно развитие растения.

Точно ли необходима для растений та густая атмосфера кислорода и азота, которая, как мы видим, окружает его на Земле. В абсолютной пустоте сохранение газа тем легче, чем он разреженнее, потому что тем меньше его давление и тем тоньше и прозрачнее могут быть стенки сосуда, его заключающие.

Среднее давление или объемное количество углекислоты в воздухе в 2500 раз (Менделеев) меньше давления и объемного количества последнего (возд[уха]).

Если бы проектируемые мною опыты показали, что количество кислорода и азота может быть таково же, как и количество углекислоты — газа, значение которого для жизни растения кажется гораздо понятнее и важнее, чем значение азота, и количество которого (углекислоты), после азота и кислорода, наибольшее сравнительно с остальными газами, — то мы пришли бы к тому утешительному (пожалуй, для фантазера) заключению, что самые тончайшие и, следовательно, более прозрачные стенки могли бы удержать от рассеяния необходимые для растений газы.

13 апреля

Форма и величина растений

Хотя тяжесть, я уверен, и не есть необходимость для растения, но несомненно существует влияние тяжести на форму растений.

Так, общий главный ствол большинства растений имеет направление, более или менее близкое к вертикальному, т. е. совпадающее с направлением земной силы; а изменение направления относительной тяжести в опыте изменяет также и направление ствола, бывшее до опыта отвесным. Далее дерево от давления верхней его части на нижнюю гниет, разрушается или прямо ломается. И, вообще, рост его не переходит известных границ.

В свободном же простр[анстве] направления главных и второстепенных стволов, очевидно, зависят только от случайных, ничтожных причин, и потому направления их неопределенны и легко могут быть руководимы человеком, который, таким обра-

зом, будет иметь возможность давать им произвольно прихотливую форму.

Кроме того, при отсутствии угнетающей тяжести размер растения также неопределенно велик, если только не допустить размеры в длину и толщину в несколько сотен километров.

Но вот в чем дело — не имеет ли тяжесть благотворного влияния на диффузию или на движение древесных соков?

Имеет; но не думаю, чтобы она служила необходимой или даже благотворной причиной их движения в какой-нибудь части дерева, потому что причина движения соков лежит в законах диффузии и волосности, которые обнаруживаются без влияния тяжести даже с большой силой.

Действительно, теория показывает, что если в какой-нибудь данной стеклянной трубке на Земле вода силой волосности поднимается на один сантиметр, то на Луне вода в той же самой трубке поднимется на высоту в шесть сант[иметров], на Весте — на высоту в 30 см, на Аталанте — 400 см или на высоту в 4 м.

Очевидно, в свободном пространстве вода должна заполнить стеклянную трубку вполне, какой бы длины она ни была.

Известны также опыты диффузии газов и жидкостей, в которых влияние тяготения не замечено.

Может быть, даже естественный или искусственный подбор в состоянии образовать виды растений, могущих жить почти в абсолютной пустоте.

Может быть на Луне и существуют такие растения; других же земных существовать не может вследствие отсутствия атмосферы или вследствие ее крайнего разрежения.

Условия жизни животных. Форма и величина их

При возможности существования в свободном пространстве растений, которые питают человека и, разлагая углекислоту, дают ему газ (кислород), необходимый для всякого животного процесса, очевидно, возможно и существование человека, если бы даже его организация и не была изменена им самим путем искусственного подбора и преобразования.

Действительно — существующая форма человеческого существа приспособлена к среде сил, параллельных и равных, и не будь тяжести на поверхности Земли при неизменяемости остальных обстоятельств жизни, форма эта совершенно изменилась бы или по крайней мере преобразовалась бы путем естественного подбора; старая форма оказалась бы невыгодной в борьбе за существование при новых условиях, потому что она уже не удовлетворяет идеалу новой среды.

Ноги, необходимые при передвижении в среде тяжести, несколько не нужны в свободном пространстве, так что, наверное,

они атрофировались бы или преобразовались бы в полезный при данной среде член, например — хватательный, вроде щипцов для удержания на месте, или отталкивающий для равномерного передвижения существ без посредства вещественной дороги.

Этот последний аппарат, если допустить слепой естественный подбор неразумных существ, принял бы поражающие размеры, так как тяжесть не ограничивает тут величины органов или членов и так как описанный аппарат может служить как средством избежания опасности, так и средством отыскивать скорейшим образом пищу и наносит соперникам чувствительные удары.

Даже в сфере Солнечной системы имеется множество мест с явлениями свободного пространства.

Нет ничего невозможного в предположении, что эти пространства населены крайне для нас странными существами, огромная величина которых, свойственная свободн[ому] пространству, может быть, с улучшением телескопов позволит нам рассмотреть их формы.

Этим далеко неполным очерком я заканчиваю пока описание явлений свободного пространства.

В последующих частях этого труда я буду иметь возможность не раз возвращаться к свободным явлениям.

Когда я покажу, что свободное пространство не так бесконечно далеко и недостижимо для человечества, как кажется, то тогда свободные явления заслужат у читателя более серьезного внимания и интереса.

Исследование мировых пространств реактивными приборами*

(1903 г.)

1. Небольшие аэростаты с автоматически наблюдающими приборами, без людей, до сих пор поднимались только до высоты, не большей 20 верст.

Трудность поднятия в высоту с помощью воздушных шаров возрастает чрезвычайно быстро с увеличением этой высоты.

Положим, мы хотим, чтобы аэростат поднялся на высоту 27 км и поднял груз в 1 кг (2,4 фунта). Воздух на высоте 27 км имеет плотность около $\frac{1}{50}$ плотности воздуха при обыкновенных условиях (760 мм давления и 0°C). Значит, шар на такой высоте должен занять объем в 50 раз больший, чем внизу. У уровня же океана следует впустить в него не менее 2 м³ водорода, которые на высоте займут 100 м³. При этом шар поднимет груз в 1 кг, т. е. поднимет автоматический прибор, а сам шар будет весить 1 кг или около того.

Поверхность его оболочки при диаметре в 5,8 м составит не менее 103 м². Следовательно, каждый 1 м² материи, считая и пришитую к ней сетку, должен весить 10 г.

1 м² этой писчей бумаги весит 100 г, вес же 1 м² папиросной бумаги составляет 50 г. Так что даже папиросная бумага будет в 5 раз тяжелее той материи, которая должна быть употреблена на наш аэростат. Такая материя, в применении к аэростату, невозможна, потому что оболочка, сделанная из нее, будет рваться и сильно пропускать газ**.

Шары больших размеров могут иметь более толстую оболочку. Так, шар с небывало большим диаметром в 58 м будет иметь оболочку, 1 м² которой весит около 100 г, т. е. чуть тяжелее обыч-

* Напечатано впервые в журнале «Научное обозрение», 1903, № 5, стр. 45—75. Вторично эта работа была издана с некоторыми изменениями в 1924 г. отдельной брошюрой под названием «Ракета в космическое пространство». (Ред.).

** Современные синтетические материалы существенно расширили возможность получения очень тонких и прочных тканей. (Ред.).

новенной писчей бумаги. Подымет он 1000 кг груза, что чересчур много для самопишущего прибора.

Если ограничиться, при тех же громадных размерах аэростата, подъемною силою в 1 кг, то оболочку можно сделать раза в 2 тяжелее. Вообще, в таком случае аэростат хотя и обойдется весьма дорого, но построение его нельзя считать делом невозможным. Объем его на высоте 27 км составит 100 000 м³, поверхность оболочки — 10 300 м².

А между тем какие жалкие результаты! Подъем на какие-то 25 верст.

Что же сказать о поднятии приборов на большую высоту! Размеры аэростатов должны быть еще значительно больше, но не надо при этом забывать, что с увеличением размеров воздушного шара разрывающие оболочку силы все более и более берут перевес над сопротивлением материала.

За пределы атмосферы поднятие приборов с помощью воздушного шара, разумеется, совсем невысказимо; из наблюдений над падающими звездами видно, что пределы эти не простираются далее 200—300 км.

Теоретически даже определяют высоту атмосферы в 54 км, принимая в основание расчета понижение температуры воздуха в 5° С на каждый километр поднятия, что довольно близко к действительности, по крайней мере для доступных слоев атмосферы.

Высота атмосферы, км	Температура, °С	Плотность воздуха	Высота атмосферы, км	Температура, °С	Плотность воздуха
0	0	1	30	—150	1:116
6	—30	1:2	36	—180	1:584
12	—60	1:4,32	42	—210	1:3900
18	—90	1:10,6	48	—240	1:28000
24	—120	1:30,5	54,5	—272	0

Выше приведена таблица высот, температур и плотностей воздуха, вычисленная мною на этом основании*. Из нее очевидно, как быстро возрастают трудности поднятия с увеличением его высоты.

Делитель последнего столбца и выражает эту трудность устройства воздушного шара.

* Современные данные о строении земной атмосферы существенно отличаются от приведенных в таблице. Установлено (в среднем), что понижение температуры имеет место до высоты 11 км с градиентом 6,5°С на 1 км. В стратосфере от 11 до 25—30 км температура постоянна и равна —56,5°С. Выше 80 км температура повышается, достигая +1200÷1300°С на высоте 200 км. (Ред.).

2. Перейдем к другой идее поднятия — с помощью пушечных ядер.

На практике начальная быстрота их движения не превышает 1200 м/сек. Такое ядро, пущенное вертикально, поднимется на высоту в 73 км, если поднятие совершается в безвоздушном пространстве*. В воздухе, разумеется, поднятие много меньше, в зависимости от формы и массы ядра.

При хорошей форме поднятие может достигать значительной величины, но помещать наблюдающие приборы внутри ядра невозможно потому, что они будут разбиты вдребезги — или при возвращении ядра на Землю, или при самом движении его в пушечном стволе.

Опасность при движении ядра в канале меньше, но и эта опасность, для целости аппаратов, громадна. Положим, для простоты, что давление газов на ядро равномерно, вследствие чего ускорение его движения в секунду составляет W м/сек. Тогда то же ускорение получают и все предметы в ядре, принужденные совершать с ним одно движение. От этого внутри ядра должна развиться относительная, кажущаяся тяжесть**, равная W/g , где g есть ускорение земной тяжести у поверхности Земли.

Длина пушки L выразится формулой

$$L = \frac{V^2}{2(W - g)},$$

где V есть скорость, приобретаемая ядром по выходе из жерла.

Из формулы видно, что W , а следовательно, и приращение относительной тяжести в ядре, уменьшается с увеличением длины пушки, при постоянном V ; т. е. чем длиннее пушка, тем приборы безопаснее во время выталкивания ядра. Но и при очень длинной, неосуществимой на деле пушке кажущаяся в ядре тяжесть, при ускоряющемся его движении в пушечном канале, настолько велика, что нежно устроенные аппараты едва ли могут перенести ее без порчи. Тем более невозможно послать в ядре что-нибудь живое, если бы в этом случилась надобность.

3. Итак, допустим, что построена пушка ну хоть в 300 м высоты. Пусть она расположена вдоль башни Эйфеля, которая, как известно, имеет такую же высоту, и пусть ядро равномерным давлением газов получает, при выходе из жерла, скорость, достаточную для поднятия за пределы атмосферы, например, для поднятия на 300 км от земной поверхности. Тогда потребную для этого скорость V вычислим по формуле $V = \sqrt{2gh}$ ***,

* Ускорение силы тяжести g также считается постоянным. (Ред.)

** Перегрузка. (Ред.)

*** При выводе этой формулы сопротивление воздуха не учитывается (Ред.).

где h — высота поднятия (получим около 2450 м/сек). Из двух последних формул, исключая V , найдем

$$\frac{W}{g} = \frac{h}{L} + 1,$$

тут W/g выражает относительную или кажущуюся тяжесть в ядре. По формуле найдем, что она равна 1001.

Следовательно, тяжесть всех приборов в ядре должна увеличиться в 1000 раз с лишком, т. е. предмет весом в один фунт испытывает от кажущейся тяжести давление в 1000 фунтов, или 25 пудов. Едва ли какой физический прибор выдержит подобное давление.

Чтобы не ввести кого-нибудь в заблуждение словом «относительная или кажущаяся тяжесть», скажу, что я тут подразумеваю силу, зависящую от ускоряющегося движения тела (например, ядра); она появляется также и при равномерном движении тела, если только это движение криволинейно, и называется тогда центробежной силой. Вообще, она появляется всегда на теле или в теле, если только на одно это тело действует какая-либо механическая сила, нарушающая движение тела по инерции.

Относительная тяжесть существует до тех пор, пока существует рождающая ее сила: прекращается последняя — исчезает бесследно и относительная тяжесть. Если я называю эту силу тяжестью, то только потому, что ее временное действие совершенно тождественно с действием силы тяготения. Как тяготению подвержена каждая материальная точка тела, так и относительная тяжесть рождается в каждой частице тела, заключенного в ядре; происходит это потому, что кажущаяся тяжесть зависит от инерции, которой одинаково подвержены все материальные части тела.

Итак, приборы внутри ядра сделаются тяжелее в 1001 раз. Если бы даже при этом страшном, хотя и кратковременном (0,24 сек) усилении относительной тяжести и удалось их сохранить в целости, то все же найдется много других препятствий для употребления пушек в качестве посылателей в небесное пространство.

Прежде всего трудность их построения даже в будущем; далее — громадная начальная скорость ядра; действительно, в нижних густых слоях атмосферы скорость ядра много потеряет вследствие сопротивления воздуха; потеря же скорости сильно сократит и величину поднятия ядра; затем трудно достигнуть равномерного давления газов на ядро во время его движения в стволе, отчего усиление тяжести будет много более, чем мы вычислили (1001); наконец, безопасное возвращение ядра на Землю более чем сомнительно.

Реактивный прибор — «Ракета»

4. Впрочем, одного громадного усиления тяжести совершенно достаточно, чтобы оставить мысль о применении пушек к нашему делу.

Вместо их, или азростата, в качестве исследователя атмосферы предлагаю реактивный прибор, т. е. род ракеты, но ракеты грандиозной и особенным образом устроенной. Мысль не новая, но вычисления, относящиеся к ней, дают столь замечательные результаты, что умолчать о них нельзя.

Эта моя работа далеко не рассматривает всех сторон дела и совсем не решает его с практической стороны — относительно осуществимости; но в далеком будущем уже виднеются сквозь туман перспективы, до такой степени обольстительные и важные, что о них едва ли теперь кто мечтает.

Представим себе такой снаряд [рис. 1]*: металлическая продолговатая камера (формы наименьшего сопротивления), снабженная светом, кислородом, поглотителями углекислоты, миазмов и других животных выделений, предназначена не только для хранения разных физических приборов, но и для управляющего камерой разумного существа (будем разбирать вопрос по возможности шире). Камера имеет большой запас веществ, которые при своем смешении тотчас же образуют взрывчатую массу. Вещества эти, правильно и довольно равномерно взрываясь в определенном для того месте, текут в виде горячих газов по расширяющимся к концу трубам, вроде рупора или духового музыкального инструмента. Трубы эти расположены вдоль стенок камеры, по направлению ее длины. В одном — узком конце трубы совершается смешение взрывчатых веществ: тут получают сжатые и пламенные газы. В другом, расширенном ее конце, они, сильно разредившись и охладившись от этого, вырываются наружу, через раструбы, с громадною относительною скоростью.

Понятно, что такой снаряд, как и ракета, при известных условиях будет подниматься в высоту.

Необходимы автоматические приборы, управляющие движением ракеты (так будем мы иногда называть наш прибор) и силою взрывания по заранее намеченному плану.

Если равнодействующая сил взрывания не проходит точно через центр инерции снаряда, то снаряд будет вращаться и, следовательно, никуда не будет годиться. Добиться же математической точности в этом совпадении совершенно невозможно, потому что как центр инерции не может не колебаться вследствие движения заключенных в снаряде веществ, так и направление в пушке равнодействующей сил давления газов не может иметь

* В издании 1903 г. чертежи были опущены. В данной книге они приводятся на основании архивных материалов. (Ред.).

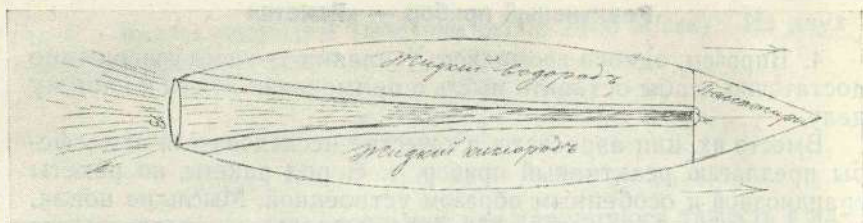


Рис. 1. Схематический вид ракеты

Оба жидких газа разделены перегородкой. А — место смещения газов и взрывания их; В — вылет сильно разреженных и охлажденных паров; труба АВ окружена кожухом и быстро циркулирующей в нем металлической жидкостью

математически неизменное направление. В воздухе еще можно направлять снаряд рулем, подобным птичьему, но что вы сделаете в безвоздушном пространстве, где эфир едва ли представит какую-либо заметную опору?

Дело в том, что если равнодействующая по возможности близка к центру инерции снаряда, то вращение его будет довольно медленно. Но едва только оно начинается, мы перемещаем какую-нибудь массу внутри снаряда до тех пор, пока происходящее от этого перемещение центра инерции не заставит снаряд уклоняться в противоположную сторону. Таким образом, следя за снарядом и перемещая внутри его небольшую массу, достигнем колебания снаряда то в ту, то в другую сторону, общее же направление действия взрывчатых веществ и движения снаряда изменяться не будет.

Может быть, ручное управление движением снаряда окажется не только затруднительным, но и прямо практически невозможным. В таком случае следует прибегнуть к автоматическому управлению.

Основания для такого, после сказанного, понятны.

Притяжение Земли не может быть тут основной силой для регулирования, потому что в ядре будет только относительная тяжесть с ускорением W , направление которой совпадает с относительным направлением вылетающих взрывчатых веществ или прямо противоположно направлению равнодействующей их давления. А так как это направление меняется с поворачиванием ядра и пушки, то тяжесть эта, как направитель регулятора, не годится.

Возможно употребить для этой цели магнитную стрелку, или силу солнечных лучей, сосредоточенных с помощью двояковыпуклого стекла. Каждый раз, когда ядро с пушкой поворачивается, маленькое и яркое изображение Солнца меняет свое относительное положение в ядре, что может возбуждать расширение газа, давление, электрический ток и движение массы, вос-

становляющей определенное направление пушки, при котором светлое пятно падает в нейтральное, так сказать, нечувствительное место механизма.

Автоматически подвигаемых масс должно быть две.

Основую для регулятора направления ядра также может служить небольшая камера с двумя быстро вращающимися в разных плоскостях кругами. Камера привешена так, что положение или, точнее, направление ее не зависит от направления пушки. Когда пушка поворачивается, камера в силу инерции, пренебрегая трением, сохраняет прежнее абсолютное направление (относительно звезд); это свойство проявляется в высшей степени при быстром вращении камерных дисков.

Прицепленные к камере тонкие пружинки, при поворачивании пушки, меняют в ней свое относительное положение, что может служить причиной возникновения тока и передвижения регулирующих масс.

Наконец, поворачивание конца раструба также может служить средством сохранения определенного направления снаряда*.

Преимущества ракеты

5. Прежде чем излагать теорию ракеты или подобного ей реактивного прибора, попытаюсь заинтересовать читателя преимуществами ракеты перед пушкой с ее ядром.

а) Аппарат наш, сравнительно с гигантской пушкой, легок, как перышко; б) он относительно дешев и сравнительно легко осуществим; в) давление взрывчатых веществ, будучи довольно равномерным, вызывает равномерно-ускоряющееся движение ракеты, которое развивает относительную тяжесть; величиною этой временной тяжести мы можем управлять по желанию, т. е. регулируя силу взрыва, мы в состоянии сделать ее произвольно мало или много превышающей обыкновенную земную тяжесть. Если предположим, для простоты, что сила взрыва, понемногу уменьшаясь, пропорциональна массе снаряда, сложенной с массой оставшихся невзорванными взрывчатых веществ, то ускорение снаряда, а следовательно, и величина относительной тяжести будут постоянны. Итак, в ракете могут безопасно, в отношении кажущейся тяжести, отправиться не только измерительные приборы, но и люди, тогда как в пушечном ядре, даже при огромной, небе-

* Позднее Циолковским здесь было добавлено: «Проще всего для управления ракетой может служить двойной руль, помещенный вне, поблизости от выходного конца трубы. Избежать же вращения ракеты вокруг продольной оси можно кручением пластинки, расположенной по направлению движения газов, среди них».

Поворачивание камеры реактивного двигателя для получения управляющих сил и моментов, так же как и применение газовых рулей, широко используется в современных конструкциях ракет. (Ред.).

валой пушке, величиною с башню Эйфеля, относительная тяжесть увеличивается в 1001 раз.

д) Еще не малое преимущество ракеты: скорость ее возрастает в желаемой прогрессии и в желаемом направлении; она может быть постоянной и может равномерно уменьшаться, что даст возможность безопасного спуска на планету. Все дело в хорошем регуляторе взрывания. е) При начале поднятия, пока атмосфера густа и сопротивление воздуха при большой скорости огромно, ракета двигается сравнительно не быстро и потому мало теряет от сопротивления среды и мало нагревается.

Скорость ракеты, естественным образом, лишь медленно возрастает; но затем, по мере поднятия в высоту и разрежения атмосферы, она может искусственно возрастать быстрее; наконец, в безвоздушном пространстве эта быстрота возрастания может быть еще усилена. Таким путем мы потратим «*minimum*» работы на преодоление сопротивления воздуха.

Ракета в среде, свободной от тяжести и атмосферы

6. Сначала рассмотрим действие взрыва в среде, свободной от тяжести и окружающей материи, т. е. атмосферы. Относительно последней мы беремся только разобрать ее сопротивление движению снаряда, но не движению вырывающихся стремительно паров. Влияние атмосферы на взрыв не совсем ясно: с одной стороны, оно благоприятно, потому что вырывающиеся вещества имеют в окружающей материальной среде некоторую опору, которую они, при своем движении, увлекают и таким образом способствуют увеличению скорости ракеты; но, с другой стороны, та же атмосфера своей плотностью и упругостью мешает расширению газов далее известного предела, отчего взрывчатые вещества не приобретают той скорости, которую они могли бы приобрести, взрываясь в пустоте. Это последнее влияние неблагоприятно, потому что приращение скорости ракеты пропорционально скорости отбрасываемых продуктов взрыва.

7. Массу снаряда со всем содержимым, кроме запаса взрывчатых веществ, обозначим через M_1 ; полную массу последних — через M_2 ; наконец, переменную массу взрывчатых веществ, оставшихся невзорванными в снаряде в данный момент, — через M .

Таким образом, полная масса ракеты при начале взрыва будет равна $M_1 + M_2$; спустя же некоторое время она выразится переменной величиною $M_1 + M$; наконец, по окончании взрывания — постоянной M_1 .

Чтобы ракета получила наибольшую скорость, необходимо, чтобы отбрасывание продуктов взрыва совершалось в одном направлении относительно звезд. А для этого нужно, чтобы ракета не вращалась; а чтобы она не вращалась, надо чтобы равнодей-

ствующая взрывающих сил, проходящая через центр их давления, проходила в то же время и через центр инерции всей совокупности летящих масс.

Вопрос, как этого достигнуть на практике, мы уже слегка разобрали.

Итак, предполагая такое невыгоднейшее отбрасывание газов в одном направлении, получим следующее дифференциальное уравнение на основании закона о постоянстве количества движения:

$$dV(M_1 + M) = V_1 dM. \quad (8)$$

9. Здесь dM есть бесконечно малый отброс взрывчатого вещества, вырывающегося из пушечного раструба с постоянною относительно ракеты скоростью V_1 .

10. Я хочу сказать, что относительная скорость (V_1) вырывающихся элементов при одинаковых условиях взрыва одна и та же во все время взрывания — на основании закона относительных движений; dV есть приращение скорости (V) движения ракеты вместе с оставшимися нетронутыми взрывчатыми материалами; приращение это (dV) совершается, благодаря отбрасыванию элемента dM со скоростью V_1 . Определением последней мы займемся в своем месте.

11. Разделяя переменные величины в уравнении (8) и интегрируя, получим

$$\frac{1}{V_1} \int dV = - \int \frac{dM}{M_1 + M} + C, \quad (12)$$

или

$$\frac{V}{V_1} = - \ln(M_1 + M) + C. \quad (13)$$

Тут C есть постоянное. Когда $M = M_2$, т. е. до взрывания, $V = 0$; на этом основании найдем

$$C = \ln(M_1 + M_2); \quad (14)$$

стало быть,

$$\frac{V}{V_1} = \ln \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 + M} \right). \quad (15)$$

Знаки обеих частей уравнения [будут] обратные, потому что скорости V и V_1 противоположны по направлению.

Наибольшая скорость снаряда получится, когда $M = 0$, т. е. когда весь запас M_2 взорван; тогда получим, полагая в предыдущем уравнении $M = 0$,

$$\frac{V}{V_1} = \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (16)$$

17. Отсюда мы видим, что скорость (V) снаряда возрастает неограниченно с возрастанием количества (M_2) взрывчатых

веществ. Значит, запасаясь разными количествами их, при разных путешествиях, мы получим самые разнообразные окончательные скорости. Из уравнения (16) также видно, что скорость ракеты, по израсходовании определенного запаса взрывчатого вещества, не зависит от быстроты или неравномерности взрывания, лишь бы частицы отбрасываемого материала двигались с одной и той же скоростью (V_1) относительно ядра.

Однако с увеличением запаса (M_2) скорость (V) ракеты возрастает все медленнее и медленнее, хотя и безгранично. Приблизительно она возрастает, как логарифм от увеличения количества взрывчатых запасов (M_2) (если M_2 велико в сравнении с M_1 , т. е. масса взрывчатых веществ в несколько раз больше массы снаряда).

18. Дальнейшие вычисления будут интересны, когда мы определим V_1 , т. е. относительную и окончательную скорость взорванного элемента.

Так как газ или пар, при оставлении пушечного растроба, весьма разрезается и охлаждается (при достаточной длине трубы), даже обращается в твердое состояние — в пыль, которая мчится со страшною быстротой, — то можно принять, что вся энергия горения или химического соединения, при взрывании, обращается в движение продуктов горения, или в кинетическую энергию. В самом деле, представим себе определенное количество газа, расширяющегося в пустоте, без всяких приборов: он будет во все стороны расширяться и вследствие этого охлаждаться до тех пор, пока не превратится в капли жидкости, или в туман.

Туман этот обращается в кристаллики, но уже не от расширения, а от испарения и лучеиспускания в мировое пространство.

Расширяясь, газ выделит всю свою явную и отчасти скрытую энергию, которая превратится в конце концов в быстрое движение кристалликов, направленное во все стороны, так как газ расширялся свободно во все стороны. Если же его заставить расширяться в резервуаре с трубой, то труба направит движение газовых молекул по определенному направлению, чем мы и пользуемся для наших целей, т. е. для движения ракеты.

Как будто энергия движения молекул превращается в кинетическое движение до тех пор, пока вещество сохраняет газообразное или парообразное состояние. Но это не совсем так. Действительно, часть вещества может обратиться в жидкое состояние; но при этом выделяется энергия (скрытая теплота парообразования), которая передается оставшейся парообразной части материи и замедлит на некоторое время переход ее в жидкое состояние. Подобное явление мы видим в паровом цилиндре, когда пар работает собственным расширением; выход же из парового котла в цилиндр заперт. Тогда, при какой бы температуре не был пар, часть его обращается в туман, т. е. жидкое состояние, другая же

часть продолжает сохранять парообразное состояние и работать, заимствуя скрытую теплоту сгустившихся в жидкость паров.

Итак, энергия молекулярная будет превращаться в кинетическую, по крайней мере, до состояния жидкого. Когда вся масса обратится в капли, превращение в кинетическую энергию почти приостановится, потому что пары жидких и твердых тел, при низкой температуре, имеют чересчур незначительную упругость и использование их на практике затруднительно, так как потребует огромных труб.

Однако некоторая незначительная часть указанной нами энергии пропадет для нас, т. е. не превратится в кинетическую энергию, благодаря трению о трубу и лучеиспусканию теплоты нагретыми ее частями. Впрочем, труба из красной меди может быть окружена кожухом, в котором циркулирует какой-нибудь жидкий металл; он передаст жар весьма нагретой части одного конца трубы другой ее части, охлажденной вследствие сильного разрежения паров. Таким образом и эта потеря, от лучеиспускания и теплопроводности, может быть утилизирована или сделана очень незначительной. Ввиду кратковременности взрывания, продолжающегося в крайних случаях от 2 до 5 мин, потеря от лучеиспускания и без всяких приспособлений незначительна; циркуляция же металлической жидкости в кожухе, окружающем трубы, необходима для другой цели: для поддержания труб при одной и той же невысокой температуре, т. е. для сохранения крепости трубы. Несмотря на это, возможно, что часть ее будет расплавлена, окислена и унесена вместе с газами и парами. Может быть, для избежания этого внутреннюю часть трубы будут выкладывать каким-нибудь особенным огнеупорным материалом, углеродом, известью (CaO) или чем-нибудь иным. Хотя часть углерода при этом и сгорит, но крепость металлической пушки, мало нагретой, пострадать от этого не может.

Газообразный же продукт горения углерода — углекислота — только усилит поднятие ракеты. Может быть, употреблен будет род тигельного материала — какая-нибудь смесь веществ. Во всяком случае не я решу этот вопрос, как и множество других, относящихся к нашим реактивным приборам.

Во многих случаях я принужден лишь гадать и предполагать. Я несколько не обманываюсь и отлично знаю, что не только не решаю вопроса во всей полноте, но что остается поработать над ним в 100 раз больше, чем я поработал. Моя цель возбудить к нему интерес, указав на великое значение его в будущем и на возможность его решения...

Для уменьшения протяжения, занимаемого трубами, при той же длине их, можно завивать их кольцами или змеевиком, окруженным, для сохранения умеренной и равномерной температуры, хорошо проводящей тепло и быстро циркулирующей жидкостью.

В настоящее время превращение водорода и кислорода в жидкость не представляет особенных затруднений. Жидкости эти должны быть разделены перегородкой. Температура их весьма низкая; поэтому ими полезно окружать или кожухи с циркулирующим металлом, или непосредственно самые пушки.

Опыт покажет, как сделать лучше. Но в последнем случае для труб медь уже не годится, потому что она при очень низкой температуре делается хрупкой и, вероятно, теряет свою вязкость. Некоторые же металлы, напротив, делаются крепче от охлаждения; вот такие-то металлы и нужно тогда употребить, например железо. Не помню хорошо, но какие-то опыты над сопротивлением, кажется, железа в жидком воздухе указали, что вязкость его при этой низкой температуре увеличивается чуть ли не в десятки раз. За достоверность не ручаюсь, но опыты эти, в применении к нашему делу, заслуживают глубочайшего внимания*.

(Почему бы не охлаждать таким образом и обыкновенные пушки, прежде чем из них стрелять, ведь жидкий воздух теперь такая обыкновенная вещь.)

Жидкий кислород и такой же водород, выкачиваемые из своих резервуаров, в известном отношении, в узкое начало трубы и соединяясь тут понемногу, могут дать прекрасный взрывчатый материал. Получаемый при химическом соединении этих жидкостей водяной пар, при страшно высокой температуре, будет расширяться, подвигаясь к концу, или устью, трубы до тех пор, пока не охладится до того, что обратится в жидкость, несущуюся в виде тончайшего тумана по направлению длины трубы, к ее выходу (раструбу).

Водород и кислород в жидком виде, прежде чем попасть в пушку, пройдут по особому кожуху, вдоль ее поверхности, охладят ее, сами нагреются и тогда уже попадают в пушку и взрываются; таким образом, энергия тепла, уходящего путем теплопроводности и лучеиспускания из пушки, опять в нее возвращается, чтобы обратиться в энергию поступательного движения пара или тумана.

* Автор указал здесь на металл — железо, который, однако, при низких температурах, как уже указывал Ладеман в журнале ZFM (R. Lademann «Zum Raketenproblem»), апрель, 1927 г., оказывается негодным в отношении крепости.

Автор отвечает ему в приложении к книге «Космическая ракета, опытная подготовка»:

«Об увеличении крепости железа при температуре жидкого воздуха я передал в 1903 г. только то, что сам читал, и нисколько не настаиваю на истине прочитанного, раз оно оказалось неверно. На практике взрывная труба такой степени холода и не будет иметь. Охлаждается она нефтью, которая в свою очередь охлаждается оживленным воздухом. Хорошо, если труба не расплавится и не сгорит, нефть не будет кипеть, и жидкий воздух будет не очень быстро улетучиваться. Что уж тут думать о температуре жидкого воздуха для взрывной трубы». (Прим. ред. Ф. А. Цандера к Избранным трудам К. Э. Циолковского, кн. II, «Реактивное движение», [Л.], ОНТИ, 1934).

19. Водород и кислород в газообразном состоянии, соединяясь для образования 1 кг воды, развивают 3825 кал. Под словом «калория» мы тут подразумеваем количество теплоты, потребное для нагревания на 1°C 1 кг воды.

Количество это (3825) у нас будет немного меньше, раз кислород и водород находятся в жидком состоянии, а не в газообразном, к каковому относится данное нами число калорий. В самом деле, жидкости, во-первых, надо нагреть, во-вторых, обратить в газообразное состояние, на что расходуется некоторая энергия. Ввиду незначительной величины этой энергии сравнительно с энергией химической, мы оставим наше число без умаления.

Принимая механический эквивалент теплоты в 424 кГ/м^* , найдем, что 3825 кал соответствуют работе в 1 621 800 кГм; этого достаточно для поднятия продуктов взрыва, т. е. 1 кг вещества на высоту 1622 км от поверхности земного шара, предполагая силу тяжести постоянной. Эта работа, превращенная в движение, соответствует работе одного килограмма массы, движущейся со скоростью 5700 м в 1 сек. Я не знаю ни одной группы тел, которые при своем химическом соединении выделяли бы, на единицу массы полученного продукта, такое огромное количество энергии. Кроме того, некоторые другие вещества, соединяясь, не образуют летучих продуктов, что для нас совсем не годится.

Так, кремний, сгорая в кислороде ($\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$), выделяет огромное количество тепла, именно 3654 кал на единицу массы полученного продукта (SiO_2), но, к сожалению, образуются труднолетучие тела.

Приняв жидкий кислород и водород за материал, наиболее пригодный для взрывания, я дал число для выражения их взаимной химической энергии, приходящейся на единицу массы полученного продукта (H_2O), несколько больше истинного, так как вещества, соединяющиеся в ракете, должны находиться в жидком, а не в газообразном состоянии и, кроме того, при очень низкой температуре.

Считаю не лишним тут утешить читателя, что не только на эту энергию (3825 кал), но и на несравненно большую мы можем надеяться в будущем, когда, может быть, найдут возможным осуществить наши недостаточно разработанные еще мысли. В самом деле, рассматривая количество энергии, получаемое от химических процессов разнообразных веществ, замечаем в общем без исключений, конечно, что количество энергии, приходящейся на единицу массы продуктов соединения, зависит от атомных весов (в большинстве случаев) соединяющихся простых тел: чем меньше атомные веса тел, тем более выделяется при соединении их тепла. Так, при образовании сернистого газа (SO_2) образуется только 1250 кал, а при образовании окиси меди (CuO) — толь-

* Более точное значение механического эквивалента теплоты составляет 427 кГм. (Ред.).

ко 546 кал; между тем как уголь, при образовании углекислоты (CO_2), выделяет на единицу ее массы 2204 кал. Водород с кислородом, как мы видели, выделяют еще больше (3825). Для оценки этих данных, в применении к высказанной мною идее, напомним тут величину атомных весов приводимых элементов: водород — 1; кислород — 16; углерод — 12; сера — 32; кремний — 28; медь — 63.

Конечно, можно привести и много исключений из этого правила, но в общем оно справедливо. Действительно, если мы вообразим ряд точек, абсциссы которых выражают сумму (или произведение) атомных весов соединяющихся простых тел, а ординаты соответствующую энергию химического соединения, то, проведя через точки (по возможности ближе к ним) плавную кривую, увидим непрерывное уменьшение ординат по мере увеличения абсцисс, чем и доказывается наш взгляд.

Поэтому, если когда-нибудь так называемые простые тела окажутся сложными и их разложат на новые элементы, то атомные веса последних должны быть меньше известных нам простых тел. Новооткрытые элементы, по предыдущему, должны выделять при своем соединении несравненно большее количество энергии, чем тела, считаемые теперь условно простыми и имеющие сравнительно большой атомный вес.

О ионах, или податомах, давно уже высказывались и даже думают, что условные элементы разлагаются на эти ионы под влиянием солнечного света.

Самое существование эфира с его почти беспредельною упругостью и громадною скоростью его атомов указывает на беспредельно малый атомный вес этих атомов и беспредельную энергию в случае их химического соединения.

20. Как бы ни было, но пока для V_1 (см. 15, 16 и 19) мы не можем принять более 5700 м/сек. Но со временем, кто знает, может быть это число увеличится в несколько раз.

Принимая 5700 м/сек, можем по формуле (16) вычислить не только отношение скоростей $\frac{V}{V_1}$, но и абсолютную величину окончательной (наибольшей) скорости (V) снаряда в зависимости от отношения M_2/M_1 .

21. Из формулы (16) видно, что масса ракеты со всеми пассажирами и всеми аппаратами (M_1) может быть произвольно велика, и скорость (V) снаряда от этого несколько не потеряет, лишь бы запас взрывчатых веществ (M_2) возрастал пропорционально возрастанию массы (M_1) ракеты. Итак, всевозможной величины снаряды, с любым числом путешественников, могут приобретать скорости желаемой величины. Впрочем, возрастание скорости ракеты сопровождается, как мы видели, несравненно быстреем возрастанием массы (M_2) взрывчатых веществ. Поэтому насколько легко и возможно увеличение массы поднимаю-

щегося в небесное пространство снаряда, настолько затруднительно увеличение его скорости.

22. Из уравнения (16) получим следующую таблицу:

[Таблица 22]

$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{V}{V_1}$	Скорость (V), м/сек	$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{V}{V_1}$	Скорость (V), м/сек
0,1	0,095	543	7	2,079	11 800
0,2	0,182	1 037	8	2,197	12 500
0,3	0,262	1 493	9	2,303	13 100
0,4	0,336	1 915	10	2,398	13 650
0,5	0,405	2 308	19	2,996	17 100
1	0,693	3 920	20	3,044	17 330
2	1,098	6 260	30	3,434	19 560
3	1,386	7 880	50	3,932	22 400
4	1,609	9 170	100	4,615	26 280
5	1,792	10 100	193	5,268	30 038
6	1,946	11 100	Бесконечно	Бесконечно	Бесконечно

23. Из нее усматриваем, что скорости, получаемые реактивным путем, далеко не малы. Так, при массе взрывчатых веществ в 193 раза превышающей массу (M_1) снаряда [ракеты], скорость его, по окончании взрывания и израсходования запаса (M_2) равна скорости движения Земли вокруг Солнца. Не думайте, что такая громадная масса взрывчатого материала требует для своего сохранения громадного количества крепкого материала для сосудов, содержащих взрывчатые элементы. Действительно, водород и кислород в жидком виде только тогда обнаруживают высокое давление, когда сосуды, содержащие их, заперты, т. е. когда самые газы, влиянием окружающих сравнительно теплых тел, нагреваются. У нас же эти оживленные газы должны иметь свободный выход в трубу (помимо постоянного притока их туда в жидком виде), где они, соединяясь химически, взрывают[ся]. Непрерывное и быстрое течение газов, соответствующее испарению жидкостей, охлаждает эти последние до того, что они своими парами не производят почти никакого давления на окружающие их стенки. Итак, для сохранения элементов взрыва не требуется на сосуды большой массы вещества.

24. Когда запас взрывчатого вещества равен массе ракеты ($M_2/M_1 = 1$), то скорость последней чуть не вдвое более той, которая нужна, чтобы камню или пушечному ядру, пущенному «селенитами» с поверхности нашей Луны, удалиться от нее навсегда и сделаться спутником Земли, второй луной.

Эта скорость (3920 м/сек) почти достаточна для вечного удаления тел, брошенных с поверхности Марса или Меркурия.

Если отношение масс M_2/M_1 будет 3, то уже получится, по израсходовании всего запаса, такая скорость снаряда, которой лишь немного не достаёт для того, чтобы он мог вращаться за пределами атмосферы, вокруг Земли, подобно ее спутнику*.

При отношении M_2/M_1 , равном 6, скорость ракеты почти достаточна для удаления ее от Земли и вечного вращения вокруг Солнца в качестве самостоятельной планеты. При большем количестве взрывчатого запаса возможно достижение пояса Астероидов и даже тяжелых планет.

25. Из таблицы видно, что и при небольшом запасе взрывчатых веществ окончательная скорость снаряда еще достаточна для практических целей. Так, при запасе, составляющем лишь 0,1 веса ракеты, скорость равна 543 м/сек, что достаточно для поднятия ракеты на 15 км. Далее, из таблицы мы видим, что при незначительном запасе скорость, по окончании взрыва, приблизительно пропорциональна массе запаса (M_2); следовательно, в этом случае высота поднятия пропорциональна квадрату этой массы (M_2) запаса. Так, при запасе, составляющем половину массы ракеты ($M_2/M_1 = 0,5$), последняя залетит далеко за пределы атмосферы.

26. Интересно определить, какая часть полной работы взрывчатых веществ, т. е. их химической энергии, передается ракете.

Работа взрывчатых веществ выразится $(V^2_1 : 2g) \cdot M_2$, где g есть ускорение земной тяжести; механическая работа ракеты, имеющей скорость V , выразится в тех же единицах: $(V^2 : 2g) \cdot M_1$ ** или на основании формулы (16)

$$\frac{V^2}{2g} \cdot M_1 = \frac{V^2_1}{2g} \cdot M_1 \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2.$$

Разделив теперь работу ракеты на работу взрывчатого материала, получим

$$\frac{M_1}{M_2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2.$$

По этой формуле вычислим следующую таблицу утилизации*** ракетной энергии взрывчатых веществ.

Из формулы и таблицы видно, что при очень малых количествах взрывчатого материала утилизация его равна отношению M_2/M_1 ****, т. е. тем меньше, чем относительно количество

* Теория полета искусственного спутника Земли была рассмотрена К. Э. Циолковским во второй части этой работы; см. наст. книгу, стр. 133—140. (Ред.).

** Как видно из приводимых формул, в данном случае под M_1 и M_2 следует подразумевать не массу ракеты и отброса, а их вес. (Ред.).

*** Под утилизацией Циолковский понимал к. п. д. ракеты. (Ред.).

**** Действительно $\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} \dots$. Следовательно, приблизительно, $\frac{M_1}{M_2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 = \frac{M_1}{M_2} \cdot \frac{M_2^2}{M_1^2} = \frac{M_2}{M_1}$.

[Таблица 26]

$\frac{M_2}{M_1}$	Утилизация	$\frac{M_2}{M_1}$	Утилизация	$\frac{M_2}{M_1}$	Утилизация
0,1	0,030	3	0,64	10	0,58
0,2	0,165	4	0,65	19	0,47
0,3	0,223	5	0,64	20	0,46
0,4	0,282	6	0,63	30	0,39
0,5	0,328	7	0,62	50	0,31
1	0,480	8	0,60	100	0,21
2	0,600	9	0,59	193	0,144
				Бесконечно	Нуль

взрывчатых веществ меньше. Далее с увеличением относительно количества взрывчатых веществ утилизация возрастает и приблизительно при учетверенном их количестве (сравнительно с массой ракеты) достигает наибольшей величины (0,65). Дальнейшее увеличение взрывчатых веществ, хотя и медленно, но непрерывно уменьшает их полезность; при бесконечно большом их количестве — она нуль, так же как и при бесконечно малом. Из таблицы также видим, что при изменении отношения M_2/M_1 от 2 до 10 — утилизация более половины; это значит, что в таком случае более половины потенциальной энергии взрывчатого материала передается в виде кинетической энергии ракете.

Ракета под влиянием тяжести. Вертикальное поднятие

27. Мы определили скорость, приобретаемую ракетой в пустоте и при отсутствии силы тяготения, в зависимости от массы ракеты, массы взрывчатых веществ и энергии их химического соединения. Разберем теперь влияние постоянной силы тяжести на вертикальное движение снаряда.

Мы видели, что без влияния тяжести приобретаются ракетой огромные скорости и утилизируются значительное количество энергии взрыва. Это будет справедливо и для среды тяжести, если только взрыв будет мгновенный. Но такой взрыв для нас не годится, потому что при этом получится убийственный толчок, которого не вынесет ни снаряд, ни вещи и люди, заключенные в нем. Нам, очевидно, нужно медленное взрывание; при медленном же взрывании полезный эффект уменьшается и даже может обратиться в нуль.

Действительно, пусть взрывание будет настолько слабо, что ускорение ракеты, происходящее от него, будет равно ускорению (g) Земли. Тогда снаряд, во все время взрывания, будет стоять в воздухе неподвижно, без опоры.

Конечно, он не приобретает при этом никакой скорости и утилизация взрывчатых веществ, несмотря на их количество, будет

равняться нулю. Итак, крайне важно исследовать аналитически влияние на снаряд тяготения.

Когда ракета двигается в среде, свободной от силы тяжести, то время (t), в течение которого взрывается весь запас взрывчатого вещества, равно

$$t = V/p, \quad (28)$$

где V есть скорость снаряда по окончании взрыва, а p — постоянное ускорение, сообщаемое ракете взрывчатыми материалами в 1 сек*.

Сила взрывания, т. е. количество веществ, расходуемых при взрыве в единицу времени, в этом простейшем случае равномерно ускоряющегося движения снаряда, не постоянна, но непрерывно ослабляется — пропорционально уменьшению массы снаряда с остатком невзорванных материалов.

29. Зная p , или ускорение в среде без тяжести, можем выразить и величину кажущейся (временной) тяжести внутри ракеты в течение ее ускоряющегося движения, или в течение времени взрывания.

Приняв силу тяжести у поверхности Земли за единицу, найдем величину временной тяжести в снаряде равной p/g , где g есть земное ускорение; формула эта показывает, во сколько раз давление на подставки всех вещей, помещенных в ракете, больше давления тех же вещей, лежащих на столе в нашей комнате при обыкновенных условиях. Весьма важно знать величину относительной тяжести в снаряде, потому что она обуславливает целость или излом аппаратов и здоровье людей, пустившихся в путь для изучения неизвестных пространств и свойственных им явлений.

30. При влиянии постоянной или переменной тяжести, любой силы, время, в течение которого расходуется один и тот же запас взрывчатого материала, будет то же, как и без влияния тяготения; оно выразится известною нам формулой (см. 28) или следующей:

$$t = \frac{V_2}{p-g}, \quad (31)$$

где V_2 есть скорость ракеты по окончании взрывания в среде тяжести с постоянным ускорением g . Тут, конечно, предполагается, что p и g параллельны и противоположны (см. заглавие главы); $p - g$ выражает видимое ускорение снаряда (относительно Земли), являющееся результатом двух противоположных сил: силы взрыва и силы тяжести.

32. Действие последней на снаряд несколько не влияет на относительную в нем тяжесть, и она выражается без всякого изме-

* Предполагается, что масса ракеты изменяется по показательному закону, тогда ускорение p , обусловленное реактивной силой, будет постоянным. (Ред.).

нения формулой (29): p/g . Напр[имер], если $p = 0$, т. е. если взрыва нет, то нет и временной тяжести, потому что $p/g = 0$. Это значит, что если взрывание прекратится и снаряд двигается в ту или другую сторону только под влиянием своей скорости и силы тяготения Солнца, Земли и других звезд и планет, то находящийся в снаряде наблюдатель ни сам не будет иметь, по-видимому, ни малейшего веса,— не обнаружит его, при помощи самых чувствительных пружинных весов, ни в одной из вещей, находящихся при нем или в ракете. Падая или поднимаясь в ней под влиянием инерции даже у самой поверхности Земли, наблюдатель не будет испытывать ни малейшей тяжести, пока, разумеется, снаряд не встречает никаких препятствий,— в виде, напр[имер] сопротивления атмосферы, воды или твердого грунта.

33. Если $p = g$, т. е. если давление взрывающихся газов равно тяжести снаряда ($p/g = 1$), то относительная тяжесть будет равняться земной. При начальной неподвижности снаряд в этом случае и остается неподвижным во все время действия взрыва; если же до него снаряд имел какую-нибудь скорость (вверх, вбок, вниз), то эта скорость так и останется без всякого изменения, пока не израсходуется весь взрывчатый материал: тут тело, т. е. ракета, уравновешена и двигается как бы по инерции в среде свободной от тяжести.

На основании формул (28) и (31) получим

$$V = V_2 \left(\frac{p}{p-g} \right). \quad (34)$$

Отсюда, зная какую скорость (V_2) должен иметь по окончании взрыва снаряд, мы вычислим V , по которой, с помощью формулы (16), определим и потребное количество (M_2) взрывчатых веществ.

Из уравнений (16) и (34) получим

$$V_2 = V_1 \left(1 - \frac{g}{p} \right) \cdot \ln \left(\frac{M_2}{M_1} + 1 \right). \quad (35)$$

36. Из этой формулы, так же как из предыдущей, следует, что скорость, приобретаемая ракетой, меньше при влиянии тяготения, чем без него (16). Она (V_2) может быть даже равна нулю, несмотря на обилие взрывчатого запаса, если $p/g = 1$, т. е. если ускорение, сообщаемое снаряду взрывчатым материалом, равно ускорению земной тяжести, или давление газов равно и прямо противоположно действию тяготения (см. 34 и 35).

В этом случае ракета стоит несколько минут неподвижно, насколько не поднимаясь; когда же запас истощен, она падает, как камень.

37. Чем больше p по отношению к g , тем большую скорость V_2 приобретает снаряд при данном количестве M_2 взрывчатых веществ (35).

Поэтому, желая подняться выше, надо сделать p как можно

больше, т. е. производить взрыв как можно деятельнее. Однако при этом, во-первых, требуется более крепкий и массивный снаряд, во-вторых, — более крепкие предметы и аппараты в снаряде, потому что (по 32) относительная тяжесть в нем будет весьма велика и в особенности опасна для живого наблюдателя, если таковой отправляется в ракете.

Во всяком случае на основании формулы (35) в пределе

$$V_2 = V_1 \cdot \ln \left(\frac{M_2}{M_1} + 1 \right), \quad (38)$$

т. е. если p бесконечно велико, или взрыв моментален, то скорость V_2 ракеты в среде тяжести та же, что и в среде без тяжести.

Согласно формуле (30), время взрывания не зависит от силы тяготения, а лишь исключительно от количества (M_2/M_1) взрывчатого материала и быстроты его взрывания (p).

39. Любопытно определить эту величину. Положим в формуле (28) $V = 11\,100$ м/сек (см. таблицу 22), а $p = g = 9,8$ м/сек²; тогда $t = 1133$ сек.

Значит, в среде, свободной от тяжести, ракета пролетела равномерно ускоряющимся движением менее 19 мин — и это при ускоренном количестве взрывчатых веществ сравнительно с массой снаряда (см. табл. 22).

При взрывании же у поверхности нашей планеты он простоял бы неподвижно в течение тех же 19 мин.

40. Если $M_2/M_1 = 1$, то по таблице $V = 3920$ м/сек; следовательно, $t = 400$ сек, или $6\frac{2}{3}$ мин.

При $M_2/M_1 = 0,1$, $V = 543$ м/сек, а $t = 55,4$ сек, т. е. менее 1 мин. В последнем случае, у поверхности Земли, снаряд простоял бы неподвижно $55\frac{1}{2}$ сек.

Отсюда мы видим, что взрывание у поверхности планеты, или вообще в среде, несвободной от тяжести, может быть совершенно безрезультатным, если происходит, хотя и долгое время, но с недостаточною силою: действительно, снаряд остается на месте и не получает никакой поступательной скорости, если не приобрел ее раньше; в противном случае он может совершить некоторое перемещение с равномерною скоростью. Если это перемещение совершается вверх, то снаряд делает некоторую работу. В случае первоначальной горизонтальной скорости и перемещение будет горизонтально; работы тут не будет *, но тогда снаряд может служить для таких же целей, как локомотив, пароход или управляемый аэростат. Служить для этих целей перемещения снаряд может только в течение нескольких минут, пока совершается взрывание, но и в такое небольшое время он может пройти значительное пространство.

* Если не учитывать работы силы сопротивления атмосферы. (Ред.).

Время стояния прибора в среде тяготения обратно пропорционально g , т. е. силе этого тяготения.

Так, на Луне прибор простоял бы неподвижно без опоры (при $M_2/M_1 = 6$) в течение 2 час.

41. Положим в формуле (35) для среды с тяжестью: $\rho/g = 10$; $M_2/M_1 = 6$; тогда вычислим $V_2 = 9990$ м/сек. Относительная тяжесть, по предыдущему, будет равна 10, т. е. человек в 70 кг весом во все время взрывания (около 2 мин) будет испытывать тяжесть в 10 раз большую, чем на Земле, и будет весить на пружинных весах 700 кг (пудов 40). Такую тяжесть путешественник может перенести без вреда только при соблюдении особых предосторожностей: при погружении в особую жидкость, при особенных условиях.

На основании формулы (28) вычислим и время взрывания, или время этой усиленной тяжести; получим 113 сек, т. е. менее 2 мин. Это очень немного, и кажется с первого раза поразительным, как может снаряд в течение такого ничтожного промежутка времени приобрести скорость, чуть недостаточную для удаления от Земли и движения вокруг Солнца подобно новой планете.

Мы нашли $V_2 = 9990$ м/сек, т. е. такую скорость, которая лишь немного менее скорости V , приобретаемой в среде, свободной от силы тяготения, при тех же условиях взрыва (см. табл. 22). Но так как снаряд во время взрывания еще и поднимается на некоторую высоту, то приходит даже в голову, что общая работа взрывчатых веществ совсем не уменьшилась, сравнительно с работой их в среде без тяжести. Вопрос этот мы сейчас разберем.

44. Ускорение снаряда в среде тяжести выразится: $p_1 = p - g$.

На расстоянии от поверхности Земли, не превышающем нескольких сотен верст, мы g примем постоянным, что не повлечет за собой большой погрешности; да и погрешность-то будет в благоприятную сторону, т. е. истинные числа будут благоприятнее для полета, чем вычисленные нами.

Высота (h) поднятия снаряда во время (t) действия взрыва будет

$$h = \frac{1}{2} p_1 \cdot t^2 = \frac{p-g}{2} \cdot t^2, \quad (45)$$

выключая отсюда t по уравнению (31), получим

$$h = \frac{V_2^2}{2(p-g)}, \quad (46)$$

где V_2 есть скорость снаряда в среде тяжести по истощении всего взрывчатого запаса.

Теперь получим из (34) и (46), выключая V_2 ,

$$h = \frac{p-g}{2\rho^2} \cdot V^2 = \frac{V^2}{2\rho} \cdot \left(1 - \frac{g}{\rho}\right), \quad (47)$$

где V есть скорость, приобретаемая ракетой в среде, свободной от тяготения. Полезная работа взрывчатых веществ в такой среде выразится *

$$T = \frac{V^2}{2g}. \quad (48)$$

Работа же T_1 в среде тяжести выразится в зависимости от высоты поднятия снаряда и его скорости по окончании взрыва, именно:

$$T_1 = h + \frac{V_2^2}{2g}. \quad (49)$$

Отношение этой работы к предыдущей, идеальной, равно

$$\frac{T_1}{T} = \frac{2hg + V_2^2}{V^2}. \quad (50)$$

Исключив отсюда h и V посредством (46) и (34), найдем

$$\frac{T_1}{T} = 1 - \frac{g}{p}, \quad (51)$$

т. е. работа в среде тяготения, получаемая от определенного количества взрывчатых веществ (M_2), менее, чем в среде свободной от него; разница эта $\left(\frac{g}{p}\right)$ тем меньше, чем быстрее взрываются газы, или чем более p . Например, в случае (41) потеря составляет только $\frac{1}{10}$, а утилизация (51) равна 0,9. Когда $p = g$, или когда снаряд стоит в воздухе, не имея даже постоянной скорости, потеря будет полная (1), а утилизация равна нулю. Такова же будет утилизация, если снаряд имеет постоянную горизонтальную скорость.

52. В п. 41 мы вычислили $V_2 = 9990$ м/сек. Применим формулу (46) к случаю (41), найдем: $h = 565$ км; значит, в течение взрыва снаряд пойдет далеко за пределы атмосферы и приобретет еще поступательную скорость в 9990 м/сек.

Заметим, что скорость эта на 1110 м/сек меньше, чем в среде, свободной от силы тяготения. Эта разность составляет как раз $\frac{1}{10}$ скорости в среде без тяжести (см. табл. 22).

Отсюда видно, что потеря в скорости подчиняется тому же закону, как и потеря работы (см. 51), что, впрочем, строго следует и из формулы (34), преобразуя которую, получим

$$V_2 = V \left(1 - \frac{g}{p}\right) \text{ или } V - V_2 = V \cdot \frac{g}{p}.$$

Найдем из (51)

$$T = T_1 \cdot \left(\frac{p}{p-g}\right), \quad (56)$$

* Формулы (48) и (49) написаны в предположении, что вес ракеты равен единице. Так как в (50) и (51) определяется отношение $\frac{T_1}{T}$, то сделанное предположение несущественно. (Ред.)

где T_1 есть работа, получаемая снарядом от взрывчатых веществ в среде тяготения, сила которого равна g .

Чтобы снаряд мог совершить все необходимые работы, поднимаясь в высоту, преодолевая сопротивление атмосферы и приобретая желаемую скорость,— необходимо, чтобы сумма всех этих работ равнялась T_1 .

Определив все эти работы с помощью формулы (56), вычислим T .

Зная же T , вычислим и V , т. е. скорость в среде без тяжести, по формуле

$$T = M_1 \cdot \frac{V^2}{2g}.$$

Зная теперь V , можем рассчитать и потребную массу (M_2) взрывчатых веществ по формуле (16).

Таким путем, с помощью предыдущего, найдем

$$M_2 = M_1 \left\{ e \sqrt{\frac{T_1 \cdot \rho}{T_2 (\rho - g)}} - 1 \right\}. \quad (57)$$

Вычисляя, мы $M_1 \cdot \frac{V^2}{2g}$ заменили для краткости через T_2 .

Итак, зная массу снаряда (M_1) со всем содержимым, кроме взрывчатого материала (M_2), механическую работу (T_2) взрывчатых веществ при массе их, равной массе снаряда (M_1), работу T_1 , которую должен совершить снаряд при своем вертикальном поднятии, силу взрывания (ρ) и силу тяготения (g), можем узнать и количество взрывчатых веществ (M_2), необходимое для поднятия массы (M_1) снаряда.

Отношение T_1/T_2 в формуле не изменится, если его сократить на M_1 . Так что под T_1 и T_2 можно подразумевать механическую работу T_1 , совершаемую единицею массы снаряда, и механическую работу T_2 единицы взрывчатых веществ.

Под g нужно, вообще, подразумевать постоянное сопротивление, равное сумме сил тяжести и сопротивления среды. Но сила тяготения постепенно убывает с удалением от центра Земли, вследствие чего утилизируется большее количество механической работы взрывчатых веществ. С другой стороны, сопротивление атмосферы, будучи, как увидим, сравнительно с тяжестью снаряда весьма незначительным, уменьшает утилизацию энергии взрывчатых веществ.

По некотором размышлении увидим, что последняя убыль, продолжаясь недолгое время пролета через воздух, с избытком вознаграждается прибылью от уменьшения притяжения на расстояниях значительных (500 км), где кончается действие взрывчатых веществ.

Итак, формулу (57) можем смело применять к вертикальному поднятию снаряда, несмотря на осложнение от изменения тяжести и сопротивления атмосферы ($g = 9,8 \text{ м/сек}^2$).

Среда тяжести. Отвесное возвращение на Землю

59. Рассмотрим сначала остановку в среде, свободной от тяжести, или моментальную остановку в среде тяжести. Пусть, например, ракета силой взрыва некоторого (не всего) количества газов приобрела скорость $10\,000$ м/сек (см. табл. 22). Теперь, для остановки, следует приобрести такую же скорость, но в обратном направлении. Очевидно, количество оставшихся взрывчатых веществ, согласно таблице 22, должно быть в 5 раз больше массы (M_1) снаряда. Стало быть, снаряд должен иметь, по окончании первой части взрыва (для приобретения поступательной скорости), запас взрывчатого вещества, масса которого выразится через $5M_1 = M_2$.

60. Вся масса, вместе с запасом, составит $M_2 + M_1 = 5M_1 + M_1 = 6M_1$.

Этой массе ($6M_1$) первоначальное взрывание должно также сообщить скорость в $10\,000$ м/сек, а для этого нужно новое количество взрывчатого материала, которое должно также в 5 раз (см. [табл.] 22) превышать массу снаряда с массой запаса для остановки; т. е. мы должны ее ($6M_1$) увеличить в 5 раз; получим $30M_1$, что вместе с запасом для остановки ($5M_1$) составит $35M_1$.

Означим число табл. 22, показывающее, во сколько раз масса взрывчатого материала больше массы снаряда, через q ($q = \frac{M_2}{M_1}$)*; предыдущие рассуждения, определяющие массу всего взрывчатого вещества ($\frac{M_3}{M_1}$) для приобретения скорости и уничтожения ее, выразим так:

$$\frac{M_3}{M_1} = q + (1 + q) \cdot q = q(2 + q), \quad (61)$$

или, прибавляя и вычитая единицу из второй части уравнения, получим:

$$\frac{M_3}{M_1} = 1 + 2q + q^2 - 1 = (1 + q)^2 - 1. \quad (62)$$

Всего же, с массой ракеты (M_1 , или 1), найдем: $\frac{M_3}{M_1} + 1 = (1 + q)^2$. Последнее выражение легко запомнить. Когда q очень мало, то, приблизительно, количество взрывчатого вещества равно $2q$ (потому, что q^2 будет ничтожно), т. е. оно только вдвое больше, чем для одного приобретения скорости.

63. На основании полученных формул и таблицы 22 составим следующую таблицу.

* Число $q = \frac{M_2}{M_1}$ называют теперь числом Циолковского. (Ред.).

В среде без тяжести

$V, \text{ м/сек}$	M_2/M_1	M_3/M_1	$V, \text{ м/сек}$	M_2/M_1	M_3/M_1
543	0,1	0,21	11 800	7	63
1037	0,2	0,44	12 500	8	80
1493	0,3	0,69	13 100	9	99
1915	0,4	0,96	13 650	10	120
2308	0,5	1,25	17 100	19	399
3920	1	3	17 330	20	440
6260	2	8	19 560	30	960
7880	3	15	22 400	50	2600
9170	4	24	26 280	100	10 200
10 100	5	35	30 038	193	37 248
11 100	6	48	Бесконечно	Бесконечно	Бесконечно

Из нее видим, как неодолимо громаден запас взрывчатого материала, если мы хотим приобрести очень большую скорость и потерять ее.

Из (62) и (16) имеем

$$\frac{M_3}{M_1} + 1 = e^{\frac{-2V}{V_1}}, \text{ или } \frac{M_3}{M_1} = e^{\frac{-2V}{V_1}} - 1.$$

Заметим, что отношение $-\frac{2V}{V_1}$ положительно, потому что скорости снаряда и газов противоположны по направлению и, следовательно, имеют разные знаки.

Полагая в последней формуле V вдвое большим, чем в первом столбце таблицы, получим отношение $\frac{M_3}{M_1}$, т. е. относительное количество взрывчатого материала, потребное для приобретения скоростей последней таблицы и последующего уничтожения их.

64. Если мы находимся в среде тяжести, то в простейшем случае вертикального движения процесс остановки и опускания на Землю будет такой: когда ракета под влиянием приобретенной скорости поднялась на известную высоту и остановилась, то начинается ее падение на Землю. Когда снаряд достигнет той точки, в которой окончилось при поднятии действие взрывчатых веществ, он снова подвергается влиянию остатка их, — в том же направлении и в том же порядке. Очевидно, к концу их действия и истощения всего запаса ракета остановится в той точке у поверхности Земли, с которой было начато поднятие. Способ поднятия строго тождествен со способом опускания; вся разница лишь в том, что скорости обратны в каждой точке пути.

Остановка в среде тяжести требует более работы и более взрывчатых веществ, чем в среде, свободной от тяготения; поэтому

в формулах (61) и (62) q должно быть больше, если применять ракету в среде тяжести.

Обозначив это большее отношение через q_1 , найдем на основании предыдущего

$$\frac{q}{q_1} = \frac{T_1}{T} = 1 - \frac{g}{p},$$

откуда

$$q_1 = q \left(\frac{p}{p-g} \right). \quad (65)$$

Подставив q_1 вместо q в уравнение (62), получим

$$\frac{M_4}{M_1} = (1 + q_1)^2 - 1 = \left(1 + \frac{pq}{p-g} \right)^2 - 1. \quad (66)$$

Здесь M_4 означает количество, или массу, взрывчатых веществ, необходимую для поднятия с известной точки и возвращения в ту же точку при полной остановке ракеты и при полете ее в среде тяжести.

67. На основании последней формулы можем составить следующую таблицу, полагая, что $\frac{p}{g} = 10$, т. е., что давление взрывчатого материала в 10 раз больше тяжести ракеты с остатком взрывчатых веществ. В этой таблице V выражает собственно работу $\frac{V^2}{2g}$; скорость же будет меньше, потому что часть этой работы ушла на поднятие в среде тяжести.

Для среды тяжести

V , м/сек	M_2/M_1	M_4/M_1	V , м/сек	M_2/M_1	M_4/M_1
543	0,1	0,235	7880	3	17,78
1497	0,3	0,778	9170	4	28,64
2308	0,5	1,420	10 100	5	41,98
3920	1,0	4,457	11 100	6	57,78
6260	2	9,383	11 800	7	76,05

Среда тяжести. Наклонное поднятие

68. Хотя вертикальное движение ракеты как будто выгоднее потому, что при этом скорее рассекается атмосфера и снаряд подымается на большую высоту, но, с одной стороны, работа расчленения атмосферы, сравнительно с полную работою взрывчатых веществ, весьма незначительна, с другой — при наклонном движении можно устроить постоянную обсерваторию, движущуюся

за пределами атмосферы неопределенно долгое время вокруг Земли, подобно ее Луне. Кроме того,—и это главное — при наклонном полете утилизируется несравненно бóльшая часть энергии взрыва, чем при вертикальном движении.

[69]. Рассмотрим сначала частный случай — когда полет ракеты горизонтален [рис. 2].

Если через R обозначим величину равнодействующей горизонтального ускорения ракеты, через p — ускорение от действия взрывания и через g — ускорение от силы тяжести, то имеем

$$R = \sqrt{p^2 - g^2}. \quad (70)$$

Кинетическая энергия, полученная снарядом через время t , равна на основании последней формулы *

$$\frac{R}{2} \cdot t^2 \cdot \left(\frac{R}{g}\right) = \frac{R^2}{2g} \cdot t^2 = \frac{p^2 - g^2}{2g} \cdot t^2, \quad (71)$$

где t есть время взрывания. Это и есть вся полезная работа, приобретенная ракетой. Действительно, ракета нисколько не поднимется, если принять направление тяжести постоянным (что на практике только при небольшой траектории снаряда верно).

Работа же взрывчатых веществ, приобретенная ракетой в среде, свободной от тяжести, равна

$$\frac{p}{2} \cdot t^2 \cdot \left(\frac{p}{g}\right) = \frac{p^2}{2g} \cdot t^2. \quad (72)$$

Разделив полезную работу (71) на полную (72), получим утилизацию при горизонтальном полете ракеты **

$$\left(\frac{p^2 - g^2}{2g} \cdot t^2\right) : \left(\frac{p^2}{2g} \cdot t^2\right) = 1 - \left(\frac{g}{p}\right)^2. \quad (73)$$

Сопротивление воздуха, как и прежде, пока в расчет не принимается.

Из последней формулы видно, что потеря работы, сравнительно с работой в среде, свободной от силы тяготения, выражается через $(g/p)^2$. Отсюда следует, что эта потеря гораздо меньше, чем при отвесном движении. Так, например, при $g/p = 1/10$ потеря составит $1/100$, т. е. один процент; между тем как при вертикальном движе-

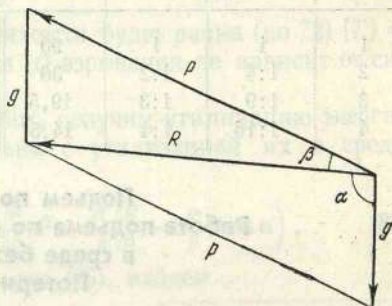


Рис. 2

* Циолковский подсчитывает в формулах (71) и (72) работу равнодействующей силы и реактивной силы, равных единице. (Ред.).

** Формула (73) верна для любого веса ракеты. (Ред.).

нии она выражалась через g/p или равнялась $1/10$, т. е. десяти процентам.

74. Вот таблица, где β есть угол наклона силы p к горизонту.

Горизонтальное движение ракеты

$p:g$	Потеря $\left[\left(\frac{g}{p}\right)^2\right]$	$\sin \beta$	$\beta, ^\circ$	$p:g$	Потеря $\left[\left(\frac{g}{p}\right)^2\right]$	$\sin \beta$	$\beta, ^\circ$
1	1	1	90	5	1:25	1:5	11,5
2	1:4	1:2	30	10	1:100	1:10	5,7
3	1:9	1:3	19,5	100	1:10 000	1:100	0,57
4	1:16	1:4	14,5				

Подъем по наклонной.
Работа подъема по отношению к работе
в среде без тяготения.
Потери работы

75. Теперь решим вопрос вообще — при всяком наклонении равнодействующей R . Горизонтальность траектории, или равнодействующей, как я уже говорил, невыгодна потому, что при таком движении снаряда страшно увеличивается его путь через атмосферу, а вместе с тем увеличивается и работа рассеяния им воздуха.

Итак, будем помнить, что α , или угол наклона равнодействующей к вертикали, больше прямого угла. Имеем *

$$R = \sqrt{p^2 + g^2 + 2pg \cdot \cos \gamma}, \quad (76)$$

где $\gamma = \alpha + \beta$ (тупой угол параллелограмма, по чертежу). Далее

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = p : g : R \quad [77]$$

и

$$\cos \alpha = \frac{R^2 + g^2 - p^2}{2Rg}. \quad [78]$$

Кинетическая работа выражается формулой (71), где R определяется согласно уравнению (76). Вертикальное ускорение равнодействующей R равно

$$R_1 = \sin(\alpha - 90^\circ) \cdot R = -\cos \alpha \cdot R. \quad (79)$$

Следовательно, работа поднятия снаряда будет

$$\frac{R_1}{2} \cdot t^2 = \frac{-\cos \alpha}{2} \cdot R t^2, \quad (80)$$

* Все вычисления (76—83) сделаны не для сил, а для ускорений, обусловленных этими силами. (Ред.).

где t есть время взрывания всего запаса взрывчатых веществ. Полная работа, приобретенная снарядом в среде тяжести, выразится [по (71) и (80)]

$$[T_1] = \frac{R^2}{2g} \cdot t^2 + \frac{-\cos \alpha}{2} \cdot R t^2 = \frac{R t^2}{2} \left(\frac{R}{g} - \cos \alpha \right). \quad (81)$$

Здесь за единицу работы принято поднятие снаряда на единицу высоты, в среде с ускорением g . Если $\alpha > 90^\circ$, напр[имер] в случае поднятия снаряда, то $-\cos \alpha$ есть величина положительная, и обратно.

Работа в среде, свободной от тяжести, будет равна (по 72) $[T] = (p^2 \cdot 2g) \cdot t^2$ (не забудем, что время (t) взрывания не зависит от сил тяготения).

Взяв отношение этих двух работ, получим утилизацию энергии взрывчатых веществ, сравнительно с утилизацией их в среде, лишенной тяжести, именно:

$$\left[\frac{T_1}{T} \right] = \frac{R t^2}{2} \left(\frac{R}{g} - \cos \alpha \right) : \frac{p^2}{2g} \cdot t^2 = \frac{R}{p} \left(\frac{R}{p} - \frac{g}{p} \cdot \cos \alpha \right). \quad (82)$$

Выключая отсюда R по формуле (76), найдем

$$\left[\frac{T_1}{T} \right] = \left(1 + \frac{g^2}{p^2} + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p} \right) - \cos \alpha \frac{g}{p} \cdot \sqrt{1 + \frac{g^2}{p^2} + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p}}. \quad (83)$$

Формулы (51) и (73), напр[имер], есть только частные случаи этой, в чем легко убедиться.

84. Сделаем сейчас же применение найденной формулы. Положим, что ракета летит вверх под углом в $14,5^\circ$ к горизонту; синус этого угла составляет 0,25; это значит, что сопротивление атмосферы увеличивается в 4 раза сравнительно с сопротивлением ее при отвесном движении снаряда; ибо, приблизительно, сопротивление ее обратно пропорционально синусу угла наклона ($\alpha = 90^\circ$) траектории ракеты к горизонту.

85. Угол $\alpha = 90 + 14\frac{1}{2} = 104\frac{1}{2}^\circ$; $\cos \alpha = -0,25$; зная α , можем узнать и β ; действительно, из (77) найдем: $\sin \beta = \sin \alpha (g/p)$; так, если $g/p = 0,1$, то $\sin \beta = 0,0968$, откуда $\beta = 5\frac{1}{2}^\circ$ и $\gamma = 110^\circ$; $\cos \gamma = -0,342$.

Теперь, по формуле (83) вычислим утилизацию в 0,966. Потеря составляет 0,034, или около $\frac{1}{29}$, вернее 3,4%.

Эта потеря в 3 раза меньше, чем при вертикальном движении. Результат неплохой, если принять еще во внимание, что сопротивление атмосферы и при наклонном движении ($14\frac{1}{2}^\circ$) никак не более одного процента работы удаления снаряда от Земли.

86. Для разных соображений предлагаем следующую таблицу. 1-й столбец показывает наклонение движения к горизонту, последний — потерю работы; β есть отклонение направления давления взрывчатых веществ от линии действительного движения [см. рис. 2].

Наклонное движение

$\alpha - 90$	Градусы			Утилизация	Потеря
	α	β	$\gamma = \alpha + \beta$		
0	90	$5 \frac{2}{3}$	$95 \frac{2}{3}$	0,9900	1:100
2	92	$5 \frac{2}{3}$	$97 \frac{2}{3}$	0,9860	1:72
5	95	$5 \frac{2}{3}$	$100 \frac{2}{3}$	0,9800	1:53
10	100	$5 \frac{2}{3}$	$105 \frac{2}{3}$	0,9731	1:37
15	105	$5 \frac{1}{2}$	$110 \frac{1}{2}$	0,9651	1:29
20	110	$5 \frac{1}{3}$	$115 \frac{1}{3}$	0,9573	1:23,4
30	120	5	125	0,9426	1:17,4
40	130	$4 \frac{1}{3}$	$134 \frac{1}{3}$	0,9300	1:14,3
45	135	4	139	0,9246	1:13,3
90	180	0	180	0,9000	1:10

87. Для очень малых углов наклона ($\alpha - 90^\circ$) формулу (83) можно чрезвычайно упростить, заменив тригонометрические величины их дугами и сделав другие упрощения.

Тогда получим следующее выражение для потери работы:

$$x^2 + \delta x \left(1 - \frac{x^2}{2}\right) + \delta^2 x^2 \left(x - \frac{\delta}{2}\right),$$

где δ означает угол наклона движения ($\alpha - 90^\circ$), выраженный длиной его дуги, радиус которой равен единице, а x — отношение $\frac{g}{p}$.

Откидывая в последней формуле малые высших порядков, получим для потери

$$x^2 + \delta x = \left(\frac{g}{p}\right)^2 + \delta \frac{g}{p}.$$

Можем положить $\delta = 0,02N$, где 0,02 есть часть окружности, соответствующая почти одному градусу ($1 \frac{1}{7}$), а N — число этих новых градусов. Таким образом, потеря работы приблизительно выразится

$$\frac{g^2}{p^2} + 0,02 \frac{g}{p} \cdot N.$$

По этой формуле легко составим следующую таблицу, положив $g/p = 0,1$.

N	0	0,5	1	2	3	4	5	6	10
Потеря	1/100	1/91	1/83	1/70	1/60	1/55	1/50	1/45	1/33

Отсюда видим, что даже для больших углов (до 10°) противоречие между этой таблицей и предыдущей, более точной, невелико.

Мы могли бы рассмотреть еще очень многое: работу тяготения, сопротивление атмосферы; мы совсем еще ничего не сказали о том, как исследователь может пробыть продолжительное, даже неопределенно долгое время в среде, где нет следов кислорода; мы не упомянули о нагревании снаряда при кратковременном полете в воздухе, мы не дали даже общей картины полета и сопровождающих его крайне интересных явлений (теоретически); мы почти не указали на великие перспективы в случае осуществления дела, рисуящиеся нам пока еще в тумане; наконец, мы могли бы начертать космические кривые движения ракеты в небесном пространстве.

Реактивный прибор как средство полета в пустоте и в атмосфере*

Интересующимся этим крайне важным вопросом предлагаю обратиться к моей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами»**. Здесь же я хочу сделать только маленькое извлечение из этой статьи с целью немного уяснить, насколько могут быть полезны реактивные приборы для полета в атмосфере. Реактивный прибор подобен ракете: газы выбрасываются в одну сторону, ракета летит в противоположную.

Действие реактивного прибора мало зависит от окружающей среды. Ракета поднялась бы в безвоздушном пространстве так же хорошо, как и в воздухе***. Опора реактивного прибора — в тех веществах, какие он выбрасывает из себя. Эти вещества могут быть во всех трех состояниях — безразлично. Всего проще выбрасывать газы или пары. Взрывчатые вещества, выделяя газы при высокой температуре, всего более подходят к реактивным приборам, так как вещества в виде газов выделяются с наибольшей скоростью из прибора, чем и способствуют его наилучшему действию. Главные детали реактивного прибора следующие.

1. Помещение для пассажиров, грузов и необходимых предметов.

2. Два отдельных помещения для двух жидких**** веществ, постепенным соединением которых образуются газы, вырывающиеся наружу.

3. Небольшая камера, где соединяются две упомянутые жидкости.

4. Постепенно расширяющаяся труба, по которой направляются образуемые жидкостями газы. Через эту трубу с широкого

* Напечатано впервые в журнале «Воздухоплаватель», СПб., 1910, № 2, стр. 110—113. (Ред.).

** «Научное обозрение», 1903, № 5, май. К сожалению, издана статья крайне небрежно.

*** Действие взрывчатых веществ также мало зависит от окружающей среды.

**** Могут быть вещества и в другом состоянии.

конца выбрасываются газообразные продукты химического соединения жидкостей.

5. Органы управления прибором.

6. Аппараты для поглощения продуктов выделения путешественника и снабжения его кислородом, если путешествие совершается в безвоздушном пространстве.

Вот математические выводы об условиях наилучшего действия этого прибора в безвоздушном пространстве, применимые отчасти и к работе прибора в атмосфере.

Действие прибора состоит в том, что он или стоит без опоры неподвижно в воздухе (или в пустоте), или движется в каком-нибудь направлении.

Разберем сначала время неподвижного стояния в среде тяжести (динамическое поле).

1. Действие реактивного прибора тем значительнее, вообще, чем больше энергия химического соединения, приходящаяся на единицу массы образующихся продуктов.

2. Действие это также возрастает с увеличением массы взрывчатых материалов по отношению к массе снаряда.

Вообразим, что мы употребляем наиболее энергичные взрывчатые материалы в жидком виде.

Если теперь масса взрывчатых веществ равна массе реактивного прибора со всем остальным содержимым, то время стояния его у поверхности Земли (или на несколько сот верст выше) будет равно $6\frac{2}{3}$ мин. При ушестеренном количестве взрывчатых веществ сравнительно с массой прибора время стояния будет 19 мин. При относительном количестве взрывчатых материалов в 0,1 время стояния равно 55,4 сек, т. е. около 1 мин. Если взять менее энергично взрывающиеся жидкости или вырывающийся под страшным давлением водяной пар, то время стояния будет еще меньше.

Время стояния обратно пропорционально силе тяжести; так, и в большом удалении от Земли время стояния будет больше; на Луне, напр[имер], время стояния будет в 6 раз больше, потому что тяжесть там во столько же раз меньше. Именно, прибор бы стоял не 19 мин, а около 2 час.

Во время равновесия прибора ему, конечно, можно сообщить поступательную скорость и он пройдет в 19 мин верст 100 и даже более.

Теперь обратимся к другому эффекту реактивного прибора: к приобретению поступательной скорости.

Вот таблица [см. стр. 110].

Из нее видим, что скорости, получаемые реактивным путем, далеко не малы*. Так, при относительном количестве взрывчатых веществ в 193 скорость снаряда равна скорости движения

* Масса реактивного прибора может быть неограниченно велика.

$\frac{M_2/M_1}{V}$	0,1	0,5	1,0	2	3	4
	543	2308	3920	6260	7880	9170
$\frac{M_2/M_1}{V}$	5	6	8	10	50	193
	10 100	11 100	12 500	13 650	22 400	30 038

Примечание. M_2/M_1 означает отношение количества взрывчатых веществ к массе реактивного прибора со всем остальным содержимым; V есть секундная скорость (в м), получаемая прибором по окончании взрыва или по истечении всего взрывчатого материала.

Земли вокруг Солнца. Когда запас взрывчатого вещества равен массе снаряда, то скорость его все-таки вдвое более той, которая нужна, чтобы камню, пущенному с поверхности Луны, удалиться от нее навсегда и сделаться спутником Земли. Эта скорость почти достаточна для вечного удаления тел, брошенных с поверхности Марса или Меркурия.

При отношении в 3 скорость снаряда будет почти достаточна, чтобы он мог вращаться за пределами атмосферы, вокруг Земли, подобно ее спутнику.

При $M_2/M_1 = 6$ снаряд удаляется навеки от Земли и делается спутником Солнца — самостоятельной планетой, братом Земли. При большом количестве взрывчатых веществ возможно достижение пояса астероидов и даже тяжелых планет.

Все это будет верно при моментальном взрывании в среде тяжести или при медленном взрывании при отсутствии тяжести.

Чем больше сила тяжести, чем полет ближе к вертикальному и чем медленнее взрывание, тем конечная скорость будет меньше сравнительно с показанной в таблице.

Если снаряд отправляется с людьми и нежными приборами, то взрывание должно быть медленным и продолжаться несколько минут, но и при этом, совершенно безопасном взрывании, полученная снарядом в результате скорость очень немного отличается от указанной в таблице. Примерно она будет на $1/10$ меньше, т. е. составит 0,9 первоначальной величины (см. таблицу). Если верить газетам, то с 1905 г. американская компания применяет идею реактивного прибора к устройству воздушных мин.

Также, недавно фирма Круппа приобрела от шведского полковника Унге право на его воздушную торпеду.

Исследование мировых пространств реактивными приборами*

(1911—1912 гг.)

Реактивный прибор «Ракета» К. Циолковского

Предисловие

Долго на ракету я смотрел, как и все: с точки зрения увеселений и маленьких применений.

Не помню хорошо, как мне пришло в голову сделать вычисления, относящиеся к ракете.

Мне кажется, первые семена мысли заронены были известным фантазером Жюль Верном; он пробудил работу моего мозга в известном направлении. Явились желания, за желаниями возникла деятельность ума. Конечно, она ни к чему бы не повела, если бы не встретила помощи со стороны науки.

Кроме того, мне представляется — вероятно ложно, — что основные идеи и любовь к вечному стремлению туда — к Солнцу, к освобождению от цепей тяготения, — во мне заложены чуть не с рождения. По крайней мере, я отлично помню, что моей любимой мечтой, в самом раннем детстве, еще до книг, было смутное сознание о среде без тяжести, где движения во все стороны совершенно свободны и где лучше, чем птице в воздухе. Откуда явились эти желания, я до сих пор не могу понять; и сказок таких нет, а я смутно верил, и чувствовал, и желал именно такой среды без пут тяготения. Старый листок в моих рукописях с окончательными формулами, относящимися к реактивному прибору, помечен датой 25 августа 1898 г. Очевидно, занимался я им раньше. Но не жалкий полет ракеты пленил меня, а точные расчеты. Свои вычисления и выводы из них я обнаружил в

* Данная работа является второй частью статьи того же названия, опубликованной в 1903 г. Впервые она была напечатана в журнале «Вестник воздухоплавания», 1911, № 19—22; 1912, № 2, 3, 5, 6, 7, 9. Ввиду того, что вторая часть появилась в печати через 8 лет, автор включил в нее резюме первой статьи. (Ред.).

1903 г. * Настоящая работа есть развитие этой. Но так как напечатанный труд мало кому известен, то здесь я помещаю его резюме и даже важнейшие его формулы.

Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка; за ними шествует научный расчет, и уже в конце концов исполнение венчает мысль.

Моя работа относится к средней фазе творчества.

Более, чем кто-нибудь, я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, так как в течение моей жизни я не только много вычислял, но и исполнял, работая также руками.

Но нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия.

Я буду рад, если моя работа побудит других к дальнейшему труду.

Все знают, как невообразимо велика, как бесконечна вселенная. Все знают, что и вся солнечная система с сотнями своих планет есть точка в мире.

Проникни люди в солнечную систему, распорядись в ней, как хозяйка в доме: раскроются ли тогда тайны мира? Нисколько! Как осмотр какого-нибудь камушка или раковины не раскроет еще тайн океана. Если бы даже люди овладели другим солнцем, исследовали весь Млечный Путь — эти миллиарды солнц, эти сотни миллиардов планет, — то и тогда мы сказали бы то же. И миллиарды эти — точка, и они бы не разоблачили тайн мира... Все наши познания, настоящие и будущие, ничто в сравнении с тем, что мы никогда не будем знать...

Но как жалок человек в своих заблуждениях! Давно ли было время, когда поднятие на воздух считалось кощунственным покушением и каралось казнью, когда рассуждение о вращении Земли наказывалось сожжением.

Неужели во все века суждено людям повторять свои ошибки?!. . .

Резюме работы 1903 г.

Работая над теорией реактивного прибора с 1896 г., мы пришли к следующим выводам.

Снаряд имеет снаружи вид бескрылой птицы, легко рассекающей воздух. Большая часть внутренности снаряда занята двумя веществами в жидком состоянии: водородом и кислородом. Обе жидкости разделены перегородкой и соединяются между собою только мало-помалу. Остальная часть камеры, меньшей вместимости, назначена для помещения наблюдателя и разного рода аппаратов, необходимых для сохранения его жизни, для научных наблюдений и для управления «ракетой» (так называли мы наш реактивный прибор) [рис. 1].

* «Научное обозрение», 1903, № 5.

Водород и кислород, смешиваясь в узкой части постепенно расширяющейся трубы, вроде духового музыкального инструмента, соединяются химически и образуют водяной пар при страшно высокой температуре. Он имеет огромную упругость и вырывается из широкого отверстия трубы с ужасающей скоростью по направлению трубы или продольной оси камеры. Направление давления пара и направление полета снаряда прямо противоположны.



Рис. 1. Схема реактивного прибора К. Э. Циолковского

Давление пара обыкновенно совпадает с направлением движения ракеты. При ее остановке или замедлении бывает наоборот. Движение же пара при ускоряющемся ходе ракеты противоположно ее движению; при замедляющемся — наоборот. Говорю тут о кажущемся движении пара относительно ракеты.

Взрывная труба, идущая вдоль продольной оси ракеты, через центр ее инерции, охлаждается низкой температурой жидкого кислорода и водорода, окружающих трубу или ее кожух. Эти свободно испаряющиеся жидкости имеют температуру около 200—250° С ниже нуля и препятствуют расплавлению трубы внутренней весьма высокой температурой. Так как взрывание продолжается всего лишь несколько минут, то потеря холодных жидкостей от их испарения невелика.

Вращение ракеты можно устранить разными автоматически действующими приборами, так что направление продольной оси ракеты и полет ее будут, приблизительно, иметь одно направление: путь ее — прямая линия.

Простейшим способом управления направлением ракеты служит поворачивание конца раструба или руля перед ним. При поворачивании их газы принимают иное направление, и снаряд поворачивается или регулируется.

Энергия химического соединения водорода с кислородом громадна. Значительная часть ее, именно до 0,65 (65%), передается ракете, т. е. переходит в энергию ее движения. Остальная часть (35%) идет на движение водяного пара. Такая значительная часть энергии взрывчатых веществ усваивается ракетой в среде, свободной от тяготения; в среде же тяжести такое усвоение может быть лишь при моментальном взрыве, совершенно непри-

годном в практическом отношении. Чем медленнее взрыв, чем дольше он продолжается в среде тяжести и чем сильнее последняя, тем меньше утилизация энергии взрывчатых веществ.

В среде же без тяжести утилизация не зависит от времени и порядка взрыва.

Благодаря ускоряющемуся движению ракеты внутри ее образуется кажущаяся (пока совершается ускорение ракеты) или временная тяжесть, которая тем больше, чем взрыв быстрее или чем давление вырывающихся из трубы паров больше. Эта относительная тяжесть по действиям своим внутри ядра ничем не отличается от натуральной тяжести. При моментальном взрыве она бесконечно велика, и потому как самая ракета, так и все, заключающееся в ней, должно разрушиться и погибнуть. Вот почему моментальный или чересчур быстрый взрыв негоден.

Когда временная тяжесть в течение взрыва достигает 10, т. е. в 10 раз больше, чем у поверхности Земли, то усваивается 0,9 (90%) наибольшего усвоения энергии взрывчатых веществ в среде без тяжести, именно $0,65 \times 0,9 = 0,585$, т. е. более 58% всего количества потенциальной химической энергии, заключенной в смеси водорода с кислородом.

При наклонном полете ракеты утилизируется гораздо большее количество запасенной энергии. В пределе, когда полет горизонтален, утилизация наибольшая и достигает, при удесятеренной временной тяжести внутри ракеты, 0,99, или 99%. При полете ракеты под углом в $14\frac{1}{2}^\circ$ к горизонту незначительное сопротивление атмосферы только учетверяется сравнительно с вертикальным полетом, между тем как утилизируется при таком наклоне 0,965. Это составит $0,627 (0,65 \times 0,965)$ полной химической энергии взрывчатых веществ.

Наибольшая утилизация (65%) как в среде тяжести, так и в среде без тяжести, получается тогда только, когда количество взрывчатой смеси в 4 раза превышает вес снаряда со всем содержимым; в противном случае утилизация меньше 65%. При этом отношении количества взрывчатых веществ (4) к весу снаряда (1) последний приобретает до 9 км скорости в 1 сек. Снаряд может получить и произвольно большую и произвольно меньшую скорость, но тогда используется меньшее количество энергии взрывчатого материала. Этот процент утилизации тем меньше, чем больше уклонение относительного количества взрывчатых веществ от числа 4.

При отношении от 1 до 18 использование энергии более 48%; соответствующие скорости в среде без тяжести колеблются от 3,9 до 16,9 км в 1 сек. Последней скорости более чем достаточно для одоления притяжения Солнца и Земли и блуждания ракеты между звездами при бросании ее по направлению годового движения Земли.

Действительно, расчет дает две главные скорости бросания: в 14 и 74 км/сек*. Последнее число относится к бросанию по направлению, обратному движению Земли, а первое — по направлению годового ее движения. Таким образом, даже при двенадцатикратном количестве взрывчатых веществ этот акт разделения с солнечной системой уже совершается.

Ракета может, теоретически, поднимать массы желаемой величины.

Если, например, надо поднять 200 кг, то для удаления от Солнца надо не менее чем 2400 кг взрывчатых веществ.

Заметим, что кислород можно дешево добывать из атмосферы ожигением воздуха и дальнейшим испарением из него азота. Это так и делается теперь. Водород можно добывать ожигением светильного газа. Сначала ожигаются более сложные продукты с наибольшим молекулярным весом, а водород остается в газообразном виде. Можно даже оставить болотный газ, так как с кислородом он дает также соединения летучие (вода, углекислый газ) и, след[овательно], годные для ракеты. Итак, водород и кислород при фабричном производстве могут и не быть особенно дороги. Ожигение водорода затруднительно (пока), но вместо него можно взять с равным и даже лучшим успехом жидкие или ожигенные углеводороды, как этилен, ацетилен и т. п.

Для сохранения газов в жидком виде не нужно особенно крепких сосудов: они должны быть только немного крепче тех земных сосудов, в которых хранится вода.

Также взрывная труба сравнительно с обыкновенной пушкой чрезвычайно легка, так как в артиллерийской пушке взрыв почти моментален и в малую долю секунды взрывается сравнительно огромное количество вещества. Между тем как в нашей взрывной трубе в тот же малый промежуток времени взрывается лишь сравнительно ничтожная доля запаса, а весь он расходуется в течение нескольких минут (1—20 мин).

Если, например, весь снаряд со всем содержимым весит 1000 кг и временная тяжесть удесятерилась, то давление на основание трубы, т. е. в наиболее узкой ее части, будет составлять менее 10 т. Допустим, что площадь основания трубы, или площадь нормального сечения в наиболее узкой части, составит 100 см², тогда давление взрывающихся газов в основании трубы будет менее 100 ат. В других частях трубы давление будет тем меньше, чем они дальше от основания и более расширены. Легко вычислить теперь, что наибольшая толщина стенок трубы из стали не превышает 5 мм.

Относительно материала взрывной трубы ничего определенного теперь сказать нельзя. Укажем только на опыты, которые показали, что железо при температуре жидких газов, которые

* Более точные значения скоростей даны на стр. 138. (Ред.).

окружают нашу трубу, имеет огромную крепость. Конечно, все знают, что железо плавится как воск в пламени гремучего газа. Но ведь точка плавления железа всего 1300°C *. Есть вещества более тугоплавкие; так, металл вольфрам имеет температуру плавления в 3200°C . То же можем повторить и относительно взрывчатых элементов: кислород и водород мы брали только для примера.

Я принял в вычислениях удесятеренную временную тяжесть в ракете; но величина этой тяжести в наших руках, и мы даже можем сделать ее лишь немного больше земной (1), в особенности при наклонном или горизонтальном поднятии. Так, при горизонтальном движении снаряда и утроенной относительной тяжести утилизация взрывчатых веществ, сравнительно с моментальным взрывом, составляет $\frac{8}{9}$ (около 89%). Впрочем, есть средство сохранять вещи и животных и при огромной тяжести, о чем речь будет дальше.

Вообразим абсолютно невозможное: положим, что на тысячи или миллионы верст устроена прекрасная отвесная или наклонная дорога (например, зубчатая и т. п.) с вагонами, машинами и всеми приспособлениями для удобного путешествия за пределы атмосферы. Подымаясь по ней на известную высоту, мы потратим некоторое определенное количество работы. Совершая поднятие с помощью каких-либо двигателей, хотя бы и самых совершенных, при современном состоянии техники, мы используем не более 10% той химической энергии, которую захватим с собой в высоту в виде топлива.

Для поднятия на ту же высоту, но без лестниц и подъемных машин, с помощью нашего снаряда, как мы видели, утилизируется при разумном пользовании не менее 50% химической энергии соединения водорода с кислородом. Итак, с помощью воображаемых вертикальных дорог расходуется, по крайней мере, в 5 раз больше топлива, чем в реактивном приборе. Вывод этот справедлив лишь для поднятия на высоту, не меньшую 700 верст, когда утилизируется значительная часть энергии взрывчатых веществ.

Результат может быть совсем плачевный при малой относительной тяжести и при малом поднятии. Так, при временной тяжести, равной земной (1), и вертикальном положении взрывной трубы результатом является, при огромном, сравнительно, расходе взрывчатых веществ, двадцатиминутное стояние на одной высоте. При несколько большем ускорении ракеты (временная в ней тяжесть немного более единицы, т. е. земной тяжести) поднятие на несколько аршин в течение около 20 мин!!!

Такие жалкие реактивные явления мы обыкновенно и наблюдаем на Земле. Вот почему они никого не могли поощрить к мечтам и исследованиям. Только разум и наука могли указать на

* Точнее, 1539°C . (Ред.).

преобразование этих явлений в грандиозные, почти непостижимые чувства.

Вот главные формулы, на основании которых сделаны все эти выводы:

$$V = W \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (16)^*$$

Тут \ln означает натуральный логарифм; V есть скорость снаряда или ракеты по окончании взрыва массы (M_2) взрывчатых веществ; M_1 есть масса снаряда со всем содержимым, кроме взрывчатых веществ. Полная масса равна: $M_1 + M_2$; W есть относительная скорость элемента охлажденных (расширением) продуктов горения, когда они вырываются наружу из жерла взрывной трубы. Относительно ракеты эта скорость не зависит от времени и места. Формула относится к среде без тяжести. Утилизация абсолютной энергии взрывчатых веществ ракетой в среде без тяжести выражается

$$\frac{M_1}{M_2} \cdot \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2. \quad (26)$$

Когда M_2/M_1 мало, то утилизация равна M_2/M_1 . Тогда формула (16) выразится след[ующим] обр[азом]:

$$\frac{V}{W} = \frac{M_2}{M_1}; \quad t = \frac{V}{p}, \quad (28)$$

где t есть время взрыва в такой среде** ; p —постоянное ускорение снаряда от действия взрыва. Относительная или временная тяжесть, развившаяся в снаряде, выразится через отношение p/g , где g — ускорение земной тяжести у поверхности.

$$t = \frac{V_2}{p - g}, \quad (31) \quad ***$$

где V_2 есть окончательная скорость (по прекращении взрыва) вертикально поднимающейся от Земли ракеты.

$$V = V_2 \left(\frac{p}{p - g} \right); \quad (34)$$

$$V_2 = W \left(1 - \frac{g}{p} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right); \quad (35)$$

$$p_1 = p - g, \quad (44)$$

* Приведенные здесь формулы даны без вывода; нумерация их взята из ст. «Исследование мировых пространств реактивными приборами», приведенной в наст. книге, стр. 77—107. (Ред.).

** Имеется в виду среда без тяжести. (Ред.).

*** Данная формула выведена при условии, что на тело действует сила тяжести, причем ускорение силы тяжести g постоянно и прямо противоположно ускорению p , сообщаемому ракете взрывчатыми материалами. (Ред.).

где p_1 есть ускорение снаряда в среде тяжести при вертикальном движении.

Высота (h) поднятия в этом случае определяется формулой:

$$h = \frac{1}{2} p_1 \cdot t^2 = \frac{p-g}{2} \cdot t^2. \quad (45)$$

g считается постоянным, так как до израсходования взрывчатого материала снаряд поднимается на незначительную высоту сравнительно с радиусом Земли.

$$h = \frac{V_2^2}{2(p-g)}; \quad (46)$$

$$h = \frac{V^2}{2p} \cdot \left(1 - \frac{g}{p}\right); \quad (47)$$

$$\frac{T_1}{T} = 1 - \frac{g}{p}. \quad (51)$$

Здесь T_1 есть полезная работа взрывчатых веществ в среде тяжести, а T — в среде без тяжести.

$$\frac{M_3}{M_1} = (1 + q)^2 - 1; \quad (62)$$

$$q = \frac{M_2}{M_1}.$$

Эта формула показывает относительное количество взрывчатых веществ (M_3/M_1), потребное не только для приобретения скорости в среде без тяжести, но и для потери ее путем обратного взрыва. Если q мало, то $M_3/M_1 = 2q$.

То же самое, но для поднятия в среде тяжести и обратного безопасного спуска.

$$\frac{M_4}{M_1} = \left(1 + \frac{pq}{p-g}\right)^2 - 1. \quad (66)$$

Опять, если q или M_2/M_1 мало, то

$$\frac{M_4}{M_1} = 2q \cdot \left(\frac{p}{p-g}\right).$$

Полезная работа при горизонтальном движении ракеты гораздо больше, чем при вертикальном. Отношение ее к полезной работе в среде без тяжести равно

$$1 - \left(\frac{g}{p}\right)^2. \quad (73)$$

Потеря составляет $(g/p)^2$, между тем как при вертикальном движении потеря равна g/p .

$$\left[\frac{T_1}{T}\right] = 1 + \left(\frac{g}{p}\right)^2 + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p} - \cos \alpha \cdot \frac{g}{p} \sqrt{1 + \frac{g^2}{p^2} + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p}}. \quad (83)$$

Это выражение определяет утилизацию при наклонном поднятии в среде тяжести по отношению к энергии, полученной ракетой в среде без тяжести. Тут α есть угол между направлением ракетного пути и идущей вниз вертикалью; β — угол того же ракетного пути с направлением взрывания или направлением взрывной трубы*; α больше прямого угла, β — меньше; $\gamma = \alpha + \beta$.

Легко показать, что выражение [83] дает оба частных случая, т. е. (51) и (73).

Предыдущее выражение можно упростить, если наклон пути ракеты с горизонтом не превышает 10° ; тогда получим

$$\left[\frac{T_1}{T}\right] = 1 - \frac{g^2}{p^2} - 0,02 \cdot \frac{g}{p} N. \quad (87)$$

Тут N означает в градусах наклон траектории ракеты с горизонтом.

Работа тяготения при удалении от планеты

Очень простым интегрированием можем получить следующее выражение для работы T , необходимой для удаления единицы массы** от поверхности планеты радиуса r_1 на высоту h :

$$T = \frac{g_1}{g} \cdot r_1 \left(1 - \frac{r_1}{r_1 + h}\right).$$

Здесь g_1 означает ускорение тяжести на поверхности данной планеты, а g — ускорение земной тяжести на поверхности Земли.

Положим в этой формуле h равным бесконечности. Тогда определим наибольшую работу при удалении единицы массы с поверхности планеты в бесконечность и получим

$$T_1 = \frac{g_1}{g} \cdot r_1.$$

Заметив, что g_1/g есть тяжесть на поверхности планеты по отношению к тяжести Земли, видим, что работа, потребная для удаления единицы массы от поверхности планеты на бесконечно большое расстояние, равна работе поднятия этой же массы от поверхности на один радиус планеты, если допустить, что сила тяжести на ней не уменьшается с удалением от поверхности.

Таким образом, хотя пространство, куда проникает сила тяготения любой планеты, безгранично, однако сила эта представляет как бы стену или сферу ничтожного сопротивления, облака-

* β — угол между направлением скорости полета и реактивной силой; см. ст. «Исследование мировых пространств реактивными приборами», рис. 2; наст. книга, стр. 103. (Ред.).

** Рассмотрение последующих формул показывает, что они выведены не для единицы массы, а для единицы веса. (Ред.).

ющую кругом планету на величину ее радиуса. Одолейте эту стену, прошибите эту неуловимую равноплотную оболочку — и тяготение побеждено на всем его бесконечном протяжении.

Из последней формулы видно, что предельная работа (T_1) пропорциональна силе тяжести g_1 у поверхности планеты и величине ее радиуса.

Для равноплотных планет, т. е. для планет одной плотности, напр[имер], с земной (5,5), сила тяжести у поверхности, как известно, пропорциональна радиусу планеты и выражается отношением радиуса (r_1) планеты к радиусу Земли (R). Следовательно,

$$\frac{g_1}{g} = \frac{r_1}{R} \text{ и } T_1 = \frac{r_1}{R} \cdot r_1 = \frac{r_1^2}{R}.$$

Значит, предельная работа (T_1) чрезвычайно быстро уменьшается с уменьшением радиуса (r_1) планеты, именно, как ее поверхность.

Так, если эта работа для земного шара ($r_1 = R$) равна R , или 6 366 000 $\kappa\Gamma\text{м}$ *, то для планеты с диаметром в 10 раз меньшим она равна 63 660 $\kappa\Gamma\text{м}$ (единица массы — килограмм).

Но и для Земли, с некоторой точки зрения, она не очень велика. В самом деле, если считать теплопроизводительность нефти в 10 000 кал , что довольно верно, то энергия этого горения выразится механической работой в 4 240 000 $\kappa\Gamma\text{м}$ ** на 1 кг горючего материала.

Выходит, что для предельного удаления единицы массы от поверхности нашей планеты требуется работа, которая содержится потенциально в полутора массовых единицах нефти.

Так, в применении к человеку, весящему 70 кг , получим количество нефти в 105 кг .

Недостает только умения воспользоваться этой могучей энергией химического средства.

Становится все-таки более понятным, почему уосьмеренное количество взрывчатого материала сравнительно с весом снаряда может помочь последнему вполне одолеть силу земного тяготения.

По Ланглею, квадратный метр, освещенный нормальными лучами Солнца, дает в минуту 30 кал , или 12 720 $\kappa\Gamma\text{м}$ ***.

Чтобы получить всю работу, потребную для победы 1 кг над тяжестью Земли, нужно пользоваться квадратным метром, освещенным лучами в течение 501 мин , или 8 час с лишком.

Все это очень немного; но при сравнении человеческой силы с силой притяжения последняя нам покажется огромной.

* Более точное значение работы для земного шара равно 6 371 000 $\kappa\Gamma\text{м}$. (Ред.).

** Более точное значение механической работы равно 4 270 000 $\kappa\Gamma\text{м}$. (Ред.).

*** Точнее 12 810 $\kappa\Gamma\text{м}$. (Ред.).

Так, допустим, что человек каждую секунду подымается по прекрасно устроенной лестнице на высоту 20 см (около $4\frac{1}{2}$ вершка).

Тогда предельная работа будет им совершена только в течение 500 дней тяжелого труда, если на ежедневный отдых подарим 6 час. При употреблении для поднятия лошадиной силы сократим работу в 5 раз.

При 10 л. с. понадобится только 10 дней, а при непрерывной работе — около недели.

При той работе, которую поглощает летящий аэроплан (70 л. с.), довольно одного дня.

Для большинства астероидов и для марсовых лун эта работа полного одоления тяжести поразительно мала. Так, луны Марса не имеют в диаметре больше 10 км. Если принять для них земную плотность $5\frac{1}{2}$, то работа T_1 составит не более 4 км, т. е. соответствует поднятию на березу в 2 сажени высотой. Если бы на нашей Луне, на Марсе оказались разумные существа, то победа над тяжестью для них была бы гораздо легче, чем для жителей Земли.

Так, для Луны T_1 в 22 раза меньше, чем для Земли. На крупных планетоидах и спутниках планет победа над беспредельным пространством или, вернее, над пространством, окружающим Солнце или планеты, была бы пустяками с помощью описанных мною реактивных приборов. Напр[имер], на Весте T_1 в 1000 раз меньше, чем на Земле. Поперечник Весты равен 375 верстам. Поперечник Метиссы около 100 верст, а T_1 в 15000 раз меньше.

Но это громаднейшие астероиды; большинство в 5—10 раз меньше. Для них T_1 в миллионы раз меньше, чем для Земли.

Из предыдущих формул найдем для всякой планеты

$$\frac{T}{T_1} = \frac{h}{h + r_1} = \frac{\frac{h}{r_1}}{1 + \frac{h}{r_1}}$$

Мы здесь выразили работу поднятия T на высоту h от поверхности планеты радиуса r_1 по отношению к полной наибольшей работе T_1 . По этой формуле вычислим

$$\frac{h}{r_1} = \frac{1}{10} \frac{1}{5} \frac{1}{4} \frac{1}{3} \frac{1}{2} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 9 \quad 99 \text{ бескон.}$$

$$\frac{T}{T_1} = \frac{1}{11} \frac{1}{6} \frac{1}{5} \frac{1}{4} \frac{1}{3} \frac{1}{2} \frac{2}{3} \frac{3}{4} \frac{9}{10} \frac{99}{100} 1.$$

Первая строка показывает поднятие в радиусах планеты; вторая — соответствующую работу, принимая работу полного одоления тяжести за единицу. Напр[имер], для удаления от поверхности планеты на один ее радиус нужно совершить половину полной работы, а для удаления в бесконечность — только вдвое более (1).

Скорость, необходимая телу для удаления от планеты

Так как мы часто давали скорости, приобретаемые ракетой от действия взрывчатых веществ, то интересно знать, каковы они должны быть, чтобы одолеть сопротивление тяготения.

Мы опять не будем приводить банальных вычислений, с помощью которых скорости эти определяются, и ограничимся только выводами.

Так, скорость V_1 , потребная для поднятия ракеты на высоту h и получения после этого скорости V , равна

$$V_1 = \sqrt{V^2 + \frac{2gr_1h}{r_1+h}}.$$

Если тут положить, что $V = 0$, т. е. если тело движется вверх до остановки силою тяжести, то найдем

$$V_1 = \sqrt{\frac{2gr_1h}{r_1+h}}.$$

Когда h бесконечно велико, т. е. если поднятие беспредельно, и конечная скорость нуль, то необходимая для того у поверхности планеты скорость выразится

$$V_1 = \sqrt{2gr_1}.$$

По этой формуле вычислим для Земли: $V_1 = 11\,170$ м/сек. или в 5 раз быстрее наивысшего пушечного ядра при его вылете из жерла.

Для нашей Луны $V_1 = 2373$ м/сек, т. е. это близко к скорости ядра и скорости молекул водорода. Для планеты Агаты, имеющей 6 верст в диаметре и плотность, не большую плотности Земли (5,5), V_1 менее 5,7 м/сек; такую же почти скорость V_1 найдем и для спутников Марса. На этих телах солнечной системы достаточно слегка разбежаться, чтобы навсегда освободиться от силы их тяготения и сделаться самостоятельной планетой.

Для планет, равноплотных с Землей, получим

$$V_1 = r_1 \sqrt{\frac{2g}{R}},$$

где g и R относятся к земному шару. Из формулы видно, что предельная скорость бросания (V_1) в этом случае пропорциональна радиусу r_1 данной планеты.

Так, для наибольшего планетоида — Весты, поперечник которой близок к 400 км, найдем, что $V_1 = 324$ м/сек.

Это значит, что даже ружейная пуля оставляет навсегда Весту и делается аэролитом, кружащимся вокруг Солнца.

Последняя формула удобна для быстрого соображения о скоростях бросания на разной величины равноплотных планетах. Так, Метисса, один из крупных астероидов, имеет диаметр раза в 4 меньше, чем Веста; и скорость поэтому будет во столько же раз меньше, т. е. около 80 м/сек.

Вечное кружение вокруг планеты требует работы вдвое меньшей и скорости в $\sqrt{2} = 1,41 \dots$ раз меньше, чем для удаления в бесконечность.

Время полета

Мы не будем тут приводить весьма сложных формул, определяющих время полета снаряда. Тем более, что это вопрос не новый и решенный, и мы будем только повторять известное.

Воспользуемся лишь одним выводом, чрезвычайно простым и полезным для решения простейших задач о времени движения ракеты.

Для времени t падения неподвижного сначала тела на планету (или Солнце), сосредоточенную в одну точку (при той же массе), найдем

$$t = \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g_1}} \left\{ \sqrt{\frac{r_2}{r} - 1} + \arcsin \sqrt{\frac{r}{r_2}} \right\}.$$

Тут r_2 означает расстояние, с которого тело начинает падение; r есть величина этого падения; r_1 — радиус планеты, а g_1 — ускорение тяжести в это время у ее поверхности.

Та же формула, конечно, выражает и время поднятия от $r_2 - r$ до r_2 , когда тело теряет всю свою скорость.

Если положить, что $r = r_2$, т. е. если определить время падения до центра сосредоточенной планеты, то получим из последней формулы

$$t = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g_1}}.$$

При обыкновенных условиях эта формула дает также, приблизительно, и время падения до поверхности планеты или время поднятия ракеты с этой поверхности до остановки.

С другой стороны, время полного кругового обращения какого-нибудь тела, например снаряда, вокруг планеты (или Солнца) равно

$$t_1 = 2\pi \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{g_1}},$$

где r_1 — радиус планеты с ускорением g_1 у поверхности, а r_2 — расстояние тела от ее центра.

Сравнивая обе формулы, найдем $t_1 : t = 4\sqrt{2} = 5,657$.

Стало быть, отношение времени обращения какого-нибудь спутника ко времени его центрального падения на планету, сосредоточенную в одну точку, равно 5,66.

Итак, чтобы получить время падения какого-нибудь небесного тела (например, нашей ракеты) на центр (или, приблизительно, на поверхность), вокруг которого оно обращается, надо время звездного обращения этого тела по кругу разделить на 5,66.

Так, узнаем, что Луна падает до Земли 4,8 суток, а Земля до Солнца — $64\frac{1}{4}$ суток.

Наоборот, ракета, брошенная с Земли и остановившаяся на расстоянии Луны, летела бы в течение 4,8 суток, или около 5 дней.

Также ракета, брошенная с Солнца и остановившаяся под влиянием могучей силы его тяготения и недостаточной скорости ракеты на расстоянии Земли, употребила бы на свой полет около 64 суток, или 2 месяца с лишком.

Соппротивление атмосферы

Определим работу рассечения воздуха ракетой при обыкновенном прямолинейном равномерно-ускоренном ее движении; должны принять в расчет и переменную плотность (d) атмосферы на разных высотах.

Она равна (см. мое соч[инение] «Аэростат и аэроплан», 1905 г.)

$$d = d_1 \left\{ 1 - \frac{d_1 h}{2(A+1) \cdot f} \right\}^{2A+1}, \quad (1)$$

где

$$A = \frac{d_1 M T_1 C}{f}. \quad (2)$$

В этих формулах d_1 есть плотность воздуха у уровня океана ($d_1 = 0,0013$); h — высота положения снаряда, или высота рассматриваемой части атмосферы; f — давление воздуха при уровне океана на единицу площади ($f = 10,33 \text{ т/м}^2$); M — механический эквивалент тепла ($M = 424 \text{ тм}^2$); T_1 — температура нуля в абсолютных единицах ($T_1 = 271$)*; C — теплоемкость воздуха при постоянном объеме ($C = 0,169$); так что $A = 2,441$, и первая формула примет вид

$$d = d_1 \left(1 - \frac{h}{h_1} \right)^a; \quad (3)$$

тут

$$a = 2A + 1 = 5,88, \quad (4)$$

* В тексте ошибка. Имеется в виду не температура абсолютного нуля, а температура нуля в абсолютных единицах ($T_1 = 273^\circ$). (Пед.)

а $h_1 = 54\,540$ м и выражает предельную теоретическую высоту атмосферы на принятых основаниях. Действительно, если в формуле (1) $d = 0$, то h будет выражать высоту атмосферы; но тогда из (1) получим

$$h = \frac{2(A+1)f}{d_1}. \quad (5)$$

Обозначив эту высоту через h_1 , получим формулу (3).

Хотя эта высота в $54\frac{1}{2}$ км и чрезмерно мала, как видно из наблюдений над падающими звездами, однако несомненно, что атмосфера выше 54 км уже настолько разрежена, что ее сопротивлением смело можно пренебречь. В самом деле, если вычислить плотность воздушной оболочки на этой высоте, предполагая постоянную температуру, как у уровня океана, и, следовательно, беспредельность атмосферы, то и в таком случае найдем $d/d_1 = 0,001$, т. е. на этой высоте воздух разрежен в 1000 раз, и, значит, выше 54 км не остается более одной тысячной (0,001) массы всей атмосферы.

Но благодаря понижению температуры эта оставшаяся масса несравненно меньше.

Дифференциал работы (T) сопротивления выражается

$$dT = Fdh, \quad (6)$$

где F означает сопротивление воздуха движению снаряда. Оно равно

$$F = \frac{kSdV^2}{2g \cdot U}. \quad (7)$$

Здесь k есть коэффициент, равный по Ланглею 1,4; S есть площадь наибольшего поперечного сечения снаряда; d — плотность воздуха в том месте, где в данный момент движется ракета; d , конечно, есть величина переменная, потому что с увеличением высоты места плотность воздуха быстро падает; V — скорость движения снаряда; g — ускорение земной тяжести у поверхности планеты ($g = 9,8$); U — утилизация или полезность формы ракеты — число, показывающее, во сколько раз уменьшается сопротивление, благодаря птицеподобной форме снаряда, сравнительно с сопротивлением площади его наибольшего поперечного сечения; это U — тоже величина переменная, которая, как показали многочисленные опыты, увеличивается с увеличением скорости V движущегося тела; кстати сказать, что она увеличивается и с его размерами.

Впрочем, U мы примем за величину постоянную, так как ее зависимость от скорости V — вопрос очень спорный.

Далее, так как сопротивление воздуха в сравнении с давлением на ракету взрывчатых веществ невелико (около 1% и менее), то

скорость V снаряда можем принять равной

$$V = \sqrt{2(p-g) \cdot h}, \quad (8)$$

где $(p-g)$ есть истинное ускорение снаряда в 1 сек. Это положение, прибавляя скорость, увеличивает работу сопротивления атмосферы и, следовательно, уравнивает погрешность от сокращения высоты атмосферы.

На основании третьего уравнения и трех последних формул получим

$$dT = b \left(1 - \frac{h}{h_1}\right)^a \cdot h \cdot dh, \quad (9)$$

тут

$$b = \frac{kd_1 S(p-g)}{Ug} \quad (10)$$

и

$$a = 5,88. \quad (4)$$

Интегрируя по частям и определяя постоянное, найдем

$$T = b \left\{ \frac{h_1^2}{(a+1)(a+2)} \left[1 - \left(1 - \frac{h}{h_1}\right)^{a+2} \right] - \frac{h_1 h}{a+1} \left(1 + \frac{h}{h_1}\right)^{a+1} \right\}. \quad (11)$$

Если здесь положим, что $h = h_1$, то получим полную работу (T_1) сопротивления атмосферы. Именно:

$$T_1 = \frac{bh_1^2}{(a+1)(a+2)}. \quad (12)$$

Положим: $k = 1,4$; $d = 0,0013$; $S = 2 \text{ м}^2$; $\frac{p}{g} = 10$; $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$; $U = 100$; тогда $b = 0,0003276$; $a = 5,88$ и $h_1 = 54 \ 540 \text{ м}$. Теперь по (12) вычислим $T_1 = 17 \ 975 \text{ тм}$.

Работа 1 т взрывчатых веществ, при получении из водорода и кислорода 1 т воды, равна 1 600 000 тм. Если бы снаряд со всеми приспособлениями и путешественниками весил 1 т, а взрывчатый запас составлял ушестеренное количество, или 6 т, то ракета захватила бы с собою потенциальную энергию в 9 600 000 тм. В механическую работу движения ракеты превращается более половины этой энергии.

Стало быть, работа сопротивления атмосферы составляет в этом случае лишь около $\frac{1}{300}$ работы тяготения. То же можем получить, сравнив прямо работу сопротивления атмосферы (17 975) с полной работой тяготения (6 336 000). Найдем около $\frac{1}{353}$.

Привожу тут таблицу, показывающую, по принятым нами условиям, время в секундах от начала вертикального полета, соответствующую секундную скорость ракеты в метрах, высоту поднятия в тех же метрах, плотность окружающего воздуха, при-

t	v	h	d	t	v	h	d
0	0	0	1	20	1800	18 000	1:10,63
1	90	45	—	30	2700	40 500	1:28,28
2	180	180	—	40	3600	72 000	Близка к нулю
3	270	405	—	50	4500	112 500	» »
5	450	1125	1:1,13	70	6300	220 500	0
7	630	2205	—	100	9000	450 000	0
10	900	4500	1:1,653	113	9990	574 600	0
15	1350	10 125	—				

няв плотность у уровня океана за единицу и равномерное понижение с высотой температуры в 5°C .

Все время взрывания, при ушестеренном количестве взрывчатого вещества, продолжается 113 сек, причем в конце этого времени тело приобретет скорость в 9990 м/сек и подыметя на высоту 575 км; дальнейшее поднятие будет совершаться по инерции.

Работа сопротивления атмосферы весьма мала; потеря же при вертикальном движении от силы тяжести не представляет столь малой величины; именно, первая потеря в 35 раз меньше, чем вторая. Поэтому выгодно наклонять путь движения ракеты с тем, чтобы, увеличив в несколько раз величину сравнительно малую, т. е. сопротивление воздуха, уменьшить в то же время величину сравнительно значительную, т. е. потерю энергии от влияния тяжести.

Нетрудно видеть, что работа сопротивления атмосферы, приблизительно, пропорциональна $\text{cosec}^2(\alpha - 90^{\circ})$, где $(\alpha - 90^{\circ})$ есть угол наклона движения снаряда к горизонту.

Дает тут таблицу [см. стр. 128], для составления которой нам послужил предыдущий закон*, довольно верный при некотором удалении от горизонтального полета.

Первый столбец показывает уклонение полета от горизонта в градусах; четвертый — сумму всех потерь, когда полезность U формы ракеты принята за 100; последний — сумму потерь, если полезность U формы принять в 25.

По четвертому столбцу наиболее выгодный наклон к горизонту заключается между 10 и 15° ; при утилизации формы, в 4 раза меньшей, наивыгоднейший наклон уже будет $15-30^{\circ}$. В первом случае потеря составляет 0,044 всей энергии движения ракеты, усвоенной ею от взрывчатых веществ в среде без тяжести или около $4\frac{1}{2}\%$. Во втором — потеря равна 0,079, или около 8%.

* См. табл. 86 работы «Исследование мировых пространств...», 1903 г., наст. книга, стр. 106. (Ред.).

$\alpha = 90^\circ$	Потери		Сумма потерь	Потеря, если полезность формы $U = 25$	Сумма потерь
	от тяжести	от атмосферы ($U = 100$)			
0	0,010	—	—	—	—
2	0,014	0,0834	0,0974	0,328	0,342
5	0,020	0,0341	0,0541	0,136	0,156
10	0,027	0,0171	0,0441	0,068	0,095
15	0,035	0,0115	0,0465	0,044	0,079
20	0,045	0,00868	0,05618	0,035	0,080
30	0,057	0,00594	0,06294	0,024	0,081
40	0,070	0,00462	0,07462	0,018	0,088
45	0,075	0,00420	0,07920	0,017	0,092
90	0,100	0,00297	0,10297	0,012	0,112

Примечание. Позднее эта таблица была исправлена Циолковским. См. кн. Н. А. Рынина «К. Э. Циолковский — его жизнь, работы и ракеты». Л., 1931 г., стр. 76. (Ред.).

В среде без тяжести, при ушестеренном количестве взрывчатых веществ (сравнительно с весом всего остального), утилизируется 0,63 всей их скрытой энергии.

Уничтожив, в худшем случае, 8% этого числа, найдем что при наклонном движении можно использовать 58% всей химической энергии взрывчатого материала.

Работу сопротивления воздуха можно уменьшить в несколько раз, если начать полет с вершины высочайших гор, или, подняв ракету с помощью воздушного корабля на значительную высоту, начать полет оттуда. Так, полет с высоты 5 верст уменьшает работу сопротивления воздуха вдвое, а полет с десятиверстной высоты — вчетверо*.

Картина полета

Относительные явления

Хотя до путешествия в пространство «ой как далеко», но допустим, что все готово: изобретено, осуществлено, испытано, и мы уже устроились в ракете и приготовились к поднятию, а наши приятели наблюдают за нами.

Мы будем относить явления к ракете, наши знакомые — к Земле, астрономы Марса — к своей планете и т. д. Все эти явления будут относительны и совсем неодинаковы, потому что всякого рода явления зависят, между прочим, и от формы движения тела, к которому относятся явления.

* Вычисление величины работы силы сопротивления воздуха проведено неточно, но качественные выводы правильны. (Ред.).

Мы, отправившись в путь, будем испытывать весьма странные, совсем чудесные, неожиданные ощущения, с описания которых и начнем.

Подан знак; началось взрывание, сопровождаемое оглушительным шумом. Ракета дрогнула и двинулась в путь. Мы чувствуем, что страшно отяжелели. Четыре пуда моего веса превратились в 40 пудов. Я повалился на пол, расшибся вдребезги, может быть, даже помер; тут уже не до наблюдений! Есть средства перенести такую ужасную тяжесть, но, так сказать, в упакованном виде или же в жидкости (об этом после).

Погруженные в жидкость, мы также едва ли будем склонны к наблюдениям. Как бы то ни было, тяжесть в ракете, по-видимому, увеличилась в 10 раз. Об этом нам бы возвестили: пружинные весы или динамометр (фунт золота, повешенный на их крюк, превратился в 10 фунтов), ускоренные качания маятника (в 3 с лишком раза более частые), более быстрое падение тел, уменьшение величины капель (диаметр их уменьшается в 10 раз), утяжеление всех вещей и много других явлений (см. формулы после 28).

Если бы плотность Земли увеличилась в 10 раз или если бы мы попали на планету, где притяжение в 10 раз больше, чем на Земле, то мы ничем не отличили бы явлений в ракете от явлений на планете с усиленной тяжестью. Она могла бы быть меньше в ракете, но тогда время взрывания будет больше, хотя ракета подымется, при той же затрате материала, на меньшую высоту или приобретет меньшую скорость. Мы разбираем случай вертикального поднятия, когда направление относительной тяжести, как на Земле. При наклонном взлете мы могли бы заметить изменение направления относительной тяжести не более чем на 90° ; а при наивыгоднейшем взлете — на $75-80^\circ$ сравнительно с направлением ее на Земле в данном месте.

Если бы в таком случае мы выглянули из окна ракеты, то Земля нам показалась бы почти вертикальной стеной, уходящей с одной стороны, в небо, а с другой — в бездну (в провал).

Испытываемая нами адская тяжесть будет продолжаться 113 сек или около 2 мин, пока не окончится взрывание и его шум. Затем, когда наступает мертвая тишина, тяжесть так же моментально исчезает, как и появилась. Теперь мы поднялись за пределы атмосферы, на высоту 575 км. Тяжесть не только ослабла, она испарилась без следов: мы не испытываем даже земного тяготения, к которому привыкли, как к воздуху, но которое для нас совсем не так необходимо, как последний, 575 км — это очень мало — это почти у поверхности Земли, и тяжесть должна бы уменьшиться весьма незначительно. Оно так и есть. Но мы имеем дело с относительными явлениями, и для них тяжести не существует.

Сила земного тяготения действует одинаково на ракету и

находящиеся в ней тела. Поэтому нет разницы в движении ракеты и помещенных в ней тел. Их уносит один и тот же поток, одна и та же сила, и для ракеты как бы нет тяжести.

В этом мы убеждаемся по многим признакам. Все не прикрепленные к ракете предметы сошли со своих мест и висят в воздухе, ни к чему не прикасаясь; а если они и касаются, то не производят давления друг на друга или на опору. Сами мы также не касаемся пола и принимаем любое положение и направление: стоим и на полу, и на потолке, и на стене; стоим перпендикулярно и наклонно; плаваем в середине ракеты, как рыбы, но без усилий, и ни к чему не касаюсь; ни один предмет не давит на другой, если их не прижимать друг к другу.

Вода не льется из графина, маятник не качается и висит боком. Громадная масса, привешенная на крючок пружинных весов, не производит натяжения пружины, и они всегда показывают нуль.

Рычажные весы тоже оказываются бесполезны: коромысло их принимает всякое положение, безразлично и независимо от равенства или неравенства грузов на чашках. Золото нельзя продавать на вес. Нельзя обычными, земными способами определить массу.

Масло, вытряхнутое из бутылки с некоторым трудом (так как мешало давление или упругость воздуха, которым мы дышим в ракете), принимает форму колеблющегося шара; через несколько минут колебание прекращается, и мы имеем превосходной точности жидкий шар; разбиваем его на части — получаем группу из меньших шаров разной величины. Все это ползет в разные стороны, расплзается по стенам и смачивает их.

Ртутный барометр поднялся доверху, и ртуть наполнила всю трубку.

Двухколенный сифон не переливает воду.

Выпущенный осторожно из рук предмет не падает, а толкнутый — двигается прямолинейно и равномерно, пока не ударится о стенку или не наткнется на какую-нибудь вещь, чтобы снова прийти в движение, хотя с меньшей скоростью. Вообще, он в то же время вращается, как детский волчок. Даже трудно толкнуть тело, не сообщив ему вращения.

Нам хорошо, легко, как на нежнейшей перине, но кровь немного приливает в голову; для полнокровных вредно.

Мы способны к наблюдению и размышлению. Несмотря на то, что могучая рука Земли с страшною силою непрерывно тормозит подъем снаряда, т. е. сила земного тяготения не прекращается ни на один момент, в ракете мы ощущаем то же, что и на планете, сила тяжести которой исчезла каким-нибудь чудом или парализована центробежной силой.

Все так тихо, хорошо, покойно. Открываем наружные ставни всех окон и смотрим через толстые стекла во все шесть сторон.

Мы видим два неба, два полушара, составляющих вместе одну сферу, в центре которой мы, как будто, находимся. Мы как бы внутри мячика, состоящего из двух разноцветных половин. Одна половина — черная — со звездами и Солнцем; другая — желтоватая — со множеством ярких и темных пятен и с обширными, не столь яркими пространствами. Это Земля, с которой мы только что простились. Она не кажется нам выпуклой, в качестве шара, а напротив, по законам перспективы, вогнутой, как круглая чаша, во внутренность которой мы смотрим.

В марте месяце мы полетели с экватора в полуденное время, и Земля поэтому занимает почти полнеба. Полетев вечером или утром, мы увидели бы, что она покрывает четверть неба в виде гигантского изогнутого серпа; в полночь мы увидели бы только зону или кольцо, сияющее пурпуровым цветом — цветом зари, и разделяющее небо пополам: одна половина без звезд, почти черная, чуть красноватая; другая — черная, как сажа, усеянная бесчисленным множеством весьма сравнительно ярких, но не мерцающих звезд.

По мере удаления от поверхности Земли и поднятия в высоту, зона становится все меньше и меньше, но зато все ярче и ярче. Земной шар, в этом ли виде, или в виде серпа или чаши, как будто уменьшается, между тем как мы обзираем (абсолютно) все большую и большую часть его поверхности. Вот он нам представляется в виде огромного блюда, которое, постепенно уменьшаясь, превращается в блюдечко. Далее в виде луны.

Верха и низа в ракете собственно нет, потому что нет относительной тяжести, и оставленное без опоры тело ни к какой стенке ракеты не стремится, но субъективные ощущения верха и низа все-таки остаются. Мы чувствуем верх и низ, только места их сменяются с переменою направления нашего тела в пространстве. В стороне, где наша голова, мы видим верх, а где ноги — низ. Так, если мы обращаемся головой к нашей планете, она нам представляется в высоте; обращаясь к ней ногами, мы погружаем ее в бездну, потому что она кажется нам внизу. Картина грандиозная и на первый раз страшная; потом привыкнешь и на самом деле теряешь понятие о верхе и низе.

Наблюдающие нас с Земли приятели увидели, как ракета загудела и, сорвавшись с своего места, полетела кверху, подобно падающему камню, только в противоположную сторону и в 10 раз энергичнее. Скорость ракеты к небу все возрастает, но заметить это трудно вследствие быстрого ее движения. По истечении 1 сек ракета уже поднялась на высоту в 45 м; через 5 сек — она уже на высоте версты, через 15 сек — на 10 верст, ее уже едва мы замечаем в виде тонкой вертикальной черточки, быстро устремляющейся кверху. Через полминуты она уже на высоте 40 км, но мы продолжаем ее свободно видеть невооруженными глазами, потому что, благодаря все возрастающей скорости

движения, она нагрелась добела (как аэролит), и ее предохранительная тугоплавкая и неокисляющаяся оболочка светит, как звезда. Более минуты продолжался этот звездоносный полет; затем все понемногу исчезает, потому что, выйдя из атмосферы, ракета уже не трется о воздух, охлаждается и понемногу гаснет. Теперь ее можно разыскать только с помощью телескопа.

Жар не проник до нас, сидящих в ракете, так как мы предохранены были от нагревания трудно проводящим тепло слоем и, кроме того, у нас был могучий источник холода: испарение жидких газов. И предохранять-то нужно было одну, две минуты.

Кажущееся отсутствие тяжести в снаряде продолжается все время, пока нет взрывания и пока ракета не вращается: она удаляется от Земли у самой ее поверхности; ракета движется на громадном расстоянии от своей планеты по той или другой кривой,—тяжести нет; ракета мчится вокруг Солнца, она летит к звездам, подвергается сильному или слабому влиянию всех солнц и всех планет,—тяжести не замечается; все явления, свойственные среде, лишенной силы тяжести, наблюдаются в ракете и около нее по-прежнему. Этот вывод не строго точен, но, приблизительно, он верен; влияние его неточности не только нельзя констатировать в пределах ракетного пространства, но даже на десятки, сотни, а иногда и тысячи верст кругом него. Некоторое, небольшое влияние имеет еще сила притяжения самой ракеты, ее людей и наблюдаемых ими взятых с собою предметов. Но их взаимное действие очень мало и обнаруживается перемещением строго неподвижных (конечно, относительно) тел лишь в течение часов. Если же вещи имеют хотя ничтожное движение, влияние ньютонова тяготения нельзя обнаружить.

Кругом Земли

Можно, ограничив взрывание, подняться только до желаемой высоты; тогда, потеряв почти всю скорость, чтобы не упасть обратно на планету, мы поворачиваем снаряд с помощью вращающихся внутри ракеты тел и производим новое взрывание в направлении, перпендикулярном к первоначальному.

Опять родится относительная тяжесть; только в этом случае мы можем ограничиться весьма малой ее величиной; опять повторяются все хорошо известные явления среды тяжести; снова они исчезнут; наступят тишина и мир, но ракета уже будет обеспечена от падения; она приобретет скорость, нормальную, к радиусу-вектору, т. е. по окружности, как Луна, и будет, подобно последней, вечно вращаться вокруг Земли (об этом в главе: «Кривые движения снаряда [и его скорость]»).

Теперь мы можем совершенно успокоиться, так как ракета приобрела «прочное» положение; она стала спутником Земли.

С ракеты виден громадный шар планеты в том или другом фазисе, как Луна. Видно, как поворачивается шар, как показы-

вает в несколько часов все свои стороны последовательно. Чем он ближе к ракете, тем громаднее кажется, тем вогнутая, распростертая по небосклону форма его причудливей, тем более блеску он дает своему спутнику (ракете), тем последний кружится скорее вокруг своей матери — Земли. Это расстояние может быть так мало, что обход вокруг нее будет совершаться в два часа, и мы будем смотреть на разные точки Земли в течение нескольких минут с разных сторон и очень близко. Картина эта до такой степени величественна, привлекательна, бесконечно разнообразна, что я от всей души желаю себе и вам ее посмотреть. При таком двухчасовом обороте каждые два часа ракета затмевается, погружаясь в земную тень и ночь. Последняя продолжается менее часа; затем более часа светит Солнце, чтобы уступить место тьме.

Если бы мы хотели воспользоваться большим количеством света, т. е. более продолжительным днем, то должны или удалиться от Земли или вращаться не по направлению экватора, а по направлению меридиана, чтобы путь наш пересекал полюсы Земли. В таком случае, т. е. когда орбита ракеты нормальна к лучам Солнца, даже сравнительно на небольшом расстоянии от планеты, мы пользуемся длинным днем, продолжающимся месяц и более: картины же Земли еще разнообразнее, еще очаровательнее и неожиданнее, потому что будут рельефно видны края освещенной части Земли, притом быстро движущиеся. Особенно хорошо были бы рассмотрены полюсы.

Своего ракетного движения мы не сознаем, как не сознаем движения Земли (когда на ней находимся), и нам представляется, что сама планета мчится кругом нас вместе со всем волшебным небосклоном: ракета для наших чувств становится центром вселенной, как некогда Земля!..

Кривые движения снаряда и его скорость

При вертикальном поднятии ракеты и отсутствии вращения Земли относительный путь ракеты будет простейшим: это — прямая линия, более или менее длинная в зависимости от количества взрывчатых веществ.

Таков путь ракеты и при бросании ее с полюсов вращающейся планеты, пренебрегая влиянием других небесных тел. Когда количество взрывчатого материала в 8 раз больше массы снаряда, путь ракеты, имея начало на поверхности Земли, не имеет конца с другой стороны: он бесконечен, и ракета никогда не возвратится на Землю, предполагая, конечно, отсутствие небесных тел или их тяготения.

В применении к Земле наименьшая скорость для бесконечного от нее удаления равна $11\ 170$ м/сек, или более 10 верст в 1 сек. Слабое вращение планеты, какое видим у всех средних и ма-

лых планет солнечной системы, начиная с Земли, весьма мало изменяет прямизну пути; именно путь ракеты превращается в весьма удлинённый эллипс, в случае возвращения снаряда на Землю, и в параболу или гиперболу — в случае бесконечного удаления.

Говоря о траектории снаряда, мы не имели в виду сравнительно короткую ее часть, соответствующую времени взрыва, которая, впрочем, тоже близка к прямой линии, если направление взрыва не меняется.

Сначала, в течение времени взрыва, движение ракеты быстро ускоряется. Далее скорость изменяется уже более медленно — только под влиянием силы тяготения. Именно: при поднятии или удалении от центра планеты скорость, приобретенная снарядом при взрывании, уменьшается; при приближении или падении — увеличивается.

При бесконечном удалении, в течение нескончаемого времени, скорость снаряда все более и более приближается или к нулю, или к какой-либо постоянной величине. Как в том, так и в другом случае ракета все-таки никогда не остановится и никогда не возвратится на Землю, не считаясь с сопротивлением эфира и притяжением других небесных тел.

Но вертикальный взлет невыгоден — выгоднее наклонный. В случае начального (т. е. во время взрыва) горизонтального полета путь снаряда — одна из кривых второго порядка, касательных к земному шару в месте начала движения. Фокус кривых будет находиться в центре Земли. При недостаточном относительном количестве взрывчатых веществ (менее 3—4) полет не состоится, и ракета коснется Земли или упадет на планету, как горизонтально пущенное обыкновенное ядро.

Если скорость снаряда от действия взрывчатых материалов в $\sqrt{2}$ ($\sqrt{2} = 1,41\dots$) раз меньше той наименьшей, которая нужна для удаления в бесконечность (11 170 м/сек), то путь ракеты — круг, совпадающий с большим кругом земного шара (с экватором или меридианом). Этот случай также не имеет применения, потому что снаряд, летя непрерывно в земной атмосфере, быстро теряет всю свою скорость от сопротивления воздуха и падает на Землю. Но если бы атмосферы не было, или если бы снаряд начал свой полет с гор, выступающих вершинами за пределы воздушного океана, то путь ракеты был бы круговой и вечный; она никогда бы не упала на Землю, как ее Луна. Очевидно, и это невозможно.

На основании сказанного потребную для кругового движения скорость вычислим, приблизительно, в 8 км/сек, или 7904 м/сек*.

Если воспользоваться вращением Земли и пускать снаряд на

* Более точные значения первой и второй космических скоростей для Земли будут: $V_1 = 7912$ м/сек и $V_2 = 11189$ м/сек. (Ред.).

экваторе по направлению движения экваториальных точек земного шара, то необходимая скорость уменьшится на 465 м/сек (такова наибольшая скорость вращения земных точек), т. е. будет равна 7441 м/сек. Выгоды, как видим, немного. Потребное относительное количество взрывчатых веществ выразится числом от 3 до 4 (если вес ракеты принять за 1).

Работа для движения по кругу ровно вдвое меньше минимума работы для бесконечного удаления от планеты.

При еще большем увеличении скорости ракеты получается эллипс, выходящий постепенно за пределы атмосферы. Дальнейшее возрастание скорости будет растягивать эллипс все более и более, пока не обратит его в параболу; в таком случае работа и скорость, необходимая снаряду для борьбы с силою тяготения, будет такая же, как и при вечном удалении по направлению радиуса планеты (для Земли 11 170 м/сек).

При еще большей скорости путь ракеты — гипербола. Во всех этих случаях снаряд чересчур много теряет от сопротивления атмосферы; а потому и этот касательный к Земле путь ракеты на практике неприменим.

Мы видели, что самый выгодный путь снаряда — наклонный к горизонту на 10—15°. При этом теряется от действия тяготения и сопротивления атмосферы только 4½% той энергии, которую приобретает ракета в безвоздушном пространстве, свободном еще и от тяжести. Путь ракеты в этом случае такой же, т. е. одна из кривых второго порядка (эллипс, парабола и гипербола), но только кривая уже не касательна к поверхности земного шара. Если количество взрывчатого материала недостаточно или совсем мало, то, описав часть эллипса, ракета возвращается на Землю. Здесь снаряд должен взорвать новое количество веществ, чтобы остановиться понемногу и не погибнуть наверняка. Полное количество взрывчатого запаса для подъема и безопасного возвращения, при небольшом удалении от Земли, вдвое больше, чем для одного такого же поднятия; при больших подъемах — втрое, при еще больших — вчетверо и т. д. (см. формулу 66).

Если бы мы пожелали оставить ракету навсегда в безвоздушном пространстве, сделав ее постоянным спутником Земли, то в наибольшем удалении от Земли (в апогее) следует вновь взорвать некоторое небольшое количество вещества для увеличения скорости снаряда. Когда эта точка недалеко от поверхности Земли, то необходимая для ракеты скорость близка к 8 км/сек, и количество всего взрывчатого запаса будет только в 3—4 раза превышать вес остальной массы снаряда. Впрочем, как бы мы далеко ни устроили нашу наблюдательную станцию, хотя бы за миллион верст от центра Земли, количество взрывчатых веществ будет меньше, чем необходимое для бесконечного удаления от планеты по прямой линии или параболе. Именно: оно выразится числом, меньшим 8.

Круговую орбиту новым взрыванием, конечно, можно превратить в эллиптическую, а эту последнюю, как описано, опять в круговую с бóльшим радиусом. Таким образом, мы можем произвольно менять величину радиуса нашего кругового движения, т. е. по желанию удаляться и приближаться к земному шару.

Если, имея уже круговое движение, производить взрывание очень слабое, но постоянное и по направлению движения ракеты, то путь ее будет совершаться, во все время взрывания, по спиральной орбите, уравнение которой зависит от закона взрывания.

Дальнейшая траектория ракеты, по окончании взрывания, будет какая-нибудь кривая 2-го порядка, например, круг, что зависит от нас. При взрывании, замедляющем движение снаряда, спираль завивается внутрь первоначальной круговой орбиты, и ракета приближается к Земле.

При движении по спирали, почти перпендикулярно к направлению тяготения, утилизируется такой же почти процент (до 65%) энергии взрывчатых веществ, как и в среде без тяжести; то же происходит при процессе превращения эллиптической орбиты в круговую.

При наклонном взлете ракеты на ее эллиптический путь Луна будет оказывать тем большее влияние, чем растянутее орбита и чем ближе подойдет снаряд к Луне, что, в свою очередь, зависит от сравнительного количества израсходованного взрывчатого материала и относительного положения Луны и ракеты. Может случиться, — или движение снаряда можно так рассчитать, — что он под влиянием лунного притяжения совсем оставит свою орбиту и упадет на Луну.

Скорость падения будет не менее 2373 м/сек, т. е. в два раза больше скорости пушечного ядра. Но эта скорость далеко не так убийственна, как при падении на Землю. Энергия падения на последнюю в 22 раза больше, чем при падении на Луну.

Приняв в расчет скорость движения и вращения Луны, а также движения снаряда, можем вычислить и то небольшое количество взрывчатых веществ, которое нужно для безопасной остановки на поверхности Луны. Могу сообщить, что полное количество взрывчатого запаса для безопасного путешествия на нашу Луну выражается числом, не бóльшим 8. На сравнительно незначительном расстоянии от Луны скорость ракеты, посредством взрывания, нужно непрерывно уменьшать. Все должно быть так рассчитано и так управляемо, чтобы в момент прикосновения к поверхности лунной почвы эта относительная скорость равнялась нулю. Задача, конечно, довольно деликатная, но вполне возможная. Ошибку в ее решении можно поправить новым взрыванием, лишь бы был достаточен запас взрывчатых веществ.

В случае промаха, т. е. если ракета пролетит поблизости Луны, но не заденет ее поверхности, снаряд не сделается спутником Луны, но, приблизившись, уйдет от нее снова, вращаясь

вокруг Земли и описывая весьма сложную кривую, проходящую иногда поблизости то Земли, то Луны. Остается возможность падения как на ту, так и на другую. В момент наибольшего приближения к Луне можно пустить в действие взрывчатый материал с целью замедлить движение ракеты и сделаться, таким образом, вечным спутником Луны, правнуком Солнца. С такой круговой орбиты разными способами тоже можно попасть на Луну или удалиться от нее.

По описанию полета видно, что ракета может сделаться вечным спутником Земли, движущимся вокруг нее, подобно Луне. Расстояние этого искусственного спутника, маленького брата Луны, от земной поверхности может быть произвольно мало или велико; движение его вечно, потому что сопротивление эфира не замечено даже для малоплотных и небольших тел, каковы в большинстве случаев аэролиты, входящие, по всей вероятности, в состав комет. Если бы небольшие тела испытывали со стороны эфира сопротивление, то (помимо прочего) как могли бы существовать миллионы лет кольца Сатурна, состоящие, согласно выводам астрономов, из таких небольших, отделенных друг от друга твердых тел, поразительно быстро мчащихся вокруг Сатурна.

Движение вокруг Земли ряда снарядов, со всеми приспособлениями для существования разумных существ, может служить базой для дальнейшего распространения человечества. Поселяясь кругом Земли во множестве колец, подобных кольцам Сатурна (может быть, тоже живым, иначе трудно, почти невозможно объяснить их существование; если бы не что-то разумное, управляющее ими, кольца должны бы образоваться для Сатурна луну), люди увеличивают в 100—1000 раз запас солнечной энергии, отпущенной им на поверхности Земли. Но и этим человек может не удовлетвориться и с завоеванной базы протянуть свои руки за остальной солнечной энергией, которой в два миллиарда раз больше, чем получает Земля.

В таком случае вечное движение кругом Земли нужно переменить на такое же кругом Солнца. Для этого придется еще более удалиться от Земли и стать независимой планетой, спутником Солнца, братом Земли. Именно: ракете, с помощью взрывания, следует сообщить скорость по направлению движения Земли вокруг Солнца, когда снаряд движется с наибольшей скоростью относительно Солнца. Потребная для этого энергия зависит от величины расстояния, на котором находится ракета от Земли: чем оно больше, тем работа меньше; вся же сумма энергии, необходимая для кругового движения вокруг Земли и для дальнейшего почти полного удаления от нее, не превышает той, которая нужна, чтобы удалиться от Земли навеки, предполагая отсутствие Солнца и других небесных тел, т. е. усмеренное (7) или увосьмеренное (8) количество взрывчатых веществ (сравнительно с остальной массой снаряда).

При еще большей затрате энергии круг перейдет в более или менее растянутый эллипс, точка перигелия (наименьшего расстояния от Солнца) которого находится, приблизительно, на расстоянии Земли от Солнца.

В первом случае, при средней затрате энергии (7—8), снаряд сначала, под влиянием нового толчка полетит гораздо быстрее, чем нужно для кругового движения вокруг Земли и даже Солнца; затем эта скорость, от действия земного тяготения (Луной пренебрегаем), все более и более уменьшается и под конец, при значительном удалении от Земли (примерно, на 1000 ее диаметров), делается равной движению последней вокруг Солнца. Земля и ракета будут идти по одному и тому же кругу с одинаковой скоростью и потому сотни лет могут не видеть друг друга. Однако на такое равновесие, в течение веков, шансов мало, и движение ракеты, для сохранения приличной дистанции, надо то ускорять, то замедлять, чтобы как Земля, так и другие планеты этой дистанции не нарушили. В противном случае грозит падение на Землю.

Во втором случае, при большей затрате энергии, когда путь ракеты эллиптический, шансов для встречи с Землей также немало, но удалением ракеты можно воспользоваться, чтобы попасть на какую-либо «верхнюю» планету: на Марс или его спутники, на Весту или на какую-нибудь другую из 500 малых планет (планетоиды, астероиды).

Я не говорю о достижении самых массивных планет, каковы Юпитер, Сатурн и пр., потому что для безопасного спуска на них требуется такое громадное количество взрывчатого вещества, что о спуске этом пока не стоит и мечтать. Но легче сделаться их спутниками, в особенности отдаленными,— легче достигнуть и присоединиться к кольцу Сатурна. Количество энергии, потребное для достижения какой-либо планетной орбиты (но не спуска на планету), зависит от удаления ее от орбиты Земли: чем больше это удаление, тем, понятно, расход энергии будет больше. Но как бы ни было велико это удаление, его работа меньше той, которая нужна для бесконечного удаления от солнечной системы и блуждания среди звезд. И эта последняя работа не так громадна, как кажется с первого раза. Действительно, шутка ли одолеть могучее притяжение Солнца, масса которого в 324 000 раз больше массы Земли! Но вычисления показывают, что если бросать снаряд в момент его наибо́льшего движения вокруг Солнца или прямо с поверхности Земли в благоприятный момент и в благоприятном направлении, то скорость относительно Земли, необходимая для полного разъединения с нею и Солнцем, не превышает 16,3 км/сек (около 15 верст), что сопровождается тратой взрывчатых веществ, выражаемой, относительно массы снаряда, числом 20. При самом неблагоприятном бросании ракеты эта скорость достигает уже 76,3 км/сек, и количество взрывчатого

запаса должно быть, сравнительно с остальной массой ракеты, ужасно. Скорость абсолютная, т. е. я хочу сказать, относительно Солнца, при достижении разъединения, одна и та же, в каком бы направлении мы ни бросали ракету. Если же энергия, нужная для этого, в благоприятном случае раз в 25 меньше, то это зависит от того, что мы тогда заимствуем ее от движения Земли, которое должно от этого замедлиться на незаметную величину.

Круговой путь ракеты вокруг Солнца можно сделать эллиптическим, увеличив или уменьшив скорость снаряда посредством взрывания.

В последнем случае, при уменьшении скорости, перигелий ракеты будет меньше расстояния Земли от Солнца, и тогда снаряд будет в состоянии достигнуть какой-нибудь нижней планеты: Венеры или Меркурия. Массы их не очень велики и спуск не потребует такого невозможного количества взрывчатого материала, как безопасный спуск на Юпитер, Сатурн или Нептун. Энергия падения на Меркурий, как и на Марс, раз в 5 меньше, чем на нашу планету; энергия же падения на Венеру составляет 0,82 энергии падения на Землю. Что же касается астероидов и большей части планетных спутников (лун), то масса взрывчатого запаса, израсходованная ради спокойного спуска на их поверхность, просто ничтожна.

Теоретически возможно еще большее приближение к Солнцу и даже падение на него при полной потере скорости относительно Солнца. Если ракета уже вращается вокруг Солнца, как Земля, и на том же от него расстоянии, то для остановки движения требуется относительная (обратная) скорость около 30 км/сек. Количество взрывчатого материала выразится числом 200. Падение на Солнце будет продолжаться в течение $64\frac{1}{4}$ суток, т. е. около двух месяцев.

Отсюда видно, что падение в огненный океан Солнца требует в 10 раз больше жертв (в смысле расхода взрывчатого вещества), чем удаление от нашего Солнца и приближение к новому.

Как и вокруг Земли, непрерывным и чрезвычайно слабым взрыванием можно дать ракете любую траекторию; можно заставить ее описывать тот или другой путь относительно Солнца, напр[имер], по спирали, и так достигнуть желаемой планеты, приблизиться или удалиться от Солнца, упасть на него или уйти совсем, сделавшись кометой, блуждающей многие тысячи лет во мраке, среди звезд, до приближения к одной из них, которая сделается для путешественников или их потомков новым солнцем.

Заметим, что во всех случаях уменьшения скорости ракеты взрывчатый материал надо бросать по направлению движения Земли; но движение снаряда относительно Солнца останется прежним, т. е. по направлению движения нашей планеты.

План дальнейшей эксплуатации солнечной энергии, вероятно, будет следующий.

Человечество пускает свои снаряды на один из астероидов и делает его базой для первоначальных своих работ. Оно пользуется материалом маленького планетоида и разлагает или разбирает его до центра для создания своих сооружений, составляющих первое кольцо кругом Солнца. Это кольцо, переполненное жизнью разумных существ, состоит из подвижных частей и подобно кольцу Сатурна.

Разложив и использовав также и другие крохотные астероиды, разумное начало образует для своих целей в очищенном, т. е. свободном от астероидов, пространстве еще ряд колец где-нибудь между орбитами Марса и Юпитера.

Для разных технических и других надобностей иные кольца могут помещаться и ближе к Солнцу, между орбитами «нижних» планет.

Когда истощится энергия Солнца, разумное начало оставит его, чтобы направиться к другому светилу, недавно загоревшемуся, еще во цвете силы. Может быть, даже это совершится и раньше: часть существ захочет иного света или заселения пустынь.

Может быть, человечество так будет многократно роиться.

Нет надобности иметь дела на поверхности хотя бы и покрывшегося холодной корой Солнца. Нет даже надобности быть на тяжелых планетах, разве для изучения. Достижение их трудно; жить же на них — значит заковать себя цепями тяжести, иногда более крепкими, чем земные, воздвигнуть себе множество преград, прилепиться к ничтожному пространству, жить жалкой жизнью в утробе матери. Планета есть колыбель разума, но нельзя вечно жить в колыбели.

Средства существования во время полета

Питание и дыхание

Прежде всего нужен кислород для дыхания; мы берем его очень много для взрывания; могли бы взять еще больше, чтобы хватало и для дыхания на известный промежуток времени.

Чистый кислород едва ли годен для человека даже в разреженном, против обыкновенного, состоянии. Действительно, в таком случае давление его на тело окажется недостаточным, и могут открыться кровотечения от чисто механических причин.

Вернее всего употребить смесь кислорода с каким-нибудь газом, безвредным для дыхания, — азотом, водородом, но не углекислотой, препятствующей выделению углекислого газа из легких и кожи животного и отравляющей его. Смесью из 20% кислорода и 80% азота под давлением от 1000 до 500 мм ртутного столба дышать хорошо. Азот предпочтительнее водорода, потому что он не представляет опасности взрыва.

Разумеется, отделение для пассажиров должно быть герметически закрыто и достаточно крепко, чтобы выдержать давление газов, не большее 1 кг на 1 см^2 стенок камеры, когда последняя подымается в разреженные слои атмосферы и за ее пределы. Удлиненная рыбообразная или птичья форма ракеты, выгодная для легкости расщепления воздуха, способствует сохранению газов, а также вообще крепости снаряда, выдерживающему, в продолжение взрывания, десятикратное утяжеление. Металлический материал препятствует потере газа от диффузии.

Но мало иметь смесь кислорода и азота; надо еще подбавлять кислород, превращающийся в углекислоту, и уничтожать или, точнее, отделять продукты дыхания: углекислоту, аммиак, излишнюю влажность и пр. Есть множество веществ, поглощающих углекислоту, пары воды, аммиак и т. д. Поэтому необходим запас и этих веществ. Конечно, если путешествие совершается в течение нескольких минут или часов, то такие запасы, с присоединением завтрака, не могут обременить ракету. Но другое дело, если придется путешествовать недели и годы или совсем не возвращаться; тогда от предлагаемых средств придется отказаться.

Для существования в течение неопределенно долгого времени без атмосферы и планеты можно воспользоваться силою солнечных лучей. Как земная атмосфера очищается растениями при помощи Солнца, так может возобновляться и наша искусственная атмосфера. Как на Земле растения своими листьями и корнями поглощают нечистоты и дают взамен пищу, так могут непрерывно работать для нас и захваченные нами в путешествие растения. Как все существующее на Земле живет одним и тем же количеством газов, жидкостей и твердых тел, которое никогда не убывает и не прибывает (не считая падения аэролитов), так и мы можем вечно жить взятым нами запасом материи. Как на земной поверхности совершается нескончаемый механический и химический круговорот вещества, так и в нашем маленьком мире он может совершаться. С научной точки зрения возможность сказанного несомненна; теперь посмотрим, насколько оно осуществимо в будущем, может быть, и очень отдаленном.

По Ланглюю, 1 м^2 поверхности, нормальной к направлению солнечных лучей, получает в минуту количество солнечной энергии, выражаемой 30 кал . Это значит, что 1 кг воды, разлитый на 1 м^2 поверхности, освещенной перпендикулярными к ней солнечными лучами, нагревается в минуту на 30° C , если пренебречь потерей тепла от лучеиспускания, теплопроводности и пр.

Переводя эту тепловую энергию на механическую, получим 12720 кгМ . Таким образом, в сутки, в состоянии Земли от Солнца, получим 18316800 кгМ или 43200 кал . (В секунду получим $0,5 \text{ кал}$, или 212 кгМ , т. е. непрерывную работу почти в 3 л. с.)

По Тимирязеву, в физиологических опытах с растениями ути-

лизируется до 5% солнечной энергии, что составит 2160 кал в сутки, запасенных в корнях, листьях и плодах растений.

С другой стороны, по Лебону, 1 кг муки содержит почти вдвое более энергии; так что суточный запас потенциальной энергии растения соответствует 0,5 кг муки, или почти 1 кг (2,4 фунта) хлебного мякиша.

Тот же дар Солнца, утилизируемый на 1 м² поверхности, непрерывно освещаемой солнечными лучами, можно выразить одной из следующих величин: 4 кг моркови, 5 кг капусты, $\frac{2}{3}$ кг сахара, более 0,5 кг рису.

В упомянутых опытах 5-процентная экономия накоплялась во всех частях растения. В плодах же, конечно, будет ее меньше. Опыты эти были поставлены в возможно благоприятные условия, но наша искусственная атмосфера и питание растений могут быть в условиях, еще более благоприятных. По Тимирязеву, поле, в лучшем случае, утилизирует в 5 раз меньше, т. е. около 1% солнечной энергии. Отсюда видно, что искусственные условия сказываются даже в 5 раз выгоднее.

Обратимся к непосредственному указанию практики. Десятина, или, приблизительно, гектар (10 000 м²) дает в год до 25 000 пудов бананов, что соответствует 0,11 кг в день на 1 м² площади сада.

Но ведь на Земле облака, на Земле толстый слой воздуха и паров воды, поглощающих много энергии; на Земле — ночь и наклонное направление лучей Солнца; количество углекислого газа в воздухе так же, как показывают опыты, неблагоприятное (наиболее благоприятное, по Тимирязеву, 8%, между тем как в воздухе нет и одной десятой процента). Наконец, можно ли считать благоприятной первобытную культуру растений, возделываемых племенами почти дикими! Приняв во внимание сказанное, придется, по крайней мере, удесятерить дары Солнца и принять производительность 1 м² в нашем искусственном огороде не менее как в 1,1 кг бананов. Хлебное дерево, по Гумбольту, почти так же производительное, как и банан.

Выходит из предыдущего, что 1 м² оранжереи, обращенной к солнечному свету, уже достаточно для питания человека.

Но кто мешает захватить нам оранжерею с громадной поверхностью в упакованном виде, т. е. в малом объеме! Когда круговое движение вокруг Земли или Солнца установится, мы собираем и выдвигаем из ракеты наши герметически закрытые цилиндрические ящики с разнообразными зачатками растений и подходящей почвой. Солнечные лучи льются через прозрачные покровы оранжереи и готовят для нас с баснословной быстротой наш роскошный стол. Они дарят нам и кислород и мимоходом очищают почву и воздух от животных выделений. Тяжести ощущать там ни предметы, ни люди не будут, и потому крепость сосудов с растениями будет предназначаться лишь для борьбы с упругостью

содержащихся в них газов. Главные из них: углекислота и кислород. Углекислый газ составляет в земной атмосфере не более одной двухтысячной ($1/2000$) ее объема. Азот и другие газы также играют роль в питании растений, но и их плотность, как и плотность кислорода, которого они (по Тимирязеву) потребляют в 20 раз меньше, чем углекислоты, может быть, без вреда для растений, чрезвычайно мала.

Итак, атмосфера наших оранжерей может быть настолько разрежена, что давление газов на ее стенки будет в 1000 раз меньше, чем давление воздуха на уровне океана.

Отсюда видно, что не только не будет борьбы с тяжестью, но почти нет и борьбы с упругостью газов, так что на каждого пасажера можно брать, если нужно, сотни квадратных метров этих узких стеклянных ящиков с растущими в них овощами и фруктами.

Есть полная возможность еще на Земле практически выработать и испытать средства дыхания и питания человека в изолированном пространстве.

Можно определить наименьшую поверхность, освещенную солнечными лучами и достаточную для человека в отношении дыхания и питания; можно подыскать и испытать годные для этой цели растения. Правда, условия на Земле далеко не таковы, как в эфирной среде, вдали от планеты, но их там можно все-таки приблизить к земным. Так, легко в среде без тяжести устроить день и ночь; стоит только оранжереям сообщить медленное вращательное движение. Тогда свет будет чередоваться с тьмой, и продолжительность этой смены произвольна. Движение будет вечное, по инерции. По-моему, условия там даже гораздо более выгодные, чем на Земле. Действительно, земные растения больше всего страдают и даже погибают от неблагоприятной перемены температуры в течение ночи или зимы; также от бактерий, паразитных грибков, червей, насекомых, грызунов, птиц; от недостатка влаги, истощения почвы. В эфирном же пространстве этих врагов нет, потому что почве возвращают все, что от нее взяли, потому что колебания температуры зависят от нас, как и продолжительность ночи; времени года не будет, если движение ракеты круговое; вредных бактерий и насекомых, при небольших оранжерейных отделениях, не будет, так как их можно уничтожать наполнением отделений убийственным для неподходящих существ и зародышей газом, повышением температуры или даже просто непрерывным солнечным светом, убивающим бактерий и зловорных зародышей. Влага также не может исчезнуть из герметически закрытых пространств.

Сооружение на Земле опытных оранжерей, в особенности хорошо изолированных от внешнего воздуха и с благоприятно разреженной средой, довольно затруднительно, потому что нужен весьма крепкий материал и массивные постройки, чтобы выдер-

жать внешнее давление атмосферы, чтобы выдержать борьбу с тяжестью. В опытных оранжереях придется сначала довольствоваться давлением внутри них таким же, как и снаружи, и, значит, только наиболее благоприятным отношением смеси газов, полезных для растений. Сумма же внутренних давлений будет равна одной атмосфере. Между тем как в эфирном пространстве можно разредить газовую смесь до наиболее выгодной степени. При земных опытах лучи света проходят не только через стекло, как в эфирном пространстве, но и через толстый слой атмосферы, переполненной парами воды, туманами и облаками, затрудняющими доступ к растениям солнечной энергии в ее девственном состоянии. Мы, в сущности, совершенно незнакомы с истинной энергией солнечного света, еще не коснувшегося воздуха. Может быть, она совсем необыкновенна по ее химическим свойствам.

Спасение от усиленной тяжести

В самом начале полета, когда еще продолжают шуметь взрывающиеся вещества, относительная тяжесть в снаряде, как мы видели, увеличивается в несколько раз, положим, хоть в 10.

Спрашивается, возможно ли человеку перенести ее, без вреда для себя, в течение нескольких минут. Этот вопрос можно решить на Земле, а вместе с тем выработать самые выгодные условия, при которых эта, или еще большая, тяжесть переносится человеком безопасно для здоровья. Я еще давно делал опыты с разными животными, подвергая их действию усиленной тяжести на особых центробежных машинах. Ни одно существо мне убить не удалось, да я и не имел этой цели, но только думал, что это могло случиться. Помнится, вес рыжего таракана, извлеченного из кухни, я увеличивал в 300 раз, а вес цыпленка раз в 10; я не заметил тогда, чтобы опыт принес им какой-либо вред.

Увеличивать в предварительных опытах с человеком кажущуюся тяжесть проще всего с помощью центробежной машины с вертикальной осью вращения и с возможно большим радиусом, т. е. возможно больших размеров в горизонтальном направлении. Чем больше расстояние от оси опытной камеры с человеком, тем лучше, потому что тем меньше угловая скорость прибора и тем меньше будут подвержены головокружению испытуемые субъекты. Вращение приносит особый вред организму даже при малой центробежной силе, или при малой абсолютной скорости, если угловая скорость велика, т. е. при малом радиусе вращения. Всякий испытал этот незначительный вред, кружась еще ребенком где-нибудь в саду, на лужайке.

Впрочем, вращение и, следовательно, расстройство, причиняемое им, не имеет места при увеличении тяжести в движущейся прямолинейно ракете. Что известная медленность вращения не только не производит болезненных ощущений, но даже и неза-

метна, мы видим из явления непрерывного вращения Земли, которому мы все подвергаемся со дня нашего рождения; то же заключаем, наблюдая продолжительные забавы на каруселях не только детей, но и взрослых. Так, я однажды видел на каруселях двух молоденьких девушек, нанятых, для привлечения публики, кататься день и ночь на деревянных конях.

Каждый опыт над увеличением тяжести достаточно производить от 2 до 10 мин, т. е. столько времени, сколько продолжается взрывание в ракете.

Я не буду тут выводить известных формул, из которых можно заключить следующее.

Опытным путем можно получить искусственную тяжесть желаемой силы; чем более мы хотим замедлить вращение, тем больше должна быть скорость камеры для получения той же тяжести. Так, при радиусе в 100 м, при секундной скорости в 100 м и при полном обороте в 6,3 сек получается удесятеренная сила тяжести; если радиус будет в 10 раз меньше, то, при той же искусственной тяжести, число оборотов или угловая скорость будет в 3 с лишком раза больше; во столько же раз уменьшится поступательная или абсолютная скорость.

Деля опыты на центробежной машине или с помощью быстрого кругового движения вагона по наклонным рельсам, мы можем определить наибольшую безвредную для здоровья величину тяжести, которую может выдержать субъект в течение известного времени. Если бы, против ожидания, по этим опытам мы узнали, что уже небольшая, напр[имер] удвоенная тяжесть есть предельная безвредная, то и тогда наше дело мы не должны считать проигранным: во-первых, потому, что ракета может, при наклонном движении, выгодно утилизировать работу взрывчатых веществ даже и с такой малой относительной тяжестью внутри ее, во-вторых, потому, что, погрузив человека в воду и делая опыты увеличения тяжести над таким купающимся в благоприятном положении субъектом, наверно, получим несравненно более утешительные результаты.

Объясним, в чем дело. Возьмем очень крепкий открытый или закрытый сосуд с жидкостью и погрузим в нее какую-нибудь тонко сделанную фигурку из материала самого непрочного, но плотность которого равна плотности жидкости в сосуде. Фигурка эта, отдельно взятая, т. е. вне жидкости, пусть будет так хрупка и нежна, что ее не только нельзя уронить, не разбив вдребезги, но и в руки взять трудно, не смяв ее или не отломав части. Теперь возьмем ее с сосудом, в жидкости которого она так хорошо уравновешена, что стоит неподвижно на том месте и в том положении, в каком мы хотим (как масляный шар в вине, при опыте Плато).

Если опыты на центробежной машине делать не с человеком, а с такой крохотной и тоненькой фигуркой, которая вне жидко-

сти едва выдерживает даже собственную тяжесть, то результаты будут самые блестящие: фигурка останется цела и даже неподвижна, несмотря ни на какое увеличение относительной тяжести.

Мы можем также и без центробежной машины ударять изо всех сил сосудом по столу или молотком стучать по сосуду; пока последний цел и жидкость не выплескивается из сосуда, наша фигурка будет невредима; но стоит только в этих опытах устранить жидкость, и весь эффект исчезнет: даже крепкие предметы будут ломаться при достаточно быстром вращении или при достаточно сильных ударах. Такие же опыты и также удачно легко производить с небольшими рыбками, погруженными в воду. Отсюда видно, что жидкость, окружающая тела одной с ней плотности, по-видимому, устраняет разрушительные последствия тяжести, как бы велика она ни была. Стало быть, если мы возьмем жидкость, плотность которой равна средней плотности человека, и погрузим в нее последнего, то при опытах над перенесением усиленной тяжести получим, хотя отчасти, те же хорошие результаты. Я говорю отчасти, потому что все сказанное относится до тел, все частицы которых имеют одну и ту же плотность. Разные же органы животного далеко не обладают этим свойством, в особенности плотность костей и воздушных полостей животного отлична от плотности других его элементов. Кости тела, погруженного в жидкость, будут тянуть вниз, по направлению относительной тяжести; более же легкие части будут стремиться вверх: между разными тканями образуется натяжение, которое может кончиться разрывом их и даже смертью организма при достаточно большом увеличении тяжести.

Итак, наибольшая переносимая человеком без вредных последствий тяжесть небеспредельна и при погружении его в соответствующую жидкость. Предел же этот, думаю, не менее 10 и может быть определен для каждого субъекта только опытом. Лучше всего, чтобы во время эксперимента человек располагал свое тело горизонтально в футляре, приблизительно, такой формы и объема, как испытуемый субъект; тогда заполнение жидкостью промежутков потребует незначительного ее количества, что важно в экономическом отношении — при действительном путешествии в ракете. Рот, нос и уши должны быть закрыты плотно чехлом с трубкой для свободного дыхания.

Что человек может и без жидкости выдержать огромную тяжесть малую долю секунды, — это несомненно. В самом деле, при падении тела с высоты оно ударяется о почву; последняя, чтобы уничтожить приобретенную человеком при падении скорость, сама своей упругостью сообщает ему ускоренное движение в обратную сторону. Тут, правда, участвует и упругость тела животного, в особенности междукостных упругих хрящей, — а при ловком прыжке — также сила мускулов сгибающихся ног. При

этом должна развиваться кажущаяся тяжесть, которая весьма велика, потому что время удара мало, а потому обратное ускоренное движение в этот момент весьма велико.

Сама природа в таких случаях и при ударах посторонними телами не пренебрегает свойством жидкости уничтожить разрушительное действие относительной тяжести и потому заботливо погружает все нежные органы животного в особые жидкости, налитые в крепкие естественные сосуды. Таков мозг, плавающий в жидкости, налитой в череп; таков и зародыш млекопитающего, окруженный жидкостью до самого появления на арену жизни. Даже промышленность пользуется этим для сохранения слабых фруктов, заменяя жидкость ее грубым подобием — сыпучим веществом; так, виноград засыпают деревянными или пробковыми опилками.

Борьба с отсутствием тяжести

Но вот взрывание в ракете кончено, а с этим прекратилась и ужасающая тяжесть. Мы благополучно вылетаем из своего футляра, стираем с тела остатки жидкости и облакаемся в одежду. Как бы в вознаграждение за усиленную, только что перенесенную тяжесть мы совсем теперь от нее свободны.

Спрашивается, не повлияет ли это отсутствие тяжести губительно на наше здоровье? Не должны ли мы и тут принимать какие-нибудь предохранительные меры?

Во время падения или простого прыжка на нашей планете, пока мы еще не коснулись ногами ее почвы, мы также находимся, по отношению к нашему телу, одежде и предметам, при нас находящимся, в среде, свободной от тяжести, но явление это продолжается много-много полсекунды; в течение этого промежутка времени части нашего тела не давят друг на друга, пальто не оттягивает плеч, часы не натягивают кармана и очки на носу не стремятся на нем образовать поперечную черту. При купаньи на Земле вес нашего тела также почти парализуется противоположным действием воды. Такое отсутствие веса может уже продолжаться неопределенно долгое время, лишь бы вода была довольно тепла. Отсюда видно, что едва ли нужны какие-либо особые опыты для доказательства безвредности среды, лишенной тяжести. Может быть, только для людей тучных, склонных к апоплексии и приливам крови к мозгу, такая среда будет способствовать преждевременной кончине, как и лежанье или купанье не во время. Прочие же смертные, надо полагать, скоро приспособятся к новому порядку вещей. Для большинства больных и слабых такая среда прямо-таки благодетельна.

Если бы даже оказалось, что люди не могут жить без тяжести, то ее легко было бы создать искусственно в среде, где ее нет. Для этого только жилищу человека, хотя бы ракете, надо сообщить вращательное движение; тогда, вследствие центробеж-

ной силы, образуется кажущаяся тяжесть желаемой величины в зависимости от размеров жилища и скорости его вращения. Такое преобразование среды нам ничего не будет стоить, так как вращение тела в безвоздушном пространстве и притом в среде, свободной от тяготения, будет без всякой поддержки продолжаться вечно. Эта тяжесть тем удобна, что может быть произвольно мала или велика, всегда может быть уничтожена и опять возобновлена; но она, как и естественное тяготение, требует усиленной крепости жилищ и других предметов, так как стремится их разрушить; кроме того, неизбежно криволинейное движение, дурно влияющее на организм, если полный оборот протекает скоро.

Действие усиленной тяжести на растения давно испытано, но ничего особенного не замечено; только с переменой ее направления меняется и направление роста; именно ствол направляется в сторону, прямо противоположную направлению искусственной тяжести. Интересно знать, куда он будет расти в случае ее устранения; по всей вероятности его направление тогда будет делом случая и влияния света.

Мечты

Будущее реактивных приборов

В первой напечатанной работе о реактивных снарядах мы мечтали о будущих, еще неоткрытых, более элементарных веществах, соединение которых должно сопровождаться, на основании общих данных химии, более громадным выделением энергии, чем соединение известных простых тел, на[пример] водорода с кислородом. При этом летучий продукт соединения должен бы приобретать и большую скорость (W) при выходе из реактивной трубы.

По формуле (35) [стр. 117] видно, что с увеличением W возрастает пропорционально при той же относительной (M_2/M_1) затрате взрывчатого материала и V_2 , т. е. скорость ракеты.

Думают, что радий, разлагаясь непрерывно на более элементарную материю, выделяет из себя частицы разных масс, двигающиеся с поразительной, невообразимой скоростью, недалеко от скорости света. Так, выделяющиеся при этом атомы гелия двигаются со скоростью 30—100 тыс. км/сек; атомы гелия в четыре раза тяжелее атомов водорода; другие тельца, выделяемые радием, в 1000 раз легче водорода, но зато двигаются со скоростью 150—250 тыс. км/сек; общая масса этих телец (отрицательных электронов) значительно меньше массы атомов гелия (положительных электронов). Эти скорости в 6—50 тысяч раз больше скорости (в км) движения газов, вылетающих из жерла нашей реактивной трубы.

Поэтому, если бы можно было достаточно ускорить разложение радия или других радиоактивных тел, каковы, вероятно, все тела, то употребление его могли бы давать, при одинаковых прочих условиях (см. формулу 35), такую скорость реактивного прибора, при которой достижение ближайшего солнца (звезды) сократится до 10—40 лет.

Тогда, чтобы ракета весом в тонну разорвала все связи с солнечной системой, довольно было бы шепотки радия (см. формулу 16).

Конечно, дальнейшее движение науки покажет, что все это далеко не так, но хорошо, что мы можем и теперь мечтать об этом.

Может быть, с помощью электричества можно будет со временем придавать громадную скорость выбрасываемым из реактивного прибора частицам. И сейчас известно, что катодные лучи в трубке Крукса, как и лучи радия, сопровождаются потоком электронов, масса каждого из которых, как мы говорили, в 4000 раз меньше массы атома гелия, а скорость достигает 30—100 тыс. км/сек, т. е. она в 6—20 тыс. раз больше скорости обыкновенных продуктов горения, вылетающих из нашей реактивной трубы.

Невозможное сегодня станет возможным завтра

Было время — и очень недавнее, — когда идея о возможности узнать состав небесных тел считалась даже и у знаменитых ученых и мыслителей безрассудной. Теперь это время прошло. Мысль о возможности более близкого, непосредственного изучения вселенной, я думаю, в настоящее время покажется еще более дикой. Стать ногой на почву астероидов, поднять рукой камень с Луны, устроить движущиеся станции в эфирном пространстве, образовать живые кольца вокруг Земли, Луны, Солнца, наблюдать Марс на расстоянии нескольких десятков верст, спуститься на его спутники или даже на самую его поверхность, что, по-видимому, может быть сумасброднее! Однако только с момента применения реактивных приборов начнется новая, великая эра в астрономии — эпоха более пристального изучения неба. Устрашающая нас громадная сила тяготения не пугает ли нас более, чем следует!

Пушечное ядро, вылетающее со скоростью 2 км/сек, не кажется нам изумительным. Почему же снаряд, летящий со скоростью 16 км/сек и удаляющийся навеки от солнечной системы в бездны вселенной, одолевающий силу тяготения Земли, Солнца и всей его системы, должен повергать нас в ужас! Разве такая пропасть между числами 2 и 16! Всего только одно больше другого в 8 раз.

Если возможна единица скорости, то почему невозможна скорость в 8 таких единиц! Не все ли прогрессирует, движется вле-

ред и притом с поражающей наш ум быстротой. Давно ли десятиверстная скорость передвижения по Земле казалась нашим бабушкам невероятной, головоломной; а теперь автомобили делают 100—200 верст в 1 час, т. е. в 20 раз быстрее, чем ездили при Ньюtone. Давно ли казалось странным пользоваться иною силою, кроме силы мускулов, ветра и воды! Говоря на эту тему, можно никогда не кончить.

В настоящее время передовые слои человечества стремятся ставить свою жизнь все более и более в искусственные рамки, и не в этом ли заключается прогресс? Борьба с непогодой, с высокой и низкой температурой, с силой тяжести, с зверями, вредными насекомыми и бактериями не создает ли и теперь вокруг человека обстановку, чисто искусственную!

В эфирном пространстве эта искусственность только дойдет до своего крайнего предела, но зато и человек будет находиться в условиях, наиболее благоприятных для себя.

С течением веков новые условия создадут и новую породу существ, и окружающая их искусственность будет ослаблена, и, может быть, понемногу сойдет на нет. Не так ли водные животные некогда выползали на сушу и мало-помалу превратились в земноводных, а потом в сухопутных; последние же, а может быть и водные (летучие рыбы, например), дали начало животным воздушным, т. е. летающим, например, птицам, насекомым, летучим мышам. За победой над воздухом не последует ли победа над эфирным пространством: воздушное существо не превратится ли в эфирное!

Тогда эти существа будут уже как бы прирожденными гражданами эфира, чистых солнечных лучей и бесконечных бездн космоса.

Ожидающие землю бедствия устранит реактивный прибор

Что представляет из себя земной шар? Это страшно накаленная масса, внутри твердая от давления верхних слоев, поближе к коре — жидкая, расплавленная. Внутри — это все еще маленькое солнце, лишь снаружи успокоившееся и покрывшееся тонкой холодной корочкой.

Химические процессы, все еще под ней продолжающиеся, влияние воды, сжатие центральной массы должны по временам вызывать вулканические извержения, и теперь еще потрясающие земную пленку.

Кто может нам поручиться за то, что в течение тысячелетий потенциальная энергия масс земного шара не обнаружится в один злой день с силою, которая сотрет с лица Земли все живое. Причиной взрыва может служить передвижение внутренних частей земных масс, их химическое соединение, сопровождаемое

выделением громадного количества тепла и увеличением объема. Отсюда — катаклизм, уничтожающий органический мир механически, или через повышение температуры почвы и воздуха. Наконец, уничтожение высших животных может при этом случиться и через выделение в атмосферу вредных для дыхания газов. Реактивный прибор в таком случае спасет семя человечества.

Довольно падения на земной шар аэролита в несколько верст диаметром, чтобы погубить людей; и это может произойти совершенно неожиданно, так как такой аэролит, как непериодическая комета, идя из мрачных пространств звездного мира по гиперболическому пути, не может быть предвиден астрономами за долгое время до катастрофы. Тут гибель произойдет от землетрясения, от повышения температуры земли и воздуха и от множества других причин.

Мы видим, как вспыхивает, как бы родится звезда, чтобы опять потухнуть; это темное тело, подобное Земле, погасшее снаружи солнцем, постигла катастрофа или от падения гигантских болидов, или, скорее, от внутренних химических процессов страшно накаленного внутри небесного тела.

Неожиданное повышение его температуры должно моментально уничтожить все живое, что успело зародиться в атмосфере планеты в течение тысячелетий покоя ее коры. От комет давно ожидают гибели Земли и не без основания, хотя вероятность этой гибели чрезвычайно мала; но все же это может случиться и завтра, и через триллионы лет. Комете и другим случайным, маловероятным, но грозным и неожиданным врагам живого довольно трудно уничтожить одним ударом все существа, образующие, благодаря реактивным приборам, кольцевые поселения вокруг Солнца...

Число жителей земного шара непрерывно и довольно быстро растет, несмотря на множество неблагоприятных условий. За последнее столетие этот прирост оказывается не менее 1% в год.

Если принять такой процент неизменным и далее, то через 1000 лет население Земли увеличится раз в 1000.

Куда же тогда деваться этому роду, прокормить который земная поверхность будет не в силах?

Реактивные приборы завоюют людям беспредельные пространства и дадут солнечную энергию, в два миллиарда раз большую, чем та, которую человечество имеет на Земле.

Но Солнце не одно, светилам нет числа, и потому не только будет захвачено беспредельное пространство, но и беспредельная энергия лучей бесчисленных солнц, необходимая для жизни существ.

Что достижение других солнц возможно, это видно из следующих соображений: положим, что реактивный прибор движется равномерно только со скоростью 30 км/сек, т. е. в 10 000 раз медленнее света.

Такова скорость Земли вокруг Солнца; с такую же скоростью нередко двигаются и аэролиты, из чего видно, что эта скорость возможна (без ослабления) и для малых тел. Так как луч света от ближайших звезд доходит до нас в течение нескольких лет, то реактивные поезда дойдут до них в течение нескольких десятков тысяч лет.

Для жизни одного человека этот период времени, конечно, велик, но для целого человечества, так же как и для световой жизни нашего Солнца, он ничтожен.

В течение десятков тысяч лет путешествия к другому светилу людской род, летя в искусственной обстановке, будет жить запасами потенциальной энергии, заимствованной от нашего Солнца.

Если же возможно переселение человечества к другому солнцу, то причем наши страхи относительно световой жизненности нашего блестящего теперь светила? Пускай оно меркнет и поухает! В течение сотен миллионов лет его славы и блеска люди сумеют сделать запасы энергии и переселиться с ними к другому очагу жизни.

Мрачные взгляды ученых о неизбежном конце всего живого на Земле от ее охлаждения вследствие гибели солнечной теплоты не должны иметь теперь в наших глазах достоинства непреложной истины.

Лучшая часть человечества, по всей вероятности никогда не погибнет, но будет переселяться от солнца к солнцу по мере их погасания. Через многие дециллионы лет мы, может быть, будем жить у солнца, которое еще теперь не возгорелось, а существует лишь в зачатке, в виде туманной материи предназначенной от века к высшим целям.

Если мы уже теперь имеем возможность немного верить в бесконечность человечества, то что будет через несколько тысяч лет, когда возрастут наши знания и разум!

Итак, нет конца жизни, конца разуму и совершенствованию человечества. Прогресс его вечен. А если это так, то невозможно сомневаться и в достижении бессмертия.

Смело же идите вперед, великие и малые труженики земного рода, и знайте, что ни одна черта из ваших трудов не исчезнет бесследно, но принесет вам в бесконечности великий плод.

Исследование мировых пространств реактивными приборами*

(дополнение к I и II части труда
того же названия)

Я ищу поддержки моим стремлениям быть полезным и вот почему привожу тут все мне известное, что может внушить доверие к моим трудам.

Тяжело работать в одиночку многие годы при неблагоприятных условиях и не видеть ниоткуда просвета и содействия.

Из всех статей о «ракете» все-таки видно, что мы очень далеки с нашими современными техническими средствами от достижения требуемой скорости.

Здесь я хотел бы, в свою очередь, популяризовать свои мысли, сделать некоторые к ним пояснения и опровергнуть взгляд на «ракету» как на что-то, чрезмерно далекое от нас.

Вот некоторые из теорем, доказанных мною ранее, здесь же я буду их только пояснять, если они не совсем убедительны.

Теорема 1. Пусть сила тяжести не уменьшается с удалением тела от планеты. Пусть это тело поднялось на высоту, равную радиусу планеты; тогда оно совершит работу, равную той, которая необходима для полного одоления силы тяжести планеты.

Для Земли, например, и тонны вещества эта работа равна 6 366 000 тм**. Если снаряд, как у Эсно Пельтри, работает 24 мин и весит 1 т, то нетрудно рассчитать, что в 1 сек его двигатель должен давать «ракете» работу в 4420 тм, или 58 800 л. с., а не 400 000, как рассчитывает Эсно Пельтри***.

У меня взрывание быстрее и продолжается только 110 сек. Таким образом, в 1 сек снаряд весом в 1 т должен выделить 57 870 тм, что составляет 771 600 л. с. Все, конечно, скажут:

* Впервые напечатано в 1914 г. в виде отдельной брошюры. В настоящем томе опущена вводная часть работы (6 стр.), в которой Циолковский приводит ряд выдержек из периодической печати, касающихся его предыдущих исследований. (Ред.).

** Точнее — 6 371 000 тм. (Ред.).

*** См. статью К. Е. Вейгелина. «Природа и люди», 1914, № 4. Без сомнения, я тут исправляю опечатки, а не ошибки Эсно Пельтри.

возможно ли это?! Снаряд весом всего в тонну, или 61 пуд, выделяет чуть ли не миллион лошадиных сил!!

Самые легчайшие двигатели выделяют в настоящее время на 1 т (1000 кг) своего веса не более 1000 л. с.

Но дело в том, что здесь речь идет не об обычных двигателях, а о снарядах, подобных пушке.

Представьте себе пушку длиной в 10 м, выбрасывающую снаряд в 1 т весом со скоростью 1 км/сек.

Это недалеко от действительности. Какова же работа, произведенная взрывчатым веществом и полученная ядром? Нет ничего легче, как рассчитать, что она составляет около 50 000 тм — и это в течение малой доли секунды. Средняя скорость ядра в пушке не менее 500 м/сек. Следовательно, пространство в 10 м ядро пробегает в 1/50 сек. Значит работа пушки в секунду составит 2 500 000 тм, или около 33 300 000 л. с.

Отсюда видно, что полезная работа артиллерийского оружия в 566 раз больше, чем требует ракета Эсно Пельтри, и в 43 раза больше, чем мой реактивный прибор.

Итак, в количественном отношении нет ничего общего между реактивными снарядами и обыкновенными моторами.

Теорема 2. В среде без тяжести окончательная скорость «ракеты» при постоянном направлении взрывания не зависит от силы и порядка взрывания, а только от количества взрывчатого материала (по отношению к массе «ракеты»), его качества и устройства взрывчатой трубы.

Теорема 3. Если количество взрывчатого материала равно массе «ракеты», то почти половина работы взрывчатого вещества передается ракете. Этому легко поверить — стоит только вообразить два одинаковых по массе шара и между ними распрямляющуюся пружину. Она разделит, при распрямлении между шарами, поровну заключенную в ней работу.

Если, напр[имер], имеем ядро с трубой и вырывающуюся из нее такую же массу водорода при нулевой температуре, то скрытая энергия водорода разделится пополам, причем одна половина передается ядру. Скорость молекул водорода, как известно, составляет около двух километров в секунду. Поэтому ядро получит скорость около 1410 м/сек. Но если принять в расчет теплоемкость водорода или вращательное движение двух атомов, из которых состоит каждая молекула водорода, то ядро получит около 2 км скорости в 1 сек.

После этого уже нетрудно поверить моим расчетам, по которым выходит, что при химическом соединении водорода с кислородом скорость новообразованных молекул воды, вырывающихся из неподвижной трубы, составляет более 5 км/сек; следовательно, скорость, полученная подвижной трубой такой же массы, более 3¹/₂ км/сек. Действительно, если бы вся теплота горения передавалась соединению, т. е. водяному пару, то температура его достиг-

ла бы $10\ 000^\circ\text{C}$ (если бы не было его расширения); при этом скорость частиц пара будет, приблизительно, в 6 раз больше, чем при нуле ($+273$; абс. темп.).

Скорость молекул водяного пара при нуле, как известно, более 1 км/сек , следовательно, при образовании пара из кислорода и водорода развивается, благодаря химической реакции, скорость до 6 км/сек .

Я, конечно, только делаю грубую и наглядную проверку моих прежних вычислений.

Итак, когда масса гремучего газа равна массе «ракеты», то секундная скорость ее в $3\frac{1}{2}\text{ км}$ весьма естественна, и число это очень скромное.

Теорема 4. Когда масса ракеты плюс масса взрывчатых веществ, имеющихся при реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость «ракеты» увеличивается в прогрессии арифметической.

Этот закон выразим двумя рядами чисел:

Масса	2	4	8	16	32	64	128
Скорость	1	2	3	4	5	6	7

Положим, например, что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8.

Я отбрасываю 4 единицы взрывч[атых] вещ[еств] и получаю скорость, которую мы примем за единицу.

Затем я отбрасываю 2 единицы взрывч[атого] материала и получаю еще единицу скорости; наконец, отбрасываю последнюю единицу массы взрывчатых веществ и получаю еще единицу скорости; всего 3 единицы скорости.

Из этой теоремы видно, что скорость далеко не пропорциональна массе взрывчатого материала: она растет весьма медленно, но беспредельно.

Есть наиболее выгодное относительное количество взрывчатых веществ, при котором их энергия используется лучше всего. Это число близко к 4.

Но абсолютные скорости «ракеты» все-таки тем больше, чем запас взрывчатых веществ значительнее. Вот запас этого материала и соответствующие секундные скорости (в км):

Масса взрывч[атого] материала	1	3	7	15	31	63	127	256
Скорость	$3\frac{1}{2}$	7	$10\frac{1}{2}$	14	$17\frac{1}{2}$	21	$24\frac{1}{2}$	28

Теорема 5. В среде тяжести, напр[имер] на Земле, при вертикальном поднятии «ракеты» часть работы взрывчатых веществ пропадает — и тем большая часть, чем ближе давление вырывающихся газов к ракете к весу последней.

Если, напр[имер], «ракета» со всем содержимым весит тонну и давление взрывчатых веществ на снаряд тоже составляет тонну,

то утилизации нет или она равна нулю, т. е. взрывание безрезультатно, так как «ракета» стоит на одном месте и энергия ей не передается.

Вот почему в моих проектах давление на «ракету» я принимаю в 10 раз бóльшим, чем вес снаряда со всем в нем находящимся.

Эсно Пельтри, принимая вес ракеты в 1 т (61 пуд), на взрывчатые вещества отделяет одну треть, или 20 пудов. Если это радиий, притом отделяющий свою энергию в миллионы раз быстрее, чем это есть на самом деле, то межпланетные полеты обеспечены.

Я сам мечтал о радиии. Но в последнее время я произвел вычисления, которые мне показали, что если направить частицы (альфа и бета), выделяемые радием, в одну сторону параллельным пучком, то вес его уменьшается, приблизительно, на одну миллионную долю его собственного веса *...

После этого я бросил мысль о радиии. Всякие открытия возможны, и мечты неожиданно могут осуществиться, но мне бы хотелось стоять, по возможности, на практической почве.

Эсно Пельтри вычисляет, что 20 пудов гремучего газа могут передать «ракете» только $\frac{1}{130}$ требуемой работы, необходимой для освобождения от силы тяжести.

По моим расчетам, передается даже меньшая часть, именно только $\frac{1}{540}$. Причина не только в том, что относительное количество ($\frac{1}{3}$) взрывчатых веществ незначительно, но главным образом еще в том, что давление газов на снаряд у Эсно Пельтри принимается лишь на одну десятую превышающим вес «ракеты». Эта разница в 100 раз меньше, чем какую принимаю я.

На основании последней теоремы (5) мы видели, что взрывание в среде тяжести может быть даже безрезультатным, если давление газов на прибор будет равно его весу.

Действительно, относительное количество взрывчатых веществ ($\frac{1}{3}$) у Эсно Пельтри далеко от наиболее благоприятного (4); поэтому, согласно моим таблицам, снаряд приобретает скорость не более $1\frac{1}{2}$ км/сек и то при давлении газов, как у меня. Но так как у него это давление в 9 раз меньше, то утилизируется в 10 раз меньше, и скорость будет только около 0,5 км/сек. Для одоления же земной тяжести нужно иметь более 11 км/сек; следовательно, скорость должна быть в 22 раза больше, а энергия, потребная для этого, будет в 484 раза больше.

Опять повторяю, что ошибки, замеченные мною в докладе Эсно Пельтри, есть, вероятно, простые опечатки, как это часто бывает; чо думаю, что бесполезно их исправлять.

Успешное построение реактивного прибора и в моих глазах

* В то время, когда была написана эта работа, не было еще достаточно ясных представлений об использовании внутриатомной энергии и возможности управляемых цепных реакций были неизвестны. (Ред.).

представляет громадные трудности и требует многолетней предварительной работы и теоретических и практических исследований, но все-таки эти трудности не так велики, чтобы ограничиться мечтами о ради и о несуществующих пока явлениях и телах.

Можно ли забрать потребный запас взрывчатых веществ, превышающий вес «ракеты» в десятки раз?

Представим себе, что половина удлиненной веретенообразной «ракеты» заполнена жидкими свободно испаряющимися взрывчатыми веществами.

Эти вещества находятся под влиянием усиленной относительной тяжести вследствие ускоренного движения «ракеты», и потому стенки последней испытывают от жидкостей давление большее, чем при неподвижном положении ракеты на Земле. Расчеты показывают, что при стальном материале, при надежной (6) прочности, при «ракете» длиной в 10 м и при тяжести, превышающей земную в 5 раз, вес взрывчатых веществ может быть в 50 раз больше веса «ракеты» с остальным содержимым*. И это при самом заурядном материале и большом запасе прочности. Теория также показывает, что при увеличении размеров «ракеты» относительный запас взрывчатых веществ убывает, и наоборот. Поэтому выгоднее давать «ракете» возможно малые размеры: 10 м длины — величина, вполне достаточная.

Другой важный вопрос — о температуре взрывающихся материалов. Расчеты показывают, что при свободном (как в нашей взрывной трубе) расширении продуктов соединения гремучего газа наибольшая температура их должна достигать 8000° С.

Но на практике в горящем гремучем газе даже не плавится известь. Следовательно, температура далеко не так высока. Причина в явлении диссоциации.

Когда водород и кислород начинают химически соединяться, то температура настолько повышается, что препятствует большей части молекул образовать химическое соединение, так как при высокой температуре оно невозможно. Вода начинает разлагаться на водород и кислород уже при 1000°С. Девиль нашел температуру разложения водяного пара от 900 до 2500° С. Поэтому можно думать, что наибольшая температура горящего гремучего газа не превышает 2500° С.

Не так уже непреодолимо разыскание материалов, выдерживающих такую температуру.

Вот некоторые известные мне температуры плавления тел: никель — 1500°, железо — 1700°, индий — 1760°, палладий — 1800°, платина — 2100°, иридий — 2200°, осмий — 2500°, вольфрам — 3200°, углерод не расплавлен даже при 3500° С.

С одной стороны, взрывная труба должна усиленно охлаж-

* В настоящее время в одноступенчатых ракетах отношение веса топлива к сухому весу ракеты не превосходит значения 10—12. (Ред.).

даться, с другой — исследователи должны изыскивать вещества и прочные, и тугоплавкие.

Изыскания должны быть также направлены с целью найти наиболее подходящие вещества для взрывания. Из всех известных химических реакций наибольшее количество теплоты дает соединение водорода с кислородом.

Вот сколько выделяется тепла на единицу веса взятых веществ при соединении их с кислородом. Водород при образовании воды дает 34 180, а при образовании пара — 28 780, уголь при образ[овании] углекислого газа — 8080, углеводороды от 10 до 13 тыс. кал. Но нам важны не эти числа, а те, которые приходятся на единицу массы продуктов горения: только они дают нам представление о пригодности для «ракеты» горючих материалов. На единицу массы паров воды найдем 3200 кал, углекислого газа — 2200, бензина — 2370. Вообще углеводороды при горении, на единицу своей массы, дают число большее, чем для углерода, т. е. большее 2200, но не доходящее до 3200. Чем больше в углеводороде водорода, тем выгоднее он для «ракеты». Нельзя брать материалы, дающие нелетучие продукты, как, например, окись кальция или известь.

Один из газов в жидком виде, именно предпочтительно кислород, полезен как средство, охлаждающее взрывную трубу. Водород же в жидком виде может быть заменен жидкими или легко сгущающимися в жидкость углеводородами. Надо искать такие соединения водорода с углеродом, которые, содержа возможно больше водорода, образовались при своем получении из элементов с поглощением теплоты, как, например, ацетилен, который, к сожалению, мало содержит водорода. В последнем отношении больше удовлетворяет терпентин, или скипидар, и еще больше метил, или болотный газ, последний нехорош тем, что трудно сгущается в жидкость.

Подобные же соединения не мешает отыскивать и для кислорода.

Надо найти непрочные соединения его с самим собою (вроде озона) или с другими телами, которые бы давали прочные и летучие продукты при соединении с элементами углеводорода, притом с большим выделением тепла.

Если для «ракеты» вместо водорода употребим бензол или бензин, то для того случая, когда масса взрывчатых материалов равна массе «ракеты» с ее остальным содержимым, найдем скорость вылетающих из трубы частиц не в 5700 м/сек, а только в 4350. А скорость «ракеты» будет только 3100 м/сек. Поэтому теперь получим такую таблицу масс взрывчатого материала и скоростей ракеты:

Масса	1	3	7	15	31	63	127
Скорость, км/сек	3	6	9	12	15	18	21

Этих скоростей также достаточно и для межзвездных путешествий.

Угледороды выгодны, потому что дают очень летучие продукты: водяной пар и углекислый газ; кроме того, жидкий углерод при обыкновенной температуре не поглощает значительного количества теплоты при своем нагревании, как жидкий и очень холодный чистый водород.

Важен вопрос о весе взрывной трубы. Для этого нужно знать давление газов внутри ее. Вопрос этот очень сложный и требует обстоятельного математического изложения (и я его подготавливаю для печати). Здесь же мы его только слегка коснемся.

Представим себе начало взрывной трубы, куда в определенном отношении притекают газы в жидком виде (хоть водород и кислород). Только часть атомов вступает в химическое соединение, потому что повысившаяся до 2500° температура мешает соединению прочих атомов. Предполагая плотность смеси газов в единицу, найдем, что упругость их, принимая в расчет высокую их температуру, не превысит 5000 ат или около 5000 кг/см^2 поверхности трубы в самом ее начале.

При движении газов в трубе и их расширении температура их должна бы понизиться; но этого некоторое время не будет, так как понизившаяся температура сейчас же даст возможность продолжиться химической реакции, что опять повысит температуру до 2500° . Итак, до некоторой степени расширения газов их температура остается постоянной, так как восстанавливается теплотою горения.

После полного соединения атомов и образования водяного пара начнется быстрое понижение температуры. Вычисление показывает, что при ушестеренном увеличении объема абсолютная температура понижается вдвое. На этом основании составим следующую таблицу расширений и соответствующих абсолютных и обыкновенных температур (приблизительно):

Расширение	1	6	36	216	1296	7776
Температура абсолютная	2800	1400	700	350	175	87
Температура, $^{\circ}\text{C}$	+2500	+1100	+400	+50	-125	-213

Из этого видно, что при расширении раз в 200 уже выделяется почти вся теплота, превращающаяся в работу поступательного движения газов и «ракеты». При дальнейшем расширении пар обращается в жидкость и даже в кристаллы льда, мчащиеся с поразительной быстротой из трубы.

Так вот какова грубая картина явлений во взрывной трубе.

Положим, для простоты, что она цилиндрической формы, и определим ее наибольшую толщину и площадь дна.

Пусть вес «ракеты» с человеком и всеми ее органами и запасами, кроме запаса взрывчатых веществ, составит 1 т; их количество примем в 9 т.

Давление на «ракету» положим в 5 раз больше ее веса. Относительная ее тяжесть и всех предметов в ней будет 5, т. е. в 5 раз больше тяжести на Земле. Человек должен быть в лежащем положении, погружен в футляр с водой. При этом можно ручаться за полную безопасность его тела.

Итак, давление газов на «ракету» или на дно трубы составит 50 т, или 50 000 кг. А так как газы в начале трубы дают 5000 кг давления на 1 см², то площадь основания трубы составил 10 см². Толщину стенок трубы, принимая лучшую сталь и обычную безопасность (6), вычислим равной 4,5 см при внутреннем диаметре в 3,6 см. Значит, внешний диаметр будет менее 13 см, а внутренний — менее 4 см.

Вес дециметра такой трубы будет около 10 кг, а одного метра — 100 кг, но не надо забывать, что вес трубы должен быстро убывать при удалении от ее начала, так как газы быстро расширяются и давление их пропорционально уменьшается, не говоря уже про понижение температуры, которое начинается не сразу, но отступая несколько от начала трубы.

Все-таки видно, что труба поглощает очень много из веса «ракеты». Поэтому изыскания должны быть также направлены в сторону отыскания материалов, гораздо более крепких, чем обычная сталь, которая может и не удовлетворить нашим целям, помимо ее легкоплавкости.

Определение полного веса трубы без высшей математики затруднительно. Оставляем этот вопрос до более обстоятельного трактата.

Взрывчатые материалы надо каким-либо способом вдавливать в трубу; на это требуется громадная работа, составляющая одну из трудностей дела. Но не надо закрывать глаза. Если «ракета» весит 1 т, взрывчатый материал — 9 т, ускорение «ракеты» — 50 м/сек², то давление на нее при наклонном (более выгодном) восхождении составит около 50 т.

Начальная упругость газов и давление на дно трубы будет 50 т. Давление газов на 1 см² мы приняли в 5 т. Теперь, из этих данных, найдем, что для получения скорости в 10 км/сек, взрывание должно продолжаться около 200 сек; трубе мы должны доставлять в 1 сек около 45 кг взрывчатого материала.

Скорость их течения, предполагая их среднюю плотность в единицу, будет около 45 м/сек. Работа их вталкивания, при огромном давлении в устье, составит работу в 2250 тм в течение 1 сек, что составит 30 000 паровых лошадей!!

Получили результат, невысказанный для двигателей при настоящем состоянии техники. Поэтому от накачивания обыкновенными способами надо отказаться. Всего проще вкладывать в

трубу известный заряд и дать ему взорваться и улетучиться. Затем, при отсутствии давления в трубе, вдвинуть другой заряд, и т. д. Это должна производить машина и притом с необыкновенной быстротой. Затруднения мы видим и тут.

Заметим, что полезная работа взрывчатых веществ в нашем снаряде в среднем будет не менее 400 000 л. с., что составляет в 13 раз более работы вдавливания взрывчатого материала в трубу. Нельзя ли вдавливать этот материал работою самого взрывания, как инжектор Жиффара вдавливает воду в паровик силою давления находящегося в нем пара?

У самого устья трубы должно быть отвлечение, по которому газы поворачивают опять к устью и, в силу своей быстроты, вытягивают и вталкивают взрывчатый материал непрерывной струей в самое устье взрывной трубы.

Без сомнения, это было бы осуществимо, если бы нашлись подходящие по тугоплавкости и крепости строительные материалы.

Если принять во внимание громадную силу давления газов на «ракету», достигающую 5 т и более на 1 т «ракеты», то вопрос об управлении ракетой не покажется легким. Сгибаемая выходной конец взрывной трубы и изменяя тем направление вылетающих газов, мы вызываем боковое давление и изменение положения ракеты. Но общее давление на нее так велико, что прежде чем вы повернете растроб (или руль в нем), ракета уже получила сильное уклонение или даже перевернулась. Ракетам и вообще снарядам, построенным для военных целей, ради устойчивости в направлении, придают быстрое вращательное движение вокруг продольной оси. С нашей «ракетой» этого сделать нельзя, потому что вращение вызовет центробежную силу, от которой пострадает живое существо. Но можно достигнуть устойчивости, если в «ракету» поместить два быстро вращающихся тела, оси вращения которых взаимно-перпендикулярны. Это увеличит вес «ракеты», что непривлекательно. Можно проще и экономнее достигнуть того же, если взрывной трубе придать несколько оборотов [см. рис. 1]; одни обороты будут параллельны продольной оси «ракеты», а другие перпендикулярны. Хотя масса струи газов и ничтожна, но вознаградит ее поразительная скорость их, достигающая 5 км/сек.

Если, например, плотность газов в 400 раз меньше плотности вращающегося диска, а скорость их в 20 раз больше скорости диска, то сопротивление вращению «ракеты», благодаря действию газов, будет такое же, как и от диска, при одинаковых массах.

Даже в среде образованных людей представления о явлениях в «ракету» при ее восхождении очень смутны. У писателей-фантазеров описания относительных явлений или отсутствуют, или неверны.

Кажущаяся тяжесть в «ракете» зависит от ускорения, получаемого ею от давления газов. Так, если ускорение «ракеты» 50 м/сек^2 , то относительная тяжесть в ней будет в 5 раз больше земной, так как ускорение последней составляет 10 м/сек^2 . Поэтому во время взрывания в ракете будет усиленная тяжесть в течение 3—4 мин; после прекращения взрывания тяжесть как бы уничтожится, так как ускорение от взрывания будет нуль.

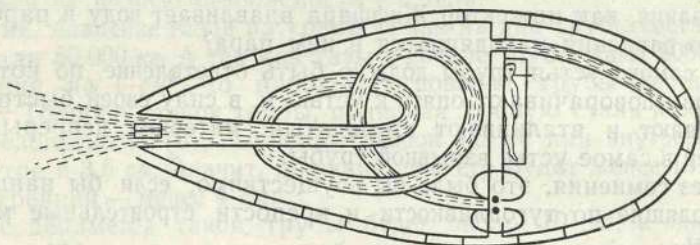


Рис. 1. Схема ракеты

Усиленную тяжесть можно легко перенести, погрузившись в крепкий футляр человеческой формы, вмещающий очень немного воды. Должны быть произведены предварительные опыты с помощью большой центробежной машины, также рождающей относительную тяжесть.

Такие же опыты нужно произвести с целью выработать условия, необходимые для дыхания и питания человека при окружающем «ракету» безвоздушном пространстве.

Вышеприведенное уже дает представление об устройстве реактивного снаряжения для космических путешествий. Теперь всего уместнее указать на схематический чертеж «ракеты» и привести соответствующее описание [рис. 1].

Левая, задняя, кормовая половина «ракеты» состоит из двух камер, разделенных не обозначенной на чертеже перегородкой.

Первая камера содержит жидкий свободно испаряющийся кислород. Он имеет очень низкую температуру и окружает часть взрывной трубы и другие детали, подверженные высокой температуре.

Другое отделение содержит углеводороды в жидком виде. Две черные точки внизу (почти посередине) означают поперечное сечение труб, доставляющих взрывной трубе взрывчатые материалы. От устья взрывной трубы (см. кругом двух точек) отходят две ветки с быстро мчащимися газами, которые увлекают и вталкивают жидкие элементы взрывания в устье, подобно инжектору Жиффара или пароструйному насосу.

Свободно испаряющийся жидкий кислород в газообразном и холодном состоянии обтекает промежуточное пространство

между двумя оболочками «ракеты» и тем препятствует нагреванию внутренности «ракеты» при быстром движении ее в воздухе.

Взрывная труба делает несколько оборотов вдоль «ракеты» параллельно ее продольной оси и затем несколько оборотов перпендикулярно к этой оси. Цель — уменьшить вертлявость «ракеты» или облегчить ее управляемость. Эти обороты быстро движущегося газа заменяют массивные вращающиеся диски*. Правое носовое изолированное, т. е. замкнутое со всех сторон, помещение заключает:

1. Газы и пары, необходимые для дыхания.
2. Приспособления для сохранения живых существ от упятеренной или удесятеренной силы тяжести.
3. Запасы для питания.
4. Приспособления для управления, несмотря на лежащее положение в воде.
5. Вещества, поглощающие углекислый газ, миазмы и вообще все вредные продукты дыхания.

Сделаем здесь еще грубые расчеты** для сравнения артиллерийских орудий с ракетной трубой.

Хотя я и читал, что ядра при опытах получали скорость до 1200 м/сек, но на практике довольствуются скоростью в 500 м/сек. При этом, не считая сопротивления воздуха, ядро, двигаясь вертикально, поднимается на высоту $12\frac{1}{2}$ км. При полете под углом в 45° оно проходит наибольшее расстояние в горизонтальном направлении, именно 25 км (23 в[ерсты]). Летит ядро в первом случае около 100 сек, во втором — 70.

При скорости же в 1000 м/сек наибольшее поднятие — 50 км, а наиб[ольшее] горизонтальное перемещение — 100 км. Время полета будет вдвое больше.

При 14-дюймовом орудии, длине его в 10 м и снаряде (ядре) весом в 1 т, найдем, что среднее давление в пушке на 1 см² составит около 1250 кг, или 1250 ат. При удвоенной же скорости ядра среднее давление достигает 5000 ат. Максимальное, конечно, гораздо больше. Следовательно, в пушке давление близко к давлению, принятому нами в «ракете» (5 000 ат).

Приняв в нашей пушке массу взрывчатых веществ в 1 т, а время движения ядра в канале — в $\frac{1}{25}$ сек (окончательная скорость 500 м/сек), найдем, что в среднем в 1 сек расходуется 25 т.

В нашей же «ракете» только 45 кг, т. е. в 555 раз меньше. Понятно, что массивность ракетной взрывной трубы небольшая.

Во взрывной трубе «ракеты» выбрасываются не тяжелые ядра, а только молекулы газов. Естественно, что скорость их

* В дальнейшем Циолковский от этой идеи отказался. См. брошюру «Звездоплавателям», Калуга, 1930, стр. 31. (Ред.).

** Не учитывается сопротивление атмосферы и поле силы тяжести считается однородным. (Ред.).

Космический корабль *

Если на тело снизу будет производиться давление, большее его веса, то оно не только будет подыматься, но и будет непрерывно ускорять свое движение. Через некоторое время оно получит скорость, которой может быть достаточно для вечного удаления от Земли и даже Солнца.

Вот основание для межпланетных и межзвездных (межсолнечных) путешествий.

Для удаления снаряда от Земли и блуждания его на годовом пути (орбите) нашей планеты довольно относительной скорости (т. е. по отношению к Земле, считая ее неподвижной) в 11,2 км/сек (11 верст в секунду), а для вечного удаления от Солнца достаточно относительной секундной скорости в 16¹/₂ км (16 верст) **. В последнем случае необходимо воспользоваться суточным и в особенности годовым движением Земли. Иначе, требуемые скорости окажутся чудовищными.

Для вечного полета кругом Земли, за атмосферой, нужна секундная скорость, не меньшая 8 км. Тогда наш снаряд будет подобен маленькой Луне.

Приводимые скорости не кажутся чрезмерными, если мы напомним, что скорость снарядов при вылете из пушечного дула достигает 2 км/сек, а вылет продуктов самых энергичных взрывчатых веществ, в пустоте — 5 км/сек.

* Статья была в июле 1924 г. послана в редакцию журнала «Техника и жизнь». Однако напечатана не была и в начале 1926 г. была возвращена автору. На экземпляре, возвращенном редакцией, Циолковским сделана надпись: «Читана и исправлена. 1926 г., 8 июня. К. Ц.» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 46). (Ред.).

В июне 1925 г. Циолковским был написан второй вариант статьи, несколько отличавшийся от первого, однако при жизни ученого эта статья опубликована не была. В настоящей книге работа печатается на основании варианта 1924 г. с учетом внесенных Циолковским в 1926 г. дополнений. (Ред.).

** Все приводимые тут числа и соображения основаны на вычислениях, содержащихся в моих изданных и неизданных трудах. (Автор).

Итак, вопрос сводится к тому, чтобы производить на тело давление, в несколько раз большее веса этого тела. Например, на 1 т прибора — 2; 3; 10 т.

Какие же для того люди имеют средства?

Прежде всего приходят в голову пушки: с взрывчатыми материалами (порохом, например), со сжатыми газами, с перегретыми летучими жидкостями, электромагнитные и т. д.

Но тут возникает немало неодолимых препятствий.

Допустим, для простоты, что давление газов в пушке одно и то же во все время взрывания. Пусть снаряд (ядро) весит 1 т (61 пуд), а давление газов на него 2 т. Секундное ускорение (прибавка скорости в 1 сек) будет вдвое больше земного, и потому в ядре появится кажущаяся относительная тяжесть, вдвое большая земной. Одним словом, во сколько раз будет давление газов на ядро больше его обыкновенного веса, во столько же раз и кажущаяся тяжесть в ядре будет больше земной тяжести. Тогда, чтобы получить достаточную для одоления тяжести скорость, пушка должна иметь длину в 3000 верст.

Если же пушка будет длиною в 60 км (верст), то тогда давление, требуемое для приобретения достаточной скорости, будет в 100 раз больше обычного веса ядра со всем содержимым. При этом вес тел в нем увеличится во 100 раз. Путешественник, весящий 100 кг (6 пудов), будет во время взрывания и давления газов весить 10 т (600 пудов). Рука его, весом в 10 фунтов, будет тянуть с силой 25 пудов. Такую тяжесть едва ли вынесет живое существо, даже при самых лучших предохранительных средствах.

При пушке в 600 км средняя кажущаяся тяжесть увеличивается в 10 раз. И эта тяжесть едва ли терпима для человека, и то при погружении в жидкость такой же плотности, как средняя плотность его тела.

Поясним значение жидкости как предохранительного средства. Положим, что вы погружены в жидкость такой же плотности, как средняя плотность вашего тела, и дышите через трубочку, выходящую на воздух. Ваш вес как бы исчезает, он уравновешивается давлением воды, вы не поднимаетесь и не опускаетесь, вы находитесь в равновесии на всякой глубине (сжатием тел пренебрегается). Пусть теперь тяжесть увеличилась в миллион раз. Вы по-прежнему будете находиться в равновесии и не почувствуете этой усиленной тяжести. Она по-прежнему для вас не существует. В самом деле, хотя тяжесть вашего тела и увеличилась в 1 000 000 раз, но и давление воды возросло в столько же раз. Значит, равновесие не нарушается. Итак, жидкость как бы предохраняет человека от ужасных последствий при любом увеличении тяжести. Недаром же природа прибегает к тем же приемам, когда хочет сохранить нежные организмы от грубой силы тяготения и толчков. Натура погружает зародыши животи-

ных в жидкости, также окружает ими мозг высших животных. Так бы было, если бы тело человека было вполне однородно по своей плотности. Но в том то и дело, что этого, к сожалению, нет. Кости гораздо плотнее мускулов, а мускулы плотнее жира. Кости, при возрастающей силе тяжести, будут тянуть книзу, а жир стремиться кверху. Эта разность давлений может разрушить любой организм при достаточно большой силе тяготения.

Только опыт может определить ту наибольшую относительную тяжесть, которую может безопасно для своего здоровья вынести человек. Десятикратное ее усиление считаем возможным; но и тогда пушка должна иметь длину в 600 км. При такой длине неизбежно ее располагать горизонтально. Стоимость ее неимоверна и осуществимость маловероятна. Притом сопротивление воздуха при горизонтальном (или малонаклонном) полете и громадной начальной скорости уничтожит большую часть кинетической энергии снаряда, и он не достигнет своей цели.

Электромагнитные, или другой системы, пушки дадут неизбежно те же плачевные результаты.

Приобретать скорость можно еще, опираясь на воздух, как аэроплан или дирижабль. Но приобретенные этим путем скорости чересчур далеки от требуемых. 100 м скорости [в сек] аэроплана (360 км/час) составляют лишь одну двадцатую (менее 1%) необходимой для полного одоления земной тяжести. С такой скоростью даже не выскочить из атмосферы.

Трудно надеяться, чтобы обыкновенный, не реформированный аэроплан мог получить космическую скорость. Прежде всего прочность самых лучших строительных материалов не позволяет колесу или воздушному винту (независимо от величины его диаметра) иметь скорость по его ободу (или по окружности), большую 200—400 м/сек. Таким образом, секундная скорость аэропланов должна ограничиться 100—200 м (360—720 км/час)*.

Но они могут быть преобразованы и приводиться в движение иным путем, без винтов, именно путем отбрасывания воздуха особыми сложными турбинами. Этот способ имеет некоторые преимущества, так как дает неограниченно большой материал для отбрасывания (извлекаемый из атмосферы), а также и кислород для горючего. Впрочем, кислород на значительной высоте (100—200 км) почти исчезает и заменяется водородом**. Может быть возможно будет воспользоваться и им, как горючим.

Еще проще аэропланы приводить в действие взрыванием за-

* Современные турбовинтовые самолеты имеют скорости до 1000—1100 км/час. (Ред.).

** По современным экспериментальным данным до высот 120—130 км состав атмосферы почти не меняется. Наблюдениями на советских искусственных спутниках Земли установлено, что на высотах больших 250 км атмосфера состоит из атомарного кислорода и азота. (Ред.).

ранее запасенных взрывчатых веществ. Но тогда уже аэроплан превращается в гигантскую ракету. Этот прием как бы хуже предыдущего. Действительно, приходится запасать не только горючее, но и кислород, вес которого в восемь раз больше самого легчайшего топлива — водорода. Такой прибор, сравнительно с предыдущим, девятикратно обременяется запасами потенциальной энергии (в форме взрывчатых веществ). Теоретически, на некоторой высоте должна получиться взрывчатая смесь из кислорода, азота и водорода. Правда, эта смесь очень разреженная, но ее можно сгустить посредством сложных центробежных насосов. Тогда ракета может отправляться без больших запасов топлива и приобретать даром громадные скорости в разреженном слое воздуха.

Наконец, есть третий, самый завлекательный способ приобретения скорости. Это — передача энергии снаряду извне, с Земли. Сам снаряд может не запасаться материальной (т. е. весомой, в виде взрывчатых веществ или горючего) энергией. Она ему передается с планеты в образе параллельного пучка электромагнитных лучей, с небольшой длиной волны. Если размер ее не превышает нескольких десятков сантиметров, то такой электромагнитный «свет» может направляться параллельным пучком с помощью большого вогнутого (параболического) зеркала к летящему аэроплану и там уже давать работу, необходимую для отбрасывания частиц воздуха или запасного «мертвого» материала — для получения космической скорости еще в атмосфере. Этот параллельный пучок электрических или даже световых (солнечных) лучей и сам должен производить давление (в существовании которого можно еще сомневаться) *, которое также может дать достаточную быстроту снаряду. В таком случае не надо и запасов для отброса.

Последний способ как бы самый совершенный. Действительно на Земле может быть построена силовая станция неограниченных почти размеров, с производством многомиллионной электрической энергии. Она отбрасывает ее и передает летящему аппарату, который сам уже не нуждается в запасах специальной энергии (т. е. для приобретения скорости). Он содержит только людей и необходимое для их жизни и продолжения ее во время пути, или постоянного жительства в эфире. Этим очень бы облегчилась задача межпланетных сообщений и колонизации солнечной системы.

Но все это чересчур гипотетично (сомнительно) и даже мало достаточно для расчетов. Кроме того, если мы найдем необходимым для снаряда запас «мертвого» отброса, то не разумнее ли заменить его взрывчатым материалом, который помимо опорной

* Наличие светового давления экспериментально установил выдающийся русский физик П. Н. Лебедев в 1899 г. (Ред.).

роли содержит еще и драгоценную энергию. Впрочем, выгоднее на больших высотах, в атмосфере, пользоваться для отброса разреженным воздухом, который, конечно, придется сгущать сложными центробежными компрессорами. Когда в этом страшном разрежении получится скорость около 8 км/сек, то снаряд по спирали выйдет совсем из атмосферы и будет вращаться как Луна. Отсюда уже легко получить приращение скорости.

Если же пользоваться только давлением пучка лучей, то будет ли достаточно такое давление и не сожжет ли оно наш снаряд, или не уничтожит ли людей!

Давление солнечного света на расстоянии Земли не более 0,0007 г/м². Чтобы произвести давление в 10 т (допуская, что снаряд без взрывчатых веществ — весит только 1 т), или 10 000 000 г нужна поверхность зеркала, не меньшая 16 000 000 м².

Тогда ребро квадратного параболического рефлектора должно иметь не менее 12 600 м, или 12,6 км (12 верст). Нельзя считать это осуществимым, особенно в настоящее время. Притом поток лучей мгновенно расплавит самый тугоплавкий материал небесного корабля. Да и как направлять пучок энергии на непрерывно изменяющий свое положение аппарат? Такой способ движения ставит ряд трудных вопросов, разрешение которых предоставим будущему. Но давление солнечного света, электромагнитных волн, электронов и частиц гелия (альфа лучи) может быть и сейчас применяемо в эфире к снарядам, успевшим уже победить тяготение Земли и нуждающимся только в дальнейшем космическом перемещении.

Мы указали на величину скоростей, необходимых для победы над тяжестью Земли, планет и Солнца, но мы не высчитали работу, потребную для получения этих скоростей.

Только определив работу тяготения, мы увидим ту мощь, которую должны выделять небесные экипажи.

Простое интегрирование (особое математическое действие) показывает, что она равна той, которая нужна снаряду или другому телу, чтобы подняться на радиус (полупоперечник) Земли, предполагая тяжесть неизменной, неуменьшающейся*.

На самом деле, при удалении от поверхности планеты на радиус тяжесть уменьшается в 4 раза, на два радиуса — в 9 раз. Короче, она также быстро уменьшается с удалением от центра планеты, как притяжение магнита, которое становится незаметным даже на расстоянии нескольких шагов. После этого становится понятным, что работа тяготения не бесконечна, а, напротив, имеет определенную и не очень значительную величину (как работа удаления гвоздя от магнита).

Если тело имеет массу в 1 т (61 пуд), то полная работа тяго-

* И равной ее значению на поверхности Земли. (Ред.).

тения Земли, при удалении этой тонны, составит 6 367 000 *тм*. Последнее число выражает и радиус Земли в метрах*.

Сравним эту энергию с той, которой в настоящее время располагает человек.

Тонна водорода, при сгорании в кислороде, выделяет 28 780 тонноградусов (громadных калорий) или 12 300 000 *тм*.

Значит, если бы эта энергия вся могла превратиться в механическую работу, то ее оказалось бы почти вдвое больше той, какая нужна, чтобы одной тонне топлива совершенно освободиться от силы земного притяжения.

Нефть дает до 13 000 *кал*, или до 5 560 000 единиц работы, т. е. энергии нефти очень немного недостает для полного удаления ее массы от Земли.

Правда, в эфирном пространстве нет кислорода, и потому, если дело идет о ракетном приборе, то мы должны брать кислород с собой. Вообще мы должны поднимать: горючее, кислород и самый корабль со всеми людьми и его принадлежностями.

На тонну смеси, состоящей из водорода и кислорода, образующих при химическом соединении воду, выделяется 1 600 000 *тм* работы. Эта энергия составляет лишь четвертую долю той, какая нужна для полного отделения тяжести только одних продуктов горения (воды).

Бензин с кислородом дает на тонну 1 010 000 *тм*. Это составляет уже меньше одной шестой потребной энергии.

Энергия радия и других подобных веществ огромна, но она выделяется так медленно, что абсолютно непригодна**. Так, тонна радия выделяет в течение 2000 лет около биллиона тоннометров, т. е. в миллион раз больше, чем уголь при образовании тонны продуктов (углекислого газа).

Но 1 *кг* радия дает около 130 *кал* в час. Следовательно, 1 *кг* радия дает непрерывно работу рабочего при идеальном использовании. Тонна радия, при тех же условиях, дает около 100 *л. с*. Значит, и по своему весу радий в 10 раз менее продуктивен, чем аэроплантные двигатели. Нечего и говорить, что потребного количества радия не найдется сейчас в распоряжении всего света, что стоимость его чудовищна и что не имеется еще и радиового двигателя.

Но возможно применение отрицательных и положительных электронов, т. е. катодных и анодных (или каналовых) лучей; в особенности последних (низшая степень их скорости доходит до нескольких сот километров в секунду), если удастся уменьшить их скорость во много раз (например, в 100 раз). Я говорю

* Более точная величина радиуса Земли составляет 6371 *км*. (*Ред.*)

** В те дни, когда писалась эта статья, представления об использовании внутриатомной энергии были недостаточно разработаны и возможности управляемых цепных реакций были неизвестны. (*Ред.*)

о применении электричества, действие которого всегда сопровождается выбрасыванием ядер гелия и электронов.

Явление франклинова колеса показывает, что скорость их может [быть] сильно ослаблена окружающей средой, причем они дают заметное давление. Это давление особенно может быть использовано в атмосфере, хотя и очень разреженной. Труднее использование его (давления) в пустоте, так как оно становится неизмеримо мало. Сила электричества, напротив, неограниченно велика и потому может дать могущественный поток ионизированного гелия, который может послужить для небесного корабля*.

Но и эти мечты мы пока оставим и возвратимся к нашим прозаическим взрывчатым материалам.

Выходит, что самые энергические взрывчатые вещества, при самых идеальных условиях, не в силах совершить полной победы над собственной тяжестью.

Все же мы сейчас докажем, что взрывчатые вещества, взятые в достаточном количестве, при некоторых условиях, могут придавать небесным кораблям любую скорость и таким образом осуществлять космические странствования.

Допустим пока, что тяжести нет. Вот два тела равной массы и между ними сжатая спиральная пружина [рис. 1].

Пружина разжимается, и оба тела, бывшие до тех пор неподвижными, приобретают равные скорости. Будет приблизительно то же, если мы одно из тел заменим равной массой сжатого газа, направленного трубой в одном направлении. В этом случае мы ограничимся одним полым шаром с раструбом и заключенным в нем сжатым газом или перегретой летучей жидкостью [рис. 2]. Газ вылетает в одну сторону, а такая же масса сосуда в другую. Скорости, как я говорил, только приблизительно равны.

Вместо газа или пара, для получения большей скорости, мы можем взять взрывчатые вещества вроде пороха, пироксилина, динамита и пр.

Скорость вылетающих взрывчатых веществ может достигать при достаточно длинной трубе (в пустоте) 5 км/сек. Значит, и снаряд наш при равной массе с взрывающимся материалом может получить такую же скорость.

Но представим себе, что масса взрывчатых веществ в 3 раза

* Эти соображения неточны. (Ред.).

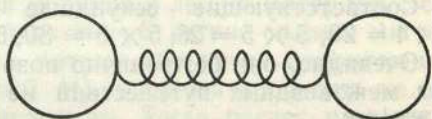


Рис. 1



Рис. 2

больше веса ракеты с остальным содержимым. Вес ракеты мы принимаем за единицу; вес взрывчатых веществ будет $3 (2^2 - 1 = 3)$.

Мы взрываем сначала две единицы. Оставшиеся две единицы получают секундную скорость в 5 км. После этого взрываем еще единицу. Получаем прибавку в 5 км/сек. Снаряд получит скорость в 10 км/сек. Теперь вообразим, что запас ракеты составляет 7 ($2^3 - 1 = 7$). Мы взрываем 4 единицы. Оставшиеся 4 единицы получают 5 км скорости [в сек]. Взрываем 2 единицы. Оставшиеся получают еще 5 км/сек, всего 10 км/сек. Наконец, третий раз взрываем 1 единицу. Пустая ракета той же массы еще получает 5 км/сек; всего 15 км/сек. Далее запас взрывчатых веществ, сравнительно с массой ракеты, может быть последовательно: $2^4 - 1 = 15$; $2^5 - 1 = 31$; $2^6 - 1 = 63$; $(2^n - 1)$.

Соответствующие секундные скорости корабля будут $5 \times 4 = 20$; $5 \times 5 = 25$; $5 \times 6 = 30$; $5 \times n$.

Очевидно, они безгранично возрастают, между тем как даже для межзвездных путешествий не надо скорости более 16—17 км/сек.

При нашем рассуждении мы отрешились от силы тяжести. В среде же тяготения часть работы взрывчатых материалов пропадает. Эта часть тем меньше, чем взрывание быстрее и чем ближе к горизонту движение снаряда.

Так, при моментальном взрывании пропажа энергии не существует. Также ее не будет при взрывании, нормальном к действию тяжести, несмотря на любую слабость взрывания.

Но тут мы встречаем две горести. При моментальном взрывании относительная тяжесть в снаряде будет бесконечно велика и потому должна убить в небесном корабле все живое. При горизонтальном же направлении взрывания ракета падает на планету прежде приобретения необходимой скорости, уничтожающей тяготение (8 км/сек. При этой скорости центробежная сила становится равной силе тяжести. Так что снаряд описывает бесчисленные окружности, как наша Луна).

Кроме того, при горизонтальном полете увеличивается во много раз слой проходимой атмосферы. От этого большая часть работы взрывчатых веществ, буквально, растрачивается на воздух. Значит, обе крайности неприменимы.

Вычисление показывает, что наиболее выгодный, угол направления (к горизонту) заключается между 20—30°*.

При этом и сопротивление атмосферы не очень велико, и относительная тяжесть в ракете небольшая, и потеря энергии взрывчатых веществ от силы тяготения незначительна.

* Если ракета управляема, то выгоднее пробывать слой атмосферы под углом 90°, а затем выходить на желаемое направление полета. Для реактивных самолетов наивыгоднейший угол зависит от отношения начальной тяги к начальному весу. (Ред.).

Итак, по-видимому, снаряд всякой массы может приобрести космическую скорость, забрав даже, сравнительно, не очень большой запас (4—10) взрывчатых веществ. Но и в этом мы должны горько разочароваться. Вычисления показывают, что если взрывание происходит хотя и постепенно, но так же как в обыкновенной ракете, то вес сосуда, содержащего взрывной материал, будет очень велик по отношению к массе сосуда.

В самом деле давление газов при взрывании, во всех известных мне системах ракет, передается всей внутренней ее поверхности и заставляет делать ее очень прочной. Может ли быть легка такая ракета!

Давление газов при взрывании самых энергичных веществ достигает 5000 ат, или 5 т/см². Допустим, что мы употребили один или несколько сосудов самой лучшей цилиндрико-шаровой формы, что употреблен самый крепкий и легкий материал с сопротивлением 100 кг/мм² (плотность = 8; легкие сплавы магния и алюминия расплавляются и потому абсолютно непригодны), что запас прочности умеренный (4) и что эта прочность не страдает от повышения температуры. Тогда расчет нам покажет, что вес сосуда (или котла) будет в 30 (тридцать) раз более веса взрывчатого материала, содержащегося в этом сосуде. Плотность взрывчат[ых] веществ принимается при этом расчете за единицу (плотность воды).

Если, например, взрывчатые вещества плотности воды весят 1 т, то самый лучший котел, их содержащий, будет весить 30 т.

При плотности веществ, вдвое большей, сосуд весит в 15 раз больше. Напротив, если взр[ывчатые] вещества, в виде жидкого кислорода и водорода, в среднем втрое легче воды, то сосуд будет в 90 раз тяжелее их. Итак, взрывчатый материал, по крайней мере, в 15 раз легче ракеты. Иначе говоря, взрывчатый материал не может составлять по массе более $\frac{1}{15}$ веса ракеты, состоящей из одних только сосудов. Примем давление только в 2500 ат и плотность взрывч[атых] веществ в единицу, и тогда сосуд будет весить в 15 раз больше их. Пренебрегая весом остальных частей ракеты с ее принадлежностями и весом людей с необходимыми для них запасами, спросим себя, на какую же наибольшую высоту может подняться такая простейшая ракета. Расчет дает 360 м скорости в 1 сек или высоту 6605,5 м, т. е. менее 7 км.

Давление, развиваемое порохом, пироксилином и другими употребляемыми взрывчатыми веществами, меньше, но зато и действие их слабее. Во всяком случае, возможен более значительный относительный запас взрывчатых веществ и бóльшая скорость.

Сложная ракета Годдарда и Оберта несколько дела не изменяет. Теория показывает, что число сосудов (хотя бы и вложенных друг в друга) и порядок их взрывания никакого облегчения

в весе не дают*. Сжатые газы, как бы они упруги ни были, дают тот же результат. Но могут быть вещества, которые при большой плотности развивают малое давление. Например, нагретая вода может давать, вместо 5000 ат, одну, десять, сто и т. д.

И тут самые точные расчеты показывают, что при самых благоприятных условиях перегретая вода не может себя и свои котлы поднять выше 60 км. Притом мы не принимаем во внимание, что применение перегретой воды (до 200°C) еще не испытано и потому эти вычисления могут не оправдаться по другим, чисто практическим причинам.

Хотя и это далеко от космических скоростей, но для первых опытов вода, нагретая до 150—200°C, может оказаться пригодной.

Где же выход? Он как будто очень прост. Надо запастись самыми энергическими взрывчатыми веществами, но взрывать их помалу в определенном очень крепком небольшом сосуде, который назовем взрывной камерой, или началом взрывной трубы. Давление газов будет испытывать только эта камера и ее продолжение — взрывная труба, куда будут устремляться продукты взрыва, постепенно расширяясь и охлаждаясь, вследствие перехода беспорядочной тепловой энергии в кинетическую, т. е. в обыкновенное дуновение газовой струи. Труба и взрывная камера имеют очень небольшой объем. Поэтому масса их не может быть очень велика. Она определена и не возрастает с увеличением запаса взрывчатых веществ. Сосуды, их содержащие, не испытывают никакого давления, кроме того, которое происходит от их усиленной относительной весомости. Такие сосуды (баки), особенно при многокамерном (с перегородками) устройстве, могут весить очень мало.

Но устройство такой ракеты усложняется. Необходимо непрерывное накачивание взрывчатых материалов во взрывную камеру. Взрывание в среде тяжести должно происходить очень быстро (тут зевать нельзя).

Количество взорванных в секунду материалов велико, давление несколько тысяч атмосфер. Понятно, что и работа накачивания не мала. Мы сейчас увидим, какова она и возможна ли.

Таким образом, небесная ракета обязательно усложняется. Прибавляются к ней непрерывно действующие насосы и двигатели, приводящие их в движение.

Эта мысль не может быть применена к перегретой воде, так как она во всей массе развивает давление. Нагревать же ее по мере накачивания в огневую камеру невозможно по чрезвычайной и неизбежной быстроте этого процесса (т. е. образования пара). Значит, перегретая вода пригодна только для первых опытов и упражнений, дающих способы и приемы управления, регу-

* Это утверждение неточно. В статье «Космические ракетные поезда» имеются формулы, полученные К. Э. Циолковским, для более точных оценок составных (многоступенчатых) ракет; см. наст. книгу, стр. 313—340. (Ред.).

лирование взрывания, изменение скорости и т. д. Это обойдется сравнительно дешево и может осуществиться беспрепятственно, т. е. мы не видим тут неодолимых технических затруднений.

Возвратимся к нашей реформированной ракете. Ее устройство относится к конструкции старой так же, как первые котлы времен Уатта к производителям пара Серполе с тонкими нагретыми трубами, куда накачивалась вода и моментально же испарялась. Вместимость этих труб была чрезвычайно мала, а потому и вес таких генераторов пара мог быть, теоретически, очень мал, в сравнении с пузатыми цилиндрическими котлами, еще и теперь иногда употребляемыми.

Как показывают мои расчеты, при движении космической ракеты под углом в 30° к горизонту, тяжесть и сопротивление атмосферы поглощают небольшую часть энергии и явление происходит почти с тем же успехом, как без притяжения (или в среде без тяжести).

Для грубых расчетов этой статьи, мы пренебрежем упомянутыми потерями и примем секундное ускорение ракеты в 30 м. Относительная тяжесть в ней будет втрое более земной. В лежащем положении здоровый молодой человек, надеюсь, перенесет ее и без погружения в воду. Но пренебрегать предохранительными средствами ни в каком случае не следует.

Приводимая ниже таблица показывает (приблизительно, как и все в этой статье) время в секундах от начала движения, соответствующую секундную скорость в километрах, пройденный путь и высоту поднятия в кило[етрах]. Пятая строка указывает плотность атмосферы, ее преобладающий газ и силу земной тяжести*.

Рассматривая внимательно таблицу, мы получаем картину движения ракеты.

Движение ее под углом в 30° к горизонту непрерывно уско-ряется. Через 15 сек скорость достигает 0,45 км/сек (450 м/сек), но сопротивление атмосферы уже уменьшилось вдвое, так как ракета поднялась на 5 км, где плотность воздуха вдвое меньше, чем у уровня океана. Еще через 5 сек эта плотность уменьшается втрое; ракета достигает высоты в 9 км при скорости в 600 м/сек. После этого состав атмосферы начинает заметно изменяться. Преобладают более легкие газы, процент азота возрастает. Мы пролетели все облака, все тучи, скопища ледяных кристаллов, всю область водяных метеоров (тропосферу). Кругом сухость и безоблачное небо.

Через 30 сек от начала полета скорость достигает 0,9 км/сек (900 м/сек); сопротивление воздуха очень слабо, так как ракета забралась на высоту 20 км, где плотность 0,06, т. е. воздух в 17 раз реже, чем внизу. Мы летим через стратосферу, где находим изредка лишь перистые облака. Это область падающих

Данные по атмосфере устарели. (Ред.).

	0	1	2	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60	70	80	
Время, сек	0	0,03	0,06	0,09	0,15	0,21	0,30	0,45	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	
Скорость, км/сек	0	0,046	0,183	0,413	1,15	2,25	4,6	10,3	18,3	41,3	73,4	115	165	225	294	
Расстоян[ие], км	0	0,023	0,091	0,26	0,57	1,12	2,3	5,1	9,1	20,6	36,7	57,5	82,5	112	147	
Высота, км	1	Тропосфера. Норм[альный] состав воздуха														
Плотность воздуха	1	Тропосфера. Норм[альный] состав воздуха														
		Водяные метеоры, облака														
		Стратосфера. Падающие звезды. Светящиеся облака. Водород														
Время, сек	90	100	120	150	170	200	220	250	260	270	280	290	300	320	350	
Скорость, км/сек	2,7	3	3,6	4,5	5,1	6	6,6	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,6	10,5	
Расстоян[ие], км	371	459	660	1030	1330	1830	2220	2870	3101	3340	3596	3858	4130	4700	5620	
Высота, км	185	230	330	515	665	915	1110	1435	1550	1670	1798	1929	2065	2355	2810	
Плотн[ость] возд[у- ха] и сила тяже- сти	0,000006	0,000002														
	Геокороний	Черное небо														
		Пустота — эфир														
Время, сек	370	380	390	400	420	450	470	500	520	550	570	600	620	650	700	
Скорость, км/сек	11,1	11,4	11,7	12,0	12,6	13,5	14,1	15,0	15,6	16,5	17,1	18,0	18,6	19,5	21,0	
Расстоян[ие], км	6184	6235	6287	7339	7980	9290	10140	11470	12460	13880	14900	16510	17600	19380	22480	
Высота, км	3100	3117	3143	3669	3990	4645	5070	5735	6230	6940	7450	8255	8800	9690	11240	
Сила тяжести	0,45	0,41														
		0,26														
		0,21														
		0,18														
		0,13														

звезд (место их возгорания и разрушения) и светящихся облаков. Мы пролетаем ее, примерно, через минуту от начала движения, когда достигаем 80 км высоты и воздуха, который разрушается уже в 50 000 раз. Он почти незаметен. По Вегенеру, тут прекращается синева неба; состав его — водород и геокороний; количество остальных газов незначительно. Скорость ракеты достигает 1,8 км/сек (1800 м/сек — высшая скорость артиллерийских снарядов при выходе из дула). Теперь с сопротивлением атмосферы можно не считаться, и потому ракета все более и более может склоняться к горизонту, приближая свой путь к окружности, как Луна. В таблице мы наклон оставили неизменным. Но ракете достаточно лишь выйти из атмосферной среды. Чрезмерные поднятия, указанные в таблице, излишни: прежде всего надо укрепиться в качестве земного спутника, на положении маленькой и близкой земной Луны. Отсюда уже нетрудно совершать всякие дальнейшие перемещения и движения вплоть до выхода из солнечной системы и полета среди звезд. Итак, мы пролетаем водородную сферу, окруженную черным небом с горящими светлыми точками звезд. Подымаемся выше 80 км и вступаем в область геокорония с прибавкой некоторого процента водорода, в таинственную область северных сияний.

Через 150 сек или 2½ мин, мы проходим и эту сферу и вступаем в абсолютную пустоту, в пространство светоносного эфира, где приобретенное нами движение становится вечным настолько же, насколько вечно движение небесных тел. Скорость ракеты достигает 4,5 км/сек, она поднимается на 500 км от земной поверхности. Но этой скорости еще недостаточно, чтобы сделаться надежным спутником Земли. Ракета, склоняясь к окружности, пролетает ускоренно, со взрыванием еще 2 мин, а всего 270 сек от начала движения, получив взрыванием скорость в 8 км/сек и поднявшись на высоту 1700 верст. Тут тяжесть Земли заметно уменьшается (процентов на 35). Благодаря этому ракета поднялась бы значительно выше, если бы все время не склонялась к горизонту.

Теперь можно успокоиться, прекратить взрывание и осмотреться кругом, но предположим, что взрывание продолжается, тогда таблица нам покажет его дальнейшие результаты. В ней дан расчет на дальнейшее взрывание, причем при определении высоты не принималось во внимание уменьшение силы тяжести.

Но важность имеет не высота поднятия, а приобретенная скорость. Она дает возможность, после прекращения взрывания через 370 сек, совсем удалиться от Земли и лететь по ее годовой орбите, в качестве ее собрата планеты. При дальнейшем взрывании в течение 550 сек (9 мин) от начала полета, скорость будет не только достаточна для достижения любой планеты (только направление скорости ракеты должно совпадать с годовым

движением Земли), но и для полного одоления притяжения Солнца и блуждания среди иных солнц Млечного Пути.

Мы рассчитывали ранее в наших печатных трудах, что небесный корабль для получения первой космической скорости в 8 км/сек должен забрать запас самых энергичных взрывчатых веществ, в 4 раза превышающий вес ракеты с ее содержимым (за вычетом этого запаса).

Если бы ракета с людьми и прочим весила тонну, то расход взрывчатых веществ составил бы 4 т, или 4000 кг, в течение 270 сек. Средний их расход в 1 сек составит 15 кг.

Давление на космическую ракету, по условию, будет в 3 раза больше веса ракеты со всем содержимым, включая сюда и невзорванные еще материалы. Таким образом, если ускорение постоянно, то в начале полета, когда ракета весит 5 т (1 + 4), давление составит 15 т (5 × 3). В конце же взрывания, когда материал израсходован и ракета весит 1 т, давление всего только в 3 т. Значит, расход взрывчатых веществ в начале полета окажется в 5 раз больше, чем в конце его.

Хотя это будет и очень неточно, но для простоты мы примем средний расход в 15 кг, также и среднее давление — в 9 т.

Тогда ракета в начале движения шла бы медленнее, а в конце его быстрее. Это было бы полезно в отношении уменьшения потерь от сопротивления атмосферы. Это упростило бы также устройство взрывной трубы и камеры взрывания.

Примем наибольшее давление взрывающих газов в 3000 ат. Значит, давление на дно трубы будет равно 3 т на 1 см² дна. А нужно получить 9 т. Следовательно, дно взрывной трубы должно иметь в основании 3 см² площади. Скорость потока взрывчатых веществ для израсходования 15 кг/сек, считая их [плотность равной] плотности воды, составит (15 000 : 3 = 5000 см [в сек]) 50 м [в сек]. Работа их выталкивания будет (9 т × 50 м = 450 тм) 450 тм или 450 метрич. л. с. (Метрическая сила равна 100 кгм.)

Значит, помимо прочего, нам нужен двигатель в 4500 сил для накачивания веществ в трубу взрывания. Это сейчас практически не осуществимо. Действительно, если мы даже отделим на этот мотор половину всего веса ракеты, т. е. 500 кг, то и тогда наши двигатели должны быть в 9 раз легче существующих.

Вот одно из многих затруднений ракеты.

Приходит в голову вкладывать периодически готовые патроны во взрывную трубу (или камеру), т. е. надо вложить один патрон, взорвать его, дожидаться, когда труба освободится от газов и давления, затем вложить второй патрон и т. д. Тогда ракета будет двигаться толчками, неравномерно ускоренно. Это терпимо. Но скорость вкладывания патронов будет недостижимо велика. В секунду надо вложить цилиндр взрывного материала длиной в 50 м, или 100 патронов длиной каждый в полметра.

Если же расширить трубу в 10 раз и сделать основание в 30 см^2 (поперечник $6,2 \text{ см}$), то вес взрывной трубы увеличится, по крайней мере, в 10 раз. Тогда надо в 1 сек втолкнуть 10 цилиндров взрывного материала длиной в 50 см каждый. Помимо всех этих препятствий, толчки от взрывания усилятся в 10 раз и сделаются непереносными для людей и опасными для целостности ракеты. Вес сосудов, хранящих запасы взрывчатых веществ, и, вообще, масса ракеты должна увеличиться в 10 раз.

Инжектор (насос) Жиффара накачивает воду в паровые котлы силою самого пара. Нельзя ли воспользоваться этим принципом для накачивания материалов в трубу энергией самих взрывчатых веществ — их чудовищным давлением и скоростью?

Работа взрывчатых материалов, т. е. 4 т вещества, предполагаемая энергию химического соединения водорода с кислородом, будет $(1\,400\,000 \times 4 = 5\,600\,000 \text{ тм})$ 5 600 000 тм. Значит, в 1 сек они выделяют $(5\,600\,000 : 270 = 20\,700)$ 20 700 тм, что соответствует работе 207 000 метрич. сил. Это будет в 46 раз больше, чем потребная работа вталкивания материалов в трубу.

Отсюда, во-первых, видно, что работа накачивания составляет лишь одну сорокшестую всей работы взрывчатых веществ, во-вторых, ясно, что работа взрывания громадна и не может идти в сравнение с мощностью обычных двигателей. Ведь она выделяет непрерывно, т. е. каждую секунду, 207 000 метрич. сил.

Между тем вес взрывной трубы, которая совершает эту гигантскую работу, очень незначителен: всего только часть тонны.

Может ли это быть? Вполне может. Доказательство мы видим в работе артиллерийских орудий. Нетрудно рассчитать, что орудие, выбрасывающее тонну чугуна с начальной секундной скоростью в 1000 м, совершает работу в 50 000 тм, и это в течение $1/50 \text{ сек}$. Значит, в секунду она составит 2 500 000 тм, или 25 000 000 метрич. сил. Это больше работы взрывной трубы в 121 раз. Если такая пушка весит 20 т, то наша взрывная труба будет весить менее 200 кг, что достижимо, как показывают мои расчеты.

Но как же быть с накачиванием материалов. Изобретайте инжектор. До этого о космических путешествиях можно только мечтать.

Даем тут чертеж космической ракеты, как он составлен мною в 1914 г. (через 11 лет после первого проекта) [см. рис. 1, стр. 162].

Выше приведенное уже дает представление об устройстве реактивного снаряда для космических путешествий. Теперь всего уместнее указать на схематический чертеж «ракеты» 1914 г. и привести соответствующее описание. Левая, задняя, кормовая половина «ракеты» состоит из двух камер, разделенных не обозначенной на чертеже перегородкой.

Первая камера содержит жидкий свободно испаряющийся кислород. Он имеет очень низкую температуру и окружает часть взрывной трубы и другие детали, подверженные высокой температуре.

Другое отделение содержит углеводороды в жидком виде. Две черных точки внизу (почти посередине) означают поперечное сечение труб, доставляющих взрывной трубе взрывчатые материалы. От устья взрывной трубы (см. кругом двух точек) отходят две ветки с быстро мчащимися газами, которые увлекают и вталкивают жидкие элементы взрыва в устье, подобно инжектору Жиффара, или пароструйному насосу. Свободно испаряющийся жидкий кислород в газообразном и холодном состоянии обтекает промежуточное пространство между двумя оболочками «ракеты» и тем препятствует нагреванию внутренности «ракеты» при быстром движении ее в воздухе.

Рули направления и поворота подобны аэропланам. Помещены они снаружи против выходного конца взрывной трубы. Они действуют в воздухе и в пустоте. Их уклонение, а вместе с тем и уклонение ракеты, происходит от давления стремительно мчащихся газов. Подобный же руль, но помещенный отдельно, может служить и регулятором вращения, т. е. он может заставить ракету вращаться в ту или другую сторону, слабее или сильнее и остановить невольное вращение ракеты, происходящее от неправильного взрыва и давления воздуха. Его действие зависит от винтообразного скашивания пластинки руля, расположенного вдоль потока газов в трубе. Руль от скашивания принимает форму архимедова винта и тем заставляет вращаться продукты взрыва; это и служит причиной вращения ракеты вокруг ее длинной оси или остановки уже имеющегося вращения.

Назначение, конечно, в остановке всякого вращения ракеты, губительного для людей.

Опишем ощущения путешественников, отправляющихся в космической ракете для блуждания кругом Земли, подобно ее Луне, также — наблюдения провожающих. Предполагается, что ракета благоустроена и хорошо исполняет свое назначение.

В ракете несколько футляров формы человека, по числу путешественников. Люди ложатся в них горизонтально по отношению к кажущейся тяжести и заливаются ничтожным количеством воды. Руки расположены тоже в жидкости, но свободнее, так что они могут управлять рукоятками приборов, расположенных также в воде. Приборы регулируют направление ракеты, состав ее воздуха, температуру, влажность, взрывание и пр.

В таком положении путешественники в течение 270 сек взрывания немного могут заметить.

Тяжесть их сильно ослаблена водой. Вода тепла. Холода нет. Окна закрыты плотно непрозрачными ставнями, и видеть наружное, что вне ракеты, нельзя. Так бы должно быть. Но мы поло-

жим, что путешественники стоят или сидят в креслах, смотрят в прозрачные окна и наблюдают спокойно окружающее. Тогда и в эти 270 сек, или в 4½ мин, можно кое-что заметить.

Ракета сначала стоит на особых рельсах. Выбрана высокая местность в горах. Найден наклон почвы в 20—30° к горизонту. Местность выровнена, проложены рельсы. На этих рельсах и поместили ракету.

Высота местности 5—6 км, плотность воздуха половина (0,5), рельсовый путь проложен верст на 100.

Ракета на рельсах в наклонном положении, пол с привинченными сидениями — также. Путешественники вошли в ракету, герметически (плотно) замкнулись. Положение крайне неудобно. Сидеть на креслах невозможно, стенки камеры везде наклонены. Значит, и ходить нельзя. Можно только поместиться на легких веревочных сидениях вроде трапезий, что и сделали наши путешественники, изрядно повертевшись. В окна видны: горы, здания, плывущие в темно-синем небе, выше и ниже, облака, короче — обыкновенная картина горной местности. Началась взрывание. Оно оглушительно и нехорошо действует на нервы; но пусть наши герои будут ими крепки и не обратят на этот страшный вой никакого внимания.

Ракета покатила по рельсам, путешественники почувствовали толчок, и горизонт, как им показалось, повернулся на 60°. Он стал для них почти отвесной горой. Пол же ракеты сделался почти горизонтальным. Висячие кресла наклонились и приняли параллельное стенкам направление. Тяжесть увеличилась чуть не вдвое, и люди с ужасом завалились в кресла. Подняться с них они могли только при крайнем напряжении сил, но пока не было в этом надобности. В окна же было все отлично видно. Кругом: почти отвесный горизонт и усыпающие его горы, озера, реки — все это почти в отвесном направлении. Как будто рельефную карту Земли поставили под углом в 60° к горизонту.

Солнце только что взошло, но и оно казалось высоко над головой.

Давление на ракету было неизменно (9 т), но так как количество взрывчатых веществ убывало, то ускорение снаряда росло. От этого тяжесть непрерывно увеличивалась: от 1¼ (тяжесть Земли = 1) в начале пути, до 9 — в конце его. Это ясно было видно из наблюдения над пружинными весами. Кусок золота в 1 фунт, положенный на чашку весов, показывает около 2 фунтов, т. е. больше, чем следует, так как самая чашка и пружина весила более прежнего. Этот вес золота непрерывно, на глазах их, возрастал, натягивая пружину все более и более.

Не прошло и двух минут, как ракета соскочила с рельсов и неслась свободно и далеко от почвы. Движение ее путники не могли заметить, но им казалось, что громадный опрокинутый

горизонт проваливается со всеми своими горами, озерами и городами куда-то вниз и вместе с тем отдаляется от ракеты.

Часы с весовым маятником стали бесстыдно бежать вперед, маятник порывисто торопился и вместо 2 колебаний делал в то же время три. Это видно было с первого взгляда и сверено по карманным часам, ход которых оставался верным. Ртуть в барометре опустилась почти вдвое, хотя анероид показывал то же давление газов внутри ракеты. Рычажные весы не показывали увеличения веса, хотя все тела стали вдвое грузнее. Оно понятно, так как гири стали тяжелее. Поучительно было видеть это непрерывное возрастание веса, который мы привыкли считать чем-то постоянным. Центробежная машина могла показать, что масса всех тел осталась без малейшего изменения. Вещи стали падать стремительно. Капли сделались вдвое мельче по диаметру, объем же их стал в 8 раз меньше. Волны распространялись быстрее. Лица путников побледнели, и, если бы не их молодость и здоровье, они лишились бы чувств. Все же их сильно клонило расположиться на койках, как им казалось, горизонтально. Пока они терпели. Но кресла вдавливались тяжестью их тел все глубже и глубже.

Небо темнело. Стали видны планеты и более крупные звезды, несмотря на полный блеск Солнца. Оно также сияло сильнее. Месяц, едва ранее заметный, стал золотиться и сиять, как будто вымытый. Небо давно было совершенно безоблачно, облака же наклонным пологом покрывали местами такой же наклонный горизонт и мешали кое-где видеть опрокинутую землю и море.

Небо все темнее, звезд все больше, Луна — светлее, Солнце — блестящей. Пролетели давно тропосферу и стратосферу. Вступили в область водорода и геокорония. Небо совсем черно, звезд множество, и все это как будто так близко — рукой подать. Свод небесный сделался шаровиднее, правильнее, но он был бы страшен, если бы не его игрушечный вид. Звезды стали разноцветными, яркими, но не мерцающими. Кто видел хорошо, тот видел только светлые точки на черном фоне.

Пролетели область геокорония и выбрались из атмосферы. Звезды стали еще ярче и отчетливее. Тени от предметов в ракете резки, но полусвет остался, вследствие отражения света от стенок ракеты и предметов, в ней находящихся. Стал виден Млечный Путь. Земля все еще была в виде громадной вертикальной стены. Теперь эта стена имеет вид чаши, занимающей полнеба. Она кажется сбоку. Одна половина свода черная, усеянная серебряными и разноцветными точками звезд, другая подобна громадной вогнутой Луне, занимающей почти половину неба.

Тяжесть так усилилась, что один из спутников лишился сознания, другой лег на пол, а третий, наиболее выносливый и мускулистый, предложил, ради спасения, лежавшему залезть в ванну с водой. Сначала они с великим трудом поместили туда своего

бесчувственного товарища, затем залезли сами, поддерживая голову слабого над водой.

Сразу же они почувствовали себя, как в раю, а больной сейчас же очнулся, не заметив даже своего обморока. Тело потеряло вес, только голова была много тяжелее и казалась чужой, каким-то посторонним предметом. Они махали ею невольно, как бы желая сбросить. Но и это неприятное ощущение легко было устранить. Стоило только погрузить голову в воду. Они прежде надели особые очки, которые не мешали видеть в воде и через воду, взяли в рот трубки, плотно примкнувшие к губам и носу, преспокойно погрузились в ванну с головой. Совсем прекрасно. Еще лучше прилечь на дно ванны. Это было роскошнее, в смысле неги тела, самых мягких перин и усовершенствованных кресел для расслабленных. Случайно попавшая в воду рыбка плавала, как ни в чем не бывало. Только поверхность жидкости морщилась от тряски, да и все дрожало мелкой дрожью.

В конце взрывания предстояла девятиречная тяжесть, но они ее теперь не боялись.

Ракета управлялась почти автоматически, и им редко приходилось передвигать стрелки регуляторов и рукоятки приборов. Тонкие провода их или кнопки были в воде или поблизости. Но, когда они пытались вытащить из ванны руку или ногу, то они изнемогали от усилия, так как члены были как бы налиты свинцом.

Через 4—5 мин от начала путешествия наступила внезапно могильная тишина, ибо взрывание прекратилось. После оглушительного воя, шума и трясения, которые мешали им сказать хоть одно слово обыкновенным путем, эта тишина их также поразила, как чудовищный шум при отбытии с Земли. В ушах шумело, они оцепенели, как будто погрузились в какой-то новый мир. Лица налились кровью, но это было не опасно, так как и в воде было почти то же. Разрыва кровеносных сосудов произойти не могло. Был лишь небольшой контраст в напряжении крови.

Что же делать. Они все сидели, не шевелясь, в воде, как зачумленные. Но вода, потеряв тяжесть, стала немедленно выползать из ванны и принимать причудливые формы. Это заставило их очнуться. Они вскочили на ноги и полетели в ракете. Удары головой и другими частями тела о потолок и стенки ракеты еще более заставили их прийти в себя. Их первые движения в ванне разбросали воду в разные стороны, и она теперь летала в камере в виде больших и легких шаров. Похоже было на полет мыльных пузырей. Но это были плотные шары, массивные, гигантские капли. Шары, впрочем, скоро покончили свое странствование. Они прилипли к стенкам и другим предметам и обволокли их. Твердые же вещи, иногда мокрые или покрытые толстым массивным слоем воды, как стеклами, шныряли взад

и вперед вместе с путниками. Вещи эти понемногу унимались, но люди делали движения и потому шныряли взад и вперед, как блуждающие тени.

Путешественники ничего теперь не чувствовали, кроме удивления, так как явления поразили их более, чем их описание (прочитанное ими до полета).

Шум в ушах угомонился, ракета как будто стояла, но они знали, что она мчится теперь вокруг Земли, как ее новая луна, со скоростью 6—7 верст в секунду. Она вне атмосферы, за 3—4 тысячи верст от поверхности Земли. Остановиться сама собой не может; она — спутник Земли.

Когда наши герои вполне опомнились, они начали приводить свое хозяйство в порядок. Убрали воду, привязали сорвавшиеся со стен во время усиленной тяжести предметы.

Они испытывали блаженный покой и тишину. Движение их тел и вещей имело три главных устойчивых вида. Прямолинейное, вращательное и соединение того и другого. Была еще часто примесь неправильного колебательного вращения, но оно скоро переходило в обыкновенное устойчивое вращение вокруг свободной оси. Их можно было найти не менее трех во всяком теле.

Барометр поднялся, ртуть заняла всю трубку. Пустоты в ней не было. Всякие весы были бессильны. Тяжести не было. О массе можно было только судить по усилию, которое нужно было приложить к вещи, чтобы сдвинуть ее с места, придать скорость.

Человек и всякий предмет мог находиться в покое в любом положении. Движение без препятствий никогда не прекращалось. Верх казался там, где была голова, а низ там, где ноги. Поэтому у каждого был свой верх, смотря по его положению.

Земля занимала почти половину неба и имела вид вогнутой полусферы, в центре которой находится ракета; но одна часть Земли освещена как месяц и имеет вид изогнутого гигантского лунного серпа, другая темная — пепельного цвета. Это напряжение земного света вдвое более лунного. Абсолютная же его сила, при полноземли, в 30 000 раз больше света полной Луны. Светлый серп растет и через несколько минут превращается в полный круг. Быстро проходят все земные фазы: от красного яркого круга, внутри темного, до блестящего полунеба. Земля тогда хорошо видна: все ее материи, моря, океаны, острова и даже города. Только часть ее закрыта снежно-белыми облаками, да края неясны. Земля как карта, но невиданной странной проекции. Все формы краев ее сплющены и неясны. Такие карты не употребляются. Вертикальное положение Земли, конечно, исчезло.

Теперь для одного она казалась сверху, для другого — сбоку, а для третьего внизу, смотря по их положению. Герои наши покоились во всяком месте ракеты и во всяком положении, не

соприкасаясь с предметами, как рыбы в воде. Перемещение их совершалось при малейшем усилии и не стоило им никакого труда. Когда они вертелись, то им казалось, что вертится ракета, Солнце, звезды и Земля. Когда двигались, они не могли убедиться, что двигается ракета. Поэтому одному казалось, что ракета неподвижна, другому — что она медленно вращается, третьему — что она быстро вращается, четвертому — что она и вертится, и удаляется, пятому — что она только удаляется и т. д., смотря по их собственному разнообразному движению.

Кресла, стулья, пуховики, подушки, даже ноги оказались совершенно излишними. Не нужны также столы и разные подставки. Но все вещи, конечно, приходилось привязывать или ограждать сеткой, чтобы они не бродили по всей камере. Действительно, малейшее движение воздуха, малейший толчок, и все приходит в движение и располагается где попало. Без предосторожностей — сумбур и беспорядок получается невообразимый.

Если бы не согревающая поблизости Земля, то температуру можно бы менять по желанию: от 270° холода до 150 тепла по Цельсию. Но Земля своим теплым лучеиспусканием мешает получению в ракете крайних степеней холода. Но, примерно, до 100° холода [температуру] можно доводить.

Для изменения температуры служит меняющаяся снаружи оболочка ракеты; то блестящая, то черная, то то и другое вместе. Передвижением соответствующих рукояток можно заморозить всех людей или зажарить их, как поросят. Понятно, что при таких условиях нет ни малейшей надобности в одежде и обуви.

Не нужно и кухни, и горнов. Разные отделения ракеты могут иметь разную температуру, смотря по надобности. Присоединение нескольких зеркал может дать температуру кузнечного горна и более того.

Расширенная ракета, в виде оранжереи, особым образом устроенная, может дать кислород и пищу людям. Действительно, она даст приют для самых плодовых растений. Вот вам пища и кислород. Но это тема очень обширная, и тут ей не место.

Каждые *100 мин* ракета вступает в тень Земли. Тогда особенно хорошо видно звездное небо. Но и Земля при этом ярко светит в образе громадного красного венца, внутри темного. Он занимает почти полнеба. Солнца, конечно, не видно. Это есть солнечное затмение или ночь — назовемте, как хотите. Тут сутки продолжаются около *100 мин*, а ночь *40*. Луна совершает свои фазы в обычное время. Она только вдвое светлее, благодаря отсутствию атмосферы.

Звездное небо, Солнце, Млечный Путь, планеты — все это обычно, только очень отчетливо, без мерцания, без «лучей», вдвое светлее, гораздо многочисленнее, разноцветнее, да расположено (как будто) на крохотной, черной, строго сферической поверхности.

Тут рай для астрономов. Их главный враг — атмосфера — не существует. Тут бы они сделали бесчисленные и великие открытия со своими гигантскими телескопами, спектроскопами и фотографическими приборами.

Провожавшие наших героев друзья, оставшиеся на Земле, никаких описанных иллюзий, разумеется, не испытали. Они видели только, как ракета через несколько секунд исчезла из глаз, предварительно завыв самым ужасным образом.

Спустя минуту, две послышался ровный громовой раскат. Сначала он усиливался, потом стал падать и исчез. Это ракета, достигнув космической скорости, раздвигала воздух. Сомкнувшись, он усилил воздушную волну, которой понадобилось немало времени, чтобы пройти расстояние до исходного пункта ракеты.

Через 2—3 мин она снова стала видна в виде звездочки. Это ракета стала светиться вследствие трения о воздух. Но и звезда скоро перестала быть заметной.

Путники, достигнув значительного удаления от Земли, думали, что они носятся в абсолютной пустоте, но они ошибались: следы атмосферы и тут еще оказались.

Поэтому ракета, испытывая небольшое сопротивление, описывала спираль с очень малым шагом, которая приближала ее непрерывно, хотя и очень медленно, к Земле. Они сделали такое множество оборотов кругом Земли, что даже потеряли им счет. Все же возвращение на Землю было неизбежно. Сначала скорость движения ракеты увеличивалась и центробежная сила уравнивала тяготение Земли, несмотря на увеличение этого тяготения. Потом скорость космичес[еского] корабля стала уменьшаться, вследствие усилившегося сопротивления атмосферы. Тогда путники стали планировать, подняв нос ракеты кверху с помощью руля, который работал, как аэроплан. Они могли теперь не только умерить падение, но даже превратить его в поднятие, пока еще не была потеряна скорость. Но поднятие было излишним, могло кончиться потерей движения в высоте и гибелью ракеты, превратившейся в бескрылый аэроплан. Они снижались, но медленно, все более и более приближаясь к Земле.

Путники лишь молили судьбу, чтобы падение пришлось не на сушу, а в море.

Действительно, спуск был опаснее, чем на аэроплане, так как не было крыльев и требовалась большая скорость, чтобы уравновесить тяжесть.

Судьба услышала их мольбу, и они почти горизонтально влетели в море.

Скорость была еще велика (200—300 м/сек), и они проплыли порядочное расстояние, прежде чем остановиться и быть взятыми на борт проходившим недалеко пароходом.

Только точные расчеты смогут дать ответы на вопросы, касающиеся космического корабля. Расчеты же укажут и на требования, которым должны удовлетворять взрывчатые вещества, свойства материалов и механизмы, пригодные для полета и жизни в эфире.

Этих расчетов у меня много, но я не все еще могу одолеть. Тем не менее, желательно полное издание этих трудов со всеми формулами и таблицами. Только тогда мы что-нибудь сделаем.

Также у меня накопился и материал, указывающий пути практического достижения успеха. Это путь опытов и изысканий под влиянием теоретических выводов.

Мое условие с издательствами — печатать рукописи понемногу. Иначе у меня не хватит сил. В самом деле, каждая напечатанная часть даст бодрость для внимательного просмотра последующей. Полезно издание уже изданного, но мало известного или недоступного.

Думаю сыграть роль запевалы. Математики, более знающие и более сильные, dokonчат, может быть, решение поставленных мною задач. Знающие и опытные техники помогут им осуществить и самый космический корабль.

Исследование мировых пространств реактивными приборами*

(переиздание работ 1903 и 1911 гг.
с некоторыми изменениями и дополнениями)

Предисловие

Стремление к космическим путешествиям заложено во мне известным фантазером Ж. Верном. Он пробудил работу мозга в этом направлении. Явились желания. За желаниями возникла деятельность ума. Конечно, она ни к чему бы не повела, если бы не встретила помощь со стороны науки.

Кроме того, мне представляется, вероятно ложно, что основные идеи и любовь к вечному стремлению туда — к Солнцу, к освобождению от цепей тяготения, во мне заложены чуть не с рождения. По крайней мере, я отлично помню, что моей любимой мечтой в самом раннем детстве, еще до книг, было смутное сознание о среде без тяжести, где движения во все стороны совершенно свободны и безграничны и где каждому лучше, чем птице в воздухе. Откуда явились такие желания — я до сих пор не могу понять. И сказок таких нет, а я смутно верил, и чувствовал, и желал именно такой среды без пут тяготения.

Может быть, остатки атрофированного механизма, выдохшихся стремлений, когда наши предки жили еще в воде и тяжесть ею была уравновешена, — причина таких снов и желаний.

Еще с юных лет я нашел путь к космическим полетам. Это — центробежная сила и быстрое движение (см. мои «Грезы о Земле и небе», 1895 г.)** Первая уравнивает тяжесть и сводит ее к нулю. Второе — поднимает тела к небесам и уносит их тем дальше, чем скорость больше. Вычисления могли указать мне и те скорости, которые необходимы для освобождения от земной тяжести и достижения планет. Но как их получить? Вот вопрос,

* Данная работа была впервые издана отдельной книгой «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Изд. автора, Калуга, 1926. (Ред.).

** Имеется в виду научно-фантастическое произведение Циолковского «Грезы о Земле и небе и эффекты всемирного тяготения». М., 1895. (Ред.).

который всю жизнь меня мучил и только с 1896 г. был мною определенно намечен, как наиболее осуществимый.

Долго на ракету я смотрел, как все: с точки зрения увеселений и маленьких применений. Она даже никогда меня не интересовала в качестве игрушки. Между тем как многие, с незапамятных времен, смотрели на ракету, как на один из способов воздухоплавания. Покопавшись в истории, мы найдем множество изобретателей такого рода. Таковы Кибальчич и Федоров. Иногда одни только старинные рисунки дают понятие о желании применить ракету к воздухоплаванию.

В 1896 г. я выписал книжку А. П. Федорова: «Новый принцип воздухоплавания» (С.-Петербург, [18]96 г.). * Мне показалась она неясной (так как расчетов никаких не дано). А в таких случаях я принимаюсь за вычисления самостоятельно — с азав. Вот начало моих теоретических изысканий о возможности применения реактивных приборов к космическим путешествиям. Никто не упоминал до меня о книжке Федорова. Она мне ничего не дала, но все же она толкнула меня к серьезным работам, как упавшее яблоко к открытию Ньютоном тяготения.

Очень возможно, что имеется и еще много более серьезных работ о ракете, мне неизвестных, изданных очень давно. В этом же году, после многих вычислений, я написал повесть «Вне Земли», которая потом была помещена в журнале «Природа и Люди» и даже издана особой книгой (1920 г.).

Старый листок с окончательными формулами, случайно сохранившийся, помечен датою 25 августа 1898 г. Но из предыдущего очевидно, что теорией ракеты я занимался ранее этого времени, именно с 1896 г.

Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними следует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои работы о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества. Более, чем кто-нибудь, я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, так как в течение моей жизни я не только мыслил и вычислял, но и исполнял, работая также руками.

Однако нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия.

Вот что писал я М. Филиппову, редактору «Научного обозрения», перед тем, как посылать ему свою тетрадь (издана в 1903 г.): «Я разработал некоторые стороны вопроса о поднятии в пространство с помощью реактивного прибора, подобного ракете. Математические выводы, основанные на научных данных и много раз проверенные, указывают на возможность с помощью

* Циолковский имеет в виду работу Ал. Федорова «Новый принцип воздухоплавания, исключаящий атмосферу как опорную среду». СПб, 1896. (Ред.).

таких приборов подниматься в небесное пространство и, может быть, основывать поселения за пределами земной атмосферы. Пройдут, вероятно, сотни лет, прежде чем высказанные мною мысли найдут применение и люди воспользуются ими, чтобы расселяться не только по лицу Земли, но и по лицу всей вселенной.

Почти вся энергия Солнца пропадает в настоящее время бесполезно для человечества, ибо Земля получает в два (2,23) миллиарда раз меньше, чем испускает Солнце.

Что странного в идее воспользоваться этой энергией! Что странного в мысли овладеть и окружающим земной шар беспредельным пространством...»

Все знают, как невообразимо велика, как безгранична вселенная. Все знают, что и вся солнечная система с сотнями своих планет есть точка в Млечном Пути. И самый Млечный Путь есть точка по отношению к эфирному острову. Последний же есть точка в мире.

Проникни люди в солнечную систему, распорядись в ней, как хозяйка в доме: раскроются ли тогда тайны вселенной? Нисколько! Как осмотр какого-нибудь камешка или раковины не раскроет еще тайны океана... Если бы даже человечество овладело другим солнцем, исследовало весь Млечный Путь, эти миллиарды солнц, эти сотни миллиардов планет,— то и тогда мы сказали бы то же. И миллиарды эти — точка, и они бы не разоблачили тайн неба.

Вся известная нам вселенная только нуль и все наши познания, настоящие и будущие, ничто в сравнении с тем, что мы никогда не будем знать.

Но как жалок человек в своих заблуждениях! Давно ли было время, когда поднятие на воздух считалось кощунственным покушением и каралось казнью, когда рассуждение о вращении Земли наказывалось сожжением. Неужели и теперь суждено людям впадать в ошибки такого же сорта!

Напечатанные ранее мои труды достать довольно трудно. Поэтому я тут в своем издании соединяю прошлые работы с некоторыми позднейшими достижениями.

На первые мои работы обращено внимание немногих (особенно благодарю за это внимание В. В. Рюмина и Я. И. Перельмана). Много лет спустя появились труды проф. Годдарда, астр[онома] Оберта, инж[енера] Гоманна и общедоступные труды Рюмина, Перельмана, Валье и друг[их], работы которых, к сожалению, мне не известны. Они пришли, в общем, к тем же выводам, как и я. Тогда, естественно, и мне было оказано больше доверия и внимания. В этом отношении очень я обязан также Ассоциации натуралистов и ее председ[ателю] А. П. Модестову.

Мне известны общедоступные статьи Модестова, Давидова, Лапирова-Скобло, Прянишникова, Егорова, Мануйлова, Баба-

ева, Глушко, Чижевского, Алчевского, Шмурло, Рябушинского, Родных, Редина, Соловьева, Ширинкина и многих других, указать на которых сейчас не могу. Некоторые статьи подписаны только двумя буквами, а иные и совсем без подписи. Много было диспутов и лекций, посвященных космической ракете.

* * *

Для решения нашей задачи нам надо одолеть два главных препятствия: притяжение Земли и сопротивление атмосферы. Далее надо в эфире, в пустоте, найти средства для дыхания, питания и сохранения достаточной температуры. Надо найти там же средства и источник энергии для перемещения по всему пространству солнечной системы. Необходимо развитие индустрии, поддерживающей необходимый комфорт бесчисленных будущих поколений, заселяющих солнечную систему. Наконец, надо указать практические пути для одоления 1-го шага, т. е. поселения вне атмосферы по близости Земли, в качестве ее маленького спутника.

Небесный корабль должен быть подобен ракете

Основа действия каждого экипажа и корабля одна и та же: они отталкивают какую-либо массу в одну сторону, а сами (от этого) двигаются в противоположную. Пароход отталкивает воду, дирижабль и аэроплан — воздух, человек и лошадь — земной шар, реактивный прибор, напр[имер], ракета, сегнерово колесо — не только воздух, но и те вещества, которые заключены в них самих: порох, воду. Если бы ракета находилась в пустоте или в эфире, то все же она приобрела бы движение, так как у ней есть запас для отталкивания: порох или другие взрывчатые вещества, содержащие одновременно и массу и энергию. Очевидно, для движения прибора в пустоте он должен быть подобен ракете, т. е. содержать не только энергию, но и опорную массу в самом себе.

Для путешествий вне атмосферы и всякой другой материальной среды на высоте 300 км, а также еще дальше между планетами и солнцами, — нужен специальный прибор, который мы только для краткости будем называть *ракетой*.

Заметим, что межзвездный эфир есть такая же материальная среда, как и воздух, но до такой степени разреженная, что ни в каком случае не может служить опорой. Только условно она не причисляется к материи. Даже небесные камни (болиды, аэролиты, падающие звезды), в несколько граммов весом, могут в ней двигаться с ужасающей скоростью (до 50 и более верст в 1 сек), не встречая заметного сопротивления. Одним словом,

эфир, в отношении сопротивления движению тел, может считаться за пустоту. Также и его потоки, в виде лучистой и электрической энергии, оказывают лишь чрезвычайно малое давление на тела. Так что мы пока и ими пренебрежем.

Взрывание не только может служить для поднятия с планеты, но и для спуска на нее; не только для получения скорости, но и для потери ее. Снаряд в состоянии удаляться от Земли, блуждать между планетами, между звездами, посещать планеты, их спутники, кольца и другие небесные тела, возвращаться на Землю. Лишь бы было довольно энергетического взрывчатого материала. Впрочем, мы увидим, что есть возможность спускаться на планеты, имеющие атмосферы, без всяких затрат взрывчатого материала.

Работа тяготения при удалении от планеты

Очень простым интегрированием можем получить следующее выражение для работы T , необходимой для удаления единицы массы * от поверхности планеты радиуса r_1 на высоту h

$$T = \frac{g_1}{g} \cdot r_1 \left(1 - \frac{r_1}{r_1 + h} \right).$$

Здесь g_1 означает ускорение тяжести на поверхности данной планеты, а g — ускорение земной тяжести на поверхности Земли.

Положим в этой формуле h равным бесконечности. Тогда определим наибольшую работу при удалении единицы массы с поверхности планеты в бесконечность и получим

$$T_1 = \frac{g_1}{g} \cdot r_1.$$

Заметив, что g_1/g есть тяжесть на поверхности планеты по отношению к тяжести Земли, видим, что работа, потребная для удаления единицы массы от поверхности планеты на бесконечное расстояние, равна работе поднятия этой же массы от поверхности на один радиус планеты, — если допустить, что сила тяжести на ней не уменьшается с удалением от поверхности.

Таким образом, хотя пространство, куда проникает сила тяготения любой планеты, безгранично, однако сила эта представляет как бы стену или сферу ничтожного сопротивления, облегающую кругом планету на величину ее радиуса. Одолейте эту стену, прошибите эту неуловимую равноплотную оболочку — и тяготение побеждено на всем его бесконечном протяжении.

* Рассмотрение последующих формул показывает, что они выведены не для единицы массы, а для единицы веса. (Ред.).

Из последней формулы видно, что предельная работа T_1 пропорциональна силе тяжести у поверхности планеты и величине ее радиуса.

Для равноплотных планет, т. е. для планет одной плотности, например, с земной (5,5), сила тяжести у поверхности, как известно, пропорциональна радиусу планеты и выражается отношением радиуса (r_1) планеты к радиусу Земли (R).

Следовательно,

$$\frac{g_1}{g} = \frac{r_1}{R} \text{ и } T_1 = \frac{r_1}{R} \cdot r_1 = \frac{r_1^2}{R}.$$

Значит, предельная работа T_1 чрезвычайно быстро уменьшается с уменьшением радиуса r_1 планеты, именно — как ее поверхность.

Так, если эта работа для земного шара ($r_1 = R$) равна R , или 6 366 000 $\kappa\Gamma\text{м}$ *, то для планеты с диаметром, в 10 раз меньшим, она равна 63 660 $\kappa\Gamma\text{м}$.

Но и для Земли, с некоторой точки зрения, она не очень велика. В самом деле, если считать теплопроизводительность нефти в 10 000 кал , что довольно верно, то энергия этого горения выразится механической работой в 4 240 000 $\kappa\Gamma\text{м}$ на 1 кг горючего материала **.

Выходит, что для предельного удаления единицы массы от поверхности нашей планеты требуется работа, которая содержится потенциально в полторах массовых единицах нефти.

Так, в применении к человеку, весящему 70 кг , получим количество нефти в 105 кг .

Недостает только уменья воспользоваться этой могучей энергией химического средства.

Становится все-таки более понятным, почему увосьмиренное количество взрывчатого материала, сравнительно с весом снаряда, может помочь последнему вполне одолеть силу земного тяготения.

По Ланглею, 1 м^2 поверхности, освещенный нормальными лучами Солнца, дает в минуту 30 кал , или 12 720 $\kappa\Gamma\text{м}$.

Чтобы получить всю работу, потребную для победы 1 кг над тяжестью Земли, нужно пользоваться 1 м^2 , освещенным лучами в течение 501 мин , или 8 час с лишком.

Все это очень немного; но при сравнении человеческой силы с силою притяжения, последняя нам покажется огромной.

Так, допустим, что человек каждую секунду подымается по прекрасно устроенной лестнице на высоту 20 см . Тогда предельная работа будет им совершена только в течение 500 дней тяжкого труда, если на ежедневный отдых подарим 6 час . При упот-

* Более точно: 6 371 000 $\kappa\Gamma\text{м}$. (Ред.).

** Более точно: 4 270 000 $\kappa\Gamma\text{м}$. (Ред.).

реблении для поднятия 1 л. с. сократим работу в 5 раз. При 10 л. с. понадобится только 10 дней, а при непрерывной работе — около недели.

При той работе, которую поглощает летящий аэроплан (70 сил), довольно одного дня.

Для большинства астероидов и для марсовых лун эта работа полного одоления тяжести поразительно мала. Так, луны Марса не имеют в диаметре больше 10 км. Если принять для них земную плотность $5\frac{1}{2}$, то работа T_1 составит не более 4 кгм, т. е. соответствует поднятию на березу в 2 сажени высоты. Если бы на нашей Луне, на Марсе оказались разумные существа, то победа над тяжестью для них была бы гораздо легче, чем для жителей Земли.

Так, для Луны T_1 в 22 раза меньше, чем для Земли. На крупных планетоидах и спутниках планет победа над тяжестью была бы пустяками с помощью описанных мною реактивных приборов. Например, на Весте T_1 в 1000 раз меньше, чем на Земле, потому что поперечник Весты равен 375 верстам. Поперечник Метиссы около 100 верст, а T_1 в 15000 раз меньше.

Но это громаднейшие астероиды; большинство в 5—10 раз меньше. Для них T_1 в миллионы раз меньше, чем для Земли.

Из предыдущих формул найдем для всякой планеты

$$\frac{T}{T_1} = \frac{h}{h + r_1} = \frac{\frac{h}{r_1}}{1 + \frac{h}{r_1}}.$$

Мы здесь выразили работу поднятия T на высоту h от поверхности планеты радиуса r_1 по отношению к полной наибольшей работе T_1 . По этой формуле вычислим

$$\frac{h}{r_1} = \frac{1}{10} \frac{1}{5} \frac{1}{4} \frac{1}{3} \frac{1}{2} 1 \ 2 \ 3 \ 9 \ 99 \text{ бесконечно}$$

$$\frac{T}{T_1} = \frac{1}{11} \frac{1}{6} \frac{1}{5} \frac{1}{4} \frac{1}{3} \frac{1}{2} \frac{2}{3} \frac{3}{4} \frac{9}{11} \frac{99}{100} 1.$$

Первая строка показывает на поднятие в радиусах планеты; вторая — на соответствующую работу, принимая работу полного одоления тяжести за единицу. Например, для удаления от поверхности планеты на один ее радиус нужно совершить половину полной работы, а для удаления в бесконечность — только вдвое более (1).

Необходимые скорости

Так как мы раньше часто давали скорости, приобретаемые ракетой от действия взрывчатых веществ, то интересно знать, каковы они должны быть, чтобы одолеть сопротивление тяготения.

Мы опять не будем приводить известных вычислений, с помощью которых скорости эти определяются, и ограничимся только выводами.

Так, скорость V_1 , необходимая для поднятия ракеты на высоту h и получения после этого скорости V , равна

$$V_1 = \sqrt{V^2 + \frac{2g_1 r_1 h}{r_1 + h}}.$$

Если тут положить, что $V = 0$, т. е. если тело движется вверх до остановки силою тяжести, то найдем

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g_1 r_1 h}{r_1 + h}}.$$

Когда h бесконечно велико, т. е. если поднятие беспредельно и конечная скорость нуль, то необходимая для того у поверхности планеты скорость выразится

$$V_1 = \sqrt{2g_1 r_1}.$$

По этой формуле вычислим для Земли: $V_1 = 11\,170$ м/сек*, или в 5 раз быстрее наивысшего пушечного ядра, при его вылете из жерла.

Для нашей Луны $V_1 = 2373$ м/сек, т. е. это близко к скорости ядра и скорости молекул водорода. Для планеты Агата, имеющей 6 верст в диаметре и плотность, не большую плотности Земли (5,5), V_1 менее 5,7 м/сек; такую же почти скорость V_1 найдем и для спутников Марса. На этих телах солнечной системы достаточно слегка разбежаться, чтобы навсегда освободиться от силы их тяготения и сделаться самостоятельной планетой.

Для планет, равноплотных с Землей, получим

$$V_1 = r_1 \sqrt{\frac{2g}{R}},$$

где g и R относятся к земному шару. Из формулы видно, что предельная скорость бросания (V_1) в этом случае пропорциональна радиусу (r_1) данной планеты.

Так, для наибольшего планетоида—Весты, поперечник которой близок к 400 км, найдем, что $V_1 = 324$ м/сек.

Это значит, что даже ружейная пуля оставляет навсегда Весту и делается аэролитом, кружащимся вокруг Солнца.

Последняя формула удобна для быстрого соображения о скоростях бросания на разной величины равноплотных планетах. Так, Метисса, один из крупных астероидов, имеет диаметр раза

* Более точное значение: $V_1 = 11\,189$ м/сек. (Ред.).

в 4 меньше, чем Веста, и скорость поэтому будет во столько же раз меньше, т. е. около 80 м/сек.

Вечное кружение вокруг планеты требует работы вдвое меньшей и скорости в $\sqrt{2} = 1,41 \dots$ раз меньшей, чем для удаления в бесконечность.

Время полета

Мы не будем тут приводить весьма сложных формул, определяющих время полета снаряда. Тем более, что это вопрос не новый и решенный, и мы будем только повторять известное.

Воспользуемся лишь одним выводом, чрезвычайно простым и полезным, для решения простейших задач о времени движения ракеты.

Для времени t падения неподвижного сначала тела на планету (или Солнце), сосредоточенную в одну точку (при той же массе), найдем

$$t = \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g_1}} \left(\sqrt{\frac{r_2}{r} - 1} + \arcsin \sqrt{\frac{r}{r_2}} \right).$$

Тут r_2 означает расстояние, с которого тело начинает падение; r есть величина этого падения; r_1 — радиус планеты, а g_1 — ускорение тяжести в это время у ее поверхности.

Та же формула, конечно, выражает и время поднятия от $(r_2 - r)$ до r_2 , когда тело теряет всю свою скорость.

Если положить, что $r = r_2$, т. е. если определить время падения до центра сосредоточенной планеты, то получим из последней формулы

$$t = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g_1}}.$$

При обыкновенных условиях эта формула дает также, приблизительно, и время падения до поверхности планеты, или время поднятия ракеты с этой поверхности до остановки.

С другой стороны, время полного кругового обращения какого-нибудь тела, например снаряда, вокруг планеты (или Солнца), равно

$$t_1 = 2\pi \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{g_1}},$$

где r_1 — радиус планеты с ускорением g_1 у поверхности, а r_2 — расстояние тела от ее центра.

Сравнивая обе формулы, найдем

$$t_1 : t = 4\sqrt{2} = 5,657.$$

Стало быть, отношение времени обращения какого-нибудь спутника к времени его центрального падения на планету, сосредоточенную в одну точку, равно 5,66.

Итак, чтобы получить время падения какого-нибудь небесного тела (например, нашей ракеты) на центр (или, приблизительно, на поверхность), вокруг которого оно обращается, надо время звездного обращения этого тела по кругу разделить на 5,66.

Так узнаем, что Луна падает до Земли 4,8 суток, а Земля до Солнца — $64\frac{1}{4}$ суток.

Наоборот, ракета, брошенная с Земли и остановившаяся на расстоянии Луны, летела в течение 4,8 суток, или около 5 дней.

Также ракета, брошенная с Солнца и остановившаяся, под влиянием могучей силы его тяготения и недостаточной скорости ракеты, на расстоянии Земли, употребила бы на свой полет около 64 суток, или 2 месяца с лишком.

Работа солнечного тяготения

Определим работу тяготения Солнца, когда ракета направляется с земного шара. Конечно, выгоднее всего, чтобы снаряд был направлен по годовому движению Земли вокруг Солнца. Тут можно воспользоваться также и вращением нашей планеты вокруг оси.

Работа ракеты складывается из двух работ. Первая — одоление земной тяжести. Для единицы массы, например тонны, она выражается 6 366 000 *тм*, или секундной скоростью в 11 170 *м*. Если ракета будет брошена по направлению годового движения Земли, то она удалится от Земли и сделается спутником Солнца, как и Земля. Она также будет иметь секундную скорость, положим (среднюю), в 29,5 *км*. Для того, чтобы теперь она совсем удалилась от Солнца, надо работу ее годового движения увеличить в 2 раза, или скорость в $\sqrt{2}$, т. е. прибавить ей скорость, равную $29,5(\sqrt{2} - 1) = 12,21$ *км/сек*. Полная работа выражается относительным числом $11,17^2 + 12,21^2$, а скорость, потребная для получения всей работы, будет $\sqrt{11,17^2 + 12,21^2} = 16,55$ *км/сек*. Так как у ракеты второй опоры нет, то она сразу должна приобрести эту скорость, отталкиваясь от Земли. Если воспользоваться вращением экваториальных точек Земли, то эта скорость еще уменьшится на 465 *м/сек* и будет составлять 16 085 *м/сек*, т. е. около 16 *км/сек*. Этой скорости, разумеется, более чем достаточно, чтобы долететь до любой планеты солнечной системы. С ней можно вечно блуждать между звездами (солнцами), никогда не останавливаясь. Только нельзя будет вылететь или, вернее, удалиться навсегда от нашего Млечного Пути. Если бы мы вздумали начать полет против годового движения Земли, то потребовалась бы громадная скорость и ужасающая работа, чтобы одолеть солнечное тяготение. Действительно, при первой работе мы удаляемся от Земли, но не теряем своей годовой скорости в 29,5 *км/сек*. При отталкивании

от Земли в противоположном направлении, чтобы удалиться от Солнца, мы должны потерять эту скорость и приобрести еще против годового движения скорость в 41,7 км/сек, т. е. всего 71,2 км/сек. Вся скорость, необходимая для нашего дела, будет $\sqrt{71,2^2 + 11,2^2} = 72,1$ км/сек. Эта скорость в $4\frac{1}{2}$ раза больше, а работа в 20 раз, количество же взрывчатых веществ невообразимо велико. Менее невыгодно будет при бросании снаряда в нормальном направлении к годовому пути Земли.

Сопrotивление атмосферы движению снаряда

Пока мы покажем только, что сопротивление атмосферы есть работа незначительная по отношению к работе тяготения. Потом эти вопросы разберем основательно. Пусть снаряд имеет отвесное движение. Если секундное ускорение его в 30 м, то он пронизает 50 верст, т. е. почти всю атмосферу, в течение 33 сек. При этом наибольшая секундная скорость составит 1 км. Но ведь эта скорость на высоте, где воздуха почти нет. Мы можем принять среднюю скорость не более полкило[метра в секунду]. Давление на 4 м² сечения ракеты не будет превышать при такой скорости, по известным формулам, 100 т. Но так как ракета очень длинна, имеет хорошую форму и движется очень быстро, то это давление на плоское сечение уменьшается, по крайней мере, во 100 раз. Значит, оно будет не более 1 т. Наша большая ракета весит не менее 10 т. Давление на нее будет не менее 40 т. Таким образом, оно составит число в 40 раз больше того, которое выражает среднее сопротивление атмосферы*. Полная работа снаряда или работа тяготения, конечно, будет в тысячи раз больше работы сопротивления атмосферы. Отсюда также видно, что воздух должен иметь незаметное влияние на скорость движения ракеты.

Имеющаяся энергия

Приводим тут таблицу 1.

Мы видели, что работа тяготения Земли, на 1 кг массы, составляет $6,37 \cdot 10^6$ кГм, или секундную скорость в 11 км. С этой работой мы и будем сравнивать энергию, которой может распоряжаться человек. Верхняя часть табл. 1 относится к тому случаю, когда мы летим в пустоте и потребляем собственный, запасной кислород. В этом случае энергия взрывчатых веществ, по крайней мере, в 4 раза меньше, чем нужно для освобождения их

* Расчеты сил сопротивления носят приближенный характер. Заключение Циолковского о малом влиянии сил сопротивления на конечную скорость ракеты достаточно большого стартового веса подтверждается и современными исследованиями. (Ред.)

от пут тяготения, предполагая полную утилизацию горению. Соответствующая скорость раза в 2 меньше. Нижняя часть таблицы относится к полету в воздухе, когда мы можем заимствовать кислород из окружающей среды, не запасая его в ракете. В таком случае имеющаяся энергия будет раза в 2 больше, чем потребно, также и скорость значительней.

Таблица 1

Энергия взрывчатых веществ на 1 кг продуктов

[Реакция соединения]	Большие калории	Килограммометры	Секундная скорость, м	Отношение работ
H_2 и O_2 ; получаются пары воды	3200	$1,37 \cdot 10^6$	5180	1,455
То же, но получается вода	3736	$1,6 \cdot 10^6$	5600	1,702
То же, но получается лед	3816	$1,63 \cdot 10^6$	5650	1,730
C и O_2 ; получается CO_2 . .	2200	$0,94 \cdot 10^6$	4290	1,000
Бензин H_5C_6 и O_2 ; получается H_2O и CO_2	2370	$1,01 \cdot 10^6$	4450	1,077

Энергия на единицу массы горящего тела

Горящие тела. Горение в кислороде. Кислород извне	Большие калории	Килограммометры	Секундная скорость, м	Отношение работ
Горит H_2 ; получается H_2O	28780	$12,3 \cdot 10^6$	15520	13,08
Горит C; получается CO_2 . .	8080	$3,46 \cdot 10^6$	8240	3,673
Горит углеводород; получается CO_2 и H_2O	{ 10 000	$4,28 \cdot 10^6$	9160	4,545
	{ 13 000	$5,56 \cdot 10^6$	10440	5,909
Радий	$1,43 \cdot 10^9$	$0,611 \cdot 10^{12}$	$3,44 \cdot 10^6$	$0,65 \cdot 10^8$

В общем выходит, что энергии взрывчатых веществ оказывается далеко недостаточно, чтобы хотя им самим приобрести скорость, освобождающую их от земного тяготения.

Нетрудно элементарно доказать, что, несмотря на это, снаряд может получить любую скорость, стоит только запастись побольше взрывного материала. При единице запаса (1), по отношению к весу пустого снаряда, очевидно, и скорость будет близка к 5 км/сек, так как отталкивающиеся массы одинаковы (см. табл.). При относительном запасе в 3, скорость ракеты будет уже 10 км/сек. Действительно, отбросив 2 единицы взрывчатых веществ, получим скорость ракеты (с остатком) в 5 км/сек. Взрывая остаток (1), прибавим снаряду еще скорость в 5 км/сек. Всего приобретем 10 км [секундной] скорости. Так легко докажем, что при запасах взрывчатых веществ в 7; 15 и 31 получим скорости корабля в 15, 20 и 25 км/сек. Между тем, даже для

освобождения от солнечного тяготения довольно секундной скорости в 16—17 км.

Разложение атомов есть источник огромной энергии, как это видно из последней строки таблицы. Эта энергия в 400 000 раз больше самой могучей химической энергии. Недостаток ее в том, что она чересчур дорога, недоступна и истекает крайне медленно, хотя и тысячи лет. Если бы мы даже добыли кило[грамм] радия (чего нет), то и тогда выделяемая им энергия дала бы только 15 *кГм/сек*, т. е. труд рабочего. Значит, такой мотор, при одном весе с авиационным, по крайней мере, в 7 раз слабее последнего. Притом мы не имеем еще радиевого мотора, да и цена кило[грамма] радия не меньше миллиарда рублей*. Но нельзя быть уверенным в том, что не найдут со временем дешевые и быстро выделяющие энергию источники.

Получение космических скоростей вообще

Мы можем такую скорость получить и на планете. Получив ее, мы удаляемся в эфирное пространство, блуждаем среди планет и даже среди звезд. Но если мы не имеем там, в пути, реактивного прибора, то движение наше будет подобно движению болида, т. е. оно не будет зависеть от нашей воли. Следовательно, без ракетного прибора обойтись все равно невозможно.

Получение скорости на Земле имеет большие преимущества, так как, двигаясь по ее поверхности, мы можем получать непрерывный приток энергии, не тратя запас.

Перечислю тут неосуществимые средства получения космических скоростей. 1) Невозможно пускать снаряд с вращающегося колеса или гигантской карусели, так как скорость по окружности колеса, независимо от его размеров, не может быть более 500—1000 *м/сек*; а это скорость не космическая. Даже при такой скорости колесо должно разорваться от центробежной силы. Кроме того, ни один организм не выдержит ее действия даже при диаметре колеса в 1 км. 2) Невозможна короткая пушка, так как относительная тяжесть в ядре раздробит организм. Даже пушка длиною в 6 км мала. Приводится ли ядро в движение газом, взрывчатым веществом, электромагнитной силой — это все равно. 3) Невозможна вертикальная пушка, так как такие сооружения при большой высоте неосуществимы. 4) Непрактична горизонтальная пушка, независимо от ее длины, так как при вылете ядро быстро потеряет почти всю свою скорость в плотном слое воздуха (см. табл. 2). Из 8 строки ее видно, что ракета в 10 т весом, с площадью поперечного сечения в 4 м², при горизонтальном движении у уровня моря, даже при космической скорости в 8 *км/сек* теряет 20% своей кинетической

* Эти данные не соответствуют современным. (Ред.).

Таблица 2

Соппротивление воздуха и работа при постоянной скорости снаряда

Масса ракеты = 10 т. Площадь попер[ечного] сечения ракеты 4 м².

Утили[зация] формы = 100. Пл[отность] в[оздуха] = 0,0013 [плотности] воды

	4	6	8	10	12	16	17
1. Се[кундные] скорости, в км (1000 м)	4	6	8	10	12	16	17
2. Давл[ение] возд[уха] на плоскость в 4 м ² , в т. $P = 0,0001 \cdot V^2 \cdot 4$. . .	6400	14 400	25 600	40 000	57 600	102 400	115 600
3. Давлен[ие] на ракету при утили[зации] в 100. Тонны	64	144	256	400	576	1024	1156
4. Работа ракеты при продвижении на 10 км. Тысячи тонн-метров	640	1440	2560	4000	5760	10 240	11560
5. Если ракета весит 10 т, то для одоления земной тяжести нужна работа не менее $6\,370\,000 \times 10 \times 2 = 127\,400\,000$ тм. Умножаем на 2, так как утилизируются не более 50% энергии взрыва.							
6. Работа сопротивл[ения] по отношению к работе взрывчатых веществ, в %. Пробег 10 км	0,50	1,13	2,02	3,15	4,54	8,06	9,10
7. То же, но по отношению к работе движения снаряда. Проценты	1,00	2,26	4,04	6,30	9,08	16,12	18,20
8. То же, при пробеге в 50 км. Процен[ты]	5,00	11,30	20,2	31,5	45,4	80,6	91,0
9. Если пустая ракета весит 1 т	50	113	202	315	454	806	910
10. Пушка на выс[оте] 8 км, в 10 т, пробег 50 км, работа в процентах	1,5	3,4	6,0	9,4	13,6	24,2	27,3

энергии. Это при пролете в 50 км. Но ведь при такой скорости она будет двигаться криволинейно, не выйдет из атмосферы. Поэтому она потеряет быстро всю скорость, или раньше того упадет на Землю. При 16-кило[метровой секундной] скорости она потеряет 80% своей энергии. Если же ракета имеет меньшую массу, т. е. без запаса взрывчатых веществ, например, при массе в 1 т, то уже при скорости в 4 км/сек она потеряет половину своей энергии. Массивность ядра много облегчает его полет. Из 10 стр[оки] видно, что пушка на высочайших горах терпима, так

как ядро даже при скорости в 12 км/сек теряет только $13,6\%$ своей энергии *. 5) Невозможно приобретение космической скорости на небольших круговых путях, так как центробежная сила убьет организм, хотя хорошо укрепленную в почве дорогу и не разрушит. 6) Непрактично и получение космической скорости на огромных путях, расположенных горизонтально по экватору, потому что сопротивление воздуха, как и в предыдущем случае поглотит всю скорость движения. Колеса для движущегося космического экипажа (для облегчения трения) не пригодны.

Некоторую степень возможности имеют газовые, и в особенности электромагнитные, пушки, длиною не менее 60 км , расположенные наклонно в горах, так что их жерло выходит на высоте 8 км , где воздух уже втрое разрежается.

О том, что пушки не могут быть коротки, много уже писалось. Повторим и мы несколько слов. Человек, даже погруженный в воду, едва ли может выдержать относительную тяжесть в сто раз большую земной. Следов[ательно], секундное ускорение движения ядра в пушке не может быть более 1000 м (10×100). Если надо избавиться от тяготения Земли, то приходится в канале приобрести скорость в 12 км/сек . Это может совершиться в течение 12 сек . Средняя скорость ядра будет 6000 м/сек . В 12 сек оно пройдет 72 км . Такова и наименьшая длина пушки. Но, по всей вероятности, она в 10 раз больше, так как человек и в жидкости не выдержит более чем десятикратное утяжеление. Короткие стальные пушки пригодны лишь для бросания стальных же сплошных ядер. И такие пушки должны быть, по крайней мере, в сто раз длиннее обыкновенных артиллерийских орудий, иначе и ядра, без людей, будут раздроблены.

С первого раза кажется, что газ, скорость частиц которого при обыкновенной температуре не превышает 2 км/сек , не может дать космических скоростей. Но это ошибка, которую мы сейчас выясним.

Представьте себе большой резервуар A с водородом или другим газом и примыкающий к нему цилиндрический ствол B [рис. 1]. На снаряд B производится давление тем более постоянное, чем резервуар A больше сравнительно с объемом цилиндра B . Значит, в предельном случае работа, получаемая ядром, пропорциональна длине ствола, а скорость ядра пропорциональна квадратному корню из этой длины. Следовательно, она неограниченно велика. Этот странный вывод (парадокс) объясняется тем, что работа совершается на счет всей газовой массы A . А так как она может быть велика, то и отдаваемая ядру работа может быть громадной. Ведь большую скорость получает только незначительная масса газа в стволе и сам снаряд. Остальная

* Оценка влияния сил сопротивления проведена неточно и в настоящее время ее следует рассматривать как грубое первое приближение. (Ред.).

масса A имеет малую скорость, но зато она охлаждается. На счет этой выделенной огромной теплоты и получается работа движения ядра и газа в стволе B . Ясно, что для приобретения наибольшей работы и скорости полезно подогревание газа струями пара или другими приемами, которых множество. Удобно подогревание электрическим током через протянутые в A проводники.

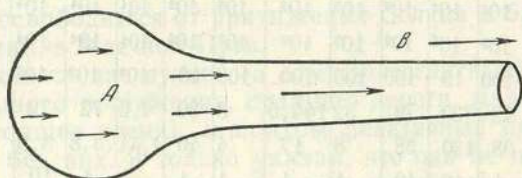


Рис. 1

В последующих вычислениях будем считать давление на ядро постоянным, т. е. резервуар A очень большим, наполненным водородом и подогреваемым. На водород тяжесть действует в $14\frac{1}{2}$ раза слабее, чем на воздух (в отношении сгущения в низах), и потому мы примем, несмотря на большую высоту пушечного жерла, плотность газа во всей системе постоянной.

Получим уравнения

$$P = p_a nF; \quad (1)$$

$$j : g = P : M; \quad (2)$$

$$V = \sqrt{2jL}; \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\frac{2L}{j}}; \quad (4)$$

$$K = \frac{j}{g}. \quad (5)$$

Из этих формул найдем

$$j = gK; \quad (6)$$

$$P = \frac{M \cdot j}{g}; \quad (7)$$

$$n = \frac{P}{F p_a}; \quad (8)$$

$$L = \frac{V^2}{2j}. \quad (9)$$

Тут K — относительная тяжесть в ядре, j — сек[ундное] ускорение ядра, P — давление на ядро, n — число атмосфер давления, L — длина пушки в кило[метрах], t — время пребывания в канале, F — площадь сечения пушечного канала, V — наибольшая секундная скорость, D — диаметр сечения ядра и канала.

С помощью этих формул составим прилагаемую табл. 3.

Таблица 3

Ускорение земн[ой] тяжести = $g = 10$ м/сек². Масса ядра* = $M = 10$ т
 Давление атмосферы = $p_a = 10$ т/м²

K	10	100	10	100	100	100	100	10	1000	1000	1000	1000	10 000	40
j , м/сек ²	10^2	10^3	10^2	10^3	10^3	10^3	10^3	10^2	10^4	10^4	10^4	10^4	10^5	400
P , т	10^2	10^3	10^2	10^3	10^3	10^3	10^3	10^2	10^4	10^4	10^4	10^4	10^5	400
n	10	100	10	100	100	100	100	10	10^3	10^3	10^3	10^3	10^4	10
L , км	720	72	720	72	32	144,5	8	80	7,2	72	72	720	720	80
t , сек	120	38	120	38	8	17	4	40	1,44	3,8	3,8	12	38	20
F , м ²	1	1	10	10	1	1	1	1	1	1	10	10	10	4
V , км/сек	12	12	12	12	8	17	4	4	12	38	38	120	380	8
D , м	1,13	1,13	3,57	3,57	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	3,57	3,57	3,57	2,28

* Из формул (2) и (7) видно, что M представляет собой не массу ядра, а его вес. (Ред.).

Из таблицы видно, что при сжатии газа в 10 000 ат и при длине пушки в 720 км можно получить сек[ундную] скорость в 380 км. Между тем, как для одоления притяжения Солнца и блуждания в Млечном Пути надо лишь 17 км скорости [в сек]. Из 6 столбца табл[ицы] видно, что такая скорость получается при относительной тяжести во 100, при стократном сжатии газа и при длине пушки в 145 км. Из 8 столбца видно, что скорость 4 км/сек получается при десятикратной тяжести, при сжатии в 10 ат и при длине пушки в 80 км. Если поперечное сечение канала увеличить в 4 раза, или диаметр в 2 раза, то (ст[олбец] 14) скорость той же массы увеличится вдвое, т. е. достигнет первой космической скорости (чтобы сделаться близости Земли ее спутником). Длина пушки и сжатие газа останутся те же, но ускорение и относительная тяжесть увеличатся вчетверо.

Электромагнитные пушки имеют большое преимущество, так как не требуют резервуара, гораздо осуществимее, экономнее и имеют обильный приток боковой энергии на всем их протяжении, легко подводимой проводниками из боковых станций.

Пушки, со временем, могут иметь большое применение для массового отправления снарядов: для космических переселений в большом масштабе и как дополнение к ракетному способу. В самом деле, при получении с помощью пушки первой космической скорости в 8 км/сек, ядро возвращается обратно на Землю и расширяется благодаря тому, что его скорость не параллельна экватору (или меридиану). Для первых важных достижений, т. е. для поселений близости Земли, но вне атмосферы, необ-

ходимо соединение пушечного метода с ракетным: ядро приобретает скорость меньшую 8 км/сек , но потом добавляет ее взрыванием, как ракета. Так как направление взрыва переменное и зависит от нас, то снаряд может приобрести достаточную скорость по окружности, чтобы сделаться близкой и маленькой луной Земли.

Без ракетного приспособления можно обойтись, когда цель снаряда (выброшенного из пушки) стать на орбиту Земли или пролететь поблизости планет нашей системы. Также тогда, когда он должен освободиться от притяжения Солнца и блуждать среди иных солнц, в Млечном Пути.

Во всяком случае пушки (и электромагнитные), вследствие своего большого протяжения, страшно дороги, мало осуществимы (в настоящее время), и притом реактивный прибор может обойтись и без них. Я только указал, что они не представляют нелепости и могут, со временем, когда космические переселения приобретут обширное применение, послужить также делу завоевания солнечных систем.

Ракета в сравнении с пушкой то же, что бактерия в сравнении со слонем. Ракетую я называю реактивный прибор, который двигается отталкиванием вещества, запасенного в нем заранее. Нет машины и нет организма, которые не отталкивали бы от себя материи: человек выделяет непрерывно кожей пар, также и паровая машина, но действие это слабо в сравнении с другими силами, в них работающими, и потому такие приборы нельзя называть реактивными. Ракета подобна увеселительной ракете. Отличие ее от других экипажей и кораблей в том, что последние отталкивают вещество, вне их находящееся.

Пусть мы сначала имеем дело с невесомой энергией, каково электричество, массой которого можно пренебречь. Допустим также, что снаряд не подвержен силе тяжести и другим внешним силам. Тогда для двух неподвижных масс, отталкиваемых промежуточной невещественной силой, имеем на основании закона сохранения количества движения

$$M_1V + M_2W = 0. \quad (12)$$

Если скорость ракеты V примем положительной, то скорость отброса W будет отрицательна, так как количество движения было нуль и не может измениться внутренними силами. M_2 и M_1 означают массы отброса и ракеты.

Работа, полученная ракетой, будет

$$E_1 = \frac{M_1V^2}{2}. \quad (13)$$

Работа оттолкнутой массы будет

$$E_2 = \frac{M_2W^2}{2}. \quad (14)$$

Полезность ракеты *, или использование ею энергии, будет

$$\eta = \frac{E_1}{E_1 + E_2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{E_2}{E_1}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{M_2 \cdot W^2}{M_1 \cdot V^2}\right)}. \quad (15)$$

Но из уравнения [см. уравнение (12)] видно, что

$$\frac{M_2}{M_1} = - \frac{V}{W}. \quad (16)$$

Значит, полезность ракеты

$$\eta = \frac{1}{\left(1 - \frac{W}{V}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{M_1}{M_2}\right)}. \quad (17)$$

Отсюда ясно, что, чем меньше масса ракеты по отношению к массе отброса, тем использование ею энергии значительнее. Последняя формула дает таблицу 4.

Таблица 4

Масса ракеты, M_1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Масса отброса, M_2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полезность ра- кеты, η	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
То же, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Из нее видно, что полезность, на практике, не может быть полной, так как ракета всегда имеет какую-нибудь массу. При равных массах ракеты и отброса использование составляет 50%.

Но не то будет, если снаряд со своим запасом уже имеет некоторую скорость, напр[имер], полученную посредством электромагнитной пушки, взрыванием или как бы то ни было. Тут может быть интересный случай, когда использование энергии, независимо от массы отброса, может быть во 100%. Действительно, если ракета имеет, например, скорость 1 м/сек, то, откидывая элемент отброса в противоположную сторону с относительной скоростью в 1 м, получим малую частицу отброса с абсолютной скоростью в нуль. Ясно, что вся израсходованная работа пошла целиком на пользу снаряда. В разбираемом случае, вместо уравнения (12), получим

$$M_1(V + V_0) + M_2(W + V_0) = (M_1 + M_2) \cdot V_0. \quad (18)$$

* Под «полезностью ракеты» Циолковский подразумевает ее полетный к. п. д. (Ред.).

По сокращении получим формулу (12) и все вытекающие из нее выводы. Тут V_0 есть общая первоначальная скорость системы до отбрасывания. Далее имеем

$$E_1 = \frac{M_1}{2} (V + V_0)^2, \quad (19)$$

$$E_2 = \frac{M_2}{2} (W + V_0)^2, \quad (20)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{M_2 (W + V_0)^2}{M_1 (V + V_0)^2}}. \quad (21)$$

По (18) или (12), вместо этого, найдем

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{V (W + V_0)^2}{W (V + V_0)^2}}. \quad (22)$$

Если ракета имеет прибавку скорости (по тому же направлению, конечно), то отброс имеет скорость отрицательную. Если еще скорость отброса равна общей скорости ракеты* ($W = V_0$), то числитель в формуле (22)** равен нулю и потому $\eta = 1$, то есть использование энергии будет полное, или составит 100%. Значит, выгодно, чтобы частицы отброса отталкивались в прямо противоположную сторону от движения снаряда, со скоростью самой ракеты. Тогда получим идеальное использование (η) затраченной работы.

Но мы имеем в виду от данной запасенной массы отброса получить наибольшую скорость снаряда. Выгодно с отбросом соединять энергию, чтобы самый отброс был в то же время и источником энергии. Иначе дело будет хуже. Действительно, если мы возьмем, например, песок, для отброса и углерод с кислородом (как соединение энергии с отбросом), то мы менее выгадаем, чем если возьмем в запас одни горючие вещества.

Во втором случае, при одной массе запаса, энергия на единицу массы запаса будет больше и потому получится большая скорость отброса, а стало быть, и ракеты. Вообще, энергия материальна. Даже электричество и свет материальны, не говоря уже про взрывчатые вещества. Чтобы снаряд получил наибольшую скорость, надо, чтобы каждая частица продуктов горения или иного отброса получила наибольшую относительную скорость. Она же постоянна для определенных веществ отброса. Что толку, если мы сэкономим энергию, не имея отброса. Экономия энергии тут не имеет места: невозможна и невыгодна. Дру-

* По абсолютной величине. (Ред.).

** Имеется в виду числитель дроби $\frac{V(W + V_0)^2}{W(V + V_0)^2}$ (Ред.).

гими словами: *в основу теории ракеты надо принять постоянную относительную скорость частиц отброса.*

Другое дело — реактивный аэроплан, который может воспользоваться воздухом как предметом отброса. Тут выгодно экономить запасенную энергию, которая, между прочим, должна быть использована и как отброс. Но такой снаряд не есть чисто реактивный прибор.

Может быть еще такой случай, когда помимо энергии отброса мы имеем еще приток энергии извне. Этот приток может подаваться с Земли во время движения снаряда в виде лучистой энергии с тою или другою длиною волн, также в форме α - и β -частиц, также от Солнца.

Земной приток энергии заманчив, но мало данных для его обсуждения. Солнечный же приток энергии имеет место, когда уже ракета вне атмосферы. В обоих случаях запасной отброс не нужен, так как энергия, притекающая извне, сама содержит отброс в виде α - и β -частиц. Надо только уметь направить их в сторону, противоположную желаемому направлению ракеты. Дело будет яснее, если мы запасаем радиоактивное вещество. Скорость частиц его так громадна, что запас его может быть очень мал, в сравнении с массой ракеты. Так что эта последняя может считаться постоянной, как и при энергии, притекающей извне.

В таком случае имеем

$$\frac{dV}{W_1} = \frac{dM_2}{M_1}. \quad (23)$$

W есть относительная скорость частиц отброса, например частиц альфа. Интегрируя, получим, предполагая постоянное направление отбрасывания,

$$V = W \frac{M_2}{M_1} + V_0. \quad (24)$$

V_0 есть начальная скорость ракеты до отбрасывания или взрыва. Если она равна нулю, то

$$V = W \frac{M_2}{M_1}. \quad (25)$$

Из формулы видно, что окончательная скорость снаряда пропорциональна относительному запасу отброса (или, вообще, отбросу, так как запаса может не быть) и относительной скорости отброса (например, α -частиц).

Если $W = 3 \cdot 10^8$ м/сек; $M_2 = M_1$, то $V = 3 \cdot 10^8$ м/сек. Эта скорость в 18 000 раз больше той, какая нужна для одоления притяжения Солнца. Энергия же этого движения в 324 миллиона раз больше, чем нужно. Летя с такой скоростью, эфирный корабль достигнет ближайшего солнца или ближайшей иной солнечной системы в 4 года. Тут предполагается заимствование энергии извне. Для применения формулы к радиоактивному веществу надо,

чтобы отношение $\frac{M_2}{M_1}$ было мало. Если, например, оно равно 0,1, то для достижения иного соседнего солнца потребуется 40 лет.

От Солнца нельзя получить так много частиц, ибо при удалении от Солнца приток их почти прекращается. Известные радиоактивные вещества, кроме того, разлагаются очень медленно* и дают в секунду очень недостаточную работу. Количество их, имеющееся в руках человека, также ничтожно. Но будущее неизвестно: земной шар и его вещества мало исследованы. Он может дать еще много неожиданного.

Положим в формуле (25)

$$W = 30 \cdot 10^6 \text{ м/сек}, \text{ а } V = 17 \cdot 10^3 \text{ м/сек},$$

т. е. такую скорость снаряда, которая только немного больше требуемой для вечного удаления от Солнца.

Получим

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{V}{W} = 0,00057. \quad (26) **$$

Значит, относительная масса отброса или радиоактивного вещества составляет в этом случае около $\frac{1}{2000}$ массы снаряда. Если, например, он весит тонну, то масса отброса составит только 568 г, или меньше полутора фунта. Масса отброса так мала, что масса ракеты может считаться постоянной и формулы применимы почти без погрешности при употреблении будущих пригодных радиоактивных веществ, если только скорости их частиц такого же порядка, как скорости α -частиц (электричество или радий).

Каково же будет использование энергии? Имеем

$$E_1 = \frac{M_1 \cdot V^2}{2}; \quad (27)$$

$$E_2 = \frac{M_2 \cdot W^2}{2}. \quad (28)$$

Использование будет (см. 21)

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + \frac{M_2 \cdot W^2}{M_1 \cdot V^2}\right)}. \quad (29)$$

С помощью (26) получим

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + \frac{W}{V}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{M_1}{M_2}\right)}. \quad (30)$$

Когда имеем дело с радиоактивными веществами или с энергией, притекающей извне, то отношения в последней формуле очень

* Реакции деления в настоящее время управляемы и могут протекать с различными скоростями. Реакции синтеза пока неуправляемы (водородная бомба). (Ред.).

** В данном случае Циолковский опускает знак, принимая все величины положительными. (Ред.).

велики и потому имеем

$$\eta = \frac{V}{W} = \frac{M_2}{M_1}. \quad (31)$$

Так, в разобранным случае, когда $M_1 : M_2 = 1765$, использование составляет около одной двухтысячной. Хотя использование не выгодно, но зато запас отброса ничтожен.

Во франклиновом колесе использование выгоднее, потому что частицы приводят в движение сравнительно огромную массу воздуха (электрический ветер). Но в пустоте использование так мало, что колесо не вращается, т. е. получаемая работа не может одолеть трения. Принцип франклинова колеса мог бы иметь применение при полете снаряда в воздухе*.

Превращение тепловой энергии в механическое движение

Обратимся к взрывчатым веществам. Источник их энергии есть химическое сродство. В общем они дают лишь теплоту, т. е. беспорядочное движение частиц (молекул). Нужны особые машины, чтобы получить из такого движения (из теплоты) движение частиц согласованное, параллельное, в одну сторону, одним словом, движение простое, видимое. Для реактивного аппарата надо, чтобы возможно большая часть тепловой или химической энергии частиц превратилась в их согласованное поступательное движение. Тогда исчезнет теплота, а взамен ее мы получаем механическое движение, или быстро движущуюся струю. Для этого употребляют длинную трубу. В одном конце ее происходит взрыв или горение, а из другого стремительно вылетают газы и пары. Стенки трубы имеют свойство беспорядочное (в разные стороны колеблющееся) тепловое или химическое движение (незаметное, ощущаемое как теплота) направлять в одну сторону, превращать в поток, подобный речному. Но необходимо, чтобы продукты горения были газообразны или парообразны (летучи), с возможно низкой температурой ожигения. Если это так, то газ, расширяясь в трубе, все более и более охлаждается, теплота исчезает, заменяясь газовой струей. Если труба короткая, то газ вырывается из нее, имея высокую температуру, и энергия ее не будет использована (так бывает в пушках и ружьях). После выхода из трубы газ продолжает расширяться и охлаждаться, но движение происходит в разные стороны, что для нас непригодно. Еще хуже, если взрыв происходит без трубы. Чересчур длинная труба выгодна, но она обременит своей массой ракету и потому тоже не годится.

При шестикратном расширении газов абсолютная температура понижается вдвое. Использование тепла будет в 50%. При

* Положительных результатов в этом направлении не получено. (Ред.)

расширении в 36 раз используется уже 75% и т. д. Итак, труба должна быть настолько длинна, чтобы газ, при выходе, расширился по крайней мере в 36 раз. Еще лучше — в 1300 раз. Тогда пропадет только 5% всей тепловой энергии. Совершенно непригодны вещества, дающие нелетучие продукты, например окись кальция: энергия велика, но использовать ее трудно, так как нет газа (он есть только при очень высокой температуре, как на Солнце), нет расширения. Энергия превращается в лучистую и теряется в эфире. Терпимы парообразные продукты, в особенности в смеси с газообразными. Например, при сгорании углеводородов с кислородом или с его азотными соединениями выделяются газы (углекислый, азот) и пары воды. При сильном расширении прежде ожижаются в капли пары воды. Но, в присутствии газов, они передают свою теплоту газам, которые и используют их энергию. Также может быть использована и энергия, выделяемая при замерзании воды. Абсолютная температура взрывающихся газов в первый момент должна бы достигать 10 000°, но при такой температуре только малая часть элементов находится в соединении, остальная разложена. Первая, сложная часть, только при расширении своем и понижении температуры постепенно возрастает. Поэтому температура взрывающихся веществ на деле едва ли превосходит 3000°. На этом основании в последующей таблице 5 мы выражаем числами не степень тепла, а степень потенциальной энергии. Впрочем, начиная с тысячи, двух тысяч, это уже будет приблизительная температура.

Таблица 5

Использование теплоты в трубе

Расширение газов	1	6	36	216	1300	7800	46800
Температ[ура], °K (или энергия)	10 000	5000	2500	1250	625	312	156
Температ[ура], °C	9727	4727	2227	977	352	39	-147
Использование тепла, %	0	50	75	87	95	97	98,4
Потеря, %	100	50	25	13	5	3	1,6
Примерн[ая] плотн[ость] газов по отношению к воздуху	1000	167	28	4,6	0,77	0,13	0,02

Как видно, даже при использовании в 95% температура еще составляет 352° C. При ней пары в ожижение прийти не могут, и потому не используется при таком расширении даже скрытая теплота ожижения. Значит, выгодно дальнейшее расширение, возможное лишь в пустоте. Тогда труба еще должна удлиниться.

Взрывание при высоком давлении особенно необходимо во время полета в атмосфере. Взрывание не может давать давление, меньшее атмосферного, ибо в противном случае не будет

расширения и потока. Но и при много превышающем давлении использование будет тем меньше, чем ниже давление в сравнении с воздушным. Если, например, давление газов в 6 раз больше воздушного, то использование не может быть больше 50%. Если давление газов в 36 раз больше давления среды, то использование меньше 75% (см. табл. 5).

В пустоте — другое дело. Там упругость взрывающихся газов может быть очень мала, только труба будет шире, вес же ее останется почти без изменения. Мы не теряем в использовании, теоретически, ни при каком самом малом давлении взрыва, если только ракета в пустоте. Итак, выходит, что в начале полета снаряда давление в трубе должно быть очень высокое в сравнении с атмосферным; затем, по мере поднятия, это давление может пропорционально понижаться, а в эфире, вне воздуха, может быть как угодно слабо. На практике это мало применимо, так как труба должна быть для этого то узкой с толстыми стенками, то широкой со стенками тонкими.

Надо выбрать среднее давление, превышающее, конечно, атмосферное, и его придерживаться до получения устойчивого положения, подобного положению небесных тел. После этого давление может быть произвольно малым*.

Давление одних и тех же взрывных веществ может изменяться от 5000 атмосфер до желаемой малой величины. Дело в том, что в одной и той же трубе сила взрыва зависит от тщательности смешения элементов горения. Смешение может быть так совершенно, так тесно, что взрыв будет почти моментальный. И, наоборот, он может быть медленным, как горение при плохом смешении, когда части соединяющихся веществ очень крупны. Этим путем и регулируется давление. Так более или менее сильное действие пороха зависит от его приготовления.

При высоком давлении использование энергии велико, но требуется неодолимо большая работа для вталкивания масс во взрывную трубу. Поэтому надо, по возможности, не очень теряя в использовании, понизить максимальное давление в трубе. В температуре мы тут не выигрываем. Она неизбежно высокая, именно 3000—4000° С. Искусственное охлаждение наружных стенок трубы необходимо.

Мы можем сейчас указать на потребный минимум давления. Он определяется влиянием атмосферы, ее давлением. Если начать полет с высоких гор, то атмосферное давление можно при-

* Автор здесь пренебрегает трением в трубе; вследствие трения кинетическая энергия превращается в теплоту, и при очень больших скоростях газов в малых давлениях скорость газов опять уменьшится в трубе. Весьма низкие температуры получаются только при известных условиях (Прим. ред. к Избранным трудам К. Э. Циолковского, кн. II, «Реактивное движение». Л., ОНТИ, 1934).

нять в $0,3 \text{ кг/см}^2$. Это составляет около трети давления при уровне океана. Значит, при вылете газы трубы не должны иметь [давление] меньше $0,3 \text{ [кг/см}^2]$. В начале же трубы давление должно быть, по крайней мере, в 36 раз больше (использ[ование] 75%). Итак, максимальное давление газов не должно быть менее 10 ат. В нижних же слоях — не менее 30 ат. Во всяком случае, можно ограничиться ста атмосферами.

Рассчитаем величину площади основания взрывной цилиндрической трубы при этом давлении. Если ракета весит тонну, а со взрывным материалом 5 тонн, если давление на нее от взрыва в 2 раза превышает ее вес, то надо получить давление на дно трубы в 10 т. Площадь основания трубы будет равна 100 см^2 . Диаметр круглой площади основания составит 11,3 см. Мы уже говорили, как получить низкое давление: чем крупнее элементы взрыва, т. е. чем хуже они размешаны, тем взрыв слабее. Все же в запертом пространстве, в конце концов, давление достигнет огромной величины. Но, во-первых, труба широка и открыта, во-вторых, размешивание таково, что давление получается какое нам нужно. Повторяю, что мы нисколько не теряем энергии горения от слабого давления. При беспорядочном взрыве (взрыве частном в общей массе) происходит охлаждение и бурное движение (порыв). Но движение, не совершая работы, тут же превращается в теплоту, и температура восстанавливается. Физики хорошо это понимают. Если использование энергии и будет хуже при малом давлении, то виновата в этом атмосфера. Она не позволяет взрывчатым веществам расширяться неограниченно. Но зато при большом давлении труба будет короче, что составляет экономию веса. В пустоте, увеличивая длину трубы, мы можем довести использование энергии горения почти до 100%; но длина трубы будет тогда обременительно велика. Я много раз доказывал, что работа вталкивания взрывных материалов в трубу довольно велика и при наибольшем давлении неодолима. Для избежания этого можно сделать так, чтобы давление в начале трубы периодически менялось, например, от 200 ат до нуля и от нуля до 200. Оно будет волнистым. Среднее давление может быть в этом случае очень велико, лишь бы перенес его человек. Взрывчатые вещества тут должны вталкиваться в моменты слабейшего давления, периодически*. Тогда работа вталкивания будет ничтожна, а использование теплоты или химического средства гораздо больше. В воде же толчки не оградятся вредно на человеке.

* Циолковский формулирует здесь идею пульсирующего реактивного двигателя. (Ред.).

Движение ракеты от взрывания в пустоте и в среде, свободной от тяжести

Хотя и не выгодно давать отбросу относительную скорость, большую или меньшую абсолютной скорости снаряда, но при употреблении взрывчатых веществ относительная их скорость, поневоле, постоянна. Чем она вообще больше, тем большую скорость получает аппарат. Если так, то сначала скорость частиц отброса больше скорости ракеты и использование очень мало, затем обе скорости равны, использование полное. Далее, скорость отброса меньше, и использование уклоняется от полного. Короче, использование энергии, или переход ее в движение ракеты, начинается с нуля, постепенно возрастает, доходит до 100%, затем непрерывно уменьшается, спускаясь в пределе до нуля.

При взрывании мы имеем две потери. Прежде всего не вся энергия тепла превращается в движение отброса. Но чем длиннее труба и чем газообразнее продукты отброса, тем эта потеря меньше. В пределе она нуль. На практике использование не должно быть меньше 75%. Вторая потеря зависит от того, что отброс имеет одну и ту же относительную наибольшую скорость, не равную ускоряющемуся движению снаряда. Как увидим, эта потеря, при космических скоростях, составляет не менее 35%, а использование — не более 65%. В среде тяготения, в которой мы живем на Земле, оно меньше. Если принять вторичное использование в 50%, то ракета превращает в свое движение около 37% (0.75×0.5) всей потенциальной энергии взрывчатых веществ.

Имеем в пустоте и в среде, свободной от тяжести,

$$WdM + M_p dV = 0. \quad (32)$$

Но M_p состоит из постоянной массы M_1 (т. е. из снаряда, людей, запасов и разных принадлежностей) и переменной массы $[M]$ взрывчатых веществ, которые, сгорая, выбрасываются из ракеты. Значит, $M_p = M_1 + M$. Теперь вместо (32) получим:

$$WdM + (M_1 + M) dV = 0. \quad (33)$$

Отсюда

$$dV = -W \frac{dM}{M_1 + M}. \quad (34)$$

Интегрируя, найдем

$$V = -W \ln (M_1 + M) + \text{const.} \quad (35)$$

(\ln означает натуральный логарифм). Допустим, что при начале взрывания ракета не двигалась, т. е. $V = 0$ и $M = M_2$.

Тогда

$$\text{const} = W \ln (M_1 + M_2). \quad (36)$$

Следовательно,

$$V = W \ln \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 + M} \right). \quad (37)$$

Наибольшую скорость получает ракета, когда израсходуется весь запас взрывчатых веществ или когда $M = 0$.

В таком случае

$$V_{\max} = W \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (38)$$

Из последней формулы видно: 1) максимальная скорость снаряда (V_{\max}) тем больше, чем большую скорость имеет отброс (W); 2) V_{\max} может беспредельно возрастать с увеличением относительного количества (M_2/M_1) отброса. Но возрастание это, сначала довольно быстрое, потом делается все более и более медленным. Если отношение M_2/M_1 очень мало, то математики легко докажут, что $V_{\max} = W(M_2/M_1)$. Значит, в этом случае V_{\max} пропорциональна запасу M_2 . Напротив, в пределе, когда отношение (см. 38) очень велико, $V_{\max} = W \ln (M_2/M_1)$, т. е. возрастание скорости будет чрезвычайно медленное; 3) скорость ракеты не изменяется, если отношение M_2/M_1 остается постоянным. Отсюда видно, что космическая скорость не зависит от абсолютной величины массы снаряда. Иными словами, масса снаряда и его нагрузка произвольно велики, если не считаться с иными условиями; 4) окончательная V_{\max} не зависит от порядка взрывания. Проходит ли оно равномерно или нет, секунды или тысячелетия — это все равно. Даже перемены ничего не значат*.

Из (34) найдем

$$\frac{dV}{dt} = \frac{-W}{M_1 + M} \cdot \frac{dM}{dt}. \quad (39)$$

Первая часть выражает секундное ускорение в движении ракеты, т. е. силу рожденной в ней относительной тяжести (хотя кругом, по нашему условию, тяжести нет). Как видно (39), она пропорциональна интенсивности в расходе материала (dM/dt). Кроме того, по мере его (M) израсходования, кажущаяся тяжесть увеличивается, так как M уменьшается. Чтобы относительная тяжесть оставалась неизменной, необходимо постепенное ослабление интенсивности взрыва.

Тогда из (39) получим

$$\frac{-W}{M_1 + M} \cdot \frac{dM}{dt} = K, \quad (39_1)$$

* Это утверждение справедливо только для движения в свободном пространстве (внешних сил нет). (Ред.).

где K есть постоянная относительная тяжесть.

Отсюда

$$\frac{-W \cdot dM}{M_1 + M} = K \cdot dt. \quad (39_2)$$

Интегрируя, получим

$$-W \cdot \ln(M_1 + M) = K \cdot t + \text{const.} \quad (39_3)^*$$

Если $M = M_2$, то $t = 0$, следовательно,

$$t = \frac{W}{K} \cdot \ln \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 + M} \right). \quad (39_4)$$

Если $M = 0$, т. е. весь взрывчатый материал исчерпан, то

$$t_1 = \frac{W}{K} \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (39_5)$$

Значит, время всего взрывания обратно получаемой относительной тяжести и увеличивается с массой отброса.

Из (39₁) найдем

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{K}{W} (M_1 + M). \quad (39_6)$$

Отсюда видно, что наименьшая интенсивность взрывания или наименьшая их потеря бывает при конце взрывания, когда M осталось мало, а наибольшая — вначале, когда $M = M_2$.

В первом случае

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{KM_1}{W}, \quad (39_7)$$

а во втором

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{K}{W} (M_1 + M_2). \quad (39_8)$$

Отношение наибольшего расхода (в начале) к наименьшему (в конце) будет

$$1 + \frac{M_2}{M_1}. \quad (39_9)$$

Чем больше отношение M_2/M_1 , тем сильнее изменяется расход взрывчатого материала, и, наоборот, он почти постоянен при малом отношении. На практике силу взрывания изменять неудобно, проще переносить непостоянную тяжесть, погрузив людей и другие нежные предметы в жидкость.

Время взрывания всего запаса, при его равномерности, когда ускорение ракеты и относительная тяжесть возрастают, но расход

* Из (39₃) следует, что при постоянной перегрузке, обусловленной реактивной силой, масса ракеты будет изменяться по показательному закону. (Ред.).

взрывчатых веществ один и тот же, можно выразить еще так:

$$t_1 = M_2 : \frac{dM}{dt}. \quad (39_{10})$$

Тут производную можно заменить секундным расходом взрывчатого вещества. То же время, при равномерном ускорении ракеты и постоянной относительной тяжести в снаряде (39₁), но неравномерном расходе отброса, будет равно

$$t_1 = \frac{V_{\max}}{j} = V_{\max} : \frac{dV}{dt}. \quad (39_{11})$$

Производная тут выражает постоянное прибавление скорости снаряда в секунду.

Интересно знать, какая часть полной работы движущихся частиц отброса передается ракете. Имеем

$$E_2 = 0,5M_2 \cdot W^2, \quad (40)$$

$$E_2 = 0,5 \cdot M_1 V_{\max}^2. \quad (41)$$

Отсюда

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{M_1}{M_2} \cdot \left(\frac{V_{\max}}{W} \right)^2, \quad (42)$$

или на основании (38)

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{M_1}{M_2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2. \quad (43)$$

Отсюда можно вычислить, что использование не может быть больше 65%, а для получения космических скоростей оно может быть принято в 50%. Если запас взрывчатого вещества сравнительно невелик, то приблизительно получим вместо (43):

$$\frac{E_1}{E_2} = M_2 : M_1 \quad (45)^*$$

или, точнее

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{M_2}{M_1} \left(1 - \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (46)$$

Можно получить еще более точную формулу, зная, что

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} \dots \quad (47)$$

Из формул видно, что сначала, когда запас мал, полезность возрастает пропорционально запасу, затем медленнее, достигает наибольшей величины, потом медленно уменьшается и, в пределе, достигает нуля.

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

Отношение $M_2/M_1 = q$, соответствующее наибольшей полезности, определяется уравнением:

$\ln(1+q) = 2q/(1+q)$, где q близко к 4 (т. е. запас превышает вес ракеты в 4 раза), а использование 65%.

Таблица 6*

Отношение массы отброса к массе ракеты $M_2 : M_1$	V_{\max} , если скорость отброса = 5000 м/сек; формула (38)	V_{\max} , если скорость отброса = 4000 м/сек; формула (38)	Использование $\eta = \frac{E_1}{E_2}$ (в %); формула (43)	Приблизительное поднятие (в км) при постоянной земной тяжести
0,1	472,5	378	8,87	11,4
0,2	910	728	16,55	42
0,3	1310	1048	22,9	92
0,4	1680	1344	28,2	138
0,5	2025	1620	32,8	204
0,6	2345	1876	36,7	280
0,7	2645	2116	40,0	357
0,8	2930	2344	42,9	440
0,9	3210	2568	45,8	520
1	3465	2772	48,0	607
1,5	4575	3660	55,8	650
2	5490	4392	60,3	1520
3	6900	5520	63,5	2430
4	8045	6436	64,7	3300
5	8960	7168	64,1	
6	9730	7784	63,0	
7	10 395	8316	61,7	
8	10 985	8788	60,5	
9	11 515	9212	58,9	
10	11 930	9592	57,6	
15	13 865	11 092	51,2	На деле поднятие выше, ибо тяжесть ослабляется
20	15 220	12 176	46,3	
30	17 170	13 736	39,3	
50	22 400	17 920	31,0	
100	26 280	21 040	21,0	
193	30 038	24 032	14,4	
∞	∞	∞	0	

* Скорости отброса, принятые Циолковским при составлении таблицы, еще не достигнуты современной ракетной техникой. (Ред.).

Кроме того, что мы вывели аналитически, из таблицы [6] видим, что наибольшее использование (до 65%) энергии отброса бывает тогда, когда вес его в 4 раза больше веса ракеты. Но процент использования, вообще, не мал (около 50%), когда относительное количество отброса колеблется от 1 до 20, а соответствующие скорости от 3000 м/сек до 15 000. Это вполне достаточ-

ные космические величины. Две скорости таблицы относятся к разным взрывчатым материалам. Большая — к чистым — водороду и кислороду. Меньшая — к углеводородам и эндогенным соединениям кислорода. Для наглядности я прибавляю пятый столбец, который показывает (в км) наибольшее поднятие тела при земной и постоянной тяжести.

Наше исследование применяется в следующих случаях: 1) в среде без тяжести, например, между солнцами или млечными путями, где тяжесть близка к нулю; 2) на малых астероидах, малых лунах (луны Марса) и на всех малых небесных телах, например, на кольцах Сатурна, где тяжестью тоже можно пренебречь; 3) на орбите Земли; 4) в каждом месте любой солнечной системы, на каком угодно расстоянии от небесного тела, если снаряд вне атмосферы и приобрел или не приобрел скорость, препятствующую ему задевать небесное тело или его атмосферу.

Потом увидим, что для избежания потери энергии направление взрывания должно быть нормально к равнодействующей силе тяготения.

Отсюда видно, что достаточно только освободиться от планетной атмосферы и сделаться спутником этой планеты, хотя бы на очень близком от нее расстоянии, чтобы дальнейшее движение и перемещение по всей вселенной было совершенно обеспечено. Действительно, взрывание тогда может быть очень слабым, а энергия, необходимая для этого, может быть заимствована от энергии Солнца. Опорный материал дадут частицы альфа и бета, повсюду рассеянные, или болиды, космическая пыль и другая небесная мелочь.

Первый великий шаг человечества состоит в том, чтобы вылететь за атмосферу и сделаться спутником Земли*. Остальное сравнительно легко, вплоть до удаления от нашей солнечной системы. Но я, конечно, не имею в виду спуск на массивные планеты.

Движение ракеты в среде тяжести, в пустоте

Устраним мысленно атмосферу или вообразим себя на Луне или другой планете, имеющей сушу и не окруженной газами или парами. Медленным вращением планеты пренебрегаем. Полет снаряда может быть: 1) отвесным, 2) горизонтальным и 3) наклонным.

Разберем вопрос вообще (см. рис. 2).

На ракету действует сила тяжести (g), выражаемая секундным ускорением, затем сила взрывания по направлению длинной оси снаряда (j). Между направлениями этих сил образуется дан-

* Этот шаг осуществлен в Советском Союзе. 4 октября 1957 г. в нашей стране был запущен первый в мире искусственный спутник Земли. (Ред.).

ный угол α , больший 90° . Угол силы взрывания с горизонтом будет $\alpha - 90 = y$. Это будут три данных величины. Неизвестны: направление движения ракеты, определяемое углом β или углом x и величина равнодействующей p , т. е. секундное истинное ускорение снаряда (p).

Тригонометрия нам даст (см. рис. 2)

$$\begin{aligned} \alpha &= y + 90^\circ; \quad \sin \alpha = \cos y; \quad \cos \alpha = -\sin y; \\ \cos \beta &= -\sin x; \quad x = \beta - 90^\circ; \quad \operatorname{tg} \beta = -\operatorname{ctg} x. \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{ctg} x = \frac{j \cdot \sin \alpha}{g + j \cdot \cos \alpha} = \frac{j \cdot \cos y}{g - j \cdot \sin y}. \quad (48)$$

$$p = \sqrt{j^2 + g^2 + 2j \cdot g \cdot \cos \alpha} = \sqrt{j^2 + g^2 - 2j \cdot g \cdot \sin y}. \quad (49)$$

Известный угол y и неизвестный x проще, потому что они меньше прямого и определяют наклоны к горизонту силы взрывания

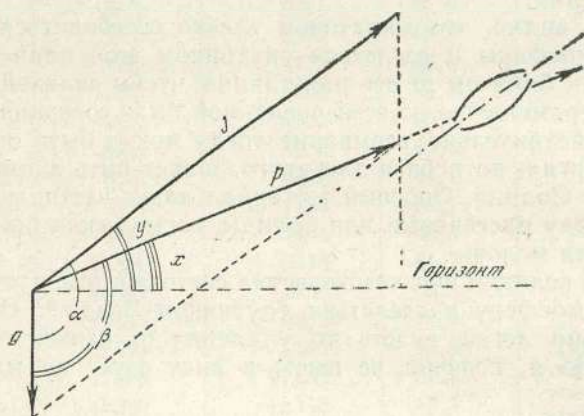


Рис. 2

(также оси ракеты) и равнодействующей (истинное направление движения снаряда).

Каково же будет использование в среде тяжести, в пустоте?

$$E_1 = 0,5M_1 \cdot V_{\max}^2 + A. \quad (65)$$

A есть работа поднятия ракеты, а E_1 — работа ракеты.

$$A = -\cos \beta \cdot l \cdot M_1 g = +\sin x \cdot l \cdot M_1 \cdot g. \quad (66)$$

l означает величину пролета или длину пути снаряда.

Если ρ и j будут постоянны, то

$$l = \frac{V_{\max}^2}{2\rho}, \quad (67)$$

и из (65—67)

$$E_1 = 0,5M_1 \cdot V_{\max}^2 \left(1 + \frac{g}{\rho} \cdot \sin x\right). \quad (68)$$

Далее

$$E_2 = 0,5M_2 \cdot W^2. \quad (69)$$

Из (68) и (69)

$$\eta = \frac{E_1}{E_2} = \frac{M_1}{M_2} \cdot \frac{V_{\max}^2}{W^2} \left(1 + \frac{g}{\rho} \sin x\right). \quad (70)$$

Из тригонометрии известно для всякого угла

$$\cos \beta = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}}. \quad (71)$$

Отсюда и из (48)

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{g + j \cdot \cos \alpha}{\sqrt{j^2 \cdot \sin^2 \alpha + (g + j \cdot \cos \alpha)^2}} = -\sin x = \\ &= \frac{g - j \cdot \sin y}{\sqrt{j^2 \cdot \cos^2 y + (g - j \sin y)^2}}. \end{aligned} \quad (72)$$

Из (70) теперь можем исключить неизвестный $\sin x$. Но надо еще исключить и V_{\max} . Имеем

$$t_1 = \frac{W}{K} \cdot \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1}\right). \quad (39_5)$$

Это есть полное время взрывания при постоянной относительной тяжести K . Но

$$K = j \text{ и } V_{\max} = \rho \cdot t_1. \quad (74)$$

Следовательно, из (39₅) и этого [74]

$$V_{\max}^2 = \rho^2 \cdot \frac{W^2}{j^2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1}\right) \right\}^2. \quad (75)$$

Теперь из (70), (72) и (75) найдем

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\rho^2 \cdot M_1}{j^2 \cdot M_2} \cdot \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1}\right) \right\}^2 \times \\ &\times \left(1 \pm \frac{g(g - j \cdot \sin y)}{\sqrt{j^2 \cdot \cos^2 y + (g - j \sin y)^2} \cdot \sqrt{j^2 + g^2 - 2jg \cdot \sin y}} \right). \end{aligned} \quad (77)$$

Когда тяжести нет, $g = 0$ и $\rho = j$. В этом случае последняя формула дает формулу (43). Определим по (77) использование η в том случае, когда взрывание горизонтально, т. е. когда $y = 0$. Тогда опять получим формулу (43). Легко и так видеть, что при направлении взрывания, нормальном к силе тяготения

(горизонтальном), использование такое же, как при полном отсутствии тяжести. Близко к планете (у самой поверхности) горизонтальное взрывание не применимо, так как ракета, понижаясь, заденет за почву. Но на некоторой высоте, даже в воздухе, оно возможно, а также тогда, когда ракета, в силу приобретенной космической скорости, уже не может задеть за атмосферу и носится, как небесное тело. Оно еще применимо к планетам без атмосфер, при движении снаряда по горизонтальному гладкому пути. Далее увидим и применение к движению в атмосфере.

Можем проверить формулу (77) еще на одном частном случае.

Положим, что движение снаряда отвесно, т. е. $y = 90^\circ$ и $p = j - g$. Тогда найдем

$$\eta = \frac{M_1}{M_2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \cdot \left(1 - \frac{g}{j} \right). \quad (80)$$

(Эта же формула была выведена ранее и содержится еще в печатных трудах 1903 г.*).

Из формулы видно, что отвесное движение ракеты очень не выгодно, в особенности, когда j немного превышает тяжесть. Напротив, чем больше сила взрывания j по отношению к g , тем потеря меньше и η больше. Сравнивая полезность в свободной от тяжести среде (43) с полезностью в среде тяготения при отвесном движении (80), видим, что последняя полезность меньше первой в $1 : (1 - g/j)$. Относительная потеря выражается дробью g/j . Если, например, сила взрывания в 10 раз больше веса ракеты, то потеря составит 0,1. Но когда обе силы равны, то потеря равна 100%, т. е. вся энергия теряется безрезультатно для снаряда. Действительно, в этом случае ракета уравновешена, не поднимается и не получает никакой скорости. При бесконечной силе (j) взрыва использование, как в среде без тяжести. Но сильное взрывание все убивает и разрушает внутри снаряда. Его можно применить только при снарядах без людей и сложных аппаратов.

Таблица 7

Среда тяжести. Отвесное движение ракеты

$j:g$	1	2	3	4	5	10	∞
Полезность, %	0	50	66,7	75	80	90	100
Скорость, %	0	70,7	81,7	86,6	89,4	94,9	100

* Данная формула получается на основании § 26 и формулы (51) в работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами»; см. наст. книгу, стр. 92 и 98. (Ред.).

Как видно, отвесное движение сопровождается большой потерей энергии, в особенности, когда сила взрыва (j) невелика. Тут j должно быть больше g , в противном случае даже никакого движения не получится. Последняя строка выражает в процентах наибольшую соответствующую скорость. На самом деле скорость выражается второй строкой, потому что часть энергии пойдет на поднятие во время взрыва (доказано в 1903 г.).

Полет ракеты в среде тяжести, в воздухе

Положим, что горизонтально расположенная ракета в среде тяжести двигается еще под влиянием горизонтальной силы. Сначала сила тяжести заставит ее падать под углом от 90° и меньше. Точнее — тангенс (tg) этого угла равен g/i^* . Но через несколько секунд горизонтальная составляющая скорости ракеты будет такой громадной, что отвесное движение снаряда, при его

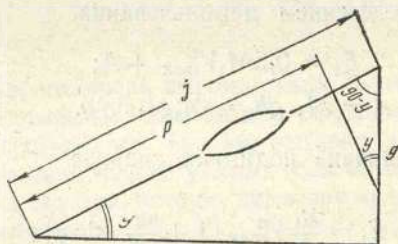


Рис. 3

большой поверхности, станет совершенно незаметным в сравнении с горизонтальной составляющей **. Тогда ракета будет двигаться почти горизонтально, как по рельсам. Можно вычислить, что падение ракеты, вследствие сопротивления воздуха, при значительной боковой поверхности снаряда (вертикальная проекция) может быть только очень медленным, даже все более и более медленным по мере увеличения скорости ракеты. Так же будет обстоять дело и при наклонном движении снаряда, если наклон не превышает $30\text{--}40^\circ$. Тогда снаряд, спустя несколько секунд от начала движения, двигается как по наклонным рельсам.

Примерное падение хорошо устроенной ракеты, при отсутствии горизонтального движения, составит только $20\text{--}30$ м/сек.

* Предполагается, что начальная скорость ракеты равна нулю. (Ред.).

** По-видимому, Циолковский имеет в виду действие подъемной силы при полете ракеты. Если подъемная сила равна нулю, то по закону независимого действия сил движение по вертикали не зависит от движения по горизонтальному направлению. (Ред.).

При огромной же поступательной скорости оно должно дойти до 1 м/сек и менее. Что же это в сравнении с космической скоростью?

Из чертежа [рис. 3] имеем, приблизительно

$$V_{\max} = p \cdot t_1, \quad (83)$$

$$p = j - g \cdot \sin y, \quad (84)$$

$$K = j, \quad (85)$$

$$t_1 = \frac{W}{j} \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right), \quad (86_*)$$

$$V_{\max} = (j - g \cdot \sin y) \cdot \frac{W}{j} \cdot \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (86)$$

Это при постоянном j .

Формулы еще более пригодны при движении снаряда по наклонной неподдающейся плоскости, т. е. при ускоренном движении по горе (вверх).

Займемся определением использования.

$$E_1 = 0,5M_1V_{\max}^2 + A; \quad (87)$$

$$A = M_1 \cdot gh = M_1 gl \cdot \sin y. \quad (88)$$

Тут h есть величина поднятия снаряда.

Отсюда

$$E_1 = \frac{M_1}{2} V_{\max}^2 \left(1 + \frac{g}{p} \cdot \sin y \right). \quad (89)$$

Далее

$$E_2 = \frac{M_2 W^2}{2}. \quad (90)$$

Следовательно,

$$\frac{E_1}{E_2} = \eta = \frac{M_1}{M_2} \cdot \frac{V_{\max}^2}{W^2} \left(1 + \frac{g}{p} \cdot \sin y \right). \quad (91)$$

С помощью (86) и (84) из этого найдем

$$\eta = \frac{M_1}{M_2} \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \cdot \left(1 - \frac{g}{j} \cdot \sin y \right). \quad (92)$$

Упрощая формулу (77), при малых углах y , получим приближенно и эту самую (92) формулу (см. еще 49 формулу).

Если ракета горизонтальна $y = 0$, то полезность из (92) получим согласно формуле (43). Так же (из 92), если $y = 90^\circ$, получим известную формулу (80).

Видим, что полезность в пустоте (77) вообще не та, что в атмосфере или, вернее, — в пустоте при движении снаряда по наклонной плоскости.

Потеря, по сравнению со свободной от тяжести средою, будет:

$$\frac{g}{j} \cdot \sin y. \quad (93)$$

Если, например, $g : j = 0,3$; $y = 20^\circ$; $\sin y = 0,342$, то потеря составит 11,4%. При угле, вдвое меньшем, потеря — 5,7%. Прилагаем таблицу 8.

Таблица 8

Среда тяжести в атмосфере. Наклонное движение. Потеря энергии в процентах при разных $j : g$

Сила взрыва- ния	Угол наклона, в градусах								
	1	2	5	10	15	20	25	30	35
10	0,17	0,34	0,85	1,7	2,6	3,4	4,2	5	5,7
5	0,34	0,64	1,7	3,4	5,2	6,8	8,4	10	11,4
2	0,85	1,7	4,25	8,5	13	17	21	25	28,5
1	1,7	3,4	8,5	17	26	34	42	50	57

Отсюда видно, что очень выгодно было бы пускать ракету при самом сильном взрывании, если бы не разрушительное его действие и технические затруднения. Так же выгодно было бы направлять ракету по самым наименьшим углам, если бы не работа сопротивления атмосферы. Вообще, потеря, даже при малой силе взрывания, может быть доведена до 1%.

Более точное вычисление сопротивления атмосферы

Я все же в последующем упрощаю формулы, данные мною в 1911—1912 гг. Допускаю температуру воздуха постоянной. Благодаря этому атмосфера распространяется без конца. Тогда имеем известную формулу

$$h = \frac{P_a}{d_1} \cdot \ln \left(\frac{d_1}{d} \right), \quad (95)$$

где P_a/d_1 есть высота воображаемой атмосферы h_1 при постоянной плотности d_1 ; [P_a — давление атмосферы, соответствующее d_1]. Значит

$$\frac{h}{h_1} = \ln \left(\frac{d_1}{d} \right) \quad (96)$$

и

$$d = d_1 \cdot e^{-\frac{h}{h_1}}. \quad (97)$$

Соппротивление воздуха, или давление (R) его на ракету от ее движения, будет

$$R = \frac{F}{a} \cdot d \frac{V^2}{2g}. \quad (98)$$

Это давление (Понселе) не в абсолютных единицах, а в обыкновенных мерах, например в тоннах. При наклонном движении ракеты длина (l) пути составит

$$l = \frac{h}{\sin y}. \quad (99)$$

Имеем

$$p = j - g \cdot \sin y \quad (84)$$

и

$$V = \sqrt{2p \cdot l}. \quad (84_1)$$

Отсюда

$$V = \sqrt{2(j - g \cdot \sin y) \cdot l}. \quad (100)$$

Элемент работы сопротивления воздуха выразится

$$dT = R dl. \quad (101)$$

Из этого, (97), (98), (99) и (100), найдем

$$dT = \frac{F d_1}{ag} (j - g \cdot \sin y) \cdot l \cdot e^{\frac{-l \cdot \sin y}{h_1}} \cdot dl. \quad (102)$$

Положим тут

$$\frac{l \cdot \sin y}{h_1} = \frac{h}{h_1} = x \text{ (см. 99);}$$

$$dx = \frac{\sin y}{h_1} \cdot dl = \frac{dh}{h_1}; \quad dl = \frac{h_1 \cdot dx}{\sin y}.$$

Тогда найдем

$$dT = \frac{F(j - g \cdot \sin y) \cdot d_1}{ag \cdot \sin^2 y} \cdot h_1^2 \cdot e^{-x} \cdot dx. \quad (103)$$

Полагая тут

$$\frac{F(j - g \cdot \sin y)}{ag \cdot \sin^2 y} \cdot d_1 \cdot h_1^2 = A. \quad (104)$$

Интегрируя и определяя постоянное, получим (см. 99)

$$T = A \left\{ 1 - \left(1 + \frac{h}{h_1 \cdot \sin^2 y} \right) \cdot e^{\frac{-h}{h_1 \cdot \sin^2 y}} \right\} = A \left\{ 1 - \left(1 + \frac{l}{h_1 \sin y} \right) \cdot e^{\frac{-l}{h_1 \sin y}} \right\}. \quad (105)$$

Положим

$$\frac{l}{h_1 \cdot \sin y} = \frac{h}{h_1 \cdot \sin^2 y} = z. \quad (106)$$

Тогда

$$T = A \cdot \{ 1 - (1 + z) \cdot e^{-z} \}. \quad (107)$$

Нам надо определить полную работу сопротивления атмосферы. Для этого надо положить

$$h = \infty \text{ или } z = \infty.$$

Имеем

$$e^{-z} = \frac{1}{e^z} = \frac{1}{1 + \frac{z}{1} + \frac{z^2}{1 \cdot 2} + \frac{z^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} \dots} \quad (108)$$

Следов[ательно]

$$(1+z)e^{-z} = e^{-z} + z \cdot e^{-z} = \\ = e^{-z} + \frac{z}{1 + \frac{z}{1} + \frac{z^2}{1 \cdot 2} + \dots} = \frac{1}{e^z} + \frac{1}{\frac{1}{z} + 1 + \frac{z}{1 \cdot 2} + \frac{z^2}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots} \quad (109)$$

Отсюда ясно, что если h или z равно бесконечности, то и выражение (109) обращается в нуль. Значит, тогда работа сопротивления

$$T = A. \quad (110)$$

Полную работу отвесного движения получим из форм[улы] (104), если положим $y = 90^\circ$. Тогда найдем

$$T = \frac{F(j-g)}{ag} \cdot d_1 \cdot h_1^2. \quad (111)$$

Сравнивая эту работу с полной работой наклонного движения, увидим, что последняя больше первой во столько раз

$$\frac{j-g \cdot \sin y}{(j-g) \cdot \sin^2 y}. \quad (112)$$

Если j велико или y невелик, то, приблизительно, можем считать, что работа наклонного движения обратна квадрату синуса угла наклона. Значит, когда наклона нет и движение горизонтально, то полная работа сопротивления бесконечна. Но это не правильно, так как равноплотные слои атмосферы не могут считаться горизонтальными, как мы это приняли, — вследствие сферичности Земли. Одним словом, для малых углов формулы не применимы. Так, если принять высоту атмосферы заметной плотности в 50 км, то легко вычислить, что горизонтальный путь больше наклонного только в 15,5 раза. Если же принять высоту в 5 км, то горизонтальный путь больше отвесного будет в 155 раз. Значит, горизонтальная работа не может быть бесконечной. По форм[уле] (104) можем вычислить полную работу отвесного движения. Допустим: $F = 2$; $j = 100$; $g = 10$; $h_1 = 8000$; $d_1 = 0,0013$; $a = 100$. Тогда $T = 14,976$ тм. Она совсем незначительна даже в сравнении с одной работой движения ракеты, имеющей массу в 10 т (без взрывчатых веществ) и освобождающейся от силы земной тяжести (11 км скорости [в сек]). Эта работа более 60 миллион[ов] тм. Значит, она в 4000 раз с лишком больше работы отвесного сопротивления атмосферы. Начав движение снаряда с высочайших гор, там, где воздух реже в 3—4 раза, увидим,

согласно форм[уле] (104), что эта работа еще уменьшается пропорционально разрежению, т. е. тоже в 3—4 раза.

От наклонного движения она увеличивается не очень сильно. По формуле (112) можем это вычислить, положив $j = 30$, $j = 20$ и $g = 10$.

Таблица 9

y	10	20	30	40	50	90
T [при] $j = 30$	46,7	11,3	5	2,85	1,92	1
T [при] $j = 20$	60	14,2	6,0	3,3	2,1	1
$1 : \sin^2 y$	33	8,55	4	2,42	1,70	1

Из второй строки видно, что с 20° наклона работа увеличивается в 11 раз. Потом, из сравнения 2 и 3 строк с четвертой видно, что работу можно грубо считать пропорциональной $1 : \sin^2 y$. Чем больше j , тем близость эта значительнее, и наоборот. Третья строка показывает увеличение работы при $j = 20$. При малых углах истинная работа, вследствие сферичности Земли, гораздо меньше.

Мы видели, что работа сопротивления при отвесном движении составляет $1/4000$ часть работы движения ракеты, но и при наклонном движении она менее одного процента.

Интересна зависимость работы сопротивления от пройденного пути или достигнутой высоты h . Полная работа выражается форм[улой] (104), остающаяся — форм[улами] (107) и (108). Она зависит от наклона (y) и высоты поднятия. Составленная мною табл[ица] 10 и показывает эту зависимость.

Таблица 10*

Относительная остающаяся работа сопротивления, %								
Угол, град h , км	1	5	10	20	30	40	50	90
4	0	0	0	3,6	25	45	59	74
8	0	0	0	0,094	5,4	19	32	53
16	0	0	0	0	0,14	2,4	7,9	25
24	0	0	0	0	0	0,305	2	11

* В 1934 г. при издании «Избранных трудов» К. Э. Циолковского эта таблица была пересчитана редактором II тома Ф. А. Цандером. (Ред.).

Из последних 4 строк видно: 1) при пролете в 4 км сравнительная остающаяся работа незаметна от 0 до 10° наклона. Даже при 20° она составляет менее 4%; 2) при пролете в 8 км (высоты), даже при наклоне в 30° , она около 5%, а при 40° равна 19%; 3) при поднятии на высоту 16 км она даже при отвесном движении равна 25%, а при поднятии на 24 км — не больше 11%. При наклонах же почти незаметна.

Самый выгодный угол полета

По формуле (77) или (93) можем вычислить потерю работы от наклона в среде тяжести. По формуле (104) определяем соответствующую потерю от сопротивления атмосферы. Составив таблицу и выставив сумму потерь, увидим, какой наклон сопровождается наименьшей потерей. Он и будет самым выгодным.

Но и без таблиц можно, приблизительно, определить наивыгоднейший угол наклона. Потеря от наклонного движения снаряда выражается (см. 93)

$$\frac{g}{j} \cdot \sin y, \text{ в абсолютных единицах.} \quad (113)$$

Потеря от сопротивления атмосферы, в абсолютных единицах, будет [см. 104]

$$Ag = \frac{F}{a} \cdot \frac{(j - g \cdot \sin y)}{\sin^2 y} \cdot d_1 \cdot h_1^2. \quad (114)$$

Работа ракеты равна

$$E_1 = 0,5 \cdot M_1 \cdot V_{\max}^2 = 0,5 \cdot M_1 \cdot W^2 \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \text{ (см. 38).} \quad (115)$$

Поэтому обе потери, в абсолютных единицах, будут:

$$E_1 \cdot \frac{g}{j} \sin y + Ag = E_1 \frac{g}{j} \sin y + \frac{F}{a} \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot \left(\frac{j - g \cdot \sin y}{\sin^2 y} \right) = Z. \quad (116)$$

Взяв производную этого выражения и приравняв ее нулю, получим уравнение, неудобное для решения относительно $\sin y$.

Но еще в 1911—1912 гг. мы доказывали, что выгоднейший угол невелик. Поэтому можем у 2-го члена пренебречь выражением $g \cdot \sin y$.

Тогда уравнение (116) превратится

$$Z = E_1 \cdot \frac{g}{j} \cdot X + \frac{F}{a} \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot \frac{j}{X^2}. \quad (117)$$

Здесь $\sin y = X$. Дифференцируя это уравнение, приравнявая первую производную к нулю и определяя X , получим

$$X = \sin y = \sqrt[3]{\frac{2Fd_1h_1^2j^2}{aE_1g}}. \quad (118)$$

С помощью (115)

$$\sin y = \sqrt[3]{\frac{4Fd_1h_1^2j^2}{aM_1 \cdot W^2 \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \cdot g}}. \quad (119)$$

Отсюда видно, что выгодный угол y : 1) увеличивается с энергией взрывания j и обширностью F ракеты и 2) уменьшается с увеличением полезности формы a [и] массы отброса относительно массы

снаряда (M_2/M_1). На планете с большой тяжестью (g_1) он тоже уменьшается, и наоборот. Положим в (119): $F = 2$, $d = 0,0013$; $h_1 = 8000$; $j/g = 10$; $a = 100$; $M_1 = 10$; $W = 5000$. Тогда вычислим $\sin y = 0,167$ и $y = 9^\circ 35'$. При $j = 20$, $\sin y = 0,57$ и $y = 3^\circ 20'$.

Но при таких малых углах сопротивление атмосферы ввиду ее сферичности будет гораздо меньше. Значит, и выгодный угол будет еще меньше.

Из формулы (117) найдем относительную потерю от обеих причин

$$\frac{Z}{E_1} = \frac{g}{j} \cdot X + \frac{Fd_1 j}{aE_1 X^2} \cdot h_1^2 = \frac{g}{j} X + \frac{2Fd_1 j h_1^2}{aM_1 W^2 \cdot \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \cdot X^2} \quad (120)$$

Ускорение ракеты без тяжести (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sin y = X$	0,0097	0,0154	0,0204	0,0246	0,0292	0,0326	0,0356	0,0392	0,0422
Угол (y)	0,56°	0,88°	1,17°	1,41°	1,68°	1,86°	2,07°	2,26°	2,43°
$Z : E_1 =$ Потеря, %	14,6	11,6	10,2	9,23	8,57	8,07	7,66	7,33	7,05

Покажем более простую формулу для определения процентной потери.

Разделив второй член на третий (в 120), узнаем, во сколько раз потеря от влияния тяжести более, чем потеря от сопротивления воздуха. Затем, исключив из этого отношения X с помощью (119), получим число 2. Из этого видно, что при наимыгоднейшем наклоне потеря от тяготения вдвое больше потери от сопротивления воздуха. Следовательно,

$$\frac{Z}{E_1} = \frac{g}{j} \cdot X + \frac{g}{2j} \cdot X = \frac{3}{2} \cdot \frac{g}{j} \cdot X. \quad (121)$$

Так, при углах в 9 и 3° найдем полную потерю в $0,025$ и в $0,0428$, т. е. в $2,5\%$ и $4,3\%$.

Из (121) и (119) выведем полную относительную потерю

$$\frac{Z}{E_1} = \sqrt[3]{\frac{27Fd_1 h_1^2 g^2}{2aM_1 W^2 \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2 \cdot j}} \quad (122)$$

Площадь подобно изменяющегося тела возрастает пропорционально квадрату его размеров, а объем и масса — кубу их. Следовательно, потеря уменьшается с увеличением размеров

ракеты, а также с улучшением формы a снаряда и увеличением j или силы взрывания только очень медленно. Если, например, j увеличится в 8 раз, то потеря уменьшится только вдвое. Весьма выгодно лететь при малом j , от чего, как видно, проиграем, не много. При $j = 10$, $X = \sin$, $y = 0,036$, $y = 2^\circ 10'$ и $Z : E_1 = 0,054$. Следовательно, угол очень мал, а потеря = 5%. На деле она гораздо меньше от шарообразности Земли.

Положим в формулах $a = 50$, j разное, а прочее, как раньше: $F = 2$, $d_1 = 0,0013$, $h_1 = 8000$, $M_1 = 10$, $W = 5000$.

Тогда составим следующую приблизительную табл. 11.

Таблица 11

10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	200
0,0453	0,059	0,072	0,083	0,094	0,114	0,133	0,150	0,182	0,211	0,333
2,60°	3°25'	4°10'	4°45'	5°25'	6°33'	7°40'	8°40'	10°30'	12°10'	19°30'
6,80	5,94	5,40	4,97	4,71	4,28	3,98	3,75	3,40	3,16	2,50

При малом наклоне, оказывается, необходимо и малое ускорение, что очень выгодно с технической стороны. Жаль, что потеря получается при этом наибольшая (до 14,6%).

Мы даем тут ускорение для снаряда от 1 до 200 м/сек², что соответствует от 0,1 до 20 по отношению к силе земной тяжести (10 м/сек²). Если, например, ракета весит 10 т, то давление взрывчатых веществ на нее в конце пути по одной до 200 т. Угол наклона изменяется от полградуса до 20°. Потеря энергии от тяжести сопротивления атмосферы от 15% до 2^{1/2}. Кажется странным, что потеря меньше при больших наклонах; но это объясняется огромностью ускорения j . Потеря же при малых углах на самом деле еще меньше, ввиду изгиба атмосферы на шаровой поверхности Земли.

Если масса ракеты (M_1) будет в 8 раз меньше, то по (119) и (122) видно, что синусы углов и потери в таблице увеличатся вдвое. Так, при $j = 30$ угол будет около 11°, а потеря — около 9^{1/2}%.

По таблице и формуле (114) легко показать, что приближенные формулы не дают большей ошибки даже при $j = 1$. При большем j она гораздо меньше.

Тяжесть, сопротивление атмосферы и изгиб Земли

Из (101), (98), (97) и (100) получим в обыкновенных единицах

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} (j - g \cdot \sin y) \cdot e^{\frac{-h}{h_1}} dl. \quad (122_1)$$

Для плоской Земли имели еще в помощь формулу (99) $l = h : \sin y$. Но для истинной формы Земли она применима только при очень острых углах y . Для всяких углов легко найдем более точную формулу

$$h = l \cdot \sin y + \frac{l^2}{2R} = l \left(\sin y + \frac{l}{2R} \right), \quad (123)$$

где R есть радиус Земли.

Отсюда можем вычислить

$$l = -R \cdot \sin y \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2h}{R \cdot \sin^2 y}} \right). \quad (124)$$

Положим

$$\frac{2h}{R \cdot \sin^2 y} = x; \quad \sqrt{1 + x} = 1 + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8} + \frac{x^3}{16} \dots \quad (125)$$

Ограничиваясь тремя членами, получим

$$l = -R \sin y \left(-\frac{x}{2} + \frac{x^2}{8} \right) = \frac{h}{\sin y} - \frac{h^2}{2R \sin^3 y} = \frac{h}{\sin y} \left(1 - \frac{h}{2R \cdot \sin^2 y} \right). \quad (126)$$

Решим задачу о работе сопротивления атмосферы в частном случае, когда полет горизонтален и $y = 0$.

Тогда

$$h = \frac{l^2}{2R} \quad \text{и} \quad l = \sqrt{2Rh}. \quad (127)$$

Далее из (102)

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot e^{\frac{-h}{h_1}} \cdot l \, dl = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot e^{\frac{-l^2}{2Rh_1}} \cdot l \cdot dl \quad (\text{см. (127)}). \quad (128)$$

Положим

$$\frac{l^2}{2R \cdot h_1} = u.$$

Тогда

$$l \, dl = R h_1 \, du \quad (129)$$

и вместо (128)

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot R \cdot h_1 \cdot e^{-u} \cdot du = A \cdot e^{-u} \cdot du. \quad (130)$$

Интегрируя и определяя постоянное, найдем

$$T = A (1 - e^{-u}) = A \left(1 - e^{\frac{-h}{h_1}} \right) = A \left(1 - e^{\frac{-l^2}{2Rh_1}} \right). \quad (131)$$

Тут

$$A = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j R h_1. \quad (132)$$

Это выражение определяет и полную работу сопротивления атмосферы.

Для вертикального движения имели

$$T = \frac{F(j-g)}{ag} \cdot d_1 h_1^2. \quad (111)$$

При отвесном движении снаряда работа сопротивления атмосферы будет меньше во столько раз (132 и 111)

$$\left(\frac{j}{j-g}\right) \cdot \frac{R}{h_1}. \quad (133)$$

Положим тут: $j = 100$; $g = 10$; $h_1 = 8000$. Тогда, по (133), получим число 883, т. е. работа при горизонтальном движении чуть не в тысячу раз больше, чем та же работа сопротивления атмосферы при отвесном полете снаряда. Такая огромность работы объясняется тем, что снаряд с возрастающей скоростью должен пролетать очень плотные слои атмосферы. Итак, путь, близкий к горизонтальному, очень невыгоден: работа сопротивления поглотит огромную часть живой силы ракеты, и последняя не приобретет достаточной скорости. Мы видели, что работа отвесного сопротивления воздуха составляет примерно четырехтысячную часть кинетической энергии снаряда (при $M_1 = 10$ т). Значит, горизонтальное сопротивление поглотит около пятой доли (22,2%). По таблице 11 при наклоне в полградуса (0,56) потеря несколько меньше, именно около 15% (14,6). Здесь только $\frac{1}{3}$ приходится на сопротивление воздуха, т. е. 5%. Так мало потому, что ускорение по таблице в 100 раз меньше, чем мы приняли. Тут и потеря от влияния тяжести.

Из (132) видно, что T много зависит от j и что горизонтальные полеты выгодны при малом j . Так можем вычислить для разных j работу сопротивления атмосферы при горизонтальном движении снаряда. Положим по-прежнему: $F = 2$, $a = 50$; тогда (см. 132)

$$T = 264\,800 \cdot j. \quad (134)$$

Работа ракеты будет (из 41 и 38)

$$E_1 = 0,5 \cdot M_1 \cdot W^2 \left\{ \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2. \quad (135)$$

Работа ракеты для одоления земной тяжести при $M_1 = 10$ составит около $64 \cdot 10^6$. Это более сопротивления атмосферы в (240 : j) раз.

Составим табл. 12.

Таблица 12

Сила взрыва (j) . . .	1	2	5	10	20	30	50	100
Потеря, %	0,42	0,83	2,1	4,2	8,3	12,5	20,8	41,7

Даже при ускорении 5, т. е. в половину земной тяжести (10), потеря около 2%.

Спуск на Землю, посещение планет и возвращение домой

Положим, что ракета поднялась на такую-то высоту, потеряв всю скорость при отвесном полете. Под влиянием тяготения она будет падать обратно, приобретет значительную скорость и расшибется о Землю, несмотря на тормозящее действие атмосферы. Даже одно тормозящее действие последней может разрушить снаряд или убить находящийся в нем организм. Но если мы вообразим, что у ракеты после поднятия остался запас взрывчатого вещества и она употребила его с тем, чтобы замедлять скорость своего падения совершенно в том же порядке, как она эту скорость увеличивала, поднимаясь с Земли, то спуск совершится благополучно, и у самой поверхности планеты снаряд остановится, т. е. спокойно спустится на Землю.

Если для поднятия количество взрывчатых веществ должно превышать в q_1 раз вес ракеты со всем содержимым, то и для благополучного спуска нужен запас, равный массе ракеты, умноженной на q_1 . Для одного поднятия массы ракеты со взрывчатым веществом будет

$$M_1 + M_1 \cdot q_1 = M_1(1 + q_1). \quad (136)$$

Для спокойного спуска требуется еще запас взрывчатых веществ, в q_1 раз больший этой массы (136), т. е.

$$M_1(1 + q_1) \cdot q_1. \quad (136_1)$$

Вместе с ракетой и первым запасом (136) это составит

$$M_1(1 + q_1)q_1 + M_1(1 + q_1) = M_1(1 + q_1)^2. \quad (136_2)$$

Масса одного запаса будет

$$M_1(1 + q_1)^2 - M_1 = M_1\{(1 + q_1)^2 - 1\}. \quad (137)$$

Если, например, $M_1 = 1$, $q_1 = 9$, то запас будет 99, т. е. вес его в 99 раз больше веса ракеты с содержимым (кроме взрывчатых веществ). Такой обильный запас едва ли осуществим. Еще труднее дело, когда мы пожелаем подняться с Земли, спуститься на какую-либо чуждую планету (находящуюся, положим, на орбите Земли), подняться с нее и возвратиться домой.

Другое дело, если поднятие снаряда невелико и потому q_1 есть малая дробь. Тогда запас приблизительно будет: $2M_1q_1$ (см. 137). Значит, тогда запас только удваивается.

Но поднятие на незначительную высоту не имеет космического значения.

Поднятие с Земли и спуск на чуждую планету, на орбите Земли (такой нет: это допущение), требует запаса

$$M_1\{(1 + q_1) \cdot (1 + q_2) - 1\}. \quad (138)$$

Здесь q_2 означает относительное количество взрывчатых веществ, потребное для поднятия или спуска на чуждую планету.

Если на этой планете мы не можем сделать запаса взрывчатых веществ, а, между тем, хотим улететь с планеты и возвратиться на Землю, то с последней заранее мы должны взять запас

$$M_1 \{(1 + q_1)^2 \cdot (1 + q_2)^2 - 1\}. \quad (139)$$

Допуская, что чуждая планета по массе и объему, как Земля, найдем запас равным

$$M_1 \{(1 + q_1)^4 - 1\}. \quad (140)$$

Положим тут $q_1 = 9$ и $M_1 = 1$. Тогда запас 9999, т. е. совершенно неосуществим. Приблизительно, здесь можно подразумевать Венеру. Еще менее осуществимо путешествие на Юпитер и другие массивные планеты, ибо для них q_2 громадно. Напротив, путешествие на астероиды, особенно на маленькие, достижимое, так как q_2 можно считать нулевым. Тогда путь на любой из них (опять предполагая их на орбите Земли) и возвращение на Землю требует запаса по формуле (137).

Посещая разные планеты, не имея возможности на них делать запасы и возвращаясь на Землю, мы, вообще, должны делать такой запас

$$M_1 \{(1 + q_1)^2 \cdot (1 + q_2)^2 \cdot (1 + q_3)^2 \cdot (1 + q_n)^2 - 1\}; \quad (141)$$

n есть число планет, считая и Землю. При равенстве их с Землей получим запас

$$\{(1 + q_1)^{2n} - 1\} \cdot M_1. \quad (142)$$

Очевидно, такое последовательное посещение планет еще невозможнее. Правда, мы можем поступить целесообразнее. Спуститься, например, на Марс (работу изменения расстояния от Солнца пока не считаем), возвратиться на Землю и сделать на ней новый запас, чтобы посетить, например, Меркурий. Но как бы ни была мала посещаемая планета, относительный запас взрывчатых веществ не может быть менее 99. И это почти неодолимо, Как же быть?

Еще в июле 1924 г. в моей статье, оправленной в «Технику и жизнь», и неизданной там, но возвращенной и штемпелеванной, я указал на выход. В 1926 г. то же подтвердил в своей книге инженер Гоманн*. Привожу тут выдержку из упомянутой моей рукописи.

«...Путники, достигнув значительного удаления от Земли, думали, что они носятся в абсолютной пустоте. Однако, в этом они

* W. Hohmann. Die Erreichbarkeit der Himmelskorpen München und Berlin, 1925. (Ред.).

ошиблись: следы атмосферы и тут еще оказались. Поэтому их экипаж, испытывая небольшое сопротивление среды, описывал спираль с очень малым шагом, которая приближала его непрерывно, хотя и очень медленно, к Земле. Они сделали такое множество оборотов вокруг нее, что даже потеряли им счет. Все же возвращение на Землю было неизбежно... Сначала скорость движения ракеты росла и центробежная сила почти уравновешивала тяготение Земли, несмотря на увеличение этого тяготения.

Потом скорость снаряда стала уменьшаться, вследствие уплотнения атмосферы и усилившегося от этого сопротивления воздуха. Тогда путники стали планировать, подняв нос ракеты кверху с помощью руля, который работал, как аэроплан. Они могли теперь не только умерить падение, но даже превратить его в поднятие, пока еще не была потеряна скорость. Но это было излишним и могло кончиться утратой скорости на высоте и гибелью ракеты, превратившейся в бескрылый аэроплан. Они снижались, но не так быстро, чтобы с силою удариться в планету, и не так медленно, чтобы остаться на высоте без скорости. Путники только молили судьбу, чтобы падение пришлось не на сушу, а в море. В самом деле, спуск был гораздо опаснее, чем на аэроплане, так как у снаряда не было крыльев и требовалась большая скорость, чтобы уравновесить тяжесть сопротивлением воздуха (при чуть наклонном движении) и спуститься не круто, а почти горизонтально. Вода тут была всего надежнее. Судьба услышала их мольбу, и они полого, задевая все более и более морские волны и теряя от этого скорость, влетели в океан. Движение все же не совсем иссякло, и они проплыли порядочное расстояние, прежде чем остановиться...» *.

Подтвердим, что все это математически верно и вполне осуществимо.

Следовательно, с небольшим запасом взрывчатого материала мы можем сделаться спутниками Земли, поселиться в эфире, вне атмосферы, устраивать понемногу там космическое хозяйство, спускаться без затраты материала на Землю, опять подниматься с планеты с новыми запасами орудий, частей жилища и всего необходимого для солидного положения в эфире в качестве маленькой и близкой луны.

Горизонтальное движение снаряда в равноплотной атмосфере при наклоне его длинной оси

Мы полагали (83 и ранее), что ракета должна двигаться в воздухе, как по рельсам, т. е. что сопротивление атмосферы помешает ей значительно уклоняться от пути, обусловленного

* См. наст. книгу, стр. 186. (Ред.).

взрывающими силами и силами тяжести. Сейчас мы это подтвердим.

Положим, что ракета движется горизонтально с секундною скоростью v , причем длинная ось ее отклонена на некоторый угол y к горизонту. Тогда отвесное давление на нее (R_y) будет, согласно известным законам сопротивления жидкой среды,

$$R_y = \frac{d}{g} \cdot F_h \cdot K_1 \cdot \sin y \cdot v^2. \quad (143)$$

Здесь F_h есть горизонтальная проекция ракеты, а K_1 — поправочный коэффициент к ней, сравнивающий ее с непродолговатой плоскостью.

Если ракета движется горизонтально, то значит она не падает, и давление на нее снизу (R_y) равно весу (M_p) ракеты. Тогда из (143) найдем

$$\sin y = \frac{M_p g}{d F_h K_1 v^2}. \quad (144)$$

Положим, например,

$$M_p = 1; \quad g = 10; \quad d = 0,0013;$$

$$v = 100; \quad F_h = 20; \quad K_1 = 1.$$

Теперь вычислим: $\sin y = 0,0385$ и $y = 2,2^\circ$. При M_p , в 10 раз большей, и y будет почти в 10 раз больше ($22,7^\circ$). При v , в 10 раз большей, наклон уменьшается в 100 раз, т. е. делается незаметно малым.

Попытаемся определить работу сопротивления атмосферы при ускоренном и горизонтальном движении ракеты. Сферичность Земли уменьшает эту работу. Горизонтальное давление (R_x) от сопротивления воздуха будет:

$$R_x = R_y \cdot \sin y = M_p \cdot \sin y = \frac{M_p^2 g}{d F_h K_1 v^2}. \quad (145)$$

Следовательно, элемент работы составит

$$dT = R_x dl, \quad (146)$$

где l есть длина пройденного пути.

Можно считать d постоянной и только v переменной.

$$v = \sqrt{2jl}. \quad (147)$$

j есть секундное ускорение ракеты. Теперь из (147), (146) и (145) получим

$$dT = \frac{M_p^2 g dl}{2d \cdot F_h \cdot K_1 \cdot j}. \quad (148)$$

Интегрируя и определяя постоянное, найдем

$$T = A \cdot \ln \left(\frac{l}{l_1} \right). \quad (149)$$

Тут:

$$A = \frac{M_p^2 g}{2d \cdot F_h K_1 j}. \quad (150)$$

Если считать работу с начала пути, с нулевой скорости, то такая работа теоретически беспредельна. Она становится небольшой, когда ракета прошла по рельсам часть пути l_1 , приобретя уже некоторую скорость. В равноплотной среде работа, хотя и медленно, но возрастает беспредельно. Положим, в (150): $M_p = 1$; $g = 10$; $F_h = 20$; $K_1 = 1$; $j = 10$. Тогда $A = 19,2$ и

$$T = 19,2 \cdot \ln \left(\frac{l}{l_1} \right). \quad (151)$$

Пусть после 10 км пути снаряд пролетит всего 1000 км. Тогда $T = 19,2 \cdot \ln 100 = 88,3$.

Если же снаряд пройдет предварительно 1 километр, то $T = 132,5$.

Значит, на удержание от падения работа идет, сравнительно совершенно ничтожная.

Можно выразить эту работу в зависимости от приобретенной снарядом v . Имеем из (147) и (149):

$$l = \frac{v}{2j} \quad \text{и} \quad T = A \cdot \ln \left(\frac{v^2}{v_1^2} \right). \quad (152)$$

Так, если ракета начала со скорости 100 м/сек, а кончила скоростью в 10 000 м/сек, то

$$T = 19,2 \cdot \ln (100^2) = 176,6.$$

Это уже космическая скорость, почти освобождающая от тяготения Земли, а работа все-таки незначительна. Если полет начался со скорости 10 м/сек, то

$$T = 19,2 \cdot \ln (1000^2) = 265.$$

Разница в работе от этого оказывается невелика. Соответственный путь l вычислим по (147). Именно:

$$l = \frac{v^2}{2j} = 5 \cdot 10^6 \text{ м,}$$

или 5000 км. (Надо помнить, что в этих вычислениях мы не принимаем в расчет трение и сопротивление от инерции — одним словом — лобовое сопротивление.) Но при таком длинном пути, хотя вначале и горизонтальном, ракета страшно удаляется от земной

поверхности и попадает сначала в разреженный воздух, а потом в пустоту. В мало разреженном воздухе работа будет громадна вследствие сильного наклона снаряда, а в более разреженном даже равновесие невозможно, тем более невозможно оно в пустоте. Работа равновесия становится нелепой величиной.

Можно придерживаться постоянного слоя воздуха до скорости в 8 км/сек, после чего центробежная сила совсем уничтожает тяжесть. Наклон уничтожается и работа поддержания тяжести исчезает. Вообще работа при круговом движении, от влияния центробежной силы, меньше вычисленной. Но тут является другое затруднение. При движении в плотной среде работа лобового сопротивления атмосферы, хотя и при острой форме снаряда, становится невыгодно велика. Кроме того, после приобретения секундной скорости в 8 км еще ведь нужно выбраться по касательной или восходящей кривой из атмосферы, что опять отнимет много работы. Наши расчеты сейчас показали только, что работа поддержания веса очень мала, но мы не доказываем, что путь в равноплотном воздухе самый выгодный.

**[Горизонтальное движение снаряда
в равноплотной атмосфере,
если наклона длинной оси снаряда нет]**

Если наклона длинной оси снаряда нет, то снаряд будет подаваться по направлению тяжести. Падение, или, вернее, секундная скорость падения будет

$$[v_y = v \cdot \sin y = \frac{M_p g}{d F_h K_1 v} \quad (165)]$$

Опять предполагается полет ракеты горизонтальным. Под y тут нужно подразумевать малый угол уклонения снаряда от его горизонтального движения вследствие тяжести и сопротивления воздуха. Положим, например, $M_p = 1$; $g = 10$; $d = 0,00037$ (на высоте 10 км); $F_h = 20$; $K_1 = 1$; $v = 2260$; $h = 10\,000$. Тогда $v_y = 0,6$, т. е. 60 см/сек.

Если снаряд движется по касательной к Земле, то, с одной стороны, он удаляется от Земли с известной скоростью, с другой — падает или приближается к поверхности Земли, в зависимости от своей поступательной скорости и плотности среды. Падение выражается формулой (165). Исключив из нее d и v (см. 97 и 147), получим

$$v_y = \frac{M_p g e^{\frac{h}{h_1}}}{d_1 F_h K_1 \sqrt{2j} \cdot \sqrt{Dh}} \quad (166)$$

Скорость же поднятия при движении по касательной вычислим так:

$$l = \frac{j}{2} \cdot t^2, \quad (167)$$

t тут означает время. Имеем еще $h = l^2/D$.

Следовательно, $h = j^2 \cdot t^4/4D$.

Отсюда, дифференцируя, найдем

$$\frac{dh}{dt} = \frac{j^2}{D} \cdot t^3 = \sqrt[4]{\frac{64}{D}} \cdot \sqrt{j} \cdot h^{3/4}. \quad (168)$$

Теперь мы имеем возможность дать следующую табл. 13.

Таблица 13

Время полета ракеты, сек	10	20	50	100	200	400	1000
Секундная скорость, м; $j = 10$	100	200	500	1000	2000	4000	10 000
l — длина пути, км. Рейс	0,5	2	12,5	50	200	800	5000
Выс[ота] $h = \frac{l^2}{D}$ прибли- тельно, м	0,02	0,32	12,3	197	3150	50 400	1 970 000
$\frac{dh}{dt}$ — скорость поднятия, м/сек	0,008	0,064	0,554	4,43	35,5	283	4430
Плотность воздуха (d)	—	—	—	0,0013	0,000878	Близко к нулю	
Скорость падения от тя- жести и сопротивления воздуха, м/сек	3,85	1,92	0,77	0,385	0,280	53	$4 \cdot 10^{109}$
$\frac{d_1}{d}$	1	1	1	1	1,48	550	10^{109}

Полет, приблизительно, совершается по касательной к Земле. От этого происходит удаление от шаровой поверхности (4 стр[ока]). Сначала это удаление почти незаметно. Так, по истечении 10 сек, когда уже пройдено полкилометра, оно составляет только 2 см. Скорость (5 стр[ока]) удаления по истечении 10 сек составляет 8 мм/сек. Но уже через 50 сек, когда пройдено более 12 км и снаряд поднялся на 12 м, скорость более полметра (55 см/сек). Она уже в этом случае немного не достигает скорости падения (7 стр[ока]). Примерно, вскоре после 50 сек., последняя скорость становится незаметной в сравнении с удалением от шаровой поверхности. Так, по истечении 200 сек, когда снаряд поднялся уже на высоту 3 км и приобрел секундную скорость в 2 км, пролетев по касательной 200 км, скорость поднятия превышает скорость падения (она ограничена от сопротивления воздуха) в 127 раз. Но далее она повышается, сравнивается со скоростью поднятия и, наконец, безмерно ее превышает, по-

тому что атмосфера разрежается и в пустоте нужна бесконечная скорость, чтобы получить давление или сопротивление среды, равное весу ракеты. Там уже тело будет падать только от действия силы тяжести. Короче, тогда мы можем совершенно игнорировать сопротивление воздуха, которого в пустоте нет.

Что же выходит? Примерно, с минуту ракета уклоняется вниз от горизонтали; после этого полет становится параллельным Земле; затем начинается удаление от земной поверхности, и полет все более и более приближается к касательной прямой; тяжесть как бы не влияет на снаряд, он движется будто по рельсам. Но по истечении, примерно, 4 мин (265 сек), воздух настолько разрежается, что рельсы как бы устраняются и снаряд летит уже под влиянием силы земной тяжести, которая входит в свои права; но тогда уже корабль поднялся на высоту 10 км, пролетел 351 км и приобрел секундную скорость более 2 км.

Значит, некоторая, более плотная, часть атмосферы облегчает путь снаряда, так как на этом протяжении дает ему рельсы, что уменьшает работу, если не считать лобового сопротивления аппарата. Мы допустили ускорение (j) ракеты равным земному (10 м/сек^2). Увеличение давления (j) на снаряд делает отклонение от касательной еще менее значительным, т. е. укрепит «рельсы». Можно точно определить кривую полета, но и так уже дано много формул. Неудобство такого касательного к Земле полета в том, что полет надо начинать с высоты: с башен или крутых гор, так как первые секунды состоят в понижении ракеты. При $j = 10$, как видно из таблицы, средняя скорость падения от тяжести и сопротивления воздуха не может превышать четырех метров, если начало полета считать от скорости в 100 м/сек . Таким образом, в 40—50 сек полета снаряд опустится гораздо меньше, чем на 200 м. Вернее — метров на 100. После этого полет уже будет параллелен поверхности Земли, а еще далее начнется удаление от нее. Итак, при умеренном действии ($j = 10$) взрывчатых веществ полет должен начаться с башни высотой в 100 м или с такой же горы, но при крутом обрыве в 45° . При большем j и требуемая высота будет меньше и уклон положе. Это обратно пропорционально. Если сначала двигаться по горизонтальной плоскости и так приобрести скорость, несколько большую 500 м/сек , то совсем не потребуются возвышения, так как падение будет превышать удаление, происходящее от шаровидности Земли.

Подъем в атмосфере по восходящей линии

Касательный полет выгоден тем, что позволяет употреблять очень малую степень взрывающей (j) силы. В техническом отношении, особенно при первых опытах, это очень важное преимущество. Но в отношении экономии энергии, идущей на сопротив-

ление воздуха, лучше полет, наклонный к горизонту. Хотя, чем больше наклон, тем поневоле приходится употребить бóльшую взрывающую силу (j), так как этот полет подобен поднятию на гору.

Мы уже разобрали его ранее (83) в отношении сопротивления воздуха. Теперь мы можем прибавить, что были правы, предполагая ничтожное уклонение от падения, благодаря сопротивлению атмосферы.

Мы видели, что крутой подъем невыгоден, особенно отвесный. Тут мы предполагаем малонаклонный полет в атмосфере. Он имеет много выгод. Во-первых, потеря энергии от тяжести меньше. Полет же в воздухе приравнивается к восхождению на гору, от чего потеря энергии еще уменьшается. На большой же высоте, где воздух не может служить опорой, действие взрывчатых веществ может быть нормально радиусу, благодаря чему, как мы доказали, потери энергии совсем нет. Во-вторых, можно употребить малую силу взрывания (j). В-третьих, можно воспользоваться горами, чтобы сообщить достаточную подготовительную скорость снаряду, как мы видели, очень полезную, ибо тогда можно избежать падения, в особенности, если наклон пути достаточно велик. В-четвертых, некоторая степень наклона пути сильно уменьшает расход энергии на одоление лобового сопротивления атмосферы. (Сравнительно с касательным или горизонтальным полетом.) Наконец, при малой силе взрывания ракеты и все ее части не надо делать особенно массивными. Также и для сохранения человека не нужно предохранительных средств.

При наклонном восходящем движении ракеты удаление (h) от шаровой поверхности Земли зависит от двух причин: от угла наклона и от сферичности планеты; первое равно

$$h_1 = l \cdot \sin y, \quad (169)$$

а второе

$$h_2 = \frac{l^2}{D}. \quad (170)$$

Отсюда

$$h_1 + h_2 = l \cdot \sin y + \frac{l^2}{D} = l \left(\sin y + \frac{l}{D} \right). \quad (171)$$

Падение выразится известными нам формулами (165) или (166). Но под углом y в них надо подразумевать другой угол, выражающий уклонение, исключительно зависящее от сопротивления атмосферы и поступательной скорости полета. Он, вообще, чрезвычайно мал.

При восходящем движении, хотя и по малому уклону y , сила взрывания j не может быть как угодно мала. Ее минимальная величина определяется уравнением:

$$j = g \cdot \sin y. \quad (172)$$

И при этом ракета будет стоять на горе (воздух). Ускорения еще не будет, а будет сильное падение. Нужно и выгодно, чтобы j значительно превышало эту величину. Даем тут наименьшее j , в зависимости от угла наклона y и силы тяжести g (табл. 14).

Таблица 14

y , градусы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j , $м/сек^2$	0,175	0,349	0,523	0,698	0,872	1,05	1,22	1,39	1,56	1,74
j , увеличенное в 10 раз	1,75	3,49	5,23	6,98	8,72	10,5	12,2	13,9	15,6	17,4

Отсюда видно, что и увеличенное в 10 раз, оно, даже при десяти градусах наклона, только в 1,7 раза больше силы земной тяжести ($10 м/сек^2$). Но и при этом наклоне и меньшем, очевидно, можно ограничиться несравненно более слабой взрывающей силой j , примерно до 0,1 силы тяжести. Это же имеет громадные технические выгоды, так как позволит начать полеты даже при современном состоянии техники.

Таблица 15

v , $км/сек$	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	5	8	11	
Ускорение (j) ракеты, $м/сек^2$ или взрывающая сила	1	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	5	8	11
	2	0,2	0,4	0,6	1	2	4	10	16	22
	3	0,3	0,6	0,9	1,5	3	6	15	24	33
	5	0,5	1	1,5	2,5	5	10	25	40	55
	10	1	2	3	5	10	20	50	80	110
	20	2	4	6	10	20	40	100	160	220
	30	3	6	9	15	30	60	150	240	330
	50	5	10	15	25	50	100	250	400	550
	100	10	20	30	50	100	200	500	800	1100

Даем тут в таблице секундную энергию двигателя на 1 т ракеты при разных j и различных скоростях (табл. 15). Энергия выражена в тысячах метрических сил ($100 кгм/сек$). (Приблизительно.) Скорости ракеты (v) в разные моменты движения выражены в $км/сек$.

Выходит, что энергия однотонной ракеты, при наименьшем ускорении (и, конечно, малом угле наклона), изменяется от 100 сил до 11 тысяч метрических сил. Если ракета дает 100 кг на мотор, то вначале энергия будет близка к аэропланным двигателям и только при достижении крайней космической скорости увеличивается в 110 раз.

С первого взгляда устрашает это, но не забудем, что имеем дело с реактивными (или ракетными) двигателями. Суть состоит

в том, чтобы взрывать в трубе ежесекундно определенное и неизменное количество взрывчатых веществ. Сейчас мы покажем на примере и таблице, что оно совсем невелико. Например, для однотонной ракеты, при достижении ею космической скорости в 8 км/сек, довольно 4 т взрывчатых материалов. Время взрывания для получения этой скорости будет 8000 сек, если средняя величина взрывающей силы равна 1 (0,1 силы тяжести). Значит, в 1 сек придется, в среднем, взрывать 0,5 кг (около фунта) взрывчатого вещества. Что же здесь недостижимого? Если бы взрывающая сила была даже в 100 раз больше (при большем наклоне), и то пришлось бы взрывать в 1 сек 5 кг. И это возможно.

Следующая табл. 16 покажет нам, приблизительно, среднее количество взрывчатых материалов, употребляемых в секунду, при разной взрывающей силе j . Масса ракеты составляет 1 т.

Таблица 16

Запас взрывчатых веществ, т	1	4	9	30
Окончательная скорость, м/сек	3465	8045	11515	17170
Время взрывания, сек	3465	8045	11515	17170
Вр[емя], час	0,96	2,23	3,2	4,8
Количество взр[ывчатых] вещ[еств], кг/сек; $j = 1$	0,29	0,5	0,78	1,75
То же, но $j = 5$	1,45	2,5	3,9	8,75
То же, но $j = 10$	2,9	5	7,8	17,5

Второй космической скорости довольно, чтобы сделаться спутником Земли, конечно, вне атмосферы*. Третьей — достаточно для одоления земной тяжести и блуждания по земной орбите. И тут секундное взрывание меньше 1 кг (2 фунта). Последней скорости довольно для вечного удаления от нашей солнечной системы и блуждания в Млечном Пути со скоростью, не меньшей скорости пушечного ядра. Даже и тут секундный расход меньше 2 кг (4 фунта). Время взрывания продолжается от одного до 5 час. Все это при силе (j) взрывания в 10 раз меньше земной тяжести. При большей силе j пропорционально увеличивается секундный расход взрывчатых веществ и уменьшается время взрывания. Увеличение массы ракеты также сопровождается пропорциональным возрастанием секундного расхода, время же взрывания тут не изменяется. Кажется сначала странным, что работа ракетного мотора прогрессивно (со скоростью снаряда).

* В данном случае Циолковский употребляет выражения: «вторая космическая скорость» и «третья космическая скорость» не в том смысле, как это принято в настоящее время, а в той последовательности, в которой они идут у него по таблице. (Ред.).

возрастает, между тем как секундное количество израсходованного взрывчатого материала не увеличивается. Дело в том, что взрывчатое вещество, еще не взорванное, уже имеет энергию тем большую, чем больше скорость несущегося корабля. Поэтому оно и выделяет ее в большем количестве, чем это следует по его потенциальной химической энергии.

Для поднятия, при наклонном движении снаряда, мы нашли формулу (171).

Скорость поднятия, пренебрегая пока шаровидностью Земли, будет

$$v \cdot \sin y. \quad (172_1)$$

С другой стороны, скорость падения определяется формулой] (165). Приравнявая падение поднятию, найдем уравнение, из которого получим

$$\sin y = \frac{M_p g}{d F_h K_1 v^2}. \quad (173)$$

При этом угле начальное движение будет горизонтальным.

Если, например, $M_p = 1$; $g = 10$; $F_h = 20$; $K_1 = 1$; $v = 100$, то $\sin y = 0,0385$, а угол $2,2^\circ$. При скорости в 200 м/сек угол будет близок к $0,5^\circ$.

Итак, вполне возможно избежать падения даже при очень малом угле наклона, лишь была бы достаточная начальная скорость. Но она может быть гораздо меньше, если угол наклона будет больше. Так, если угол дойдет до 8° , то скорости в 50 м/сек уже будет довольно.

Выводы

Из всего изложенного можем сделать следующее заключение. Полет выгодно начать в горах, на возможно большей высоте. На горах должна быть выровнена дорога, с наклоном не более $10-20^\circ$. На автомобиль ставится ракета, которая приобретает от него скорость от 40 до 100 м/сек . Затем снаряд, восходящим путем, летит самостоятельно, развивая сзади давление взрыванием веществ. Наклон снаряда, по мере увеличения его скорости, уменьшается, и полет приближается к горизонтальному. По выходе же из атмосферы и некоторого удаления от всяких ее следов полет становится параллельным земной поверхности, т. е. круговым. Ускорение (j) должно иметь наименьшую величину, примерно от 1 до 10 м/сек^2 . Расход на сопротивление воздуха окажется минимальным. Влияние тяжести также почти уничтожается (в отношении потери энергии). Первая скорость приобретает автомобилем, аэропланом или каким угодно прибором: сухопутным, водным или воздушным. Полет не в очень разреженной атмосфере может происходить энергией топлива, сжигаемого кислородом из атмосферы. Это сэкономит запасы топлива в 9 раз (идеальное число, когда запасается один чистый водород). Если

ракета в воздухе еще не приобрела космической скорости, освобождающей ее от тяготения Земли, то в очень разреженных воздушных слоях кислородом атмосферы пользоваться уже нельзя. Поэтому тут пускается в ход запасной жидкий кислород или непрочное (по возможности, эндогенное) его соединение с другими газами (например, с азотом). Тогда недополученная скорость доводится до космической.

Общий план космических достижений

Мы можем достигнуть завоевания солнечной системы очень доступной тактикой. Решим сначала легчайшую задачу: устроить эфирное поселение поблизости Земли, в качестве ее спутника на расстоянии 1000—2000 км от поверхности, вне атмосферы. При этом относительный запас взрывчатого материала вполне доступен, так как не превышает 4—10 (сравнительно с весом ракеты). Если же воспользоваться предварительной скоростью, полученной на самой земной поверхности, то этот запас окажется совсем незначительным (об этом впереди).

Поселившись тут устойчиво и общественно, получив надежную и безопасную базу, освоившись хорошо с жизнью в эфире (в материальной пустоте), мы уже более легким путем будем изменять свою скорость, удаляться от Земли и Солнца, вообще разгуливать, где нам понравится. Дело в том, что в состоянии спутника Земли или Солнца мы можем употреблять самые малые силы для увеличения, уменьшения и всякого изменения своей скорости, а стало быть, и нашего космического положения. Энергии же кругом великое изобилие, в виде никогда не погасающего, непрерывного и девственного лучеиспускания Солнца. Точкой опоры или опорным материалом могут служить отрицательные и, в особенности, положительные (атомы гелия) электроны, замствованные от солнечного излучения. Этой энергии сколько угодно, и уловлять ее не трудно в огромном количестве протянутыми далеко от ракеты проводниками или иными неизвестными средствами. Можно воспользоваться и давлением света, направив его отражателями по надобности. В самом деле, 1 кг вещества, с поверхностью в 1 м² в течение года получает от солнечного света приращение скорости, большее 200 м/сек. Вследствие отсутствия тяжести (кажущегося, конечно, или относительного), здесь как раз можно устраивать огромные легкие зеркала, дающие возможность приобретать гораздо большие прибавочные скорости и, таким образом, теряя их (на счет их же), «бесплатно» путешествовать по солнечной системе.

Так мы можем добраться до астероидов, маленьких планеток, спуск на которые, по малой на них тяжести, не представляет трудности. Достигнув этих крохотных небесных тел (от 400 до

10 км и менее в диаметре), мы получим обилие опорного и строительного материала для космических путешествий и ведения эфирного хозяйства. Отсюда для нас откроется путь не только всем планетам нашей системы, но и путь к другим солнцам.

Мы уже говорили о том, что возможен спуск на Землю без затраты вещества и энергии. Устройство первого хозяйства, по близости Земли, нуждается в постоянной земной помощи. Сразу на ноги самостоятельно оно стать не может. Поэтому необходимы постоянные сношения с планетой. От нее придется получать машины, материалы, разные сооружения, продукты питания, людей. Неизбежен и частый обмен работников, ввиду необычности среды.

Для возвращения на Землю нет надобности прибегать к контрвзрыванию и, таким образом, тратить запасы вещества и энергии. Если, по близости атмосферы, слабым обратным взрыванием еще более подойдем к ней и, наконец, заденем за ее края, то сейчас же будем, от сопротивления воздуха, терять скорость и по спирали спускаться к Земле. Собственно, скорость сначала, от падения, будет увеличиваться, потом же, при вступлении в более плотную часть атмосферы, она начнет уменьшаться. Когда она сделается недостаточной, чтобы одной центробежной силой уравнивать силу тяжести, то, наклонив продольную ось снаряда, начинают планировать. Можно еще увеличить скорость, увеличив наклон ракеты вниз и прибавляя, через падение, быстроту. Одним словом, мы поступаем с ракетой, как с аэропланом, у которого остановлен мотор. Как тут, так и там, надо приноровить момент потери большей части скорости к моменту касания суши или воды. Терять громадную скорость ракеты на высотах совершенно безопасно, ввиду чрезвычайной поразительной разреженности там воздуха. Можно даже потерять почти всю скорость, обернувшись много раз кругом Земли: оставить только 200—300 м/сек (смотря по плотности окружающей среды), а затем поступать как с самолетом. Но все же, если у ракеты нет добавочных планов, приземление совершается при гораздо большей скорости, чем у аэроплана, и потому оно рискованнее. Его хорошо делать не на суше, а на воде.

Из сказанного видим, что небесный корабль должен иметь и некоторые черты самолета.

Каковы же условия жизни в эфире!

В ракете долго существовать невозможно: запасы кислорода для дыхания и пища должны скоро выйти, продукты же дыхания и пищеварения загрязнят воздух. Нужны особые жилища — безопасные, светлые, с желаемой температурой, с возобновляющимся кислородом, с постоянным притоком пищи, с удобствами для жизни и работы.

Эти жилища и все принадлежности для них должны доставляться ракетами с Земли в сложенном (компактном) виде, раскладываться и собираться в эфире, по прибытии на место. Жилище должно быть непроницаемо для газов и паров и проницаемо для света.

Его материалы: никелированная сталь, простое и кварцевое стекло. Обитель состоит из многих отделений, изолированных друг от друга и сообщающихся только плотно закрывающимися дверями. Если какой-либо отсек будет пробит или окажется проницаемым для газов, то можно сейчас же спастись в другом, а испорченный исправить. Малейшая утечка скажется уменьшением давления и показанием чувствительного манометра. Тогда же можно принять меры к уничтожению проницаемости. Таким образом, безопасность жизни в пустоте можно довести до 100%.

Около одной трети поверхности жилища открыто для лучей солнечного света. Они проникают во все отделения, благодаря прозрачности перегородок.

Вся поверхность жилища покрыта двойным слоем тонких подвижных ставней, как черепицей или крупной чешуей. Если неосвещенная солнцем часть здания покрыта блестящими ставнями, а прозрачная открыта для солнечных лучей, то получается наивысшая температура, достигающая 150°C . Если же, наоборот, непрозрачная покрыта выдвинутым черным слоем, а прозрачная блестящей, как серебро, поверхностью, то получается низшая температура, достигающая вдали от Земли 250° холода. Поблизости же планеты температура не может понизиться более, чем на $100\text{--}150^{\circ}$ ниже нуля, так как Земля согревает. Комбинируя, или сочетая, блестящую чешую (панцирь) с черной, в том или другом количественном отношении, получим любую степень тепла: для взрослых, детей, растений, бань, прачечных, для дезинфекции, промышленных целей и т. д.

Вот примерное устройство теплового приспособления, дающего разнообразную температуру, хотя и не крайне возможные пределы тепла. Непрозрачная часть жилища снаружи черная. На небольшом расстоянии от нее находится вторая блестящая с обеих сторон чешуя. Ее части могут вращаться и становиться нормально к поверхности, как иглы ежа. Тогда получается низшая температура. Когда же эта броня закрывает черную поверхность, то получается высшая степень тепла. Такая же чешуя может быть и на прозрачной части жилища. Тогда можно получить более низкую температуру. В зависимости от назначения эфирных камер, их устройство может быть очень разнообразно. Так, например, блестящая чешуя может надвигаться одна на другую в несколько слоев и открывать, более или менее, черную поверхность жилища, давая желаемую степень тепла.

Первое время будут простейшие дома, пригодные как для людей, так и для растений. Они заполнены кислородом плотности в одну пятую атмосферы, небольшими количествами углекислого газа, азота и паров воды. Тут же находится немного плодородной и влажной почвы. Она, освещенная Солнцем и засеянная, может давать богатые питательными веществами корнеплодные и другие растения. Люди будут портить воздух и поедать плоды, а растения будут очищать воздух и производить плоды. Человек будет возвращать в полной мере то, что он похитил от растений: в виде удобрений для почвы и воздуха. При этом невозможно обойтись без работы разного рода бактерий.

Совершенно тот же оборот между животными и растениями мы видим на земном шаре. Он также изолирован от других небесных тел, как и наша ракета-жилище.

Человеку дает пища 3000 больших калорий в сутки. Столько же дает тепла 0,5 кг угля или 1 кг муки, или 3 кг картофеля, или 2 кг мяса. 1 м² поверхности, освещенный нормальными лучами Солнца, в пустоте, на расстоянии Земли (от светила), получает в сутки 43 000 кал, что соответствует 10 кг муки, или 43 кг картофеля (также банана), или 30 кг мяса.

Значит, теоретически, окно в 1 м², освещенное нормальными к нему лучами Солнца, дает человеку в 14 раз больше энергии, чем нужно для жизни в суровом климате. Некоторые растения используют до 10% солнечной энергии (таков кактус Бербанка), другие до 5% (банан и корнеплодные). Таким образом, для существования человека, т. е. для получения необходимых ему кислорода и пищи, достаточно 1 м² солнечных лучей, при условии утилизации энергии Солнца в 1/14, или в 7%. Выходит, что для насущных потребностей одного сильного человека довольно жилища с окном в 1 м² и подходящими растениями. Но растения еще можно культивировать отбором и искусственным оплодотворением. Возможно, что они со временем будут давать, при идеальных эфирных условиях, не 5 и не 10%, а 50% и более. Но и современные растения при некотором выборе могут уже удовлетворить нас.

Растениям в наших жилищах может быть очень хорошо. Так, температура — самая для них благоприятная, количество углекислого газа может быть доведено без вреда для человека до 1%, т. е. его будет в 30 раз больше, чем на Земле, влажность — любая, удобрение — полное и подходящее, свет — желаемого напряжения и состава лучей (к чему могут послужить стекла разных цветов и свойств), полное уничтожение всяких вредителей, сорных трав и посторонних культур путем предварительного очищения почвы повышением температуры.

Однако далеко не совпадают между собой потребности разных растений и человека. Для каждого существа нужна особая,

наиболее подходящая для него среда. Так это и будет со временем в эфире: для одних растений такое-то помещение, с такою-то почвою, атмосферою, влагою, светом и температурою,— для других иное, для человека еще более отличающееся. И для разных рас, возрастов, темпераментов жилища не однообразны.

На первое время можно довольствоваться сожительством (симбиоз) растений с человеком.

Тяжести не будут ощущать ни растения, ни люди. И для тех и для других это может быть очень выгодно. Растениям не нужны будут толстые стволы и ветки, которые нередко ломаются от обилия плодов и составляют бесполезный балласт деревьев, кустарников и даже трав. Тяжесть же мешает и поднятию соков. Маленькая тяжесть все-таки может быть полезна растениям: для удержания почвы и воды в одном месте и, вообще, для порядка. Но ее легко получить слабым вращением жилища или оранжереи. Как для растений, так и для людей она почти не будет заметна: стволы не будут гнуться и люди будут по-прежнему свободно совершать полеты во всех направлениях, двигаясь по инерции куда надо. Величина искусственной тяжести будет зависеть от угловой скорости и радиуса вращения. Примерно, она может быть в 1000 раз менее земной, хотя ничто не мешает нам сделать ее и в 1000 раз более земной. На вращение оранжерей или дома не нужно никакого расхода сил. Предметы вращаются сами собой, по инерции, если раз приведены в движение. Последнее вечно, как вращение планеты.

Желаемая температура даст человеку возможность обходиться без одежды и обуви. Обилие тепла ограничит и потребность пищи.

Дезинфекция уничтожит все заразные болезни и всех вредителей и врагов растений и человека. Отсутствие тяжести освобождает людей от постелей, кресел, столов, экипажей и сил для движения. В самом деле, довольно толчка, чтобы двигаться вечно по инерции.

Работы всякого рода тут удобнее производить, чем на Земле. Во-первых, потому, что сооружения могут быть неограниченно велики при самом слабом материале — тяжесть все равно их не разрушит, так как ее тут нет. Во-вторых, человек здесь в состоянии работать при всяком положении, закрепив только ноги или другую часть тела — ни отвесных, ни горизонтальных линий тут нет. Нет ни верха, ни низа. Упасть никуда нельзя. Никакие, даже самые массивные предметы задавить работника не могут, так как они никуда не падают, даже без всякой опоры. Все составные части тела, как бы они велики ни были, не давят друг на друга. Перемещаются все вещи при малейшем усилии, независимо от их массы и размера, нужна только одновременная затрата, пропорциональная массе предмета и квадрату его скорости: затем уже тела двигаются без остановки. Остановка не может возвра-

тить потраченную на первоначальное движение работу. Так что транспорт буквально ничего не стоит.

Но не надо забывать, что явления инерции (или косности) остаются и тут в такой же степени, как и на Земле; удары так же сильны, как на планете, в среде тяжести. Ковка успешна. Попав между двумя различно (или несогласно) движущимися твердыми массами, мы можем быть раздавлены — при их значительной величине или большой скорости. Так уже успешно действуют всякого рода прессы, рычаги, дробилки, молоты и все другие машины, если действие их не основано или не зависит от силы тяжести.

Нет борьбы с погодой, со слякотью, холодом, туманом, ливнем, сыростью, ветром, ураганами, тьмою, жаром и т. п. Нет борьбы с животными и растениями. Для работы вне искусственной среды, т. е. вне жилища, нельзя быть голым (пока человек не приспособится для жизни в пустоте, что не может совершиться скоро и что должно радикально преобразовать его тело). В эфире, в пустоте работники и гуляющие должны облекаться в особые предохранительные одежды, вроде водолазных одежд (скафандр). Они, как и закрытые жилища, дают кислород и поглощают продукты человеческих выделений. Это упрощенное подобие тесных жилищ, непосредственно примыкающих к телу. Разница только в том, что кислород тут не растения дают, а он запасается заранее и выделяется понемногу, как в усовершенствованных водолазных костюмах. Особые стекла предохраняют от губительного действия солнечных лучей. Эти одежды непроницаемы для газов, обладают достаточную гибкостью и крепостью, чтобы выдерживать давление газов и не стеснять движения членов. Органические выделения поглощаются, влажность внутри одежды регулируется. Окраска одежды должна соответствовать желаемой температуре. В одной одежде холодно, а в другой жарко. Можно испечься в одном облачении и замерзнуть в другом. Поверхность скафандра может быть броневая сдвижная, как жилище. Тогда температуру можно менять по желанию.

Внутри жилищ работы производятся как на Земле, только гораздо удобнее, так как не связывает тяжесть и ее направление, не стесняет одежда, обувь, холод, жар и обычная земная грязь одежды.

Все сооружения, скафандры, орудия, оранжереи или жилища — все должно быть сделано и испытано заранее на Земле. Вся работа в эфире, на первое время, ограничивается лишь сборкой готовых частей. Первые колонии должны основываться на счет своей планеты, тем более, что и материалов поблизости Земли, вероятно, никаких нет (можно только захватывать составные части разреженной атмосферы, но этого недостаточно). Хорошо, если колонии на первых порах не будут хотя нуждаться в кислороде и пище. Но начало техники возможно и тут. Еще

менее колонии будут нуждаться в помощи, когда поселятся в поясе астероидов, между Марсом и Юпитером, где не может быть нужды в сыром материале. Здесь поселения получат не только множество планеток, дающих сколько угодно вещества и не стесняющих своею тяжестью, тут не только мы получим солидное положение, но и ужасающие пространства с солнечной энергией, общее количество которой в две тысячи миллионов раз больше того, которое получает сейчас наша планета. Температуру же в поясе астероидов можно довести простым способом (описанным давно в моих рукописях и патентованном Маркузе) до 20° С и больше. Сложными способами и зеркалами она может быть доведена до температуры Солнца, а путем электричества еще выше. Но ничто не мешает нам переселиться и ближе к Солнцу, где его сила в десятки и сотни раз больше, чем на Земле. Температура в наших руках. Массы вещества найдутся и между орбитами нижних планет.

Мы говорили, что борьбы с природой почти нет. Но бороться с давлением газов, убийственными лучами Солнца, с несовершенною природою человека и растений необходимо. Воевать за комфорт, знание, усовершенствования людей и т. д. неизбежно. Борьбы много, хотя она и не так мелочна, как на Земле.

Развитие в эфире промышленности (индустрии) в самом широком смысле этого слова

Первые земные животные зародились в воде. Она устраняет тяжесть, т. е. разрушающую силу, которая особенно была вредна первым нежным организмам. Уничтоженная тяжесть, противодействием жидкости, уже не мешает неограниченному развитию размеров водных существ (как растений, так и животных). Таким образом, водные существа должны бы достигнуть значительного объема, а значит и такого же объемистого мозга. Они бы поэтому должны сделаться господами планеты. Почему же этого не вышло, почему опередили сухопутные? Главная причина заключается в невозможности поддерживать в жидкости высокую температуру, необходимую для промышленных целей. Водные животные, ушедшие из моря, чтобы превратиться в наземных, понемногу достигли господства над земным шаром, хотя сначала и были очень слабы. Но конкуренции на суше не было, и потому они, борясь только между собой, могли достигнуть высшего развития. Одна из причин их преобладания в том, что они могли получить огонь и родить индустрию. Другая причина отсталости водных — поглощение водой солнечной энергии. Они не могли ею пользоваться в такой же степени, как сухопутные. Они не имели твердой опоры, так как дно большинства океанов было недоступно глубоко и погружено в полнейший мрак. Третья отсталость происходит от недостатка кислорода в воде и невозможности

поддерживать наиболее благоприятную для жизненных процессов температуру в самом корпусе существа — и в силу малости кислорода, и в силу охлаждающего влияния плотной и теплоемкой среды. Свободное движение в ней также затрудняется массивностью воды. Не было и материала для индустрии, если не считать береговых и мелководных пространств, ограниченных площадью, полутемных и покрытых полужидкими наносами.

Выход на воздух и борьба с тяжестью могла начаться у водных уже после развития мускулатуры. Борьба эта была трудна, но победа была в конце концов одержана. Так же будет одержана победа и при переходе существ из воздуха в эфир. Для перехода на сушу нужны были мускулы, а для перехода из воздуха в пустоту — развитие промышленности, в особенности моторной. На Земле, в среде тяжести, она подвигается медленно, хотя воздух для этого лучше воды. Еще удобнее для развития культуры эфирное пространство, в особенности свободное от разрушительной и ограничительной силы тяжести. Такому условию больше всего удовлетворяют изолированные от планет поселения или крохотные астероиды. Тут и обилие материала, и незаметная тяжесть, и девственный солнечный свет, и безграничное и доступное пространство, и солнечная энергия, превышающая земную в 2 миллиарда раз, и свобода перемещения на все шесть сторон — даже до иных солнечных систем.

Здесь можно непосредственно силою Солнца с помощью зеркал и стекол получить огненные очаги любой величины, с температурой от 273° холода до 6000° тепла. Преобразованием солнечной энергии в механическую, а затем в электрическую можно получить до $20\ 000^{\circ}$ и более.

Сильнее всего отнимает тепло от нагретых тел водная среда, но и воздух мешает сильному нагреванию или охлаждению тел. Он также окисляет поверхность обрабатываемых предметов, сжигает их или препятствует их сохранению и сплавлению (свариванию) в одно целое. В пустоте этого минуса для промышленности нет.

Тяжесть также страшно мешает строительству, развитию техники, действию машин, перемещению и социальному общению.

Понятно поэтому, почему в поясе маленьких планеток (где тяжесть легко одолима самым слабым движением), в эфире, в царстве непрерывного света и шестистороннего простора, индустрия и эволюция разумных существ, не ограниченных размерами мозга, должны достигнуть неслыханных успехов.

Единственное затруднение — отсутствие воздуха и производимого им давления на тело, которое стало необходимостью для животных. Потом существа приспособятся и к этому, но сначала придется иметь дело с искусственной атмосферой для растений и людей. Пустота и девственный солнечный свет убивают. Противоядием послужат: хорошо изолированные многокамерные

жилища, скафандры и искусственный подбор существ. Кислород же, вода, металлы и другие необходимые вещества находятся почти во всех камнях. Надо только их извлечь. Цели индустрии в эфире, в общем, такие же, как и на Земле, только много обширнее, несмотря на то, что человеку не нужны будут ни одежда, ни мебель, ни многое другое.

**Земная подготовительная ракета.
Площадка для разбега. Полотно. Мотор.
Сопротивление воздуха. Трение**

Мы видели, что ракета еще на Земле должна приобрести некоторую скорость, чтобы сразу лететь горизонтально или наклонно, восходящим путем. Чем больше будет полученная от разбега скорость, тем лучше. Желательно, чтобы снаряд не тратил при этом своей запасной энергии в образе взрывчатых веществ. А это возможно только в том случае, если наша ракета будет приведена в движение посторонней силой: автомобилем, пароходом, локомотивом, аэропланом, дирижаблем, газовой или электромагнитной пушкой и проч. Известные готовые способы не могут дать скорости больше 100—200 м/сек, так как ни колеса, ни воздушные винты не могут без разрыва вращаться быстрее. Скорость их по окружности можно довести до 200 м/сек — не более. Значит, эту скорость (720 км/час) не могут превзойти обычные орудия передвижения. Для начала, пожалуй, и этого много. Но мы будем стремиться сообщить ракете возможно большую предварительную скорость, чтобы она сберегла свой запас взрывчатого материала для дальнейшего полета, когда она уже оставит свой твердый путь. Отсюда видно, что для приобретения снарядом скорости, большей 200 м/сек, нужны особые приспособления. Газовые и электромагнитные пушки, на первое время, мы должны отвергнуть, как сооружения, чересчур дорогие, многомиллионные, вследствие их большой длины. В коротких же относительная тяжесть (толчок) все убьет и изломает. Самый простой и дешевый в этом случае прием — ракетный, реактивный. Мы хотим сказать, что наша космическая ракета должна быть вложена или поставлена на другую земную, которая, не отрываясь от почвы, и сообщит ей желаемый разбег. Для земной ракеты нужен плоский прямолинейный наклонно восходящий путь.

Воздушные винты невозможны и не нужны. Их тяга заменяется задним давлением взрывающихся в трубе газов. Колеса для облегчения трения не годны. Земная ракета двигается, как сани.

Трение твердых тел представляет довольно значительное сопротивление, даже если облегчается смазкой. Например, коэффициент трения для железа по сухому чугуну или бронзе

(и обратно) составляет около 0,2. Это значит, что снаряд весом в 1 т приводится в движение на горизонтальной плоскости силой, не меньшей 0,2 т, или 200 кг. Такова величина трения для давлений, не превышающих 8—10 кг/см² трущейся поверхности. При большем напоре коэффициент трения возрастает почти пропорционально. Представим себе железную или медную пластину, высотой не более 10 м. Она рождает трение, соответствующее данному коэффициенту. Если же толщина пластины будет вдвое больше, то и коэффициент трения увеличится вдвое (0,4). При глубине этого металлического поля в 40 м уже повреждается при его скольжении путь (чугунная или бронзовая основа — дорога, по которой движется пластина).

Замечательно, что коэффициент трения с увеличением скорости трущихся тел уменьшается раза в 4 и более (в узких пределах опыта). При обыкновенном давлении, не нарушающем указанные пределы, и при обильной смазке коэффициент трения тех же тел может уменьшиться в 5—10 раз. Смачивание трущихся поверхностей водой уменьшает трение раза в два. Коэффициент трения металла по льду и снегу (и обратно) доходит до 0,02, т. е. в 10 раз меньше трения сухих разнородных металлов, и сравнивается, значит, с величиной трения при обильной смазке. Итак, если ракета двигается по льду или ровному и обильно смазанному металлическому полотну, то нет непреодолимых препятствий для быстрого движения без колес. Если, например, на снаряд производится давление газов, равное его весу ($j = 10$), то на трение теряется только от 20 до 2% всей затраченной на движение земной ракеты энергии. При ускорении в 5 м/сек² ($j = 5$) затрата будет от 40 до 4%. Если $j = 1$, то затрата уже составит от 200 до 40%, что нетерпимо.

Впрочем, я знаю способы сводить трение почти к нулю, но об этом поговорим в другой книге*.

Мы приходим к мысли о земной ракете, двигающейся по обыкновенным, но гладким и строго прямолинейным рельсам, обильно смазывающимся выпирающим из полозьев машины салом, маслом или льдом. Последнее возможно только в холодное время года, или на высоких горах, где температура ниже нуля.

Форма земной ракеты должна быть легкообтекаемой воздухом. Чем она будет продолговатей, тем легче ракета будет рассекать среду, если не считать трение воздуха о стенки земной ракеты. При ее продолговатости в 100 или 200 (т. е. когда длина во столько раз превышает наибольший поперечник снаряда) можно даже принимать в расчет одно трение. Ввиду, как увидим, очень длинного пути, необходимого для разбега снаряда, он и сам может быть очень длинен — места хватит.

* См. работу Циолковского «Сопrotивление воздуха и скорый поезд». Калуга, 1927. (Ред.).

Особые вычисления и соображения, которые мы тут не приводим, показывают, что величина трения не может превышать числа

$$\frac{\rho}{6g} \cdot Fc, \quad (174)$$

какая бы ни была скорость трущейся поверхности. Из формулы видим, что это предельное трение пропорционально трущейся площади (F), плотности газа (ρ) и скорости движения его молекул (c). Такой вывод сравнивает, при огромных скоростях, газы с твердыми телами, так как у последних трение не очень зависит от скорости трущегося тела. Преобразованием формулы (174) не трудно доказать, что для «постоянных» газов и неизменного внешнего давления это предельное трение пропорционально квадратному корню из молекулярного веса газа и обратно пропорционально квадрату корню из температуры газа. Значит, например, при атмосферном давлении нагретый водород дает меньше трения, чем холодный воздух. Напротив, холодный углекислый газ представляет большее сопротивление, чем нагретый воздух. При одной же плотности газов вывод будет обратный, т. е. газы с малым молекулярным весом и нагретые дают больший коэффициент трения. Говорим про пределы.

По формуле (174), для обычного воздуха, на 1 м^2 найдем предельное трение близким к $0,011 \text{ т}$.

Другие соображения дают для величины трения формулу*

$$R = \frac{\delta}{2g} \cdot lb\rho v. \quad (175)$$

Значит, коэффициент трения пропорционален плотности газа (ρ), скорости снаряда и толщине (δ) прилипшего воздуха к 1 м^2 , движущемуся со скоростью 1 м/сек . Но, к сожалению, эта формула верна только тогда, когда скорость снаряда имеет столько метров, сколько он сам имеет метров длины. Следовательно, в этой формуле мы должны положить $l = v$. Тогда получим

$$R = \frac{\delta}{2g} \cdot l^2 b \rho = \frac{\delta}{2g} \cdot v^2 b \rho. \quad (176)$$

Положим тут: $2g = 20$, $b = 3$, $\rho = 0,0013$; кроме того, мне из личных опытов известно, что $\delta = 0,01$ (1 см). Тогда найдем

$$R = .195 \cdot 10^{-8} v^2 = 195 \cdot 10^{-8} l^2. \quad (177)$$

Допустим еще, что вес всего снаряда в тоннах выражается числом $= l$. Тогда составим следующую таблицу (17) для разных ускорений j и разных скоростей снаряда.

* Определение силы сопротивления трения проведено неточно. (Ред.)

Длина, вес и скорость земной ракеты, м, т [и м/сек]	1	10	100	500
Величина трения, кг	0,002	0,2	20	500
Соппротивление по отношению к давлению на снаряд, %; $j=10$	0,0002	0,002	0,02	0,1
То же, $j=1$	0,002	0,02	0,2	1
То же, $j=4$	0,0005	0,005	0,05	0,25

Длина, вес и скорость земной ракеты, м, т [и м/сек]	1000	1500	2000	3000	5000
Величина трения, кг	2000	4500	8000	18000	50 000
Соппротивление по отношению к давлению на снаряд, %; $j=10$	0,2	0,3	0,4	0,6	1
То же, $j=1$	2	3	4	6	10
То же, $j=4$	0,5	0,75	1	1,5	2,5

Видим, что даже при скорости в 5 км/сек и ускорения земной ракеты в 0,1 тяжести ($j=1$) потеря не превышает 10%. Но тут большое неудобство: ракета должна иметь в длину до 5 км. При малых скоростях и малых длинах снаряда поглощается незаметный процент работы. Но тут тупой снаряд даст значительное сопротивление от работы раздвигания воздуха.

Длина земной ракеты не должна превосходить 100 м, в противном случае ракета будет иметь большую массу и ценность, да и абсолютная работа, необходимая для придания ей скорости и одоления сопротивления воздуха, будет велика. Значит, надо много взрывчатых веществ и затрат на них. Если ракета будет короче, чем в таблице во столько раз: v/l , то каждая частица воздуха будет подвергаться смещению более короткое время, чем когда скорость снаряда численно равна длине его. Время уменьшится в v/l [раз], но толщина δ увлекаемого слоя воздуха уменьшится не пропорционально, а примерно во столько раз: $1 + \ln(v/l)$. Во столько же раз уменьшится и сопротивление воздуха. Таким образом, вместо формулы (176) получим более точную, пригодную для всяких длин земной ракеты, а именно:

$$R = \frac{\delta}{2g} \cdot \frac{b\rho v^2}{1 + \ln\left(\frac{v}{l}\right)}. \quad (178)^*$$

Положим длину ракеты постоянной и равной 100 м. Скорости же различны. Тогда получим [табл.] 18.

* В данном издании формулы (178) и (179), а также табл. 19 даны с исправлениями, приведенными Циолковским в работе «Сопротивление воздуха и скорый поезд». Калуга, 1927, стр. 2. (Ред.).

Таблица 18

$v, \text{ м/сек}$	100	200	300	400	500
$\frac{v}{l}$	1	2	3	4	5
$\ln\left(\frac{v}{l}\right)$	0	0,69	1,10	1,39	1,61
$\ln\left(\frac{v}{l}\right)+1$	1	1,69	2,10	2,39	2,61
$v, \text{ м/сек}$	700	1000	2000	3000	4000
$\frac{v}{l}$	7	10	20	30	40
$\ln\left(\frac{v}{l}\right)$	1,95	2,30	3,00	3,40	3,69
$\ln\left(\frac{v}{l}\right)+1$	2,95	3,30	4,00	4,40	4,69

Последняя строка показывает, во сколько раз уменьшается толщина прилипшего слоя газа и сопротивление от трения в зависимости от уклона длины (2-я строка).

Пусть в формуле (178) $\delta = 0,01$, $l = 100$, $b = 3$. Тогда найдем

$$R = 1,95 \cdot 10^{-6} \frac{v^2}{1 + \ln\left(\frac{v}{l}\right)}. \quad (179)$$

Это даст возможность составить следующую таблицу (19) абсолютных и относительных сопротивлений при разной силе взрывания (l) [см. стр. 259].

Решим теперь вопрос о длине площадки для разбега земной ракеты. Часть площадки послужит для ускорения движения, а другая часть — для замедления и уничтожения его. Контрвзрывание не есть экономный способ уничтожения приобретенной скорости. Торможением через трение или сопротивление воздуха это можно сделать даже скорее, т. е. на более коротком пути. Можно прекратить смазку и выставить перпендикулярно к направлению движения планы. Их воздушное сопротивление скоро уничтожит скорость земной ракеты. На торможение, особенно, если люди уже улетели в космической ракете, надо гораздо меньшую часть дороги, чем на ускорение. Общая картина такова. Земная ракета мчится по рельсам ускоренным движением вместе с космической. Когда получится наибольшая скорость и начинается торможение земной ракеты, космическая вырвется по инерции из земной и пойдет своим путем все скорее и скорее, благодаря начавшемуся собственному взрыванию. Заторможенная же воздухом или другими средствами земная

Таблица 19

$\frac{v}{l}$	1	2	3	4	5	7	10	20	30	40	
$v, \text{ м/сек}$	100	200	300	400	500	700	1000	2000	3000	4000	
Давление, кг	19,5	46,2	83,7	130,4	187,0	324,1	591	1950	3990	6680	
Относительное сопротивление, %	Масса 100 т, $j = 10$	0,02	0,046	0,084	0,132	0,185	0,322	0,59	1,96	3,99	6,68
	Масса 100 т, $j = 1$	0,2	0,46	0,84	1,32	1,85	3,22	5,9	19,6	39,9	66,8
	Масса 10 т, $j = 1$	2	4,6	8,4	13,2	18,5	32,2	59,0	196	399	668
	Масса 10 т, $j = 4$	0,5	1,2	2,1	3,2	4,5	7,7	15,0	50,0	99,0	168,0

ракета покатит далее по площадке, но все медленнее, пока не остановится. Тормозящую часть площадки мы не будем считать, так как она может быть очень коротка. Чтобы сопротивление было наименьшим, космическая ракета должна составлять переднюю часть земной. Нос первой будет открыт (снаружи), а корма спрячется в ракете земной. Когда движение последней будет замедляться, то космическая ракета вырвется из земной и оставит ее. В земной поневоле откроется широкая пасть (зев), которая, представляя огромное сопротивление, и затормозится очень скоро воздухом. Ракета, без хлопот, сама остановится. Земная ракета очень длинная, и космическая займет в ней своей кормой только малую часть. Остальная останется для наполнения ее взрывчатым материалом и органами управления.

Для составления таблицы 20 (наибольших скоростей земной ракеты) имеем формулу

$$p = j - g \cdot \sin y. \quad (180)$$

Тут видим: равнодействующую (p), ускорение от взрывающей силы (j), тяжесть Земли (10 м/сек^2) и угол наклона пути к горизонту.

Далее

$$v = \sqrt{2p \cdot l} = \sqrt{2(j - g \cdot \sin y)l}. \quad (181)$$

Давление (P) на ракету взрывчатых веществ определяется уравнением

$$P = M_p \cdot \frac{j}{g}, \quad (182)$$

где M_p есть масса ракеты *; давление выражено в обыкновенных единицах.

Площадку считаем горизонтальной ($y = 0$). Может понадобиться только очень малый наклон, который приведенные скорости уменьшит немного, как и сопротивление воздуха.

Таблица 20

Длина рельс, км	1	2	5	10	50	100	200	300	500
$j = 100$	447	632	1 000	1 420	3 160	4 470	6 324	7 746	10 000
$j = 50$	316	447	707	1 000	2 236	3 162	4 472	5 477	7 071
$j = 30$	244	346	547	774	1 732	2 449	3 464	4 242	5 477
$j = 20$	200	282	447	632	1 414	2 000	2 828	3 468	4 472
$j = 10$	141	200	316	447	1 000	1 414	2 000	2 449	3 160
$j = 5$	100	141	223	316	707	1 000	1 414	1 732	2 236
$j = 3$	78	109	173	244	547	774	1 095	1 342	1 732
$j = 1$	45	63	100	142	316	447	632	774	1 000

Примечание. Таблица приведена здесь с исправлениями, сделанными Ф. А. Цандером при подготовке издания второго тома Избранных трудов К. Э. Циолковского, М., 1934 г. (Ред.).

Время движения земной ракеты получим, если скорость разделим на ускорение j . Так, при 500 км пути найдем, по таблице, от 100 сек до 1000 сек. При пути в 1 км будет от 4 $\frac{1}{2}$ до 45 сек. Время торможения может быть очень коротко.

Тяжесть, которая рождается от ускорения, по таблице, меняется от 0,1 до 10 земной. Слагаясь с последней, она дает кажущуюся тяжесть в ракетах от 1 до 10 (приблизительно). Рельсовый путь где-нибудь в горах, на высоте, возможен длиною и в 500 км (около 5° [окружности] Земли). Так что есть даже надежда на получение космических скоростей. Но большая тяжесть заставляет упрочнять ракеты и тем увеличивать их массы. Также понадобятся от нее и предохранительные средства для человека. Наконец, увеличивается работа сопротивления воздуха. Одним словом, достаточно и ускорение j , равное земному, и тогда же получим вполне достаточную предварительную скорость до 3260 м/сек. Небольшой очень полезный наклон пути в 10—20° немного уменьшит подготовительную скорость.

Можем вычислить и запасы взрывания для земной ракеты. Если пустая земная ракета весит 10 т, да небесная ракета с зарядом столько же, то все вместе составит 20 т. Теперь по таблице ([табл. 6], формула 43) вычислим в тоннах запас взрывного

* В формуле (182) под M_p следует понимать не массу ракеты, а ее вес. (Ред.).

материала для земной ракеты для получения разных скоростей. Скорость отброса (W) допустим в 4 км/сек.

Таблица 21

$\frac{M_2}{M_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
M_2, m	2	4	6	8	10	12
$v_{\max}, m/сек$	378	728	1048	1344	1620	1876
$\frac{M_2}{M_1}$	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2
M_2, m	14	16	18	20	30	40
$v_{\max}, m/сек$	2116	2344	2568	2772	3660	4392

Этих скоростей вполне довольно, между тем запас не превышает 40 т. Заметим, что сильное торможение может убить человека, управляющего земной ракетой. Поэтому лучше, если последняя управляется автоматически без людей. Пассажиры же космической ракеты окажутся вне при торможении, так как она уже вырвется тогда из земного снаряда.

Если космическая ракета таким путем получила начальную скорость без затраты своего собственного запаса, то она их может запастись меньше или, при тех же запасах, получить большую космическую скорость.

Имели

$$dv = -W \frac{dM}{M_1 + M} \quad (34)$$

$$v = -W \cdot \ln(M_1 + M) + \text{const.} \quad (35)$$

Если начальная скорость ракеты v_0 , то $M = M'_2$, т. е. масса отброса будет наибольшая (начальная). Следовательно,

$$v_0 = -W \cdot \ln(M_1 + M'_2) + \text{const.} \quad (183)$$

Вычитая из (35) (183), получим

$$v - v_0 = W \cdot \ln \left(\frac{M_1 + M'_2}{M_1 + M} \right). \quad (184)$$

Если $M = 0$, то получим наибольшую скорость (v_{\max}).

Следовательно,

$$v_{\max} = v_0 + W \cdot \ln \left(1 + \frac{M'_2}{M_1} \right). \quad (185)$$

Положим, что подготовительная, начальная скорость ракеты равна 3 км/сек, а надо иметь $v_{\max} = 8$ км/сек. W положим в

5 км/сек. Тогда, по таблице 6, найдем относительный запас космической ракеты равным $M'_2 : M_1 = 1,8$. Между тем как прямо для получения секундной скорости в 8 км надо относительный запас в 4 (табл. 6); из (185) можем получить:

$$\frac{M'_2}{M_1} = e^{\frac{v_{\max} - v_0}{w}} - 1. \quad (186)$$

Таблица 22

v_{\max} , км/см	8	11	17	v_{\max} , км/см	8	11	[17
$v_{\max} = 5$	3	6	12	$v_{\max} = 3$	5	8	14
$M'_2 : M_1$ (по 186)	0,8	2,31	10,0	$M'_2 : M_1$	1,72	4	15
$M_2 : M_1$ (по табл. 6)	4	8	30	$M_2 : M_1$	4	8	30
$v_{\max} = 4$	4	7	13				
$M'_2 : M_1$	1,24	3,08	12,0				
$M_2 : M_1$	4	8	30				

Воспользуемся этой формулой, чтобы составить сравнительную табличку 22. Из нее видно, что космическая ракета, имеющая предварительную скорость, гораздо менее перегружается взрывчатыми веществами, чем неимеющая этой скорости*. Так, для получения вышней космической скорости, одолевающей притяжение Солнца (17 км/сек), надо бы взрывчатых веществ 30. Если же ракета еще на суше получила уже 5 км/сек, то относительный запас составит только 10. Первая космическая скорость требует запаса в 4; если же была подготовительная скорость в 3 км/сек, то вес взрывчатых веществ составит только 0,8 веса ракеты.

[Форма земной ракеты]

Форма земной ракеты очень удлиненная, наименьшего сопротивления. Удлиненность может достигать 50. Так как ракета не покидает Землю и достаточно плотные слои атмосферы, то ее нет надобности делать герметически закрытой. Ее корпус может быть уподоблен корпусу аэроплана. В нем содержится помещение для взрывчатых веществ, которые нагнетаются насосами во взрывную трубу и выбрасываются силою взрыва в задней части ракеты. В ней же находится для накачивания и двигатель, приводимый в действие бензиномотором (возможно для этого и предварительное использование небольшой части запаса взрывчатых веществ. После работы в моторе они поступают во взрывную трубу и совершают работу реакции).

* По существу здесь впервые дается теория полета двухступенчатой ракеты. (Ред.).

[Космическая ракета]

Космическая ракета должна иметь наименьшую массу и объем, чтобы легче быть реализованной. Продолговатость ее 10, не более. Наибольший поперечник не менее 1—2 м. Форма также легко обтекаемая, но ее оболочка герметически закрыта, так как ракета удаляется в безвоздушное пространство, где через отверстия газ, необходимый для дыхания, мог бы весь выйти.

Основная оболочка ракеты должна выдерживать безопасно давление не меньше одной пятой атмосферы, если наполнена чистым кислородом. Действительно, у уровня океана мы получаем наибольшее количество кислорода. Частное давление его составляет около 0,2 ат. Таково и его количество. Значит, физиологически его достаточно. Но человек легко переносит или, по крайней мере, приспосабливается еще к вдвое меньшему количеству кислорода. На горах (в 5—6 км высоты), где вдвое меньше кислорода, человек еще свободно живет. Здоровые переносят, хотя с опасностью для жизни, еще вдвое большее разрежение (на высоте в 10 км). Во всяком случае 0,5 обыкновенного количества кислорода довольно. Значит, довольно кислорода при давлении его в 0,1 ат.

Оболочка ракеты должна иметь клапан, открывающийся наружу, если разность между внутренним и внешним давлением средин превышает, положим, 0,2 ат. Внизу, у уровня моря, абсолютное давление в ракете, стало быть, будет не более 1,2 ат, а в пустоте давление внутри снаряда не превзойдет 0,2. Это пределы, очевидно, пригодные для дыхания.

Если увеличить посредством регулятора внешнее давление на клапан, например, до 1 ат, то пределы давлений будут: две и одна атмосфера. Последнее на первое время пригоднее, как больший запас для дыхания. Внутреннее давление газа заставляет делать форму ракеты в виде дирижабля с круговыми поперечными сечениями. Эта же форма полезна и для получения наименьшего сопротивления воздуха. Она же избавляет ракету от излишества внутренних креплений и перегородок. Надутая крепко, ракета заменяет сложную балку, хорошо сопротивляющуюся перегибу и, вообще, изменению формы. Но так как ей приходится планировать и эта способность ее (без крыльев) слаба, то полезно соединять боками несколько оболочек (ракет) формы тел вращения. Соединенные бока должны укрепляться внутри перегородками. Такая сложная ракета, напоминающая волнистую пластину, с несколькими острыми хвостами и головами, или одно большое крыло, уже более успешно планирует. Космической ракете еще приходится выдерживать усиленную тяжесть. Это заставляет делать все ее органы более крепкими, чем нужно для сопротивления силам обыкновенной тяжести. Так, должны быть крепче отделения, хранящие взрывчатые ма-

териалы. Но мы видели, что наиболее выгоден малонаклонный полет с небольшим ускоренным движением (j менее 10). При этом тяжесть так мало изменится, что все расчеты можно смело делать на обыкновенную ее силу.

Придется еще принять во внимание сгущение и разрежение среды, окружающей быстро движущуюся ракету. В носовой части воздух снижается, что позволяет эту часть ракетной оболочки делать более слабой или тонкой, — в кормовой же стороне атмосфера разрежается, что заставляет кормовую часть делать прочнее или толще. Силы эти действуют, пока ракета в атмосфере. В пустоте их нет. Тем не менее, не ослабляя переднюю часть, заднюю необходимо делать более прочной. Это имеет большое значение для космической ракеты и меньшее для земной, вследствие ее значительной продолговатости. Мы видели, что общее продольное сопротивление воздуха составляет небольшую часть давления на ракету взрывчатых веществ. Нормальное к стенкам ракеты давление — такого же порядка. Следовательно, при среднем j оно составляет величину, не превышающую силу обыкновенной тяжести. Ввиду большого запаса прочности ракеты, этими силами, как и относительной тяжестью, можем пренебречь.

Таблица 23

Объем ракеты, m^3	5	10	15	20	30	40	50	100
Вес внутреннего газа плотности воздуха, кг	6,5	13	19,5	26	39	52	65	130
Вес оболочки, кг	33	65	98	130	195	260	325	650

Принимаем в основу главное: разность внутреннего и внешнего давлений для ракеты веретенообразной. Вот масса (табл. 23) оболочки, сделанной из самых крепких сплавов железа, при четырехкратном запасе прочности и разности давлений в 1 ат (вместо необходимой в 0,2 атмосферы). Этот вес зависит главным образом от объема оболочки, а не от вида и продолговатости, предполагая веретенообразную плавную форму.

Выходит, что вес оболочки только в 5 раз больше веса заключенного в ней воздуха обыкновенной плотности (0,0013). При давлении в 0,2 ат прочность будет 20, а при 0,1 запас прочности достигнет 40. Для помещения одного человека вполне достаточно 10 m^3 . Такого запаса кислорода довольно одному человеку на 10 дней, если все продукты дыхания поглощаются в самой ракете.

Наибольший груз, возможный для ракеты, при разных ее объемах, выражается примерно в тоннах 1-й строкой [табл. 23]. Этот груз, при всех объемах, в 154 раза больше веса оболочки. Впрочем, для малых ракет оболочка окажется непрактично тонка, так что ее поневоле придется делать толще раза в два, три и бо-

лее, смотря по малости объема. Это еще увеличит запас прочности малых ракет. Но малого объема оболочки, в таком случае, составят большую часть наивысшей грузоподъемности (154), например, 1; 2; 10%. Для больших же объемов вес оболочки менее 1%. Про наружную чешуйчатую оболочку, дающую возможность получить в эфире, на солнечном свете, от 150° тепла до 250° холода, мы уже говорили. Она же в блестящем виде может предохранить и от нагревания во время полета в воздухе, особенно, если между ней и крепкой оболочкой будет протекать холодный газ, выпускаемый из ракеты.

[Материал взрывчатых веществ]

Материал взрывчатых веществ был нами указан ранее. Обращенный в жидкость чистый водород содержит меньше потенциальной энергии, так как холоден и поглощает энергию при обращении в газ и химическое его действие слабее. Его трудно обращать в жидкость и хранить, так как без особых предосторожностей он быстро улетучивается. Пригоднее всего жидкие или легко обрабатываемые в жидкость углеводороды. Чем они летучее, тем больше содержат водорода и тем они выгоднее для дела. Кислород терпим и в жидком виде, тем более, что может служить источником охлаждения, к которому приходится прибегать для охлаждения ракеты (во время движения в атмосфере она нагревается) и взрывной трубы. Но разумнее поступить так: наибольшую часть запаса кислорода взять в образе его каких-либо эндогенных соединений, т. е. таких, которые синтезируются (составляются) с поглощением тепла. При разложении же они его обратно выделяют и увеличивают, таким образом, энергию горения. Другая, меньшая, часть кислорода может быть в чистом и жидком виде и служить сначала для охлаждения, а потом для дыхания и взрывания. Его приходится запасать немного. Герметически запечатанные жидкие газы развивают огромное давление, для одоления которого нужны очень массивные сосуды. Поэтому, чтобы не быть такими, они должны иметь отверстия, через которые могли бы свободно выходить образовавшиеся газы. Так поддерживается и их низкая температура. Действие сложных взрывчатых веществ немного уступает действию чистых водорода и кислорода. Последние дают скорость отброса (продукты соединения, или горения) в 5 км/сек, а сложные — 4 км/сек *. Значит, и скорость ракеты в последнем случае будет в таком же отношении уменьшена, т. е. на 20%.

Некоторые предлагают для реактивного действия сжатые в сосудах газы или сильно нагретые летучие жидкости. Это совершенно неприменимо и вот почему. Самые точные и многочислен-

* Без учета неизбежных потерь. (Ред.).

ные мои расчеты показывают, что вес резервуаров, самой лучшей формы и материала, по крайней мере в 5 раз больше веса сжатого воздуха, заменяющего взрывчатое вещество. Отсюда видно, что газовый отброс всегда будет раз в 5—10 весить меньше, чем ракета. Мы же видим (табл. 6), что для получения низшей космической скорости надо, чтобы взрывчатый материал, при самых благоприятных условиях, превышал по массе ракету в 4 раза. Хотя легкие газы и выгоднее, но они требуют и большего веса сосудов. То же скажем и про сильно нагретые газы. Вода и другие летучие жидкости, умеренно нагретые, дают некоторые преимущества и потому более пригодны для первых опытов невысокого полета. Мои вычисления показали, что с помощью сжатых газов можно подняться не выше 5 км, а посредством перегретой воды — не выше 60 км.

Нет ничего пока более энергичного и в то же время подходящего указанных ранее взрывчатых материалов.

Как же взрывать их и как хранить? Если взрывать так, как во всех известных старых и новых ракетах, то реактивное давление при взрыве будет передаваться на всю поверхность сосуда (их хранилища), что заставит делать его очень массивным. Давление взрывчатых веществ доходит до 5000 ат. В таком случае расчет нам покажет, что вес баков будет, по крайней мере, в 30 раз больше веса взрывчатых материалов при водяной их плотности (она на деле меньше, а это еще хуже). Если так, то снаряд не поднимется выше 15 км.

Но мы мало потеряем, если благодаря способу умеренного (т. е. нетщательного) смешения взрывчатых веществ ослабим давление их до 100 ат или в 50 раз. При этом и запас взрывчатых материалов может увеличиться во столько же раз и достичь $1^{2/3}$. И такого запаса мало. Дальнейшее уменьшение давления взрыва невыгодно ввиду давления атмосферы и малой утилизации химической энергии. Гораздо рассудительнее держать элементы взрыва особо, без давления и только накачивать их во взрывную трубу, т. е. особую камеру, где происходит химическое соединение (горение) элементов. Тогда для хранения их могут служить обыкновенные баки или даже сама разгороженная ракета. Неудобство в том, что приходится, преодолевая давление взрыва, накачивать вещества во взрывную камеру. Но если давление не более 100 ат, то работа этого нагнетания не очень велика.

Предлагаем тут таблицу 24, определяющую эту работу при разных космических скоростях и разной силе взрывания. Массу ракеты принимаем в 1 т, давление — в 100 ат.

Из нее видно, что при самой малой силе взрыва ($j = 1$) и при наименьшей космической скорости (8 км/сек) работа вдавливания или накачивания ограничивается 50 кгм, или половиною метрической силы. При самой же громадной космической

Скорость снаряда, км/сек	8	11	17
Масса взрывчатых веществ, t	4	8	30
Время взрывания, сек ([при] $j = 10$)	800	1100	1700
Секундное количество подаваемых взрывчатых веществ, кг	5	11	17
Работа накачивания, кГм	500	1100	1700
Время взрывания, сек ([при] $j = 1$)	8000	11000	17000
Количество взрывчатых веществ в 1 сек , кг	0,5	1,1	1,7
Работа, кГм	50	110	170

скорости и удесятеренной силе взрыва ($j = 10$) работа достигает 17 метрических сил.

Все это легко одолимо и даже может быть еще уменьшено при взрывании периодическом, о котором мы уже говорили. Понятно, что при увеличенной массе ракеты работа пропорционально увеличивается. Приведенные числа — средние, приблизительные. Плотность взрывчатых веществ принимается равной единице.

Из таблицы также видно, что работа накачивания будет необременительна даже тогда, когда давление взрывчатых веществ доведем до 1000 ат . Но при больших массах ракет и при большом давлении экономно применять периодическое давление и накачивание. Тогда работа намного сбавится.

Взрывная труба. Форма. Давление. Вес. Охлаждение

Главный двигатель ракеты есть взрывная труба, подобная по действию пушке с холостым зарядом. Насколько взрывная труба легче резервуара, выдерживающего ее давление, видно из следующего. Таблица 24 показывает, что при запасе взрывчатых веществ в 4 t секундный расход их составляет 0,5 кг . Столько же в 1 сек их и выходит из трубы. Значит, труба есть сосуд, содержащий 0,5 кг веществ, притом при давлении, большей частью уменьшенном сравнительно с давлением в резервуаре (где оно максимальное и равномерное). Резервуар же (бак) содержит веществ в 8000 раз больше. Стало быть, и вес его, по крайней мере, должен быть во столько же раз больше. Вот, примерно, какую экономию представляет моя ракета по отношению к употребляемым. Цилиндрическая форма трубы оказывается чересчур длинна. Коническая форма тем сильнее сокращает эту длину, чем конус больше расширяется. Но чем угол его больше, тем более и потери энергии, так как движение газов уклоняется в стороны. Все же при угле в 10° потеря почти незаметна. Но и в

таким большим углом нет надобности. Конус нужен усеченный. В меньшее основание накачиваются жидкие взрывчатые вещества. В трубе они смешиваются, взрываются, стремятся по трубе к открытому широкому основанию конуса, откуда и вырываются наружу, сильно разреженные, охлажденные, со скоростью до 5 км/сек. В цилиндрической трубе полезное давление совершается только на круглое основание цилиндра, куда нагнетаются взрывчатые вещества, — в конической же трубе полезное давление происходит на всю внутреннюю поверхность конуса. Поэтому основание конической трубы гораздо меньше, чем у цилиндрической. Легко выведем формулу, показывающую отношение площадей оснований конуса:

$$\frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \left(1 + \frac{l}{r} \operatorname{tg} \alpha\right)^2, \quad (187)$$

где по порядку поставлены: площадь большего основания и меньшего, длина трубы, радиус меньшего основания и тангенс угла отверстия конуса.

Если ракета весит 1 т, а со взрывчатыми веществами 5 т, и ускорение (j) ракеты 10, то и давление на трубу газов должно составлять 5 т. При наибольшем давлении газов в 100 ат и при цилиндрической трубе площадь ее основания будет 50 см², диаметр — 8, а радиус — 4 см. Приняв еще длину трубы в 10 м и положив в формуле (187) разные углы, составим табл. 25 для величины расширения трубы.

Таблица 25

Угол, град	1	2	3	4	5	6	8	10
$F_{\max} : F_{\min}$	28,8	95,1	199	342	524	740	1296	2000
Отношение диаметров . . .	5,37	9,75	14,1	18,5	22,9	27,2	36,0	44,7
Диаметр отверстия, м . . .	0,22	0,39	0,56	0,74	0,92	1,08	1,44	1,8

Отсюда видно, что довольно угла отверстия конуса даже в 1° и никак не более 5—6°. Потеря энергии при этом будет совершенно ничтожна. Несмотря на коническую форму трубы, хорошее использование силы взрывания требует возможно более длинной трубы, чтобы газы почти все свое беспорядочное движение (теплоту) превратили в поступательное движение. С целью увеличения длины трубы она может делать изгибы. Изгибание в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях может увеличить еще и устойчивость ракеты; вращение газов, страшно быстрое, заметит два массивных, нормальных между собою диска, вращающихся с умеренной скоростью (100—200 оборотов/сек) *.

* Позднее К. Э. Циолковский отказался от идеи изогнутого длинного сопла. (Ред.).

Двигатель для накачивания, ввиду его слабосильности, может быть аэропланного типа, только в разреженных слоях и в пустоте потреблять он будет (поневоле) запасенный кислород. Выход продуктов горения в нем должен быть направлен в общую взрывную трубу или в особую, параллельную главной. Нельзя пренебрегать и малым использованием энергии горячих продуктов горения в моторах. Весь запас взрывчатых веществ мы могли бы использовать в обыкновенных двигателях (бензиновых, газовых) для получения огромной механической энергии. Как она может быть велика, видно из таблицы 24. Наименьшее потребление взрывчатых веществ, по таблице, $0,5 \text{ кг/сек}$. Это количество содержит энергии (табл. 1) $1,37 \cdot 10^6 \text{ кгм}$. Если используется из этого 30%, то получим механическую энергию в $411\,000 \text{ кгм/сек}$. Это соответствует непрерывной работе более чем в 4000 метрических сил. Извлекая такую механическую работу, мы пользуемся продуктами горения, как реактивным материалом, во взрывной трубе. Особенно это было бы пригодно в разреженном воздухе и в пустоте. Но нам нет никакой надобности в такой громадной механической энергии. Для накачивания взрывчатых веществ надо очень немного работы (таблица 24) — от одной до 100 сил. Кроме того, это и невозможно, так как аэропланый мотор в 4000 метрических сил весит не менее 4 т. Его вес поглотит всю подъемную силу ракеты. Я хочу сказать, что механическая работа, которую мы можем получить почти без ущерба, в тысячи раз больше, чем нам нужно.

Некоторое затруднение видим в очень высокой температуре взрывания — в самом начале трубы. Она доходит до $2000\text{—}3000^\circ \text{C}$. Чем дальше от начала трубы, тем температура текущих и расширяющихся[ся] газов ниже. У самого выхода трубы она может быть ниже нуля и даже, в идеальном случае, доходит до 273° холода.

Труба должна быть сделана из крепкого, тугоплавкого и хорошо проводящего тепло материала. Тогда накалившаяся часть трубы будет отдавать свое тепло соседним холодным частям. Но этого недостаточно. Необходимо непрерывное, во время взрыва, охлаждение накалившихся частей трубы. Они могут быть окружены жидким кислородом, который все равно необходим для дыхания, горения в моторах и охлаждения человеческого помещения в ракете. Поэтому образовавшийся от нагревания трубою газ должен быть направлен, главным образом, в нагнетательный мотор. Все-таки некоторая начальная часть трубы будет испорчена во время взрывания, как оно ни кратковременно. Поэтому накалившаяся часть трубы должна делаться толще, чем нужно, чтобы противодействовать давлению газов. Оно ослабляется по мере удаления их от начала трубы, разрежения и охлаждения. Также и толщина стенок трубы тем тоньше, чем ближе они к выходному отверстию. Вес трубы очень незначителен даже при

наибольшем и равномерном давлении во всю ее длину. Так, приняв давление в 100 ат, четырехкратный запас прочности, лучший материал, длину трубы в 10 м и диаметр ее в 8 см, при цилиндрической форме, легко вычислим вес трубы, равный 32,5 кг. Но ведь это число дано, предполагая всю трубу такой же крепкой, как ее начало, где давление во множество раз больше, чем в других ее частях. Одним словом, это вес предельно большой.

Вес нагнетательного мотора будет от 5 до 100 кг (табл. 24).

[Органы направления ракеты]

Органы направления ракеты подобны аэропланам. Но они отличаются тем, что могут действовать не только в воздухе, но и в пустоте. Это три особых руля, и все они помещаются поблизости выходного расширенного отверстия взрывной трубы. Так как ракете, при спуске на Землю, приходится планировать без взрывания, как аэроплану, то рули эти не могут быть внутри трубы. Должны быть: 1) горизонтальный руль высоты; 2) отвесный руль направления и, наконец, 3) руль боковой устойчивости. Первые два нечего описывать, так как они тождественны с рулями аэропланами. Но действуют они и в пустоте, благодаря быстрому потоку выходящих из отверстия взрывной трубы газов. Уклонение руля вызывает на него давление потока (продуктов горения) и соответствующее уклонение снаряда. Эти рули могли бы иметь очень малую площадь, ввиду быстрого газового потока; но ракета должна планировать в воздухе, как аэроплан, и потому площадь рулей будет такая же большая, как у самолета. То же можем сказать и про крылышки боковой устойчивости. Поставленные по бокам корпуса снаряда, они будут работать только в атмосфере. Поэтому, кроме обыкновенных элеронов самолета, нужен другой орган устойчивости, действующий и в пустоте. Это есть небольшая пластинка перед выходным отверстием трубы, могущая вращаться вокруг оси, параллельной оси трубы и ракеты. При поворачивании пластинки вылетающий из трубы поток сам вращается; рождается его вихреобразное движение, что и заставляет снаряд поворачиваться вокруг своей длинной оси в ту или другую сторону.

Если этот руль снаружи, вне трубы, то он будет действовать и в воздухе, как аэропланые элероны, независимо от взрывания; но он чересчур слаб и для планирования не испытан. Поэтому, кроме него, придется прибегнуть и к обыкновенным элеронам. Извивы взрывной трубы, если они есть, также должны быть отнесены к органам направления или положения.

Ракета должна иметь кварцевые прозрачные окна, чтобы все кругом можно было обозревать и чтобы они не могли полопаться от нагревания и тряски. Внутри они должны быть прикрыты другим прозрачным слоем, защищающим от губительного дей-

ствия чистых солнечных лучей, не обезвреженных земной атмосферой. Компас едва ли может служить руководством к определению направления. Для этого пригодны более всего солнечные лучи; а если нет окон или они закрыты, то быстро вращающиеся маленькие диски. Короткое время взрывания и пребывания в атмосфере они могут служить безукоризненно.

Ввиду того, что выгоднее всего направляться при небольшом ускорении (j) ракеты, никаких особых предосторожностей для сохранения человека от усиленной тяжести не требуется, так как это усиление очень мало и нормальный субъект вынесет его даже стоя. При том оно продолжается несколько минут, самое большое 2—3 часа. Продукты его дыхания должны поглощаться щелочами и другими веществами, про что знают хорошо химики. Также должны обезвреживаться и все твердые и жидкие выделения человека. О добывании в эфире кислорода и пищи мною писалось. Дело это несомненной осуществимости.

Теперь мы поговорим о том, как можно начать работу космических достижений немедленно, сейчас же. Обыкновенно идут от известного к неизвестному: от швейной иглы к швейной машине, от ножа к мясорубке, от молотильных цепов к молотилке, от экипажа к автомобилю, от лодки к кораблю. Так и мы думаем перейти от аэроплана к реактивному прибору — для завоевания солнечной системы. Мы уже говорили, что ракета, летя сначала неизбежно в воздухе, должна иметь некоторые черты аэроплана. Но мы уже доказывали, что в нем непригодны колеса, воздушные винты, мотор, проницаемость помещения для газов, обременительны крылья. Все это мешает ему получить скорость, большую 200 м/сек, или 720 км/час. Самолет должен быть преобразован. Он не будет пригоден для целей воздушного транспорта, но постепенно станет пригоден для космических путешествий. Разве и сейчас аэроплан, летая на высоте 12 км, не одолевает уже 70—80% всей атмосферы и не приближается к сфере чистого эфира, окружающего Землю! Поможем же ему достигнуть большего. Вот грубые ступени (со многими промежуточными, которые опускаю) развития и преобразования аэропланного дела, достигающего высших целей.

1. Устраивается ракетный самолет с крыльями и обыкновенными органами направления. Но бензиновый мотор заменен взрывной трубой, куда накачиваются взрывчатые вещества слабым двигателем. Воздушного винта нет. Есть запас взрывчатых материалов и остается помещение для пилота, закрытое чем-нибудь прозрачным, так как скорость такого аппарата больше аэропланной и сквозняк невыносим. Этот прибор от реактивного действия взрывания покатится на полозьях по смазанным рельсам (ввиду небольшой сначала скорости могут остаться и колеса). Затем поднимется на воздух, достигнет максимума скорости, потеряет весь запас взрывчатых веществ и облегчен-

ный начнет планировать, как обыкновенный или безмоторный аэроплан, чтобы безопасно спуститься на сушу. Такой опыт, если верить газетам, уже был произведен с полным успехом каким-то инженером в Австралии.

Количество взрывчатых веществ и силу взрывания надо понемногу увеличивать, также максимальную скорость, дальность, а главное — высоту полета. Ввиду проницаемости для воздуха человеческого помещения в самолете, высота, конечно, не может быть больше известной рекордной высоты. Достаточно и 5 км поднятия. Цель этих опытов — уметь управлять аэропланом (при значительной скорости движения), взрывной трубой и планированием.

2. Крылья последующих самолетов надо понемногу уменьшать, силу мотора и скорость — увеличивать. Придется прибегнуть к получению предварительной, до взрывания, скорости с помощью описанных ранее средств.

3. Корпус дальнейших аэропланов следует делать непроницаемым для газов и наполненным кислородом, с приборами, поглощающими углекислый газ, аммиак и другие продукты выделения человека. Цель — достигать любого разрежения воздуха. Высота может много превосходить 12 км. В силу большой скорости при спуске, для безопасности, его можно делать на воде. Непроницаемость корпуса не даст ракете потонуть.

4. Применяются описанные мною рули, действующие отлично в пустоте и в очень разреженном воздухе, куда залетает снаряд. Пускается в ход бескрылый аэроплан, сдвоенный или строненный, надутый кислородом, герметически закрытый, хорошо планирующий. Он требует для поднятия на воздух большей предварительной скорости и, стало быть, усовершенствования разбежных приборов. Прибавочная скорость даст ему возможность подниматься все выше и выше. Центробежная сила может уже проявить свое действие и уменьшить работу движения.

5. Скорость достигает 8 км/сек, центробежная сила вполне уничтожает тяжесть и ракета впервые заходит за пределы атмосферы. Полетавши там, на сколько хватает кислорода и пищи, она все же спирально возвращается на Землю, тормозя себе воздухом и планируя без взрывания.

6. После этого можно употреблять корпус простой, несдвоенный. Полеты за атмосферу повторяются. Реактивные приборы все более и более удаляются от воздушной оболочки Земли и пребывают в эфире все дольше и дольше. Все же они возвращаются, так как имеют ограниченный запас пищи и кислорода.

7. Делаются попытки избавиться от углекислого газа и других человеческих выделений с помощью подобранных мелкорослых растений, дающих в то же время питательные вещества. Над этим много, много работают и медленно достигают успеха.

8. Устраиваются эфирные скафандры (одежды) для безопасного выхода из ракеты в эфир.

9. Для получения кислорода, пищи и очищения ракетного воздуха придумывают особые помещения для растений. Все это, в сложенном виде, уносится ракетами в эфир и там раскладывается и соединяется. Человек достигает большей независимости от Земли, так как добывает средства жизни самостоятельно.

10. Вокруг Земли устраиваются обширные поселения.

11. Используют солнечную энергию не только для питания и удобств жизни (комфорта), но и для перемещения по всей солнечной системе.

12. Основывают колонии в поясе астероидов и других местах солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела.

13. Развивается промышленность и размножаются невообразимо колонии.

14. Достигается индивидуальное (личности, отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство.

15. Население солнечной системы делается в сто тысяч миллионов раз больше теперешнего земного. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному Пути.

16. Начинается угасание Солнца. Оставшееся население солнечной системы удаляется от нее к другим солнцам, к ранее улетевшим братьям.

Космическая ракета

Опытная подготовка*

(Понимать и оценить эту статью
можно только освоившись
с моим «Исследованием» 1926 г.)**

Описание чертежа

Сначала необходимо произвести опыты на одном месте, т. е. без заметного перемещения прибора. Предполагается при этом выработать подходящую конструкцию, также управление взрывом, направлением прибора, его устойчивостью и пр.

Черт[еж] [рис. 1] изображает предполагаемое на первое время устройство аппарата. Рисунок схематический (переменный масштаб), т. е. без соблюдения пропорциональности частей. Потом я постараюсь приблизительно дать истинные размеры.

Начинаем описание справа налево.

1) *М* есть бензиновый мотор для выкачивания и накачивания жидкого воздуха, кислорода или его эндогенных соединений. Тот же мотор служит также и для накачивания водородных соединений. Глушитель следует устранить, а продукты горения выбрасывать назад по направлению, обратному предполагаемому движению. Это хоть немного увеличит реактивное действие ракеты. Впрочем, для опытов это неважно.

2) *Н. К.* и *Н. В.* — два насоса, приводимые в движение одним двигателем. Первый накачивает во взрывную трубу кислородные соединения, другой — водородные. Объемы их должны соответствовать полному соединению взрывчатых веществ. Объем кислородного цилиндра, вообще, больше водородного.

Окончательная регулировка может закончиться изменением хода одного из поршней. Регулировка имеет важное значение; если кислорода будет больше, чем нужно, то может загореться взрывная труба, если меньше, то даром будет пропадать горючее.

Определим отношение объемов насосных цилиндров в случае употребления бензина (C_6H_6) и жидкого кислорода (O_2). При

* Впервые опубликовано в 1927 г. в виде отдельной брошюры: «Космическая ракета. Опытная подготовка». Изд. автора, Калуга, 1927. (Ред.).

** См. статью «Исследование мировых пространств реактивными приборами», 1926 г.; наст. книга, стр. 188—273. (Ред.).

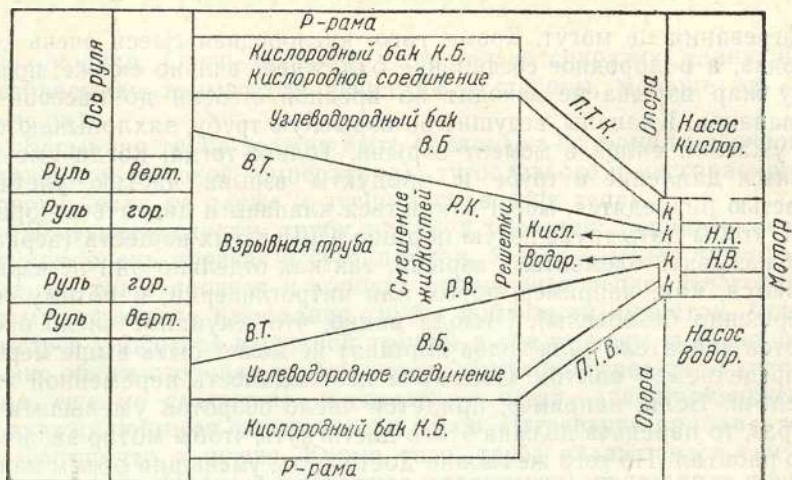


Рис. 1

сгорания получается вода (H_2O) и углекислый газ (CO_2). Для C_6 и получения CO_2 надо O_{12} , или 192 весовых части кислорода, а для H_6 надо O_3 , или 48 частей. Всего 240 частей кислорода. Бензол же имеет 78 частей. Стало быть, кислорода надо по весу больше в 3,1 раза. При одинаковых (приблизительно) плотностях и объем кислорода будет втрое больше, чем бензола. Если взять соединения, которые содержат больше водорода, например ожигенный этилен (C_2H_4), или скипидар ($C_{10}H_{16}$), то отношение будет больше, но мало изменится. Так, для маслородного газа (C_2H_4) оно будет 3,4. Для скипидара (терпентинное масло) оно близко к 3,2 (предполагая одинаковые плотности). Но при употреблении жидкого воздуха, в котором много азота, объемное количество кислорода насоса может увеличиться в 5 раз, и отношение объемов цилиндров дойдет до 15. Но часть азота обыкновенно удаляется, и потому это отношение гораздо меньше и может дойти до 4—5. Эндогенные соединения кислорода (например, азотный ангидрид N_2O_5) также это отношение увеличивают, но очень немного. Так это соединение доводит отношение кислородного соединения к водородному (бензину) до 4,2.

Если вталкивать каким-нибудь способом угольный порошок, т. е. чистый углерод ($C = 12$), то количество кислорода (O_2) окажется только в $2\frac{3}{4}$ раза больше, чем угля. Если же последний плотен, как алмаз, то кислорода по объему потребуется даже меньше, чем углерода.

3) *kk*; *kk* — насосные клапаны. У одного насоса два кислородных клапана, у другого — два водородных (т. е. пропускающих водородное соединение). Клапаны находятся на некотором расстоянии от места взрыва (*Р.К.*, *Р.В.*) и потому портятся от

нагревания не могут. Кроме того, кислородная смесь очень холодна, а водородное соединение охлаждено сильно ею же, почему жар взрыва не доходит во вредной степени до насосов и клапанов. Клапаны, ведущие во взрывную трубу, захлопываются с ужасной силой в момент взрыва. Только тогда, когда уменьшится давление в трубе и продукты взрыва частью улетят, частью разредаются, могут открыться клапаны и двигаться поршни, чтобы дать трубе новую порцию взрывчатых веществ (вернее их называть элементами взрыва, так как отдельно они не взрываются, как, например, порох или нитроглицерин, и потому совершенно безопасны). Отсюда видно, что секундное число оборотов двигателя (или ходов поршня) не может быть выше меры, определяемой опытом. Отсюда и необходимость переменной передачи. Если, например, придется число оборотов уменьшить в 5 раз, то передача должна этого достигнуть, чтобы мотор экономно работал. Но того же можно достигнуть, уменьшив объем каждого насоса в 5 раз или же ход поршней во столько же раз. Первое выгоднее. Тогда переменная передача или переменный ход поршней может понадобиться только в будущем для изменения силы взрывания.

4) *П. Т. К.* и *П. Т. В.* — проводные трубы для кислорода и водорода. Они идут от баков и оканчиваются у насосов. Они не подвергаются давлению взрыва, как и баки, и потому могут быть устроены из тонкого материала.

5) *Р. К.* и *Р. В.* — суть решетки с косыми дырами для лучшего смещения углеводорода с кислородной смесью. Начало взрывной трубы перегорожено пополам. По одной половине устремляется кислородная смесь, по другой — углеводород. Тут они холодны и смешаться не могут.

Смешение и взрыв происходят далее, за решетками, где множество разнородных струй приходят в столкновение и смешение. Накаленная в этом месте (еще ранее) труба побуждает их к химическому соединению или взрыву. (Для первых опытов нужно иметь электрический или другой запал, накаляемый при начале опытов, пока не накалилась перегородка.) Цель перегородки — удалить клапаны от чрезмерного жара, несколько охладить взрывную трубу и уменьшить (уравнять) силу взрыва и его давление на дно трубы.

Если дыры в решетке очень мелки и их много, то взрывание будет чересчур быстро, взрывной толчок ужасен, и труба может пострадать, число и размер дыр надо определить опытом, начав с дыр крупных, уменьшая их до возможной степени и увеличивая одновременно их число. Направление их или взаимный наклон также измеряется до получения лучшего результата.

6) *В. Т.* — взрывная труба конической формы. Эта расширяющаяся к выходу форма сокращает длину трубы. Опыт должен определить наиболее выгодную степень ее расхождения, или

угол конуса. Очень большой угол сильно сократит длину, но, разбрасывая взрывчатые вещества в стороны, меньше их использует.

Взрывная труба должна быть сделана из материала прочного (даже при высокой температуре), тугоплавкого и несгораемого; хорошо, если он также и лучший проводник тепла.

Доступнее сделать трубу из двух оболочек: первая — внутренняя, очень прочная и тугоплавкая, вторая — менее тугоплавкая, но тоже прочная и хорошо проводящая тепло. Благодаря этому, страшное нагревание трубы поблизости решеток будет быстрее уноситься наружной трубой в обе стороны и будет полезно обоим сторонам трубы: справа будут подогреваться холодные, еще не смешанные жидкости, а слева — расширяющиеся и охлаждающиеся оттого потоки газов. Нагревание прибавит и скорости, что и нужно. Кроме того, труба охлаждается еще и жидкостями. Нефть (водородное соединение) охлаждает трубу и сама охлаждается смесью жидкого кислорода.

Опыт заставит нас многократно менять материалы, взрывные вещества и устройство трубы.

7) В. Б. и К. Б. — внутренний водородный или нефтяной бак, окружающий горячую часть взрывной трубы, и наружный, окружающий водородный бак и охлаждающий его своим жидким кислородом. Баки не должны свариваться со взрывной трубой, так как она подвержена взрывным толчкам и потому будет рвать баки в случае тесного соединения их стенок с трубой. Герметическое соединение с нею возможно при волнистых стенках бака.

8) Р[уль] в[ерт]. и Р[уль] г[ор]. — рули против выходного отверстия взрывной трубы. Так как будущий аппарат летит то в воздухе, то в пустоте и опускается на землю планированием (после того, как израсходуется весь взрывной материал, или после того, как с намерением прекратит взрывы), то рули должны действовать одинаково хорошо как в воздухе, так и в пустоте. Также и при неподвижности привязанного аппарата во время первых опытов. Перед опытами прибор должен висеть на веревке, привязанной нижним концом к центру его тяжести, чтобы иметь безразличное равновесие. Сильно наклоняться он не может, так как этому мешает близкий пол (почва или помост). При первых опытах в помещении (или наружи) измеряется только средняя реактивная сила или отдача, возбуждаемая рядом почти сливающихся взрывов. Это есть тяга прибора или стремление его вперед. Конечно, при этих опытах прибор укрепляют так, чтобы он не мог вертеться и только натягивал заднюю веревку с динамометром. Потом упражняются в рулях. Делают свободным вращение аппарата и, маневрируя рулями, стараются дать ему определенное направление и стремятся сохранить его. Сначала упражняются с одним вертикальным рулем. Хотя снаряд и будет немного наклонен, но направление его в горизонтальной пло-

скости мы будем менять по желанию. Потом пускают в дело и горизонтальный руль, состоящий из двух плоскостей (вроде раздвоенного хвоста некоторых птиц) и двойной штанги для ручного управления. Таким способом пытаемся направить продольную ось ракеты независимо от пола. Даем, напр[имер], снаряду полную горизонтальность. Боковая устойчивость достигается взаимным наклоном частей горизонтального руля, что достигается расхождением рычагов двойной штанги. Тут нет ничего нового: все как у самолета. Эти же рули (они могут выходить за пределы трубы) служат также в пустоте при взрыве или даже без взрыва, но при стремительном движении снаряда в воздухе по инерции, когда он возвращается на землю планированием.

9—10) Рама *P* и перекаладина на раме, или опора *On*. Взрывная труба в ее узком начале должна быть особенно массивна. Тут у нее есть выдающаяся часть, которая и опирается на перекаладину рамы. Опора выдерживает на себе частый ряд могучих толчков, сливающихся в одно сильное давление, которое должно выдерживать перекаладина и рама. Для успешности этого число свободных вибраций перекаладины не должно быть кратным числу оборотов мотора, или числу взрывов. В противном случае раскачается и сломится даже очень крепкая опора.

Взрывание не может быть вполне равномерным, и ввиду массивности всей системы и большого числа взрывов в секунду (до 25) получится некоторое среднее давление, которое и определится силомером. Нам выгодно, чтобы сила взрывания (или тяга), приходящаяся на единицу массы утрачиваемых в секунду взрывных веществ, была наибольшей. Путем бесчисленных опытов мы этого должны добиться. Также целости и легкости всего аппарата. Целость достигается прочностью материала и другими его качествами, его формой (или устройством), хорошим охлаждением, обширностью взрывной части трубы (взрывная полость, что поблизости решеток) и уменьшением порции взрывных веществ и их силы. Взрывную полость нужно сокращать понемногу, понемногу же увеличивать и разовую порцию накачиваемых веществ.

Размеры и количества

Полагая тонну на весь снаряд на запасы взрывчатых материалов и управителя, практические результаты, т. е. возможность полета, получим уже при расходовании в секунду 0,3 кг взрывных веществ. (См. мое «Исследование», 1926 г., стр. 77) *.

Работа накачивания будет менее одной метр[ической] силы (там же, стр. 108) **. Отсюда видно, что на мотор выходит горючего в несколько сотен раз меньше, чем на взрывную трубу,

* См. наст. книгу, стр. 244. (Ред.).

** См. там же, стр. 267. (Ред.).

и потому реактивное действие двигателя (выброски газов назад) почти незаметно в сравнении с трубой.

Расчеты сделаем не на 0,3 кг, а на 1 кг. Узнаем в таком случае объем двух насосных цилиндров (вместе), предполагая единицу плотности взрывающихся веществ, что не очень далеко от истины.

Если мотор делает 25 об/сек, то каждый оборот должен давать 40 см³. Значит, оба насоса вместе имеют объем куба с ребром в 3,4 см. Насосы, очевидно, крохотные. Но благоразумнее начать с меньшего количества взрывных веществ, например с 0,1 кг.

Объем этого материала будет равен кубу с ребром в 1,6 см (16 мм). Ясно, что весом насосов мы можем совершенно пренебречь, тем более, что они не подвержены сильному давлению.

Опыт покажет, может ли небольшая сила вгонять во взрывную трубу столько или более материала. Расчет в моей книжке сделан на 100 ат непрерывного давления, между тем как, при быстром смещении и малости взрывной полости, оно может доходить до 3000—5000 ат. Но когда развивается подобное давление, то клапаны им запираются, насос не действует и поршень лишь сжимает жидкость или пружинный шатун (примыкающий к поршню стержень) немного сжимается под влиянием движения мотыля (кривошипа). Однако это настолько краткий момент, что насос его почти не замечает. В этот момент газы вырываются, давление в трубе и на клапаны ослабляется и насос работает, как ни в чем не бывало.

Трудно теоретически определить наиболее выгодный диаметр начала взрывной трубы, но он не может быть меньше примерного размера насосов. То есть диаметр трубы не менее 2—4 см. Значит, площадь от 4 до 16 см². Наибольшее давление на дно, предполагая 3000 ат, не превысит 12—48 т. Но это только на короткий миг (удары). Нам достаточно среднее давление в 1 т.

И при этом уже возможны полеты. При конической трубе еще прибавляется составляющее продольное давление, благодаря наклону трубных стенок. Значит, среднее давление на дно может быть меньше 1 т.

Но сильное давление на короткий момент или толчки не выгодны, так как заставляют делать массивнее взрывную трубу и клапаны, что увеличивает тяжесть ракеты. Поэтому смещение не должно быть тщательным. Надо начать опыты с решеток не очень мелких, чтобы избежать мгновенного взрыва и ужасных ударов, хотя ввиду присутствия внешнего атмосферного давления выгоднее быстрый взрыв и большое давление. Дабы уменьшить разрушительные для трубы удары, можно ее сделать сначала просторнее и крепче, чем по расчету.

Мотор, накачивающий горючее и кислород, будет работать почти впустую, а массивность трубы нужна будет только для

коротких толчков. Но для начала можно пренебречь экономией веса. Потом надо стремиться удлинить моменты давления, чтобы они занимали, по крайней мере, половину всего времени, или столько же, сколько моменты слабого или нулевого давления. Для этого придется или участить число движений насосов, или увеличить их объем. Первое выгоднее, так как даст более равномерное давление. Тогда использование массивности трубы будет больше, так как среднее реактивное давление пропорционально увеличится. Работа же мотора возрастает не сильно, так как вкачивание должно совпадать с наименьшим давлением в трубе, которое бывает после взрыва. Только движение поршней будет прерывистее и пружинность шатуна или мотыля должна увеличиться.

Крепость трубы используется тут тем, что усилится ее действие или получится большее среднее реактивное давление при том же весе трубы. Но можно, не усиливая реактивное действие, уменьшить массу трубы, увеличивая число взмахов насоса и уменьшая в то же время их объем.

Но возвратимся к первым опытам и первым скромным числам. Скорость движения струи в насосах, при площади сечения от 2 до 8 см², будет от 50 до 125 см/сек (объем насосов от 4 до 40 см³). Число оборотов мотора — 25 в 1 сек.

При выходе из трубы газы не могут иметь менее одной атмосферы давления. Если положить разрежение в 1300, то абсолютная температур[атура] выходящих из взрывной трубы газов будет 625 или 352° С («Исследование» 1926 г., стр. 33) *. Значит, вылетающие газы в атмосфере еще будут очень горячи, и использование тепла (обращение его в движение) будет никак не более 95 %, а на самом деле гораздо меньше, ибо температура выходящих газов будет, вероятно, много выше. Их скорость не будет превышать 3—4 км/сек (там же, стр. 42) **. Надо добиваться наибольшей скорости, что возможно только при определенных размерах трубы. Широкое основание трубы безопаснее, но дать наибольших скоростей такая труба не может.

В редких слоях воздуха или в пустоте разрежение может быть очень высокое и будет зависеть от размеров и формы трубы. Температура уходящих продуктов горения будет очень низкая, использование температуры наибольшее и скорость максимальная. Но нам придется начать полеты в атмосфере, и потому рассчитывать на выгоды пустого пространства мы можем только потом, когда достигнем успеха в воздухе. В пустоте, например, наибольшее давление газов в трубе может быть очень малым, и мы ничего от этого не потеряем (См. «Исследование»...). Из этого видно, что со временем, поднявшись в разреженные слои

* См. наст. книгу, стр. 211. (Ред.).

** Там же, стр. 218. (Ред.).

атмосферы с помощью массивной трубы, мы можем ее отбросить от себя и продолжать полет при помощи трубы более легкой, с малым давлением. Но малое давление (сжатие в атмосферах) заставило бы переделать трубу: при выходе из атмосферы сделать ее шире и длиннее, без изменения общего веса, ибо стенки при этом утоньшатся. Такое изменение в пути невозможно, а потому труба, приспособленная к воздушному давлению, остается без изменения и в пустоте. Было бы полезно ее удлинить, т. е. сделать насадку на конец трубы, что, может быть, и будут делать в разреженных слоях воздуха и вне атмосферы. Это возможно.

Есть еще способ высшего использования энергии взрывания: уменьшить в пустоте расход взрывчатых веществ в секунду. Но это возможно только в ограниченном размере, смотря по начальной силе взрывания в атмосфере. Она может быть так мала, что и уменьшать будет нечего. Все же, по мере увеличения ракетной скорости, силу взрывания в пустоте можно ослаблять почти до нуля.

Какова же будет толщина стенок и вес взрывной трубы!

Давление газов (на кв. сантиметр) с удалением от начала трубы быстро падает вследствие их разрежения и происходящего от того охлаждения. Распределение плотностей и температур в трубе подобно такому же распределению их в отвесном столбе атмосферы, хотя полной тождественности и нет. Действительно, хотя газы первое время (т. е. на некотором протяжении от начала трубы) и расширяются, но температура их не понижается и равна температуре диссоциации продуктов горения. Это оттого, что сначала только часть элементов соединяется химически, другая находится в состоянии разложения, ибо полному химическому соединению мешает высокая температура (3000—4000° С). Когда же соединение всех элементов закончится, газы будут расширяться и охлаждаться как в столбе атмосферы.

Отсюда видно, что только начало взрывной трубы подвержено сильному давлению. Мы будем рассчитывать вес трубы и толщину ее стенок лишь на 1 м длины и на постоянное давление в 3000 ат, хотя среднее давление, в особенности при первых опытах, будет гораздо меньше.

Если диаметр трубы в несколько раз больше толщины ее стенок, то можно принимать (при обыкновенном хорошем материале), что вес сосуда в шесть раз больше, чем вес сжатого в сосуде воздуха (или газа плотности и упругости воздуха). Но здесь этот закон не применим, так как толщина стенок составляет значительную часть диаметра трубы. Зато, при нашем расчете на достаточную поперечную прочность, продольная прочность окажется избыточной (т. е. гораздо больше, чем нужно).

Произведем же расчеты

$$\delta = R - r. \quad (1)$$

Здесь даны толщина стенок трубы и радиусы ее: наружный и внутренний. Далее

$$q = 2(R - r) \frac{\sigma}{n}. \quad (2)$$

Тут показаны: сопротивление материала трубы на протяжении единицы ее длины, коэффициент сопротивления металла и желаемый запас прочности. Давление газов на том же протяжении будет

$$p = 10^3 \cdot p_a \cdot 2r, \quad (3)$$

где p_a есть давление в метрических атмосферах. Приравнявая это давление с сопротивлением, из (1), (2) и (3) получим

$$\frac{R - r}{r} = \frac{\delta}{r} = 10^3 \cdot p_a \cdot \frac{n}{\sigma}. \quad (4)$$

Положим тут $p_a = 3000$; $n = 6$; $\sigma = 60 \text{ кг/мм}^2 = 6 \cdot 10^6 \text{ г/см}^2$. Теперь найдем $\delta : r = 3$. Значит толщина стенок будет в 3 раза больше внутреннего радиуса трубы или в полтора раза большее ее внутреннего диаметра. Но есть материалы, вдвое более прочные, и запас прочности, ввиду меньшего давления в трубе, можно также уменьшить вдвое. Тогда толщина стенок составит только $\frac{3}{8}$ радиуса, или $\frac{3}{4}$ диаметра.

Вес трубы будет

$$G = \pi (R^2 - r^2) \cdot \gamma \cdot 100. \quad (5)$$

Это на протяжении 100 см; γ есть тут плотность материала. Мы принимали $2r$ от 2 до 4 см.

Из (5) и (4) найдем

$$G = \pi p_a \cdot \gamma r^2 \left(10^3 \cdot p_a \cdot \frac{n}{\sigma} + 2 \right) \cdot 10^5 \cdot \frac{n}{\sigma}. \quad (6)$$

Мы принимали внутренний диаметр трубы от 2 до 4 см, или радиус от 1 до 2 см. Значит, формула (6) даст при обычном материале и большом запасе прочности для веса трубы от 37,7 до 150,7 кг. А для очень крепкого материала и меньшем запасе прочности — от 5,2 до 20,7 кг. Но можно обойтись без формулы (6). Действительно, $r =$ от 1 до 2 см, $\delta =$ от 3 до 6 см, $R =$ от 4 до 8 см. Значит, вес трубы по формуле (5) будет $2512 \cdot (R^2 - r^2)$, или от 37,7 до 150,7 кг. Так же можно получить вес трубы, когда толщина $\frac{3}{8}$ внутр[еннего] радиуса.

Что же выходит? Наибольший вес трубы не превышает 151 кг, и это при трате 1 кг взрывчатых веществ в 1 сек. Это более чем достаточно для заатмосферных полетов при полном весе ракеты в 1 т. Все остальное весит очень немного. Вес мотора

с насосами и трубами — не более 10 кг. На раму, баки, рули, пилота и проч[ее] положим 140 кг, итого будет около 310 кг. На взрывчатые вещества останется 700 кг, т. е. вдвое больше.

Для первых опытов и даже для полетов в стратосфере и пустоте этого может быть довольно. 700 кг водородных и кислородных соединений хватит на взрывание в течение от 700 до 7000 сек, или от 11,7 мин до 1 час 57 мин.

И труба и весь снаряд, при опытах на месте, могут быть еще легче: до 100 кг.

Кислородное эндогенное соединение или смесь

На первое время можно употребить жидкий воздух. Примесь азота ослабит взрыв и понизит максимальную температуру. Со временем количество азота следует понемногу убавлять. Температура от этого повысится немного ввиду явления диссоциации. Холодная жидкость, входя в отделение взрывной трубы, весьма полезна для ее охлаждения. Жидкий воздух очень дешев и может быть еще дешевле.

Плотность его близка к единице, теплота испарения ничтожна (65), температура — 194, теплоемкость невелика. Нагревая и испаряя его, мы немного теряем энергии, тем более что она получается от перегретых частей трубы, охлаждение которых совершенно неизбежно.

Выгоднее жидкого воздуха был бы азотный ангидрид (N_2O_5), если бы не его дороговизна, химическое действие, неустойчивость и ядовитость. В нем кислорода втрое больше, чем азота. Притом это есть эндогенное соединение, и потому оно при разложении выделяет тепло, его пришлось бы и подогревать, так как при обыкновенной температуре он тверд. Не порекомендуют ли знаменитые немецкие физики более подходящие эндогенные соединения кислорода! Но понемножку жидкий воздух можно заменить кислородом (из воздуха), который во всех отношениях лучше N_2O_5 . Его температура в открытом сосуде — 182° С. Жидкий кислород из воздуха почти чист.

Водородное соединение

Жидкий водород вообще неприменим, в особенности на первое время. Причина: дороговизна, низкая температура, теплота испарения, трудность хранения. Практичнее употребить углеводороды с возможно большим относительно количеством водорода. Энергия их горения почти такая же, как разделенных водорода и углерода. Продукты горения парообразны или газообразны. Только примесь углерода повышает температуру горения, вследствие его большей трудности диссоциации.

Но углеводороды с наибольшим процентом содержания водорода газообразны, как напр[имер], метан (CH_4), или болотный газ. Обращается он в жидкость трудно и на первое время не применим, хотя в нем водорода только в 3 раза (по весу) меньше, чем углерода. Подходящее будет бензол (C_6H_6), хотя в нем углерода в 12 раз больше, чем водорода. Еще доступнее нефть с возможно большим содержанием водорода. Она даже дешевле жидкого воздуха. Нефть есть смесь углеводородов. В предельном углеводороде ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) водород составляет не менее шестой доли (по весу) и не более третьей. Повторяем, что все углеводороды, в отношении химической энергии, могут считаться, приблизительно, за смесь водорода с углеродом. Плотность их большею частью меньше единицы. Все они выделяют летучие продукты и потому пригодны для ракеты.

Максимальная скорость продуктов горения, при замене водорода углеводородами, немного уменьшается: примерно, с 5 км/сек до 4 км/сек (см. «Исследование», стр. 16) *. Это при кислороде, содержащем немного азота.

Температура

Для начала, чем она будет ниже, тем лучше, так как легче найти материалы для взрывной трубы. Примесь азота к кислороду поэтому полезна. Холодность жидкого воздуха и охлажденной им нефти — так же, хотя это охлаждение заставляет нас терять энергию. Но углерод нефти температуру горения возвышает. В этом отношении выгоден был бы чистый водород, к которому, может быть, и перейдут со временем. Может быть, найдут его выгодные эндогенные соединения. Очень был бы выгоден одноатомный водород (H); если верить сведениям, то он выделяет на 1 г, при образовании двухатомного водорода (H_2), 50 000 кал, т. е. почти в 16 раз более, чем грамм гремучего газа (см. мое «Исследование» 1903 г.). Отсюда видно, что существуют практические источники энергии, в десятки раз более энергичные, чем самые могучие из известных (как гремучий газ, окисление кальция и другие).

Сколько бы ни выделяли тела тепла при горении, их температура не может превышать температуры диссоциации. Для воды же она гораздо ниже, чем для углекислого газа. Все же приходится предпочесть пока нефть, богатую водородом, ввиду ее доступности. Притом высокая температура горения углерода несколько понижается от присутствия паров воды, которые разлагаются этой высокой степенью тепла.

В общем, если бы не было искусственного и естественного охлаждения трубы, высшая температура ее могла бы достигать 3000° С. Но газы, после смешения, взрывания и достижения выс-

* См. наст. книгу, стр. 199. (Ред.).

шей температуры, устремляются к выходу, все более и более расширяясь и от того охлаждаясь: беспорядочное тепловое движение, благодаря направляющему действию трубы, превращается в согласное, механическое, струйное. В пустоте температура вылетающих газов должна бы достигнуть абсолютного нуля, так как там расширение не ограничено внешним давлением. В атмосфере же, при достаточно длинной конической трубе, температур[а] понизится до 300—600° С. Средняя температур[а] взрывной трубы поэтому не может быть очень высока: ведь тепло от накалившихся ее частей быстро убегает к холодным. Кроме того, труба непрерывно охлаждается снаружи и внутри. В самом деле, в перегородженную ее начальную часть проникают непрерывной струей две очень холодные жидкости: жидкий воздух и охлажденная им же нефть. А наружные стенки трубы еще охлаждаются холодной нефтью, которая сама охлаждена окружающим ее жидким воздухом. Отсюда видно, что лишь центральная часть газового столба во взрывной трубе может иметь высшую температуру, части же его (продукты горения), прилегающие к стенкам, имеют температуру умеренную, так как охлаждаются холодной (вернее — не очень накаленной) трубой.

Материалы взрывной трубы

Не может ли и при этих условиях расплавиться и загореться труба? Или хотя бы ее часть, подверженная высшей температуре? Горению металла (т. е. соединению его с кислородом или другими веществами) в начале трубы мешает низкая температура жидкостей и холодные стенки трубы. Перегородка тут препятствует химическому процессу, а значит и выделению (рождению) тепла. Уже за перегородкой происходит смешение и горение. Тут температура достигает максимума. Но кислород быстро поглощается водородом и углеродом, не имея возможности сильно действовать на охлажденный металл трубы и соединиться с ним химически. При избытке водорода смесь даже обладает восстанавливающей силой, т. е. раскисляет металл. Сравнительно низкая температура стенок трубы даже мешает их расплавлению. Но не мешает применить перемешивание нефти.

Безопасность взрывной трубы можно видеть из техники сваривания железа ацетилено-кислородным пламенем. Температура его выше температуры горения наших взрывных веществ, ибо берется чистый кислород, и ацетилен (C_2H_2) содержит много углерода. При избытке водорода (т. е. его соединения — ацетилена) железо не только не горит, но даже окись его восстанавливается. Оно и не плавится, если его охлаждать хотя бы водой с задней стороны, так как не может достигнуть температуры плавления. Большие массы металлов затруднительно сплавлять, ибо их прежде нужно сильно нагреть.

Все же мы должны стремиться к тому, чтобы материал трубы был не только крепок и тугоплавок, но и обладал хорошою теплопроводностью, также малым химическим сродством с кислородом и другими элементами, входящими в состав взрывчатых веществ.

Много тел имеют высокую температуру плавления. Например, вольфрам плавится при 3200°C . Но металлы такие редки, дороги и обработка их в больших массах пока невозможна в силу именно их тугоплавкости. Пока от подобных материалов приходится отказаться. Начать придется с простого железа. Температура его плавления в чистом виде 1700°C , стали — меньше (около $1200\text{—}1300$). А нам ее как раз и придется употребить ввиду ее крепости. Чтобы ее увеличить, можно сплавлять ее с вольфрамом, хромом, никелем, марганцем, кобальтом и т. д. Тут нужны указания специалистов, каких немало среди немцев.

Полезно было бы покрыть стальную трубу слоем хорошо проводящего тепло металла, вроде красной меди, алюминия и проч[ее] (для лучшего охлаждения трубы). Но эти вещества обыкновенно или легкоплавки или непрочны. Поэтому такой прием не экономичен в отношении веса. Разве металлурги укажут нам подходящий для того материал. До тех пор придется обойтись без этих покрышек и довольствоваться лучшим сортом стали и ее теплопроводностью, которая, по-видимому, достаточна для первых опытов.

Если бы даже взрывная труба в месте ее высшей температуры немного и пригорела, то и то была бы беда не очень значительная. Ведь толщина ее стенок тут как раз наибольшая.

Сделаем еще обозрение работы всей машины, чтобы лучше судить о необходимых качествах разных материалов, входящих в ее состав.

Пускаем бензиновый мотор вхолостую. Заметим, что для уменьшения массивности его маховика полезно сделать двигатель многоцилиндровым, например двухцилиндровым двойного действия.

Сцепляем мотор с двойным насосом, который начнет выкачивать из баков страшно холодные жидкости и вгонять их в перегороженное начало трубы. Начнутся взрывы. (Собственно, ряд холостых выстрелов.) Часть трубы за перегородкой накалится, и тепло будет распространяться по трубе в обе стороны, значит и на перегороженную часть. Поэтому жидкости, еще не доходя до перегородок, будут нагреваться, обращаться в газы и пары.

Через решетки уже будут вырываться газообразные вещества более или менее плотные. Смещение этим облегчится, так что, может быть, не понадобятся и решетки. Но начало взрывной трубы, клапаны и насосы будут в прохладе и потому пострадать никак не могут. На них пойдут обыкновенные материалы.

Каждый взмах насоса дает взрыв. Сгущенная взрывная волна, дав могучий толчок трубе и соединенной с ней раме, распространится вдоль трубы в виде расширяющейся и охлаждающейся от этого газовой массы. До конца трубы, при атмосферном давлении, доходит не очень горячий газ с температурой в 300—600° С. Во всяком случае ее легко вынесут металлические рули. В пустоте же температура окажется совсем низкой, в зависимости от расширения трубы и длины ее. Частные взрывы (до 25 в 1 сек) сливаются в один и дают тягу (ряд отдач) или движенье аппарату.

Успех опытов на месте (в станке) в следующем.

1. Аппарат должен оставаться целым, а взрывная труба не должна доходить до полного разрушения после израсходования всех взрывчатых веществ.

2. Массивность аппарата при этом должна быть наименьшей.

3. Реактивное давление должно быть наибольшим, согласно скорости расходования продуктов взрыва и их качеству.

4. Для этого сгорание должно быть как можно совершеннее.

5. Также температура оставляющих трубу газов — наименьшей.

6. Прибор должен поворачиваться по желанию опытного управителя и сохранять желаемое направление.

7. Работа насосов не должна быть велика.

После опытов на одном месте и достижения успеха можно снаряд поставить на четыре колеса и катиться реактивным действием на аэродроме. Сначала он может быть обыкновенных размеров, но по мере увеличения скорости размеры его должны возрастать. Возможно, что придется воспользоваться в тихую погоду озером и глиссером, сняв колеса.

При четырех колесах придется управлять одним отвесным рулем поворота, при двух колесах вдоль — рулями поворота и боковой устойчивости, наконец, при одном колесе — всеми рулями.

Затем с аэродрома или озера можно начать взлеты, не выходя за пределы тропосферы. Для облегчения этого следует к аппарату приспособить аэропланные крылья, а рули увеличить настолько, чтобы они могли служить для планирования и при отступлении взрывания.

Дальнейшее уже описано мною в «Исследовании» 1926 года. Впрочем, опытные работы могут повести нас и по иному пути. Они вернее направят нашу деятельность.

Безопасность работ

Все опыты надо производить умеючи и с крайней осторожностью. Запас элементов взрыва сначала должен быть очень небольшой: примерно для десятка взмахов, т. е. для десяти

холостых выстрелов. Насосы можно взять наименьших размеров или ход их поршней сократить и приводить их в действие руками или ногами. После каждого опыта, т. е. немногих взрывов, осматривать состояние взрывной трубы, клапанов, рамы и всего аппарата. Только понемногу учащать число взрывов и их силу.

Для начала можно воспользоваться короткой цилиндрической взрывной трубой с постоянной толщиной стенок, потом такой же, но длиннее и с уменьшением стенок к выходному отверстию, далее — конической с быстрым уменьшением стенок к концу. При наименьшем весе трубы (по расчету) надо ограждать ее на случай разрыва другой трубой.

Охлаждение, на первое время, можно делать водой (как охлаждаются пушки), запасы взрывчатых материалов держать друг от друга в отдалении, хотя только быстрое смешение этих запасов может дать опасный взрыв в помещении. Они же у нас лежат в разных сосудах и сами по себе совершенно безвредны (только сосуд с жидким воздухом должен иметь сверху отверстие для свободного испарения. Чтобы его меньше уходило, следует ограждать сосуды от проникновения внешнего тепла. В пустоте это легко, в воздухе же нужны сосуды на манер дюаровских. Впрочем, взрывание так недолго в космической ракете, что вне опытов эти предосторожности излишни, так как потери и при обыкновенных баках незначительны).

Учащая число взрывов и [увеличивая] порцию каждого заряда, в конце концов, прибегнем к мотору и к типу снаряда, более или менее близкому к нашему чертежу.

В сущности, мы имеем дело с частым рядом не очень сильных холостых выстрелов. Поэтому, если взрывная труба достаточно крепка или предохранена, то мы ничем не рискуем, производя свои эксперименты. Но опыты должны руководить нами. Ничего абсолютно верного мы не должны считать в наших теоретических указаниях.

Труды о космической ракете *

[1903—1929 гг.]

Ценность моих работ состоит, главным образом, в вычислениях и вытекающих отсюда выводах. В техническом же отношении мною почти ничего не сделано. Тут необходим длинный ряд опытов, сооружений и выучки. Этот практический путь и даст нам техническое решение вопроса.

Длинный путь экспериментального труда неизбежен. Пока же могут быть даны только малозначащие схемы (см. чертежи и их описание) и приводимые тут указания, основанные на многочисленных формулах и вычислениях.

Самое название (ракета) уже указывает основу движения этого космического корабля. Сила непрерывного взрывания ракеты гораздо слабее орудийных выстрелов. Оно производит сзади давление на прибор и дает ему ускорение. Последнее рождает прибавочную кажущуюся тяжесть. Как ускорение, так и прибавочная тяжесть может быть невелика. Величина ее близка к земной.

Так как полет почти горизонтален, то прибавочная тяжесть, равная земной, увеличивает натуральную не более чем раза в полтора (при опорном движении в воздухе). Большое ускорение ракеты выгодно в отношении экономии взрывчатых веществ. Но с другой стороны невыгодно, так как увеличивает давление на прибор и человека. Усиленная тяжесть требует большей крепости снаряда или большей его массы и опасна для живого существа. Последнее требует его предохранения, что также увеличивает общий вес снаряда. Кроме того, большое ускорение увеличивает работу ракеты на движение в воздухе и нагревание ракеты от трения.

Предохранение человека производится погружением его в жидкость (если секундное ускорение снаряда более 20 м), плот-

* Напечатано впервые в сборнике «Реактивное движение», вып. 2. М., ОНТИ, 1936, стр. 7—12. В настоящем издании работа публикуется по подлиннику. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 60). (Ред.).

ность которой равна средней плотности существа. Количество жидкости не играет роли и может быть очень мало, если предохранительный сосуд имеет форму человека. Но самый сосуд должен быть достаточно крепок.

В жидкости человек теряет вес, как бы последний силен не был. Поэтому в жидкой среде существо может выдержать огромное ускорение, т. е. большую относительную тяжесть. Только неравномерность плотности разных частей его тела (кости, кровь) ограничивает безопасную величину ускорения ракеты и возбуждаемую тяжесть.

Одним словом, есть ускорение наиболее выгодное, и оно должно быть близко к земному, т. е. к 10 м/сек^2 . При таком малом ускорении наклонный путь ракеты должен быть близок к горизонтальному. Выгоды малонаклонного движения огромны в сравнении с его невыгодами. Последние зависят от увеличения пути в атмосфере и увеличения оттого расхода энергии. Но так как сопротивление атмосферы вообще невелико по отношению к давлению на ракету и общей сумме потребной энергии*, то мы и выбираем малонаклонный путь, как наиболее выгодный. Его преимущества в следующем: можно употребить малое ускорение, или малую силу взрывания; можно избавиться от предохранительного для человека сосуда; расход работы на сопротивление воздуха уменьшается от малой начальной скорости; ракета может быть легче от малой прибавочной тяжести.

Существует наклон наиболее экономический. Величина его — не более $10\text{—}20^\circ$ **.

Важную роль играет скорость вылетающих из взрывной трубы газов. Чем она больше, тем и окончательная скорость ракеты значительнее. Газы получаются, например, от горения в трубе смеси жидкого кислорода с нефтью. Они свободно расширяются, отчего охлаждаются, и часть теплоты превращается в механическую скорость. Но внешнее давление атмосферы мешает безграничному расширению газов и такому же их охлаждению. Если бы дело происходило в пустоте, за атмосферой, то расширяющиеся газы достигли бы температуры абсолютного нуля и вся тепловая энергия превратилась бы в движение. Тогда бы скорость вылетающих из трубы газов достигла наибольшей возможной величины. Расчеты показывают, что она достигла бы $4\text{—}5 \text{ км/сек}$. Скорость артиллерийских снарядов, а стало быть и газов, при вылете их из дула, не более $1\text{—}2 \text{ км/сек}$. (Опыты Годдарда дали от $2,3$ до $2,4 \text{ км/сек}$.) Эта малая скорость зависит от четырех причин: орудие недостаточно длинно, атмосфера пре-

* Это справедливо только для космических ракет. У стратосферных ракет сопротивление атмосферы играет очень большую роль. (Ред.).

** См. примеч. к работе «Космический корабль»; наст. книга, стр. 172. (Ред.).

пятствует безграничному расширению газов, употребляемые взрывчатые вещества выделяют мало энергии, и, наконец, часть ее поглощается движением тяжелого ядра.

Конечно, взрывание в ракете невыгодно производить без трубы, так как тогда реактивное давление газов на ракету будет направлено в разные стороны и движения ее не получится или будет очень слабо. Труба направляет поток газов в одну сторону и только при выходе из жерла газы расширяются во все стороны и потому бесполезно для ракеты. Ясно, что труба должна иметь огромную длину.

Однако длинная цилиндрическая труба может быть заменена очень короткой конической, с углом раствора не более 30° . Это сокращает длину трубы во множество раз при отличном использовании тепла.

Выгодно употребление многих взрывных труб: во-первых, охлаждение лучше, во-вторых, тонкие трубы сравнительно легче и крепче, т. е. вес нескольких труб будет иметь меньшую массу, чем заменяющая их одна толстая труба.

Большую часть времени взрывания ракета мчится в разреженном воздухе или пустоте. Взрывающиеся материалы смешиваются в трубе и могут быть выбраны с наибольшей теплотой горения. Наконец, ракета не нуждается, как пушка, в ядре: она выбрасывает только газы. Вот почему ракета выбрасывает их в пустоте со скоростью 4—5 км/сек. Сравнительно малый путь в атмосфере не дает для газов таких скоростей. Но, во-первых, движение ракеты может начаться с высоких гор, во-вторых, ей внешней силой, до взрывания, дают на тех же горах значительную поступательную скорость, что сократит ее путь над горами в плотном еще слое атмосферы.

Докажем, что ракета может приобрести любую скорость. Возьмем, для простоты выводов, что тяжесть отсутствует или что направление взрывания нормально к ней. Означим массу ракеты, без взрывчатых веществ, через единицу. Пусть и взрывная масса будет такая же. Равные массы, отталкиваясь друг от друга, приобретают, приблизительно, равные скорости. Значит, это даст ракете секундную скорость, близкую к 5 км. Если ракета возьмет с собой три части взрывчатых веществ, то скорость уже удвоится. Действительно, выбрасывая сначала 2 части взрывчатых материалов, мы остальным двум даем скорость в 5 км/сек. Выбрасывая затем имеющуюся у нас еще одну часть, получим прибавку скорости 5 км/сек, а всего ракета получит уже 10 км скорости в секунду. Если будем последовательно брать такие запасы: $2-1=1$; $4-1=3$; $8-1=7$; $16-1=15$; $32-1=31$, то получим следующие скорости ракеты: 5; 10; 15; 20; 25 км/сек и т. д., очевидно величина скорости неограничена. Второй скорости почти достаточно для удаления от Земли и перехода на ее годовую орбиту, третьей почти довольно для приближения к любой

планете и даже блуждания среди солнц Млечного Пути (разумеется, если ракета будет пущена по направлению годового движения Земли).

Спрашивается, можно ли брать такие запасы взрыва, которые превышают массу всего сооружения с человеком и всем необходимым, в три, семь и более раз?

Способ обычного ракетного взрывания не годится. В самом деле, тут реактивное действие взрыва, т. е. давление, передается всему резервуару, заключающему все запасы взрывания. От этого сам сосуд будет иметь массу в несколько раз большую массы взрывных веществ, иначе резервуар окажется недостаточно крепким и взорвется. Таким образом, в обыкновенной ракете взрывная масса всегда будет составлять не более 10—20% массы ракеты, тогда как она должна быть во много раз больше массы ракеты.

Относительное количество взрывных веществ может быть громадным, если вещества будут нагнетаться в камеру взрывания по мере надобности, т. е. понемногу, например по 100—200—1000 г в 1 сек. Сами по себе элементы взрыва, изолированные друг от друга, взорваться не могут. Нефть на стенки не давит. Жидкий же кислород, будучи открыт и свободно испаряясь, также не дает никакого давления. Значит заключающие их резервуары будут немного тяжелее бензиновых или керосиновых баков.

При этих условиях и при незначительном ускорении ракеты масса элементов взрыва может быть в десятки раз больше снаряженной ракеты*.

Масса взрывной трубы и камеры, в ее начале, также невелика ввиду незначительного секундного количества взрывающихся веществ. Узкое начало трубы достаточно охлаждается нефтью, а последняя — кислородом.

Кроме того, выгоднее прерывистое (периодическое) нагнетание элементов взрыва, т. е. накаченный материал сначала взрывается и освобождает трубу, а потом уже другой толчок насоса наполняет трубу взрывающимися веществами и т. д.

В таком случае не потребуется очень большой работы для нагнетания элементов взрыва. Но полное число зарядов в 1 сек огромно для каждой трубы: примерно — 20 или 50. Толчки на снаряд уравниваются благодаря множеству труб. Вот еще выгода их многократности, кроме указанных.

Ракета входит в разреженные слои воздуха, затем попадает в безвоздушное пространство. При наклоне ее пути к горизонту на 12° и секундном ускорении в 10 м получим, приблизительно, такие скорости, расстояния и высоты в зависимости от числа

* Для одноступенчатой ракеты отношение веса топлива к весу ракеты без топлива пока не превосходит 10—12. (Ред.)

прошедших секунд. Начальная скорость равна нулю, тяжесть увеличивается в полтора раза. Воздух играет роль опоры.

Времена в сотнях секунд:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11

Секундные скорости ракеты, км:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11

Пройденные расстояния, км:

10 | 40 | 90 | 160 | 250 | 360 | 490 | 640 | 810 | 1000 | 1210

Поднятие над горизонтом, км:

2 | 8 | 18 | 32 | 50 | 72 | 98 | 128 | 162 | 200 | 242

Прибавка высоты от кривизны Земли:

0,016 | 0,25 | 1,3 | 4 | 10 | 21 | 38 | 65 | 104 | 160 | 232

Отсюда видно, что уже через 200 *сек* ракета попадает в слой воздуха, в три раза менее плотный, чем внизу (между тем как истраченная энергия взрывания составляет примерно 20% полной). Через 300 *сек* ракета почти избавляется от сопротивления атмосферы, ибо тут воздух разрежается раз в 14; спустя 1100 *сек* (менее 19 *мин*) от начала полета ракета выходит из атмосферы и приобретает уже скорость, достаточную, чтобы стать на орбиту Земли и сделаться самостоятельной планетой, спутником Солнца. Взрывание по истечении 19 *мин* может быть прекращено. Ракета будет мчаться по инерции в пустоте, теряя скорость только от притяжения Земли или других небесных тел. Но оно остановить ее уже не может.

Все эти упрощенные выводы предполагают очень удлиненную плавную форму ракеты и достаточную опору в воздухе, благодаря ее скорости и соединению нескольких ракет их боками или плоским крыльям (см. мое [сочинение]: «Новый аэроплан»)*.

После прекращения взрывания ракета и все в ней находящееся как бы теряют тяжесть. Так кажется находящемуся в ракете человеку. Земля по-прежнему притягивает ракету и все находящиеся в ней предметы, что выражается в непрерывном замедлении их движения. Но эта тяжесть действует одинаково как на ракету, так и на человека в ней. Поэтому относительное положение их не изменяется. Они двигаются с одинаковой скоростью и не сближаются между собой, подобно сору, увлекаемому одним течением воды. Относительного падения нет, значит нет и тяжести.

Усиленная тяжесть, в первые 19 *мин* взрыва, не могла повредить организму: или по своей малости или благодаря предохранительным средствам ванны. Но не может ли повредить отсутствие тяжести? Действие ее выражается в увеличенном дав-

* См. наст. книгу, стр. 296—312. (Ред.).

лении столба крови и отягчении внутренних органов. Очевидно, отсутствие этого отягчения и давления также безопасно, как лежание или купанье. Тут тоже тяжесть как бы уничтожается. Наконец, если даже стояние вверх ногами не убивает организм, то, значит, и отсутствие тяжести не может этого сделать. Прилив крови к мозгу, без сомнения, увеличивается, и недостаток тяжести может также вредно сказаться для человека, как лежание в постели. Однако лежать можно годами и остаться в живых. Молодой организм ко всему приспосабливается. Свобода от тяжести только может утомить, как и долгое лежание. Впрочем, вращение ракеты и центробежная сила, от того происходящая, могут нам возвратить тяжесть и притом любой величины.

Перейдем к дыханию. Пространство внутри ракеты должно быть плотно закрыто, в противном случае газ через малейшую щелку быстро улетучится, т. е. уйдет из ракеты и рассеется в небесном пространстве. Кроме того, нужен непрерывный приток кислорода, так как человек обращает его дыханием в углекислый газ. И другими своими выделениями он портит воздух. Но у нас есть запас жидкого кислорода. Кроме того, множество веществ способно его выделять от подогревания и других причин. Углекислый газ и прочие выделения человека также способны поглощаться щелочами и обезвреживаться разными веществами. Но лучше всего очищать нашу маленькую атмосферу растениями, как это происходит на земном шаре. Попутно получим и пищу, т. е. плоды от растений.

Приобретение ракетой космических скоростей чрезвычайно облегчится введением ракетных поездов и особых дорог для них, ведущих на гору (см. мое [сочинение] «Ракетные поезда»)*.

Человечество со временем заселит околосолнечное пространство. Но это произойдет не сразу, а путем труда и многих жертв. Полная солнечная энергия в 2 миллиарда раз больше получаемой Землей. Люди воспользуются этим богатством, хотя и нелегко будет путь к нему. Но человечество уже вступило на эту дорогу. Теперь производят опыты с реактивными автомобилями, санями и самолетами. Они научат нас выгодному взрыванию и управлению. К земному транспорту в низших слоях атмосферы реактивные приборы не применимы, потому что дадут неэкономические результаты. Затем будем ждать от жизни следующих шагов реактивного дела.

1. Реактивного автомобиля с двумя колесами (на одной оси) и умения управлять двумя рулями.

2. Реактивного автомобиля на одном колесе и умения управлять еще боковой устойчивостью.

* Имеется в виду работа «Космические ракетные поезда»; см. наст. книгу стр. 313—340. (Ред.).

3. Такого же автомобиля с крыльями, умеющего взлетать и затем спускаться планированием. Автомобиль превратится в реактивный аэроплан. Но надо помнить, что для замены обыкновенного самолета он не экономен.

4. Такого же аэроплана с кабиной, не выпускающей кислород, и со снарядами, дающими возможность человеку дышать в изолированной кабине.

5. Взлеты на высоту выше 12 км и даже за пределы атмосферы с последующим планированием и спуском на Землю без употребления взрывания.

6. Продолжительное пребывание вне атмосферы, на круговой орбите (состояние маленькой луны), и безопасное возвращение планированием без расхода взрывных веществ.

7. Приспособление растений в ракете для очищения воздуха и получения пищи.

8. Начало развития техники вне атмосферы.

9. Использование солнечной энергии и давления света для перемещения в эфирном пространстве. Точные расчеты показывают, что килограмм массы зеркала при его поверхности в 10 м^2 , на расстоянии Земли, получает от действия света в течение года прибавку скорости 2 км/сек . Но где нет тяжести, там зеркала могут [получить] еще больше при той же массе. Вращением тончайших зеркал (вообще пластин) можно придать им натяжение, гладкость и сопротивляемость в нормальном к ним направлении. Так что межпланетные путешествия вполне обеспечены, если только существует давление света.

10. Переселение в области эфира между орбитами Земли и Марса или другими орбитами, более подходящими.

11. Могущественное развитие техники в эфире. Чрезвычайное размножение и усовершенствование населения.

12. Постепенное использование и занятие небольших тел планетной системы, начиная с самых наименьших астероидов и спутников.

13. Удаление к иному солнцу при ослаблении и погасании нашего. Сколько тысяч лет поглотит этот путь у нас — предвидеть трудно.

Новый аэроплан*

1. Представьте себе сильно надутую воздухом или кислородом поверхность вращения в виде веретена. Диаметр его поперечного сечения не меньше 2 м, длина не меньше 20 м.

Параллельный ряд таких веретен смыкается боками и образует волнистую квадратную пластинку с зубцами сзади и на концах (см. чертежи. Они по порядку показывают: вид сверху, сбоку, спереди, поперечный разрез и схему поднятия с водной поверхности).

Площадь пластинки не менее 400 м^2 (20×20). Спереди и сзади, на каждом остром конце, помещен воздушный (гребной) винт. Диаметр его не менее 1 м, число их не менее 10—20 штук.

По бокам, назад, устроены два больших руля высоты, которые служат и рулями боковой устойчивости. Сверху снаряда, тоже сзади, помещен один или несколько рулей направления.

Двигатели приводят в действие пропеллеры (винты, наприм.).

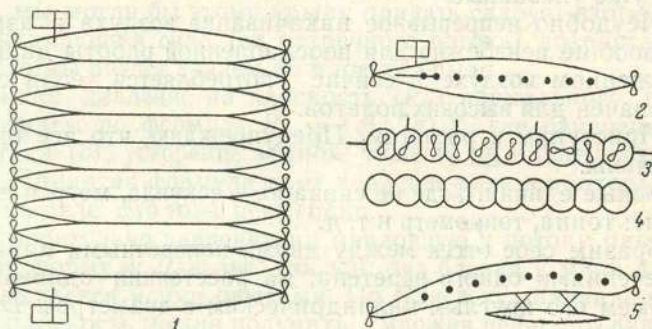
2. При взлете аэроплана с воды надо поставить его на особые поплавки в слегка наклонном положении. Когда он приобретет достаточную скорость и взлетит, то полавки эти отцепляются и аэроплан летит без них. Спуск же, благодаря его непроницаемости, может быть и непосредственно на воду (т. е. без поплавок). Так же производится и взлет с аэродрома, но вместо поплавок будет уже колесная основа, которая также оставляется на суше при поднятии аэроплана на воздух. Тут спуск также требует обширной водной поверхности. Он возможен и без нее при ровном поле или на плоской снежной поверхности. Таскать за собою тяжелую тележку или полавки невыгодно, и это скоро оставят.

3. Вот, в главном, устройство нового безфюзеляжного аэроплана. Спрашивается, какие же преимущества он имеет. Они

* Впервые опубликовано отдельной брошюрой. Изд. автора. Калуга, 1929. (Ред.).

хорошо выясняется только путем вычислений. Однако мы заранее приводим тут перечисление наиболее очевидных выгод.

4. Вследствие непроницаемости для воздуха получается постоянное внутри самолета давление и, следовательно, безопасный полет в разреженных слоях атмосферы. В этом случае приходится накачивать воздух в камеры, чтобы жечь его в двигателях. Но ведь накачивание необходимо и в обыкновенных аэропланах при полете их на высотах.



5. Прочность всего снаряда вследствие внутреннего сверхдавления, а потому и наименьший его вес.

6. Наименьший вес и наибольшая прочность еще от возможности равномерного распределения людей и грузов.

7. Малое сопротивление воздуха вследствие отсутствия корпуса, ножек, колес, поплавков, крыльев, тяжей, стержней и т. д.— и большая оттого скорость.

7₁. Оттого же экономия веса.

8. Простая конструкция, а потому дешевизна всего сооружения.

9. Возможность строить большие грузоподъемные самолеты на сто и более пассажиров*.

10. Удобное распределение многих воздушных винтов и моторов. Отчего полная безопасность. Одновременная порча или остановка даже пяти моторов совершенно безопасна и почти не замедляет полет. От этого же можно употреблять винты небольшого диаметра и допускать большое число оборотов мотора и увеличенную их энергию.

11. Можно удлинять и расширять снаряд, не увеличивая его высоты. При расширении его работа уменьшается (продолговатость крыла поперечная), а при сужении увеличивается (продолговатость продольная). Последующие расчеты делаем на квадратное крыло.

* Современные пассажирские самолеты с фюзеляжем (например, ТУ-104, ТУ-114) имеют более 100 мест. (Ред.).

12. Малая мощность одного мотора и потому минимальный вес, однообразие, дешевизна и простота.

13 Много простора и комфорта.

14. Возможность летать на больших высотах, где воздух разрежен, а потому иметь большие скорости поступательного движения.

15. Постепенный переход к космическому реактивному кораблю. Другие преимущества выясним вычислениями, которые подтвердят уже указанные.

16. Неудобно непрерывное накачивание воздуха в аэроплан, но оно вообще неизбежно для неослабленной работы двигателей в разреженном воздухе и сейчас употребляется, если самолет предназначен для высоких полетов.

17. Приступим к расчетам. Предупреждаю, что все они приблизительны.

Основные единицы, где не сказано,— секунда, метр и его производные: тонна, тоннометр и т. д.

Вообразим себе отсек между двумя поперечными параллельными сечениями одного веретена, на расстоянии одного метра. Мы примем его круглым цилиндрическим с диаметром D (среднее сечение).

18. Окружность u этого сечения, также и поверхность F , будет: $u = F = \pi D$, где π есть отношение [длины] окружности к диаметру.

19. Вес оболочки (G_1) выразится: $G_1 = \pi D \delta \rho$, где δ и ρ суть толщина оболочки и плотность ее материала.

20. Площадь ее горизонтальной проекции равна $F_h = D$.

21. Нагрузку (q_1) одной оболочки на единицу площади проекции найдем из (19) и (20)

$$q_1 = G_1 : F_h = \pi \delta \rho.$$

22. Но это нагрузка неполная. Это только нагрузка от веса оболочки (q_1). Она еще увеличивается от веса моторов, органов управления (q_2), горючего с баками (q_3), людей и грузов (q_4) и запасная (q_5). Так что полная нагрузка (q) будет равна

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5.$$

23. Если положить пока для простоты, что все нагрузки одинаковы, то найдем из (21 и 22)

$$q = 5q_1 = 5\pi \delta \rho.$$

24. Сопротивление разрыву оболочки (S_k) должно равняться сверхдавлению (P) газа внутри оболочки. Поэтому напомним

$$S_k = \delta \cdot 2K_z : n = P \cdot F_h = P \cdot D.$$

K_z есть временное сопротивление разрыву, n — запас прочности и P есть сверхдавление газа на единицу площади.

25. Формула (24) дает нам возможность узнать толщину оболочки, а следовательно, и вес ее и нагрузку. Будет известна и нагрузка полная. Таким образом, из (23 и 24) получим

$$\delta = PDn : 2K_z \text{ и } q = 5q_1 = 5\pi r PDn : 2K_z.$$

Частные нагрузки на 1 м^2 проекции мы приняли в одну пятую полной (22).

25. В общем поверхность всего аэроплана представляет как бы одно плоское крыло. Мы принимаем самые невыгодные условия. Так, мы могли бы этому крылу придать слабую изогнутость, и поддерживающая сила (от встречного потока) возрастала бы вдвое*. Но мы расчет делаем на плоское крыло

27. Также давление на плоскость (P_n) нормального потока мы принимаем по формуле $P_n = (c^2 : 2g) \gamma$, где означены скорость потока (c), ускорение земной тяжести [g] и плотность воздуха [γ]. Принятая формула дает давление раза в полтора меньше, чем на деле. Это тоже невыгодно.

28. Относительно давления на наклонную к потоку плоскость принимаю формулу Ланглей, так как она близка к моей и вполне оправдывается моими опытами. По Ланглю, давление на наклонную плоскость можно получить, умножив величину давления нормального потока на

$$2 \sin y : (1 + \sin^2 y).$$

Но при выгодном полете аэроплана угол наклона его к горизонту очень мал и потому мы можем нормальное давление просто помножить на удвоенный синус угла. Погрешность будет незначительна. Отныне синус угла будем означать так: $\sin y$.

29. Тогда получим, по условию 26, давление, которое на самом деле гораздо больше, особенно если придать легкую кривизну нашему самолету. Именно, подъемная сила (P_v) слегка наклонного к горизонту 1 м^2 будет (26 и 28)

$$P_v = (c^2 : g) \cdot \gamma \cdot \sin y.$$

Ошибка будет небольшая. Так, при угле в 10° она не более 3%. Что это значит в сравнении с тем, как мы уменьшили подъемную силу воздуха по условиям (26 и 27).

30. Равномерный горизонтальный полет аэроплана требует, чтобы полная нагрузка (q) была равна подъемной его силе (P_v). Поэтому из (25 и 29) получим

$$c = \sqrt{5\pi g r P_n D : 2\gamma \sin y \cdot K_z}.$$

Тут выражена скорость независимо от веса оболочки и вообще веса аэроплана и его частей. Подразумевается только, что он должен быть равен его полной подъемной силе от давления встречного потока на крыло. Подъемная сила может быть очень

* Это утверждение неточно. См., например, формулу Н. Е. Жуковского для дуговой пластинки. (Ред.).

мала, и тогда вес аэроплана должен быть тоже мал, что практически неосуществимо, и обратно: он может быть очень велик, что также неосуществимо. Поэтому эта скорость для нас малоинтересна. Из формулы видим, что она должна возрасти с увеличением сверхдавления, желаемой прочности и размера (D) и уменьшаться с увеличением плотности воздуха, угла наклона крыла и крепости материала.

31. Надо разобрать теперь значение энергии (или мощности двигателей) и сопротивления воздуха от трения и инерции.

Вообразим наш аэроплан длиной в l , шириною в b и высотой в D . Надо определить полное его сопротивление при движении в воздухе и удельное, т. е. на 1 м^2 гориз[онтальной] проекции.

Я пользуюсь своей работой «Сопротивл[ение] воздуха [и скорый поезд]», 1927 г. Там формулы (20) и (23) определяют полное сопротивление поверхности эллипсоида вращения. Мы не будем разбирать значение постоянных в этих формулах, а только назовем их числами. Кроме того, полное сопротивление мы разделим на величину горизонт[альной] проекции. Ее площадь можем положить равной $l \cdot D \cdot 0,75$, где выражены диаметр и длина эллипсоида.

32. Тогда вместо (23) формулы, дающей полное сопротивление, получим сопротивление удельное, т. е. на 1 м^2 проекции:

$$P_{h_1} = \gamma f c^2 \cdot (A : X^3 + B : XD),$$

33... где $A = 0,0212$; $B = 0,00134$; X есть продолговатость формы, или отношение длины ее к высоте, а f — особый коэффициент трения (формула (20), «Сопротивл[ение]», 27 г.), зависящий от отношения $l : c$. Он определяется вычислением (20) или таблицами [той же работы].

34. Определяя A и B , мы положили: $\pi = 3,14$; $g = 9,8$; $K_{ш} = 0,4$; $K_{ф} = 1$; $K_{пл} = 1$; $K_{\eta} = 0,75$; $\delta_1 = 0,0084$. Значение этих постоянных достаточно разъяснено в моем «Сопротивлении», 27 г. *

35. Для удобства вычислений мы положим еще в формуле (32): $A : X^3 + B : X \cdot D = C$. Тогда $P_{h_1} = \gamma f c^2 C$.

36. Это удельное сопротивление от трения и инерции, когда аэроплан летит совершенно горизонтально. Для получения подъемной силы нужен наклон. Поэтому получается еще горизонтальное сопротивление (P_{h_2}) от наклона аэроплана. Это есть горизонтальная составляющая подъемной силы (P_v), или нормально-го давления воздуха на крыло. Она равна (см. 29)

$$P_{h_2} = P_v \cdot \sin y = (c^2 : g) \gamma \cdot \sin^2 y.$$

* Имеется в виду работа «Сопротивление воздуха и скорый поезд» (1927 г.). Приведенные здесь постоянные имеют следующие значения: $K_{ш}$ — коэффициент сопротивления шара; $K_{ф}$ — коэффициент формы; $K_{пл}$ — коэффициент сопротивления плоской пластинки; K_{η} — коэффициент сужения; δ_1 — толщина поверхностного слоя. (Ред.).

37. Теперь могли бы узнать требуемую от аэроплана работу, умножив сумму всех горизонтальных сопротивлений (34 и 35) на скорость движения. Но благодаря употреблению пропеллера (винт или что другое) работа аэроплана [будет] более идеальной в некоторое число a раз.

38. Итак, получим секундную работу аэроплана (из 35, 36 и 37):

$$(P_{h_1} + P_{h_2})ac = \alpha \gamma c^3 (fC + \sin^2 y : g) = N_1.$$

Последняя буква означает величину удельной мощности мотора, т. е. его секундную работу, приходящуюся на 1 м^2 горизонтальной проекции аэроплана.

39. С другой стороны, мощность (N_1) обуславливается величиной подъемной силы: чем больше она, тем больше мы можем уделить массы для двигателей, и, следовательно, тем больше будет мощность. В 23 параграфе мы допустили, что массы, ассигнованные на 5 деталей воздухоплавания, одинаковы и равны массе оболочки. Таким образом, вес моторов выразится весом оболочки или пятой долей полной нагрузки (см. 25). Зная же вес моторов, их энергию (E), или секундную работу единицы их массы (удельную работу), нетрудно выразить и их мощность. Таким образом, с помощью 25 найдем

$$N_1 = 0,5\pi EP\rho Dn : K_z.$$

40. Основные уравнения следующие. Формула (25) выражает полную нагрузку на 1 м^2 проекции в зависимости от веса оболочки. Форм[ула] (29) — то же, но подъемную силу в зависимости от скорости поступательного движения. Форм[ула] (38) — удельную мощность, зависящую от скорости горизонтального движения и угла наклона. Форм[ула] (39) — тоже мощность на 1 м^2 проекции в зависимости от веса моторов, который принят равным весу оболочки, или 0,2 полной подъемной силы. Уравнения (32), (33) и (36) суть вспомогательные. Все семь формул относятся к 1 м^2 горизонтальной проекции аэроплана. Без уравнения (25) мы не можем обойтись, так как оболочка, летая на высоте, а также ради прочности, должна иметь определенную массивность.

Для горизонтальности полета полная нагрузка (q) должна равняться удельной подъемной силе (P_v). Это дает возможность исключить из уравнений (25) и (29) удельную нагрузку или удельную подъемную силу.

Также удельная мощность (N_1), в зависимости от сопротивления среды (38), и она же, только в зависимости от удельного веса моторов (39), — равны между собой, что дает нам возможность исключить и удельную мощность (N_1).

Таким образом, получим

$$41. \quad 2,5\pi\rho PD \cdot \frac{n}{K_z} = \frac{c^2}{g} \cdot \gamma \cdot \sin y$$

и

$$42. \quad a\gamma c^3 \left(fC + \frac{\sin^2 y}{g} \right) = 0,5\pi E\rho PD \cdot \frac{n}{K_z}$$

Исключая из 42 уравнения плотность воздуха (γ) посредством 41, получим

$$43. \quad c = E \cdot \sin y : \left\{ 5ag : \left(fC + \frac{\sin^2 y}{g} \right) \right\}.$$

Отсюда видно, что скорость аэроплана пропорциональна удельной энергии его двигателей. Так, если бы вес их, при той же мощности, уменьшился в 10 раз, то и самостоятельная горизонтальная скорость увеличилась бы во столько же раз.

44. Но не забудем, что плотность среды при этом не какая-нибудь: подчиняется уравнению 41. Из него получим

$$\gamma = 2,5 \pi \rho PDng : (K_z \sin y c^2).$$

Следовательно, эта плотность должна уменьшаться, как увеличивается квадрат скорости. Если, например, скорость увеличивается в 10 раз, то аэроплан должен подняться на высоту, где плотность среды в 100 раз меньше, чем внизу, где он летал с энергией моторов в 10 раз меньшей. Но на высотах как раз и трудно проявление энергии моторов, если не сгущать разреженный воздух или не пользоваться запасенным жидким кислородом. Замечательно, что скорость не зависит от веса оболочки и ее свойств.

45. Вспомним, что f само зависит от отношения скорости c к длине аэроплана (формула (20) «Сопrotивления»). Поэтому определение скорости мы даем приблизительное. Впрочем, f мало изменяется. Так, из формулы (20) или таблиц «Сопrotивления» найдем, полагая длину (l) аэроплана в 20 м:

Скорость	100	200	300	400
f	2,5	3,4	3,7	4,2.

Следовательно, поправки немудрены.

Обратим еще внимание на C . Формула (35) выражает зависимость C от размеров (D) и продолговатости (X) аэроплана. Следовательно, величина скорости зависит и от его продолговатости.

Но определим самую скорость (c). Допустим, что $l = 20$; $D = 2$; $\pi = 3,14$; $E = 100$ (метрическая сила на килограмм веса мотора); $a = 1,5$; $\sin y = 0,1$ (6° наклона к горизонту); $g = 10$; $X = 10$. По этим данным найдем $f = 2,5$ (см. 45). Предполагаем заранее секундную скорость в 100 м, $C = 0,000088$ и $c = 109$ м/сек (393 км/час).

Это первое приближенное решение. Но мы заранее предположили секундную скорость в 100 м, между тем как она оказалась около 109. Поэтому f будет не 2,5, а немного больше, что совершенно незаметно увеличит найденную скорость.

46. Вычислим и соответствующую плотность воздуха по формуле 44. Положим: $\rho = 8$; $P = 10$ (сверхдавление в 1 ат); $D = 2$; $n = 10$; $g = 10$; $K_z = 10^5$ (100 кг/мм² сечения) и $c_s = 109$. Тогда найдем для плотности среды [величину] немного менее 0,0011. Значит, подниматься придется не выше двух верст.

47. На основании формулы 44 составим таблицу:

Секундные скорости, м	109	545	1090	2180
Отношение плотностей среды	1	1 : 25	1 : 100	1 : 400

48. Не совсем ясна зависимость скорости от наклона аэроплана ($\sin y$). Но функция: $\sin y : (f \cdot C + \sin^2 y : g)$ имеет максимум, причем получается наибольшая скорость. Беря производную, приравнявая ее нулю и определяя из полученного уравнения наклон ($\sin y$), соответствующий ее максимуму, получим $\sin y = \sqrt{f \cdot C \cdot g}$.

49. Подставляя этот наклон ($\sin y$) в формулу 43, найдем

$$c = \frac{E}{10a \cdot \sqrt{f \cdot C \cdot g}} = \frac{E}{10a \cdot \sin y}.$$

50. Положим $C = 0,000088$; $f = 2,5$; $g = 10$. Теперь из 48 получим $\sin y = 0,047$ (угол = 2°40').

51. Полагая еще $E = 100$ (обыкновенный авиационный мотор) и $a = 1,5$, вычислим $c = 141,8$ м/сек, или 511 км/час. Это максимальная скорость, которая получается при угле наклона аэроплана почти в 3° к горизонту. Ни больший, ни меньший наклон не дают высшей скорости.

52. Если всегда будем придерживаться наиболее выгодного наклона, то для величины плотности среды из 44 и 49 получим

$$\gamma = 250 \pi \rho P D \cdot \frac{a^2}{E^2} \cdot \frac{n}{K_z} \sqrt{f C g^3}.$$

Отсюда видно, что если бы достигли высшей энергии моторов то пришлось бы летать в очень разреженных слоях атмосферы, так как по формуле плотность среды быстро должна уменьшаться с возрастанием энергии моторов.

53. Определим $\sin y$ из уравнения 41; найдем

$$\sin y = A \cdot D : (c^2 \cdot \gamma),$$

где $A = 2,5 \pi \rho P g (n : K_z)$.

54. Теперь выключая $\sin y$ из уравн. 42 и решая его относительно плотности среды (γ), получим

$$\gamma = \frac{AED}{10gfCa^3} \cdot \left\{ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{100g \cdot fCa^2c^2}{E^2}} \right\}.$$

55. Отсюда видно, что

$$c \leq E : (10a \sqrt{fCg}),$$

т. е. что скорость не может быть больше определенной величины. Приняв прежние условия, вычислим: $c \leq 141,8$. Получили ту же максимальную скорость, которую нашли ранее (49).

55₁. Итак, скорость обыкновенных аэропланов не может быть увеличена в разреженных слоях воздуха, если не будет увеличена удельная энергия двигателей. Поэтому обычные авиационные двигатели для достижения высших скоростей, по-видимому, не годятся.

55₂. Необходимая разреженность воздуха при этой наибольшей скорости выразится по формуле (54) так:

$$\gamma = AFD : (10gfCac^3).$$

Если отсюда выключим скорость c и A посредством уравнений (54) и (55), то получим формулу (52).

56. Какова же работа аэроплана? Удельная работа выражается формулой (38) или (39). При условиях (45) и (46) вычислим $N_1 = 2,5$ тм, или 24 м[етрич.] сил на 1 м² гор[изонтальной] проекции. На всю проекцию (20 × 20) получим 10 000 м[етрич.] сил.

57. Полную нагрузку видим из формулы (25), именно:

$$q = 5q_1 = 0,125 \tau = 125 \text{ кг.}$$

Каждый род нагрузки (0,2) будет составлять 0,025 т, или 25 кг.

58. На человека, весящего 75 кг, требуется 3 м² проекции, т. е. 75 м[етрич.] сил. А так как вся проекция около 400 м², то аэроплан может брать 133 человека.

59. Объем, соответствующий 1 м² проекции, будет около $0,75 \cdot 2 = 1,5$ м³. Следовательно, одному человеку придется получить около 4,5 м³. Площадь же пола = 3 м² даже будет больше, чем нужно.

61. Полученная нами удельная работа мотора — на человека 75 мет[ричес.] сил — чересчур велика и потому убыточна (хотя часовая скорость в 511 км вполне окупает расходы на энергию). Нельзя ли ее уменьшить? Но для этого прежде надо выразить работу мотора, приходящуюся не на единицу площади гориз[онтальной] проекции, а на единицу подъемной силы и на единицу скорости поступательного движения. Действительно, если мы двинемся в 10 раз скорее и подымаем груз в 10 раз больше, то почему бы на это не затратить работы в 100 раз больше! Сокращение времени от скорости движения есть еще новая выгода, которую мы тут учитывать не будем (вследствие ее неопределенности).

62. Из формул (39), (55) и (25) получим

$$N_1 : (c \cdot q) = 2a \cdot \sqrt{f \cdot Cg}.$$

Тут мы мощность (39) делим на максимальную скорость (55) и полную нагрузку (25).

63. Отсюда видно, что мощность, требуемая на единицу перемещения единицы груза, не зависит ни от энергии мотора, ни от скорости, а только от формы и величины аэроплана. Она почти постоянна.

64. Формула (62) показывает секундную работу в тонно-метрах на пролет одной тонны аэроплана на 1 м пути.

Но на людей идет только пятая часть (0,2), или 200 кг. Значит, мы получим работу для перемещения двух человек (с багажом) на 1 м пути.

65. Примем условия (46). Тогда из (62) найдем: 0,047 тм, или 47 кгм, на 1 т аэроплана и 1 м пути. Это на два человека, на одного (100 кг) [получим] 24. Обыкновенно обычный аэроплан на 1 человека, при секундной скорости в 40 м [144 км/час] тратит 40 метр[ич.] сил. На 1 м пути пойдет 1 метр[ич.] сила. У нас же выходит в 4 раза меньше. Но сколько еще экономится времени.

66. Сколько же может прокатить без спуска наш аэроплан при условиях (46)? Мы видели, что скорость при этом составляет 551 км/час. Нагрузка полная равна 125 кг, а частная (на моторы, например) — 25 кг (на 1 м² гориз[онтальной] проекции). Соответствующая мощность будет 25 метр[ич.] сил (56). На 25 м[етрич.] сил пойдет горючего $0,2 \times 25 = 5$ кг. Значит, нам нашего бензина хватит на 5 час пути. При этом аэроплан пролетит 2555 км. Но мы показывали, что подъемная сила нашего аэроплана на деле окажется, по крайней мере, в 2 раза больше, т. е. прибавится еще 75 кг горючего. Это даст возможность ему пролететь без спуска в 30 час 15 338 км, или более 15 000 км, что достаточно для перелета через океан.

67. Скорость аэроплана зависит от скорости винта по его окружности (а не от числа оборотов в секунду, которое тем больше, чем размер винта меньше). Эта же несколько не зависит от размеров винта (его диаметра), а только от прочности материала и его распределения в винтовой фигуре. Так выгоднее основание винта делать массивнее. Во всяком случае эта окружная секундная скорость не более 500 м, в противном случае ни один материал не выдержит центробежной силы и винт разлетится от нее вдребезги. Скорость аэроплана при самом наименьшем наклоне (45°) лопастей винта к потоку, на практике, будет не более 250 м/сек или 90 км/час, что очень далеко от космических скоростей.

68. Следовательно, если мы хотим получить космические скорости, летая в разреженных слоях воздуха, то винт не годится (помимо обычной слабости моторов).

Кроме этих препятствий, есть не менее серьезное. Это вопрос о кислороде. Можно сжимать воздух, т. е. накачивать его в каме-

ру аэроплана. Но при сжатии воздуха в 6 раз абсолютная его температура повышается вдвое. Вот таблица:

Во сколько раз сжимается разреженный воздух:

1		6		36		216		1296		7776
---	--	---	--	----	--	-----	--	------	--	------

Абсолютная температура сжатого воздуха:

200		400		800		1600		3200		6400
-----	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------

Температура, °С:

-73		127		527		1327		2927		6127
-----	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------

69. Температура сжатого воздуха доходит до 6000°C . Тут трагится огромная работа, которая отчасти выделяется обратно, если, не понижая эту чудовищную температуру, вгонять сжатый воздух в моторы. Сжатие в 36 раз еще можно допустить (при большем сжатии химическая реакция и выделение тепла задержатся). Тут температура будет около 527°C .

70. Для аэроплана и это хорошо, т. е. 1019 км/час . До такого сжатия, однако, на практике еще не доходили, но может быть дойдут.

71. Но как быть дальше? Как получить скорости еще больше, при которых ни воздушный винт, ни сжатие в моторах неприменимо? От обычных моторов и винта приходится отказаться.

Можно брать с собой в жидком виде запасы кислорода, взрывать с помощью их горючее, выбрасывать продукты взрыва наружу через трубку (как это у меня описано в 1927 г.; см. «Космич[еская] ракета») * и пользоваться отдачей, как двигателем.

Но, с одной стороны, крайне не экономно обременять аэроплан весом кислорода, который раньше брался из атмосферы. С другой стороны, скорость аэроплана не настолько значительна, чтобы выгодно было пользоваться отдачей.

На единицу веса горючего, состоящего из чистого углерода, надо кислорода по весу в 2,7 раза ($32 : 12$) больше. Итого масса запаса той же энергии увеличивается тогда в 3,7 раза. Если бы использование горючих было во столько же раз больше, то тогда можно бы еще примириться с этой неприятностью тем более, что мы много выиграем в скорости движения.

72. В разреженном воздухе использование тепла можно довести до 50—100% (в движении газового отброса). Использование же ракетное (в движении ракеты) при скорости в 1—2 км/сек. едва ли будет выше использования его в обыкновенных моторах.

Чтобы ракетное использование было полным, нужно, чтобы скорость отброса (в каждый момент) равнялась скорости движения аэроплана («Исследование», 26 г.) **.

* См. наст. книгу, стр. 274—288. (Ред.).

** Там же, стр. 206. (Ред.).

73. Отсюда вытекает очень сложная конструкция летательного прибора большой скорости. Сначала он пускает в дело обычные моторы и гребной винт. Потом винт устраняется или вертится впустую, а моторы накачивают воздух в заднее изолированное помещение, из которого он вырывается со скоростью, равной скорости движения аэроплана. Так как сначала эта скорость увеличивается, то скорость вырывающегося[ся] сзади воздуха тоже должна расти. Когда она дорастает до 1 км/сек или более, то те же моторы накачивают во взрывные трубы элементы взрыва, вылетающие в разреженном воздухе со скоростью 3—5 км/сек.

74. Тут же становится весьма заметна центробежная сила движения аэроплана кругом Земли, весьма уменьшающая его вес и работу перемещения. Она доходит до нуля, когда аэроплан получает первую космическую скорость и выходит за пределы атмосферы.

75. Винт может дать больше скорости аэроплану, чем это думают. Скорость его по окружности, конечно, не может быть больше 500 м/сек, но лопасти винта могут быть направлены почти параллельно встречному потоку, или движению аэроплана (с уклонением в 20—40°). Сначала его работа будет почти бесполезна. Но когда аэроплан приобретет большую скорость, то винт, при известном соотношении, начнет работать более экономно. Работа и всякого винта неэкономна в начале движения, когда аэроплан не приобрел еще окончательной свойственной ему постоянной скорости. Хорошо, если бы лопасти винта, автоматически или путем управления, могли менять свой наклон, постепенно уменьшая его к встречному потоку, по мере увеличения скорости самолета.

Хотя работа при малом наклоне лопастей к потоку и крайне неэкономна, но что же делать, если нет другого выхода при употреблении винта. Однако мы эту конструкцию и малый наклон лопастей к потоку не рекомендуем.

76. Проще сообщить сразу каким-либо способом значительную скорость аэроплану и потом пустить в дело воздушные насосы. Они с помощью обыкновенных моторов сгущают и накачивают в особую заднюю камеру воздух. Из нее он вырывается через особые трубы наружу, за кормовую часть корабля. Вылет газов легко регулировать сообразно полученной скорости аэроплана и экономии.

77. Скорость вылетающего из отверстия в разреженное пространство газа довольно однообразна и мало зависит от степени его сжатия. Но ведь это справедливо только при постоянной его температуре. Вообще же она непостоянна и может доходить до многих тысяч градусов (как бы ни был разрежен и холоден вначале сжимаемый газ). Если нужна малая скорость отброса (при малой скорости снаряда), то мы сжимаем и накачиваем воздух умеренно. Тогда скорость его при выходе может быть даже ме-

нее 500 м/сек. Но если нужна усиленная скорость выбрасываемого воздуха, то накачивание ускоряется, воздух сжимается сильнее, более от этого нагревается и скорость его увеличивается. Скорость сильно сжатого и нагретого до многих тысяч градусов воздуха может доходить до 2 км/сек и более (пропорционально квадратному корню из упругости газа, или его абсолютной температуры).

Не забудем, что сжимается воздух очень разреженный, например, в 1000 раз, и сгущение его даст давление только, например, в 1 ат,— что он сначала холоден, но от сжатия страшно нагревается и вырывается с тем большею скоростью, чем это нагревание выше. Плотность сжатого воздуха тут не при чем, если только кругом очень разреженное пространство.

78. Моторы даже могут работать с постоянной силой. Тогда скорость истечения сжатого воздуха может регулироваться заслонками. Чем выпускное отверстие меньше, тем больше в резервуаре будет накапливаться воздуха, тем больше он будет сжат, тем сильнее нагреется и тем выше будет скорость его истечения из труб.

79. Надо только оградить воздушную камеру от потерь тепла. Если сжатый воздух будет охлаждаться, то скорость истечения трудно возвышать и, кроме того, тогда мы будем бесплодно тратить энергию (которая будет превращаться в тепло и уходить в небесное пространство).

80. При еще большей скорости аэроплана уже выгодно будет прямо сжигать топливо в запасенном кислороде.

81. Всякий тепловой двигатель в то же время и реактивный прибор, если выхлопные газы направлены в конические трубы и вырываются в сторону, противоположную движению экипажа или корабля. Но так как вырывается их немного, скорость корабля мала, то использование этой дополнительной энергии будет очень слабо. Поэтому (напр., в автомобиле, обычном аэроплане) ею не пользуются, а газы выбрасываются без всяких приспособлений в разные стороны.

На нашем быстроходном аэроплане на высотах этим пренебрегать не следует. Но, конечно, сила этой реакции не будет достаточна ввиду небольшого количества взрывающегося в моторах материала.

Двигатели могут накачивать воздух и давать воздушную реакцию. Но и выхлопные газы будут производить газовую реакцию.

Воздушная реакция будет утилизировать примерно 20% теплоты горения. Остающиеся 80% будут использованы выхлопными газами. Но ввиду малой скорости аэроплана только процентов 10—20 этой энергии пойдет на движение снаряда.

Все же выходит, что использование вырывающихся газов в разреженном пространстве может удвоить работу моторов.

82. Заметим, кстати, что воздух для накачивания надо извлекать насосами из пространства перед носом корабля, а выпускать его на корме. Тогда впереди снаряда воздух разрежится, а сзади сгустится. Это будет подгонять аэроплан*.

83. Сложное устройство моторов аэроплана утяжеляет его и делает малопригодным. Поэтому мы предлагаем несколько его типов. Все они грузоподъемны — не менее чем на 133 человека при размерах не менее 20 м в длину и ширину и не менее 2 м в высоту. Мощность их моторов — не ниже 10 000 метр[ич.] сил. (Впрочем, можно сузить вдвое аэроплан, и тогда удельная работа увеличится в 1,4 раза).

Только не надо забывать, что полная истинная подъемная сила аэроплана или нагрузка на 1 м², по крайней мере, в два раза больше, чем мы вычислили (26) и (27).

Этот избыток может быть использован разными способами: он может увеличить число пассажиров в 6 раз, он может быть употреблен на усиленные запасы топлива, которые дадут ему возможность со всеми пассажирами пролетать без спуска четвертую долю окружности земного шара. Можно часть избытка подъемной силы пожертвовать на упрочение аэроплана (25). Использование может быть и другого сорта.

84. Возвратимся, однако, к типам аэропланов.

А. Самолет для полета в низших слоях атмосферы не выше 3—4 км. Сверхдавление вполтину атмосферы — нужно лишь для придания крепости и негибкости оболочке. Двигатели и винты обыкновенного вида, скорость — 500 км/час, перелет из Европы в Америку — не более 12—15 час. Число пассажиров, при наименьшем размере (20×20), — от 133 до 798 человек. На пассажира придется от 75 до 12 метрических сил.

85. Б. Аэроплан для полета на высотах, где человек уже страдает от разрежения воздуха и где скорость самолета может быть много выше. Двигатели обычные, но лопасти винта малонаклонны к направлению движения. Часть работы моторов идет на сжатие воздуха для них же, а другая — для воздушной реакции. Тут работа воздушных винтов неэкономна, но скорость самолета раза в два больше.

86. В. Винт устраняется. Двигатели заняты исключительно сжиманием воздуха ради воздушной реакции. Пользуются и выхлопными газами. Скорость и высота поднятия больше, чем у предыдущего типа.

87. Г. Скорость и высота полета больше. Двигатели малосильные и заняты только накачиванием нефти и кислородных соединений во взрывные конические трубы.

88. Д. Скорость еще больше. Большая высота освобождает от сопротивления воздуха, а скорость и центробежная сила — от

* Картина обтекания самолета при сверхзвуковых скоростях более сложна. (Ред.).

земной тяжести. То и другое делают движение снаряда вечным, не требуя расхода энергии.

89. Последние три типа требуют значительной начальной скорости, которая может им быть дана вспомогательными поездами, взбирающимися на горы (см. мои «Ракетные поезда») *.

90. При новых системах двигателей возможны достижения больших высот, разреженных слоев воздуха и больших скоростей. Единица пути будет обходиться недешево, но будет огромный выигрыш времени. Вот в чем преимущества этих аэропланов. Затем они служат незаметным переходом к звездопланию.

91. Нет надобности горизонт[альную] проекцию аэроплана делать квадратной. Она может быть и узкой, состоящей из 3—5 надутых поверхностей вращения. Но тогда удельная работа двигателей будет больше вследствие продольной продолговатости. Так, при такой обратной продолговатости, равной двум, работа увеличится на какие-нибудь 30% (см. мое: «Сопrotивление», 1903 г.) **.

92. Центробежная сила, при движении аэроплана со скоростью 300—400 м/сек, на экваторе, по направлению движения Земли вокруг оси, уменьшает вес аэроплана примерно на 1%. У меня готовы формулы и расчеты движения нового аэроплана на высотах, в разреженном воздухе, где принимается в расчет и центробежная сила (моя рукопись 1926 г.) ***.

Главные выводы из моего сочинения «Новый аэроплан» ****

Идея такого аэроплана совсем не нова: это аэроплан-крыло — давно проектированный снаряд. Пневматическая его крепость — тоже не новость.

Но совершенно новы формулы и выводы из них.

Вообще думали, что скорость аэропланов в разреженных слоях воздуха может быть громадна, благодаря малому сопротивлению воздуха, конечно, если мотор, снабженный компрессором, не ослабеваает.

Но это совсем неверно. На высотах скорость только тогда больше, когда энергия мотора (на единицу его массы, в 1 сек) пропорциональна квадратному корню из разреженности среды, т. е., когда влекущая вперед сила, или тяга, постоянна. В таком случае скорость пропорциональна энергии мотора.

* См. наст. книгу, стр. 313—340. (Ред.).

** Имеется в виду работа «Сопrotивление воздуха и воздухоплавание», опубликованная впервые в журнале «Научное обозрение», 1902, № 5. Циолковский ссылается на отдельный оттиск этой работы, выпущенный в 1903 г. (Ред.).

*** См. наст. книгу, стр. 188—273. (Ред.).

**** Рукопись «Главные выводы из моего сочинения «Новый аэроплан», датированная декабром 1929 г., была впервые опубликована в Избранных трудах К. Э. Циолковского. М., Изд-во АН СССР, 1962. (Ред.).

На этом основании получим таблицу.

Разреженность воздуха:

1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49

Во сколько раз возрастает скорость и потребная удельная энергия мотора (в секунду на единицу его массы):

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7

Этот вывод относится к обыкновенным винтовым аэропланам. Но, во-первых, у нас нет моторов энергичнее известных, во-вторых, если бы и были — обычный винтовой пропеллер разорвался бы при большой скорости.

Остается только отказаться от воздушного винта и воспользоваться реакцией отбрасываемых назад продуктов горения. Действительно, тяга или реакция при этом будет одна и та же независимо от скорости движения снаряда, а работа пропорциональна скорости, что как раз и требуется. Только при обыкновенном потреблении горючего реакция оказывается недостаточной. Его сжигать надо в 5—10 раз больше. Работа же от моторов требуется небольшая: только для сжатия воздуха, необходимого для взрывов в рабочих цилиндрах. Поэтому такой мотор во 100—200 сил может быть немного тяжелее обыкновенного. Такой реактивный аэроплан будет очень неэкономичен при движении его в плотных слоях воздуха.

Правильность вывода о зависимости между скоростью ракетоплана и плотностью среды можно подтвердить очень простыми рассуждениями.

Положим, что самолет при плотности воздуха в единицу и такой же тяге пропеллера имеет тоже единицу скорости. Теперь, если он будет летать там, где плотность атмосферы будет в 9 раз меньше, но горизонтальная скорость в три раза больше, то равновесие его не нарушится при той же тяге винта, т. е. он не будет ни падать, ни подниматься.

В самом деле, по известным законам, от уменьшения плотности среды давление ее на крылья уменьшится в 9 раз, и то же давление, от увеличения скорости в три раза, увеличится в 9 раз. Значит, в результате, оно останется неизменным и равным тяжести снаряда, который и не будет благодаря этому падать.

С другой стороны, тяга винта, как одна из составляющих давления на крылья (угол атаки которых не изменился), остается неизменной. Но секундная работа мотора все же возрастет в 3 раза, потому что скорость увеличилась в три раза. Тяга винта остается неизменной, потому что вращательная его скорость увеличилась в 3 раза, отчего давление на его лопасти возросло в 9 раз. Но плотность среды уменьшилась во столько же раз, так что тяга пропеллера не изменилась. К сожалению, невозможно

ускорение вращения воз[душного] винта, ибо он может разорваться от центробежной силы.

Если, вообще, среда разредилась в n^2 раз, то скорость и работа мотора увеличивается в n раз.

Ясно, что при употреблении ракетных двигателей, тяга которых не зависит от скорости снаряда, скорость последнего может возрастать в разреженной среде.

Но запас взрывчатых веществ (см. мои сочинения о космической ракете) — определенный; и потому, чем больше скорость ракетоплана, тем меньше время полета. Пройденное же наибольшее пространство остается неизменным. Выигрывается только скорость и сокращается время пути.

Притом мы подразумеваем горизонтальное и равномерное движение и не принимаем во внимание ни работу поднятия снаряда на высоту, необходимую для получения желаемой скорости, ни эту начальную скорость, которая еще требует расхода энергии, поглощающей горючее. Оба прибавочные расхода тем больше, чем значительнее желаемая скорость. Итак, львиная доля энергии горючего поглощается начальной скоростью и поднятием. И то и другое сокращает рейс снаряда. Но как скорость, так и высота дают возможность, при их погасании (спуск и потеря скорости), пройти еще некоторое дополнительное пространство.

Есть такая скорость, при которой все горючее поглощается приобретением желаемой скорости и поднятием в разреженные слои воздуха.

Тогда весь путь состоит только из ускоренного поднятия на высоту и такого же наклонного спуска при замедленном движении.

Здесь разбирать мы этого не будем, так как имеем в виду небольшие скорости (до 500 м/сек или до 1800 км/час) и такие же высоты, поглощающие сравнительно незначительное количество горючего.

Космические ракетные поезда*

От автора

Мне уже 72 года. Я давно не работаю руками и не произвожу никаких опытов.

Над реактивными приборами практически трудятся на Западе со времени издания моей первой работы в 1903 г.

Сначала искали применений к военному делу (Унге в Швеции и Крупп в Германии).

Потом, со времени другого моего труда, в 1911—12 г., работали вообще теоретически и экспериментально (Биркеланд, Годдард). Тогда же высказал свои соображения и Эсно Пельтри.

Но с 1913 г. и в России многие заинтересовались вопросами заатмосферного летания, в особенности, когда увидели серьезное отношение к нему Запада. Первыми забезчиками были: Рюмин, Перельман (очень доступные и научные труды), Ширинкин, Б. Воробьев, Мануйлов, Рябушинский, Шмурло и другие.

Со времени издания в очень распространенном журнале («Природа и люди», 1918) моей работы «Вне Земли» (отдельное изд[ание] в 1920 г.) заинтересовался звездоплаванием Оберт. Его сочинение дало германским ученым и мыслителям изрядный толчок, благодаря которому появилось много новых работ и работников, каковы: Вольф, Валье, Гефт, Гомани, Лей, Зандер, Опель, Шершевский, Ладеман. Последние двое очень усердно (особенно Ладеман) переводили и распространяли мои труды. То же делали в СССР Модестов, Баят, Ивановский, Егоров, Давыдов, Лапиров-Скобло и другие (без подписи).

Появились ракетные автомобили, глассеры, сани и даже аэроплан (под управлением Штамера). Все это было очень несовершенно, но производило много шума и было полезно как в отношении опытов, так и в отношении распространения интереса среди общества, ученых и строителей.

* Впервые опубликовано в Калуге отдельной брошюрой в 1929 г. (Ред.).

Стали сильнее распространяться эти идеи и в СССР. Выступили: Ветчинкин (лекции), Цандер и Рынин. Последний своими прекрасными работами, обширными сведениями по литературе вопроса, беспристрастием особенно способствовал распространению идей звездоплавания. Можно сказать, что первый специалист по этой части у нас проф. Рынин. Тогда же проповедовали новую идею Чижевский, Родных, Строганов, Редин, Соловьев, Глушко и анонимы.

Не только за границей, но и у нас теперь учреждаются институты и образуются общества, члены которых успешно и талантливо распространяют новые идеи. Таковы: Львов, Перельман, Воробьев, Вейгелин, Родных, Венгеров, Кондратенко, Луценко и другие члены этих обществ. Особенно много написали очень дельных статей Перельман и Львов.

Привет от меня работникам астронавтики как в СССР, так и за границей. Им придется поработать не один десяток лет. Пока это дело неблагодарное, рискованное и безмерно трудное. Оно потребует не только чрезвычайного напряжения сил и гениальных дарований, но и многих жертв.

Большинство относится к звездоплаванию, как к еретической идее, и ничего не хочет слушать. Другие — скептически, как к вещи, абсолютно невозможной, третьи — чересчур доверчиво, как к предмету легко и скоро осуществимому. Но первые неизбежные неудачи обескураживают и отталкивают слабых и подбивают доверие общества.

Работающих ожидают большие разочарования, так как благоприятное решение вопроса гораздо труднее, чем думают самые проникательные умы. Их неудачи, истощение сил и надежд заставит их оставить дело незаконченным и в печальном состоянии. Потребуется новые и новые кадры свежих и самоотверженных сил.

Звездоплавание нельзя и сравнивать с летанием в воздухе. Последнее — игрушка в сравнении с первым.

Несомненно достигнут успеха, но вопрос о времени его достижения для меня совершенно закрыт.

Представление о легкости его решения есть временное заблуждение. Конечно, оно полезно, так как придает бодрость и силы.

Если бы знали трудности дела, то многие, работающие теперь с энтузиазмом, отшатнулись бы с ужасом.

Но зато как прекрасно будет достигнутое. Завоевание солнечной системы даст не только энергию и жизнь, которые в 2 миллиарда раз будут обильнее земной энергии и жизни, но и простор еще более обильный. Человек в своей власти над Землей владеет, так сказать, только двумя измерениями, третье же ограничено, т. е. распространение вверх и вниз пока невозможно. Тогда же человек получит три измерения...

А отсутствие тяжести, а девственные лучи Солнца, а любая температура, получаемая в сооружениях только силой солнечных лучей, а ничего не стоящее передвижение во все шесть сторон, а познание вселенной... Мы не можем тут оценить всех благ и преимуществ завоевания солнечной системы. Кое-что я даю в вышеупомянутом моем сочинении «Вне Земли».

Ракетные космические поезда

1. Под ракетным поездом я подразумеваю соединение нескольких одинаковых реактивных приборов, двигающихся сначала по дороге, потом в воздухе, потом в пустоте вне атмосферы, наконец, где-нибудь между планетами или солнцами.

2. Но только часть этого поезда уносится в небесное пространство, остальные, не имея достаточной скорости, возвращаются на Землю.

3. Одинокой ракете, чтобы достигнуть космической скорости, надо делать большой запас горючего. Так, для достижения первой космической скорости, т. е. 8 км/сек, вес горючего должен быть по крайней мере в 4 раза больше веса ракеты со всем ее остальным содержимым*. Это затрудняет устройство реактивных приборов.

Поезд же дает возможность или достигать больших космических скоростей, или ограничиться сравнительно небольшим запасом составных частей взрывания.

4. Мы будем сначала решать задачу в самом простейшем виде. Предполагаем устройство всех ракет совершенно одинаковым. Запасы горючего и сила взрывания также. На деле, конечно, должны быть некоторые уклонения. Так, ракеты, двигающиеся по дороге, будут проще, двигающиеся только в атмосфере не имеют надобности снабжаться приспособлениями для продолжительного существования людей в эфирном пространстве.

5. Взрыв начинается с передней ракеты, чтобы весь поезд подвергался натяжению, а не сжатию, с которым легче бороться**. Кроме того, это способствует и устойчивости поезда во время взрывания. При этом можно составить более длинный поезд, а следовательно, и [получить] большую скорость при том же запасе горючего в каждом ракетном вагоне.

6. Чем короче вагоны, тем больше может быть их число при том же запасе прочности, а чем больше их число, тем окончательная скорость последнего заднего вагона будет больше. Это

* При употребляемых в настоящее время топливах для достижения одноступенчатой ракетой первой космической скорости запас топлива должен превышать вес сухой ракеты значительно более чем в 4 раза. (Ред.).

** В современных конструкциях многоступенчатых ракет первоначально работают двигатели не передней, а хвостовой (толкающей) ступени. (Ред.).

заставляет стремиться нас делать отдельные снаряды возможно короче. Но диаметр ракетного прибора не может быть менее 10 м. При меньшей продолговатости сопротивление воздуха окажется чересчур значительным. Для ракет, возвращающихся на Землю, это может быть достаточным, но для космического вагона надо не менее 3 м в диаметре и 30 м в длину. Отсюда вывод: последний космический вагон надо делать обширнее*.

7. Устройство космической ракеты очень сложно и будет непрерывно еще усложняться. Мы не имеем цели сейчас входить во все подробности. Тут цель другая: показать выгоды поезда в отношении окончательной скорости в сравнении с одиноким реактивным прибором. Возможно, что маленькая ракета по достижении эфирного пространства будет развеваться в большую. Но мы все это оставим и примем размеры ракеты в 3 и 30 м.

8. Поперечник ракеты составляет 3 м, длина ее 30 м, толщина стенок — 2 мм (к концам толще). Плотность их материала — 8. Площадь среднего сечения 7 м², поверхность 180 м², объем 105 м³. Ракета может вместить 105 т воды. Отсек оболочки в 1 м весит везде одинаково, так как к концам она толще, именно 0,15 т. Столько же полагаем на людей, баки, трубы, машины и другие приспособления: всего 0,3 т на метр длины. Значит, вся оболочка ракеты будет весить 4½ т. Столько же внутреннее содержание — всего 9 т. Из этого веса на людей довольно 1 т.

9. Запас взрывчатых веществ положим на 1 м отсека 0,9 т, а на всю ракету — 27 т, т. е. в три раза больше, чем весит ракета со всем содержимым. (Соответствующая скорость для одной ракеты, при употреблении нефти, равна 5520 м/сек). Этот запас в одной ракете займет (при плотности его в единицу) 27 м³, т. е. около четвертой доли всего объема ракеты. На людей и машины останется 78 м³. Если возьмем 10 человек, то каждому достанется около 8 м³ или кубическая комната с ребром в 2 м. Кислорода такого объема, при 2 ат давления, хватит на дыхание 160 человек в течение 24 час, или 10 человек в течение 16 дней: конечно, при удалении продуктов дыхания.

Мы хотим показать, что даже такой большой запас горючего не обременителен для ракеты.

10. Взрывание натягивает поезд, и вот почему толщина стенок в узких местах ракеты больше: сопротивление разрыву каждого сечения ракеты должно быть одинаково.

11. Оболочка ракеты, при запасе прочности в 5, выдержит сверхдавление в 4 ат. Но так как оно и в пустоте не более 2 ат, то запас прочности будет 10.

* По современным данным, оптимальной является такая многоступенчатая ракета, у которой веса последовательной ступени не увеличиваются, а уменьшаются в геометрической прогрессии. (Ред.)

12. Так как всем ракетам может предстоять планирование, даже последней — космической, при ее возвращении на Землю, то каждая ракета имеет такое устройство.

Одиночная надутая оболочка, имеющая, по необходимости, форму точеного на токарном станке тела (тела вращения), планировать будет слабо. Надо соединить, например, три таких поверхности. Надутые воздухом или кислородом, примерно до 2 ат, они представят собою весьма прочную балку.

13. Крылья мы не можем предложить вследствие значительного их веса.

14. Каждая ракета должна иметь рули: направления, высоты и противодействия вращению. Они должны действовать не только в воздухе, но и в пустоте.

15. Рули находятся в задней части каждой ракеты. Их две пары. За ними сейчас следуют взрывные трубы. Направление их косвенное, немного в бок. Иначе вырывающиеся газы будут давить на заднюю ракету.

Число взрывных труб не менее четырех. Их выходные концы расположены по окружности ракеты, на равных расстояниях друг от друга. Взрывание происходит толчками, как отдельные холостые выстрелы. Эти толчки могли бы повредить ракете. Поэтому полезно число труб делать гораздо более четырех. Выстрелы будут чаще и могут быть распределены так, что давление на ракету от взрывов будет довольно равномерно.

Каждая пара рулей находится в одной плоскости (параллельной длинной оси ракеты), но отклонение их от нее может быть неодинаково. Тогда ракета начнет вращаться. Из этого видно, что любая пара может, в этом случае, служить для управления направлением снаряда в данной плоскости. В общем получается желаемое направление в пространстве и отсутствие вращения. Поток взрывающихся газов направляется на эти рули. Понятно после этого, что они служат не только в воздухе, но и в пустоте.

16. Маленькие кварцевые окна дают несколько солнечных пятен внутри ракеты, нужных при управлении. Другие большие окна закрыты снаружи ставнями. Потом, в разреженной атмосфере или в пустоте, их открывают.

17. Носовая часть занята людьми. Далее следует машинное отделение (насосы и двигатели для них), наконец, кормовая часть занята взрывными трубами и окружающими их баками с нефтью. Последние окружены баками с свободно испаряющимся жидким и холодным кислородом.

18. Дело происходит, приблизительно, так. Поезд, положим, из пяти ракет скользит по дороге в несколько сот верст длиною, поднимаясь на 4—8 верст от уровня океана. Когда передняя ракета почти сожжет свое горючее, она отцепляется от четырех задних. Эти продолжают двигаться с разбегу (по инерции), передняя же уходит от задних вследствие продолжающегося, хотя

и ослабленного взрывания. Управляющий ею направляет ее в сторону и она понемногу опускается на Землю, не мешая движению оставшихся сцепленными четырех ракет.

Когда путь очищен, начинается свое взрывание вторая ракета (теперь передняя). С ней происходит то же, что и с первой: она отцепляется от задних трех и сначала обгоняет их, но потом, не имея достаточной скорости, поневоле возвращается на планету.

Так же и все другие ракеты, кроме последней. Она не только выходит за пределы атмосферы, но и приобретает космическую скорость. Вследствие этого она или кружится около Земли, как ее спутник, или улетает далее — к планетам и даже иным солнцам.

19. Для одинокой ракеты мы имеем формулу (см. мое «Исследование» 1926 года. Формула 38) *.

$$\frac{V}{W} = \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right),$$

где дано отношение окончательной скорости ракеты V к скорости отброса W , в зависимости от отношения полной массы отброса M_2 или горючего к массе ракеты со всем содержимым, кроме составных частей взрыва. Знак \ln означает натуральный логарифм.

20. Эту формулу можно применить и к сложной ракете, т. е. к поезду из реактивных приборов. V будет означать прибавочную скорость каждого поезда от взрывания вещества в одной ракете. Относительная скорость отброса W всегда останется одна и та же. Масса отброса M_2 — также. Но масса ракеты M_1 не есть масса одной ракеты, а целого поезда, без массы взрывного материала M_2 передней ракеты, которая действует на весь поезд со всем его еще нетронутым горючим.

21. Поэтому мы должны заменить в формуле (19) массу ракеты M_1 массой поезда M'_1 по формуле

$$M'_1 = (M_1 + M_2) n - M_2,$$

где n означает число ракет. Очевидно, что это выражение относится не только к полному поезду, состоящему из определенного числа ракет n_1 , но ко всякому другому частному поезду (после убили нескольких передних ракет), состоящему только из меньшего их числа n'_1 .

22. Теперь вместо формулы (19) получим

$$\frac{V}{W} = \ln \left[1 + \frac{M_2}{(M_1 + M_2) n - M_2} \right].$$

23. Для первого поезда, состоящего из наибольшего числа (n_1) ракет, получим

$$\frac{V_1}{W} = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1 \right) n_1 - 1} \right].$$

* См. наст. книгу, стр. 215. (Ред.).

24. Для второго поезда, в котором одной ракетой меньше, найдем

$$\frac{V_2}{W} = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1\right)(n_1 - 1) - 1} \right].$$

25. Также и для остальных. Вообще же для поезда порядка x будет

$$\frac{V_x}{W} = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1\right)(n_1 - x + 1) - 1} \right].$$

26. Например, для последнего поезда $x = n_1$. Подставив, получим формулу (19) для одинокой ракеты.

27. Скорость первого поезда выражается формулой (23), полная скорость второго — суммой скорости первого поезда и прибавочной скорости второго. Вообще полная скорость поезда порядка x выражается суммой прибавочных скоростей (25) первых x поездов. Полная скорость последней задней ракеты будет равна сумме прибавочных скоростей всех поездов, от самого сложного до последнего, состоящего из одной ракеты (порядка n_1).

28. Из общей формулы (25) мы видим, что прибавочные скорости поездов тем больше, чем меньше осталось ракет. Наименьшая прибавочная скорость — у полного поезда, наибольшая — у последнего, когда $x = n_1$, т. е. когда в нем осталась только одна ракета. Прибавочные скорости возрастают весьма медленно, и поэтому очень большое число ракет дает мало выгоды, т. е. немного увеличивает полную скорость последней ракеты.

Все же возрастание космической скорости было бы беспредельным, если бы не ограниченная крепость материала, из которого сделаны ракеты.

29. Вычисления можно упростить, если считать поезда с конца, в обратном порядке, т. е. последний поезд из одинокой ракеты считать за первый, предпоследний — за второй и т. д. Тогда порядковое число будет y , и мы получим

$$y + x = n_1 + 1.$$

30. Выключая с помощью этого уравнения x из уравнения (25), получим

$$\frac{V_y}{W} = \ln \left\{ 1 + \frac{1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1\right)y - 1} \right\}.$$

Этим мы доказали, что при счете поездов с конца прибавочная скорость не зависит от полного числа ракет (n_1) в поезде, а только от обратного их порядка (y).

31. Так, составим таблицу, по которой легко будет узнавать полную скорость каждого частного поезда и наибольшую полную скорость последнего поезда, состоящего из одной ракеты.

Порядок (y) поезда с конца:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10

Порядок с начала (x):

10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1

Относит[ельная] прибавочная скорость, если $M_1 : M_2 = 1/3$:

1,386 | 0,470 | 0,262 | 0,207 | 0,166 | 0,131 | 0,113 | 0,100 | 0,09 | 0,08

Относит[ельная] окончательная скорость последнего поезда (из одной ракеты), состоящего в начале движения из нескольких ракет:

1,386 | 1,856 | 2,118 | 2,325 | 2,491 | 2,622 | 2,735 | 2,835 | 2,925 | 3,005

32. Если, например, у нас поезд из 4 ракет, то последняя окончательная относительная скорость будет 2,325, т. е. она будет во столько раз больше скорости отброса.

Скорости частных поездов (при четырех ракетах) в нормальном порядке x можно узнать из третьей строки. Они будут по времени, начиная с самого сложного:

0,207; $0,207 + 0,262 = 0,469$; $0,469 + 0,470 = 0,939$; $0,939 + 1,386 = 2,325$.

Для поезда из десяти ракет полная скорость последней ракеты = 3,005. Скорости частных поездов этого поезда, по порядку x , узнаем также из третьей строки, складывая ее числа, начиная справа.

33. Истинные скорости можем определить, зная скорость отброса (W), т. е. вылетающих из взрывной трубы продуктов горения. Получим такую таблицу:

Число ракет в поезде:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10

Окончательная секундная скорость последнего поезда
в км/сек, если $M_1 : M_2 = 1/3$ и $W = 3$ км/сек:

4,17 | 5,58 | 6,36 | 6,96 | 7,47 | 7,86 | 8,19 | 8,49 | 8,76 | 9,00

То же, но $W = 4$ км/сек:

5,56 | 7,49 | 8,49 | 9,28 | 9,96 | 10,48 | 10,92 | 11,32 | 11,68 | 12,00

То же, но $W = 5$ км/сек:

6,95 | 9,30 | 10,60 | 11,60 | 12,45 | 13,10 | 13,65 | 14,15 | 14,60 | 15,00

Даже при употреблении нефти и использовании энергии горения в 50% ($W = 3$), при 7—8 поездах, получается космическая скорость. При большем использовании она получается уже при трех и даже двух поездах. Для удаления от Земли и достижения планет и астероидов может быть достаточно десятиракетного поезда.

34. Если в формуле (30) масса ракеты M_1 велика в сравнении с массой отброса M_2 , или частный поезд содержит много ра-

кет, т. е. y велико, то второй член в формуле (30) представит малую, правильную дробь Z .

Тогда можем положить приблизительно

$$\ln(1 + Z) = Z - \frac{Z^2}{2} + \frac{Z^3}{3} - \frac{Z^4}{4} \dots$$

Чем меньше дробь Z , тем меньше можем брать членов.

35. Положим, например, как раньше: $M_1 : M_2 = 1/3$ и $y = 6$. Первое приближение по (34) даст $1/7 = 0,143$. Это немного больше, чем по табл. 31 (0,131). Второе приближение будет 0,133, что еще ближе к истине. Если возьмем девятиракетный поезд, то $Z = 1/11$ и первое приближение даст $Z = 0,091$, что уже почти согласуется с таблицей.

36. Итак, начиная с 11-го поезда, можем смело положить

$$\frac{V_y}{W} = Z = \frac{1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1\right)y - 1}$$

37. Сумму прибавочных скоростей поездов далее 11-го с конца можем узнать, приблизительно, интегрированием выражения 36-го. Именно получим

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} \cdot \ln \left[\left(\frac{M_1}{M_2} + 1 \right) y - 1 \right] + \text{const.}$$

Если $\text{const} = 10$, то сумма прибавочных скоростей равна нулю. Следов[ательно],

$$\text{const} = -\frac{M_2}{M_1 + M_2} \ln \left[\left(\frac{M_1}{M_2} + 1 \right) \cdot 10 - 1 \right].$$

Значит, для суммы прибавочных скоростей получим:

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} \cdot \ln \left[\frac{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1 \right) \cdot y - 1}{\left(\frac{M_1}{M_2} + 1 \right) \cdot 10 - 1} \right].$$

38. Полагая тут $y = 11$ (одиннадцатый поезд, т. е. прибавку одной ракеты к десяти), найдем относительную прибавочную скорость в 0,077 (см. табл. 31).

Если мы прибавим 10 поездов, то $y = 20$ и суммированная прибавочная скорость десяти поездов будет 0,55. При скорости отброса в 4 км/сек прибавка абсолютная составит 2,2 км/сек.

Прибавим 90 ракет; $y = 100$ и прибавочная скорость будет 1,78. Абсолютная прибавка ($W = 4$ км/сек) равна 7,12 км/сек. По табл. 33 десять поездов при тех же условиях дают 12 км/сек. Значит, сто поездов дадут секундную скорость в 19,12 км/сек. Это более чем нужно для удаления к иным солнцам.

При 50% использовании горючего (табл. 33) найдем, что скорость от 100 поездов будет $9 + 5,34 = 14,34$ км/сек.

39. При более чем сто ракет в поезде можем суммированную прибавочную скорость выразить формулой (из 37)

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} \cdot \ln \frac{y}{10}.$$

40. Например, для тысячи поездов наибольшая относительная скорость будет 3,454. Если $W = 4$, то абсолютная прибавка от 990 ракет = 13,82, а всего от тысячи ракет получим 25,82 км/сек.

41. Представим себе сначала горизонтальное движение все поездов. У последней ракеты будет наибольшее секундное ускорение (прибавка скорости в 1 сек). На практике удобно, чтобы сила взрывания была постоянной. Если это будет так, то ускорение одинокой ракеты сначала будет слабее, потому что масса будет велика, ибо горючее еще не израсходовано. Потом, по мере его сгорания, ускорение будет больше. Так, при нашем тройном запасе в начале ускорение будет в 4 раза меньше, чем в конце, когда весь взрывной материал вышел.

42. При взрывании, нормальном к направлению тяжести, пользоваться большим ускорением (на твердом пути, в воздухе или в пустоте) невыгодно. Во-первых, понадобятся особые предохранительные средства для спасения пассажира от усиленной тяжести, во-вторых, самая ракета должна делаться прочнее, а стало быть, и массивнее, в-третьих, взрывные трубы и другие машины должны быть тоже крепче и массивнее.

43. Примем наибольшее ускорение поезда в 10 м/сек². Такое же ускорение в 1 сек Земля сообщает свободно падающим предметам. Ясно, что подобное ускорение будет в последнем поезде из одинокой ракеты — притом в конце равномерного взрывания. Мы допустим, что сила этого взрывания уменьшается пропорционально уменьшению полной массы ракеты, так что ускорение все время будет постоянным и равным 10 м/сек².

44. Масса поездов из двух и более ракет мало изменяется, и потому там силу взрывания можем принять постоянной. Там ускорение можем считать неизменным. Притом оно будет тем меньше, чем число ракет в поезде больше. Так что некоторая неравномерность ничему повредить не может.

45. Ускорение второго поезда (с конца) будет вдвое меньше, так как масса его вдвое больше. Десятого — в десять раз меньше, так как он содержит 10 ракет одинаковой массы и т. д.

Выходит, что напряжение горизонтального поезда или его относительный вес не зависит от числа ракет. Действительно, если даже будет 1000 ракет, то натяжение его будет, с одной стороны, благодаря массе, в 1000 раз больше, с другой, благодаря малому ускорению, в 1000 раз меньше. Очевидно, поезд из сколько угод-

ного числа ракет будет иметь такое же натяжение, как и состоящий из одной ракеты.

46. Если натяжение поезда длинного больше, то только благодаря трению и сопротивлению воздуха. Этим мы пока пренебрежем.

47. Наклон пути к горизонту также увеличивает натяжение поезда пропорционально его длине. Но если мы примем кривой путь, постепенно восходящий, причем наклон его будет (тенгенс или синус наклона) очень мал и пропорционален ускорению поезда, то и этим обстоятельством можем пренебречь.

48. Имея все это в виду, вычислим времена, скорости, рейсы и подъемы поездов (см. табл. 49).

Очень удобно допустить, что взрывной отдел в каждой ракете устроен и действует одинаково. Тогда время взрывания, при полном израсходовании одного и того же запаса горючего, также будет одинаково во всех ракетах.

Если получим первую космическую секундную скорость в 8000 м, то там, вне атмосферы, давлением света или другим способом уже легко будет удаляться от Земли и путешествовать в пределах солнечной системы и даже далее (см. «Исследование» 1926 года, стр. 80) *.

49. Поезд в 5 ракет (табл. 49).

50. Из 6-й строки видим, что пятикратный поезд дает скорость, достаточную для удаления от Земли и даже от ее орбиты. Почти первую космическую (8000 м/сек) скорость приобретает предпоследний поезд, состоящий из двух ракет. Так что ему немного не хватает, чтобы носиться вне атмосферы, кругом Земли, вместе с последней ракетой, взрывчатый материал которой еще не израсходован. Понятно, что он может быть заменен каким-либо другим грузом. Отсюда видна возможность делать спутниками Земли целые нагруженные поезда, если полное число составных частей поезда, т. е. ракет, достаточно велико.

51. Из 7-й строки видно, что время взрывания в каждом поезде равно 552 сек, или 9,2 мин. Пять поездов возьмут 46 мин времени. Значит, менее чем в 1 час все будет закончено, и последняя ракета сделается блуждающим телом.

Запас взрывных веществ у нас втрое более веса ракеты с остальным содержимым и потому равен 27 т. Следовательно, в 1 сек должно взрываться 48,9 кг. Равномерность действия требует большого числа взрывных труб. Если в каждой ракете их будет 40, а мотор дает в 1 сек 30 оборотов, или 30 накачиваний (порций) в 1 сек, то каждая порция составит 0,041 кг, или 41 г. С чем сравнится эта канонада!.. 1200 холостых выстрелов в 1 сек в 41 г сильного взрывчатого вещества каждый. И она продолжается последовательно и непрерывно во всех ракетах в течение 46 мин.

* См. наст. книгу, стр. 246. (Ред.).

Таблица 49

Номера поездов в хронологическом порядке:										
(1)		1		2		3		4		5
Число ракет в каждом поезде:										
(2)		5		4		3		2		1
Среднее секундное ускорение, м/сек ² :										
(3)		2		2,5		3,33...		5		10
(Время взрывания постоянно). Относительная прибавочная скорость каждого поезда:										
(4)		0,2		0,25		0,333		0,5		1,0
Окончательная относительная скорость каждого поезда:										
(5)		0,2		0,45		0,783		1,283		2,283
Абсол[ютная] скорость каждого поезда, если прибавочную скорость последней ракеты принять в 5520 м/сек (см. «Исследование», 1926 год.):										
(6)		1104		2484		4322		7082		12602
(7)	Время взрывания в секундах=1104 : 2=5520 : 10=552.									
	Оно одно и то же для всех ракет.									
Средняя скорость каждого поезда, м/сек:										
(8)		552		1242		2161		3541		6301
Весь пройденный каждым поездом путь, км (при взрывании):										
(9)		288,14		685,58		1192,87		1954,63		3478,15
Тангенс наклона:										
(10)		0,02		0,025		0,033...		0,05		0,1
Отвесный полный подъем кажд[ого] поезда, в км:										
(11)		5,76		17,1		39,6		97,7		347,8
То же, если наклон вдвое меньше:										
(12)		2,88		8,5		19,8		48,8		173,9
Окончательные скорости при 50% использовании взрывных веществ, когда скорость одинокой ракеты=3900 м/сек:										
(13)		780		1755		3054		4992		8892
Длина поездов, м:										
(14)		150		120		90		60		30

52. Мы дали для размеров ракеты, для ее поперечника 3 м. На первое время можно ограничиться 1 м. Тогда вся эта ужасающая картина ослабится в 27 раз (три в кубе). Мы говорили, что в этом случае последняя космическая ракета может особым образом развернуться и быть просторным помещением для человека. Но об этом в другом месте.

53. Из 9-й строки видно, что пути, пройденные поездами, не превышают размеров земного шара. Но отвесный подъем каждого поезда (строка 11) гораздо меньше. Так, только первый поезд прокатясь, по Земле 288 км, поднимается на высоту 5—6 км. Второй поезд уже скоро должен оставить твердую дорогу и лететь в воздухе. Последняя ракета, не кончив еще взрывания, улетает уже за пределы атмосферы. Это — когда наибольший тангенс угла подъема (у последнего поезда) равен 0,1, а соответствующий угол с горизонтом — 6° . Для первого поезда он немного более 1° , для второго — 2° и т. д.

54. При наклоне, вдвое меньшем (строка 12), уже два поезда могут время своего взрывания проводить на твердом пути. Высота земных гор еще позволяет это. Тогда твердый путь составит около 600—700 км.

55. В строке 13 мы предположили 50% использования энергии взрывных веществ. И тогда последний поезд получает скорость, на много превосходящую первую космическую (8 км/сек). Ракетные рейсы, понятно, при этом будут короче.

56. Наибольший начальный поезд имеет в длину 150 м. Если же ограничиться на первое время вдвое меньшими размерами, то всего получим для пятиракетного поезда 50 м.

57. Мы уже говорили, что прочность поезда (на разрыв) не зависит от числа ракет на горизонтальном пути. Однако достаточно ли прочность одинокой ракеты?

Площадь сечения оболочки ракеты везде одинакова и равна (при толщине в 2 мм) $18\,000\text{ мм}^2$. Сопротивление разрыву, при шестикратном запасе прочности, будет не менее 180 т. Ракета со всем содержимым (и горючим) имеет массу в 36 т. Ускорение в 10 м/сек^2 , в связи с обыкновенной тяжестью, создаст относительную тяжесть в 1,4 раза больше земной. Но горизонтальная составляющая будет только равна земной. Таким образом, ракета подвергается натяжению, равному 36 т. Эта разрушающая сила в 5 раз меньше силы сопротивления материала. Если же примем ракеты в три раза меньшего диаметра и длины, то разрушающая сила будет в 15 раз меньше прочного сопротивления.

58. Наклонное движение увеличивает это разрушающее влияние. Но оно для всех поездов одинаково. Так, для одинокой ракеты наклон наибольший и увеличивает напряжение только на 0,1. Наклон, напр[имер], пятикратной ракеты в 5 раз меньше, так что, несмотря на большую массу, напряжение будет увеличено (в сумме) тоже на 0,1.

59. Отсюда видно, что ракеты могли бы делаться менее массивными, если бы не газовое сверхдавление, неизбежное в пустоте. Его все же можно уменьшить в 4 раза, так как вместо 4 атмосфер сверхдавления можно ограничиться одной. Однако оболочка окажется для малых ракет непрактично тонка.

60. Ввиду избыточной крепости поезда на растяжение, мы

предложим еще таблицы на поезда из 1, 2, 3, 4 и 5 ракет. Но здесь мы допускаем, что сила и скорость взрывания одной и той же массы взрывного материала пропорциональны массе поезда. Так, первый поезд, положим из 5 ракет, тянется силой в пять раз больше, чем одна ракета, и потому оба поезда имеют одно и то же ускорение. Также и все частные поезда одного и того же объема. Выходит, что, несмотря на различие в числе ракет разных поездов, у нас как бы движется одно тело с неизменным секундным ускорением. Но времена взрывания, конечно, обратны массам частных поездов (ибо чем сильнее взрывание, тем скорее оно и кончается).

61. Во всех таблицах (см. 62 и 63) мы принимаем окончательную суммовую скорость последней ракеты равной первой космической скорости в 8 км/сек. Таблицы, между прочим, дают ответ на вопрос: какая же при этом требуется прибавочная скорость для одинокой ракеты. Из 6-й строки таблиц мы видим, что эти наибольшие прибавочные скорости будут таковы для разных поездов:

Число ракет в поезде:								
1		2		3		4		5
Требуемая прибавочная скорость от одинокой ракеты, км/сек								
8		5,3		4,4		3,8		3,5

Мы видим, что прибавочная скорость тем меньше, чем число ракет в поезде больше. Так, для пятиракетного поезда она только 3,5 км/сек, что достигается при относительном запасе горючего в 1 или 1,5.

Из 10 и 16 строк видим, что длина рейсов по твердому грунту тут гораздо меньше. Также весь процесс взлета короче: всего 800 сек или 13,3 мин, так как секундное ускорение (10 м) не уменьшается, пока идет взрывание.

62. Длина ракеты 30 м [см. табл. 62].

63. Длина ракеты 30 м [см. табл. 63].

64. Наклон твердой дороги к горизонту и тут надо признать очень малым, но постоянным, напр[имер] в 6 градусов, причем синус угла будет равен 0,1. Дорога выйдет прямой, но не вогнутой, как в случае непостоянного секундного ускорения частных поездов.

65. Для поездов из 2, 3 и 4 ракет можно допустить не только ускорение постоянным, но и время взрывания таким же неизменным. Но для этого запас горючего в каждой ведущей ракете должен быть пропорционален силе взрывания, или массе каждого поезда. Значит, первые ракеты (или поезда) не только взрывают скорее, но и дольше, чем по таблицам 62 и 63, в силу большего запаса горючего. Тут также все частные поезда двигаются,

Таблица 62

1 ракета	2 ракеты	3 ракеты
Номера поездов:		
[1]	1	1 2
Число ракет и относительная сила взрыва:		
[2]	1	2 1 3 2 1
Относительное время взрыва:		
[3]	1	1 2 1 1,5 3
Относительное время ускоренного движения каждого поезда:		
[4]	1	1 3 1 2,5 5,5
Окончательная скорость каждого поезда, м/сек:		
[5]	8000	2667 8000 1454 3636 8000
Прибавка скорости каждого поезда, м/сек:		
[6]	8000	2667 5333 1454 2182 4364
Время движения каждого поезда с предыдущими, сек:		
[7]	800	266,7 800 145,4 363,6 800,0
Время движения одного поезда, сек:		
[8]	800	266,7 533,3 145,4 218,2 436,4
Средняя скорость каждого поезда, м/сек:		
[9]	4000	1333,3 4000 727,2 1818,2 4000,0
Длина пути каждого поезда с предыдущими, км:		
[10]	3200	355,5 3200 105,7 661,1 3200
Пролет каждого поезда отдельно, км:		
[11]	3200	355,5 2844,5 105,7 555,4 2538,9
Высота поднятия. Синус угла=0,30:		
[12]	960	106,7 960 31,7 198,3 960
То же. Синус угла=0,25:		
[13]	800	88,9 800 26,4 166,3 800,0
То же. Синус угла=0,20:		
[14]	640	77,1 640 21,1 132,2 640,0
То же. Синус угла=0,15:		
[15]	480	53,3 480 15,8 99 480,0
То же. Синус угла=0,10:		
[16]	320	35,5 320 10,6 66,1 320,0
Длина всего поезда, м:		
[17]	30	60 30 90 60 30

4 ракеты					5 ракет													
Номера поездов:																		
[1]		1		2		3		4		1		2		3		4		5
Число ракет в каждом и относительная сила взрывания:																		
[2]		4		3		2		1		5		4		3		2		1
Относительное время взрывания каждого поезда:																		
[3]		1		1,33		2		4		1		1,25		1,67		2,5		5
Относительное время ускоренного движения каждого поезда:																		
[4]		1		2,33		4,33		8,33		1		2,25		3,92		6,42		11,42
Окончательная скорость каждого поезда, м/сек:																		
[5]		960,4		2237,7		4158,5		8000		700,6		1576,3		2746		4497,8		8000
Прибавка скорости каждого поезда, м/сек:																		
[6]		960,4		1277,3		1920,8		3841,5		701		876		1170		1752		3502
Время движения каждого поезда с предыдущими, сек:																		
[7]		96,0		223,8		415,8		800		70		158		275		450		800
Время ускоренного движения одного поезда, сек:																		
[8]		96,0		127,8		192,0		384,2		70		88		117		175		350
Средняя скорость каждого поезда, м/сек:																		
[9]		480,2		1118,8		2079,2		4000,0		350		788		1373		2249		4000
Длина рейса каждого поезда с предыдущими, км:																		
[10]		46,08		250,43		864,45		3200		24,50		124,50		377,57		1012,05		3200
Пролет каждого поезда отдельно, км:																		
[11]		46,1		204,3		614,0		2335,6		24,5		100,0		253,1		634,4		2188,0
Высота поднятия. Синус угла=0,3:																		
[12]		13,8		75,4		259,3		960,0		7,35		37,35		112,28		303,61		960
То же. Синус угла=0,25:																		
[13]		11,5		62,6		216,1		800,0		6,1		31,1		94,4		253,0		800
То же. Синус угла=0,20:																		
[14]		9,6		50,1		172,9		640,0		4,9		24,9		75,5		204,4		640
То же. Синус угла=0,15:																		
[15]		6,9		37,5		129,7		480,0		3,67		18,6		56,7		151,8		480
То же. Синус угла=0,1:																		
[16]		4,6		25,0		86,4		320,0		2,45		12,4		37,8		101,2		320
Длина всего поезда, м:																		
[17]		120		90		60		30		150		120		90		60		30

как одно тело с постоянным ускорением. На этом основании составим следующую таблицу (см. табл. 66).

66. Длина ракеты 30 м.

Таблица 66

2 ракеты		3 ракеты			4 ракеты				
Номера поездов:									
(1)	1 2		1 2 3		1 2 3 4				
Число ракет в частном поезде, относительная сила взрывания и запас горючего									
(2)	2 1		3 2 1		4 3 2 1				
Относительное время ускоренного движения каждого поезда:									
(3)	1 1		1 1 1		1 1 1 1				
Относительное полное время взрывания каждого поезда:									
(4)	1 2		1 2 3		1 2 3 4				
Окончательная скорость каждого поезда, км/сек:									
(5)	4 8		2,7 5,3 8		2 4 6 8				
Прибавочная скорость каждого поезда, км/сек:									
(6)	4 4		2,7 2,7 2,7		2 2 2 2				
Полное время движения каждого поезда, если секундное ускорение всегда равно 10 м:									
(7)	400 800		267 533 800		200 400 600 800				
Время движения одного поезда, сек:									
(8)	400 400		267 267 267		200 200 200 200				
Средняя скорость каждого поезда, км/сек:									
(9)	2 4		1,33 2,67 4,00		1 2 3 4				
Полная длина пути каждого поезда (с предыдущими), км:									
(10)	800 3200		355,5 1422 3200		200 800 1800 3200				
Пролет каждого поезда отдельно:									
(11)	800 2400		355,5 1066,5 1778		200 600 1000 2200				
Полная высота поднятия, км. Синус угла = 0,1. Уг[ол] = 6°:									
(12)	80 320		35 142 320		20 80 180 320				
Длина поезда, м:									
(13)	60 30		90 60 30		120 90 60 30				

67. Наклон твердой дороги к горизонту и вообще тут может быть постоянным. Например, тангенс угла (6°) наклона равен 0,1.

Даже первый частный поезд тут только часть пути может идти по твердому грунту. Другая бóльшая часть совершается в атмосфере.

Из 6-й строки видно, что прибавочные скорости одинаковы для частных поездов одного кортежа и тем меньше, чем число ракет в кортеже больше. Для четырехракетного поезда прибавочная секундная скорость только 2 км, что соответствует относительному запасу горючего от 0,5 до 0,7 (по отношению к массе ракеты без взрывчатых веществ).

Передние земные поезда и могут иметь большую массу горючего, так как число людей на них может быть меньше и оборудование их проще, ибо они возвращаются сейчас же на Землю.

68. Все же наиболее практичны и осуществимы поезда из одинаково устроенных ракет, с неизменным запасом горючего и постоянную силу взрыва (см. п. 4). Они же могут состоять и из громадного числа членов (отдельных ракет), что увеличивает окончательную скорость или позволяет довольствоваться небольшим запасом горючего в каждой отдельной ракете (или слабым его использованием). Одним словом, и при несовершенстве реактивных приборов можно тогда получить космические скорости.

69. Вот таблица на десятиракетный поезд [см. табл. 69]. Время взрывания (3 строка) в каждом частном поезде одно и то же, что следует из одинакового устройства членов поезда. Если это время означим через x и будем требовать от последней ракеты (поезда) первой космической скорости, то, на основании четвертой строки, имеем

70. $1x + 1,1x... + 1,25x... + 2x... + 5x + 10x = 29,29x = 8000$, откуда $x = 273,1$ сек.

71. Наибольшая прибавочная скорость, требуемая от последней одинокой ракеты, будет только 2,7 км/сек (6°), что соответствует относительному запасу горючего от 0,8 до 1. Если же запас будет больше, то и окончательная скорость будет больше. Но на первое время это не нужно.

72. Первые 4 поезда могут идти по твердому грунту, причем подъем равен 6 км, а длина всего пути 419 км (см. 13 и 10 строки). Это допустимо для Земли. Пятый поезд заканчивает свой путь в атмосфере, а остальные 5 даже начинают его в ней. Ввиду шарообразности Земли поднятие для последних поездов гораздо больше, чем видно из строки 12.

Длина всего пути, во время взрывания, достигает 3 тысяч верст.

73. Твердая дорога крива: вогнута (см. строку 14). Точные вычисления относительно этой кривизны дают формулы чересчур сложные (со вторыми производными), и мы их тут не можем приводить, чтобы не затемнять главного. Но допустим,

Длина одной ракеты=30 м. Ракеты одинаковы по устройству и запасу горючего

Номера частных поездов:

(1) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10

Число ракет в каждом частном поезде:

(2) | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1

(3) Время взрывания одно и то же.

Секундное ускорение каждого поезда, м:

(4) | 1 | 1,111 | 1,250 | 1,429 | 1,667 | 2 | 2,5 | 3,333 | 5 | 10

(5) Если желаем достигнуть первой космической скорости в 8 км/сек, то время взрывания будет=8000 м/сек: 29,29 м/сек²=273,1 сек

Прибавочная скорость каждого поезда, м/сек:

(6) | 273 | 301 | 343 | 391 | 456 | 546 | 682 | 1009 | 1365 | 2734

Окончательная скорость каждого поезда, м/сек:

(7) | 273 | 574 | 917 | 1308 | 1764 | 2310 | 2992 | 3901 | 5266 | 8000

Средняя скорость каждого поезда, м/сек:

(8) | 136 | 287 | 458 | 654 | 882 | 1155 | 1496 | 1950 | 2633 | 4000

Длина пути каждого поезда, км (см. 3 и 5 строки):

(9) | 37,1 | 78,3 | 125,0 | 178,5 | 240,8 | 315,3 | 408,4 | 532,3 | 718,8 | 1092,4

Весь пройденный путь каждого поезда с предыдущими, км:

(10) | 37,1 | 115,4 | 240,4 | 418,9 | 659,7 | 975,0 | 1383,0 | 1915,7 | 2634,5 | 3726,9

Наклон пути каждого частного поезда. Тангенс угла (6°) последнего примем в 0,1.

Наклон других пропорционален ускорению:

(11) | 0,01 | 0,0111 | 0,0125 | 0,0143 | 0,0167 | 0,02 | 0,025 | 0,0333 | 0,05 | 0,1

Полная высота поднятия каждого поезда, км:

(12) | 0,371 | 0,870 | 1,562 | 2,553 | 4,024 | 6,306 | 10,24 | 17,72 | 35,94 | 109,24

Полная высота, км:

(13) | 0,371 | 1,241 | 2,803 | 5,356 | 9,377 | 15,683 | 25,89 | 43,61 | 79,55 | 188,79

Высота по отношению к рейсу (12 и 10):

(14) | 0,01 | 0,01090 | 0,01179 | 0,01278 | 0,0140 | 0,0161 | 0,0187 | 0,0227 | 0,0302 | 0,0508

Полное время взрывания каждого поезда, сек:

(15) | 273 | 546 | 819 | 1092 | 1365 | 1638 | 1911 | 2184 | 2457 | 2730

что кривизна пути постоянна для каждого поезда. Известная элементарная теорема нам даст: $r = L^2 : 2h$, где по порядку означены: радиус кривизны, пройденный путь и отвесное поднятие h . Строки 10 и 13 позволяют определить радиус кривизны

для каждого участка пути. Так, для 1-го, 5-го и последнего, т. е. 10-го, найдем в км: $r = 1850, 23220$ и 36770 . Отсюда видно, что радиусы кривизны возрастают. От этого центробежная сила уменьшается. Но она, в то же время, растет от увеличения скорости поездов (истинные радиусы больше, а потому истинная центробежная сила меньше).

74. Для трех этих случаев вычислим ее в метрах секундного ускорения. Как известно, она равна $F_{ц} = V^2 : r$, где означены центробежная сила, скорость движения и радиус кривизны пути. Эта формула, строка 7 и параграф 73 дают: $F_{ц} = 0,04, 1,34$ и $1,74$. По отношению к силе земной тяжести (земное ускорение 10 м/сек^2) это составляет от 0,004 до 0,17. Но не забудем, что только четвертый поезд может двигаться по твердому пути и развивать центробежную силу. Остальные двигаются в атмосфере, и тогда центробежной силы может совсем не быть: вообще, она будет зависеть от нас, т. е. от управления (от наклона рулей). Для 4 поезда $r = 16360$ и $F_{ц} = 1,05$, т. е. сила, придавливающая поезд к пути, не более одной десятой тяжести поезда (на деле еще меньше).

75. Обратимся вообще к относительной силе тяжести, образующейся в поезде во время его движения. Центробежная сила прижимает поезд к дороге сначала незаметно, потом сильнее, но максимум не доходит до 0,1 тяжести Земли. Этой силой мы пренебрежем. Вторая, нормальная к ней, сила зависит от ускоренного движения поезда. Наибольшая величина его равна земному ускорению (10 м/сек^2). Этой величиной уже пренебречь нельзя. Слагаясь с притяжением Земли, обе силы дают ускорение, приблизительно равное 14 м/сек^2 , что в 1,4 раза больше земного ускорения. Человек весом в 75 кг будет весить в поезде не более 105 кг. Такое увеличение тяжести, в течении немногих минут, легко вынести даже в стоячем положении, не говоря уже про молодых здоровяков и более покойное положение. Тяжесть будет возрастать понемногу, изменяясь от 1 до 1,4 по отношению к обыкновенной. Наклон этой относительной тяжести к отвесу также растет постепенно, от нуля до 45° . Горизонтальная земная поверхность, по мере увеличения ускорения, как бы наклоняется все более и более и в конце ускоренного движения кажется для пассажира, что поезд мчится на гору под углом 45° . В начале движения эта гора почти горизонтальна, потом делается все круче, под конец же твердого пути представится почти отвесной. Зрелище ужасающее и поражающее. Трение и сопротивление воздуха немного ослабляют ускоренное движение и потому ослабляют и самое усиление тяжести.

76. Когда поезд срывается с твердого грунта и мчится в воздухе, то явление усложняется.

В атмосфере будет то же самое, если равнодействующая взрывающих сил будет направлена вдоль продольной малона-

клонной оси ракеты. Тогда она, падая, будет испытывать сопротивление воздуха, равное ее весу. Воздух будет давить на нее, как и твердая дорога.

Однако ракета, летя в наклонном положении, носом кверху, не упадет на Землю, так как будет подниматься быстрее, чем опускаться.

77. Опускание от земной тяжести будет в начале медленное и ускоренное, потом же достигнет такой скорости, при которой давление воздуха сравняется с весом ракеты. Тут отвесная скорость падения сделается постоянной и не очень значительной в сравнении с непрерывной возрастающей скоростью поднятия ракеты.

78. Ракета, параллельно утроенная или учетверенная, на 3 м^2 своей горизонтальной проекции даст тяжесть, при начале взрывания, как мы видели, около $0,9 \text{ т}$. (Для ракет с диаметром в 1 м — в 9 раз меньше.) На 1 м^2 придется $0,3 \text{ т}$ (см. 8). Такого же будет и давление воздуха на 1 м^2 горизонтальной проекции снаряда. Это обстоятельство может нам служить для составления уравнения. Оно же нам даст необходимые выводы.

79. Примем направление равнодействующей взрывания горизонтальным. Тогда встречный поток будет направлен на ракету (полагая основание ее плоским) под углом, которого тангенс равен $(V_h : V)$, где означены постоянная скорость падения ракеты от ее тяжести и переменная скорость поступательного движения ракеты.

80. Давление воздушного потока на нормальную к нему поверхность одного квадратного метра будет не менее $(d : 2g) \cdot V^2$, где даем плотность воздуха, ускорение земной тяжести и скорость потока.

Поток же, действующий на пластинку в наклонном положении, давит сильнее (в удвоенный тангенс угла). Следовательно, давление на каждый квадратный метр основания ракеты выразится:

$$(d : g) \cdot V \cdot V_h.$$

81. Величину этого давления мы должны приравнять весу (G_1) ракеты, приходящемуся на 1 м^2 ее основания ($0,3 \text{ т}$, или 300 кг).

Следовательно,

$$G_1 = (d : g) \cdot V \cdot V_h.$$

Отсюда

$$\frac{V}{V_h} = (g \cdot G_1) : (d \cdot V^2).$$

Из этого видно, что относительная скорость падения, или угол этого падения (тангенс), быстро уменьшается с увеличением поступательной скорости ракеты. Но он увеличивается с уменьшением плотности воздуха, т. е. с поднятием ракеты в высоту.

82. Вычислим тангенс этого угла для разных скоростей ракеты и разных плотностей воздуха.

Если, например, $d = 0,0012$, $G_1 = 0,3$ т, $g = 10$ м/сек², $V = 1000$ м/сек, то наклон будет $= 0,0025$. Даже на высоте 8—10 км, где воздух вчетверо реже, наклон будет 0,01. При секундной скорости ракеты вдвое меньшей (500 м) наклон будет 0,04. И этот наклон в 2,5 раза меньше принятого нами наклона (0,1) продольной оси ракеты к горизонту (когда она сходит с твердого пути). Значит, и при этих условиях ракета не только не будет падать, но и будет быстро подниматься вверх, удаляясь от поверхности Земли еще и в силу ее шарообразности.

83. Но разреженность воздуха с течением времени возрастает гораздо быстрее квадрата поступательной скорости ракеты. Поэтому наступит момент, когда тяжесть ракеты не будет уравновешиваться сопротивлением атмосферы, относительная вертикальная составляющая тяжести будет уменьшаться и в пустоте за пределами атмосферы, исчезнет. Тогда останется только тяжесть от ускоренного поступательного движения ракеты, равного 10 м/сек². Оно произведет кажущуюся тяжесть по напряжению, равную земной, но по направлению, ей почти перпендикулярную. Тогда Земля покажется отвесной стеной, параллельно которой мы движемся (восходим).

Но и это продолжится лишь несколько минут: взрывание прекратится и всякие следы тяжести как бы исчезнут.

84. Если положим в последнем уравнении тангенс угла наклона в 0,1 и $V = 1000$ м/сек, то вычислим: $d = 0,00003$, т. е. можно мчаться до высоты, где плотность воздуха очень мала (0,00003). Она будет в 40 раз меньше, чем у уровня океана), и все же не падать при скорости в 1000 м/сек. Такая скорость еще не развивает центробежную силу, равную тяжести Земли, и потому не делает путь круговым — без приближения и удаления от Земли. Лишь по достижении секундной скорости в 8 км/сек или около пути будет круговым и вечным (только вне атмосферы).

85. Охарактеризуем наши поезда разных систем. Могут быть четыре случая.

А. Ракеты устроены почти одинаково. Запас взрывчатых веществ у всех один и тот же, но взрывание тем сильнее, чем масса поезда больше. Благодаря этому ускорение для всех частных поездов одно и то же, но время взрывания обратно массе поезда (62 и 63).

Б. Запас взрывчатых веществ и сила взрывания тем больше, чем больше масса частного поезда. Вследствие этого секундное ускорение и время взрывания для всех поездов одинаковы (см. 66).

В. Запас взрывчатых веществ пропорционален массе частного поезда, но сила взрывания постоянна. В этом случае время взрывания в каждом поезде тем больше, чем масса его боль-

ше. Ускорение же обратно массе частного поезда. Этот случай нами не разобран.

Г. Все ракеты совершенно тождественны по запасу горючего и взрывной машине. Чем больше масса частного поезда, тем меньше ускорение. Время взрывания для всех поездов одинаково (см. 49).

86. Система А неудобна тем, что требует у первых ракет сильного или быстрого взрывания, а следовательно, усложнения и утяжеления взрывного механизма. От этого же и напряжение первых длинных поездов будет громадно. Вся система грозит разрывом, и потому нельзя употреблять многоракетных поездов. Прибавочная скорость каждого поезда такая же, как и в системе Г. Выгода — в уменьшении длины твердого пути и времени взрывания, но это совсем не важно (62 и 63).

87. Система Б, как и предыдущая А, требует увеличения массы и объема ракеты тем большего, чем больше членов в ведомом ею поезде. Ведь горючее требует помещения, также более сложные и сильные машины. Нельзя тогда и употреблять много ракет в поезде: он разорвется от сильного ускоренного движения. Выгода в быстром увеличении скорости, так как прибавочная скорость одна и та же для всех поездов. Значит, окончательная скорость пропорциональна числу ракет в поезде. Если, например, прибавочная скорость одинокой ракеты составляет 8 км/сек , то поезд системы Б, состоящий из двух ракет, достигает секундной скорости в 16 км , что почти достаточно для блуждания среди иных солнц. Если мы можем от одинокой ракеты получить скорость в 2 км/сек , то четырехракетный поезд даст последней ракете уже первую космическую скорость в 8 км/сек (см. 66).

88. Система В практичнее, потому что для длинных поездов ускорение будет слабое, как в системе Г, и потому можно употребить для поезда множество ракет. Взрывные механизмы и самые ракеты почти одинаковы. Но так как количество горючего пропорционально массе частного поезда, то передние ракеты должны быть больше, чтобы вместить большую массу горючего. В этом их недостаток. Но мы видели, что простора в наших ракетах довольно и потому поезд из 2—3 ракет возможен и без изменения объема приборов. Еще выгода в том, что прибавочные скорости не уменьшаются с увеличением числа ракет, как в системе Б. Действительно, хотя ускорение в длинном массивном поезде и меньше, но время взрывания, в силу большого запаса горючего, во столько же раз больше. Поэтому окончательные прибавочные скорости у всех частных поездов одинаковы, что представляет большое преимущество. Удлинение же времени и твердого пути (сравнительно с системами А и Г) не существенно.

89. Хотя мы этот случай не разбирали, но относительно величины прибавочных скоростей может служить таблица 66. Эта

система В заслуживает самого усиленного внимания. Если бы мы, например, могли от одинокой ракеты достигнуть скорости всего лишь в 1 км/сек (пушечная скорость может быть больше), что по таблице моего «Исследования» 1926 г. требует относительного запаса от 0,2 до 0,3, то и тогда довольно 17 поездов, чтобы достигнуть наибольшей космической скорости, достаточной для достижения всех планет (но не спуска на них) и блуждающей в Млечном Пути. Запас горючего в ракетах, начиная с передней, будет не более:

5,1 4,8 4,5 4,2... 1,2 0,9 0,6 0,3

Такие запасы вполне допустимы. Последняя космическая ракета будет почти пуста, т. е. свободна от горючего.

Вот какие перспективы обещает применение поездов, вот как они могут облегчить получение космических скоростей!

90. О системе Г (см. 49) мы достаточно говорили раньше. Ее преимущество в полном однообразии элементов поезда (кроме последней космической ракеты).

Вообще, совершив свое дело, т. е. отправив последнюю ракету в космическое путешествие, все остальные ракеты, какой бы то ни было системы, пролетев более или менее длинный путь в атмосфере, планируя, спускаются на сушу или воду и опять могут служить для того же. Один и тот же поезд, на одном и том же пути может отправить миллионы приборов в небесное путешествие. Требуется только непрерывный расход на горючее из дешевых продуктов нефти и эндогенных соединений кислорода.

Недостаток системы Г в малой прибавочной скорости. Но если ряд 89 заменим равными членами, например, в 5,1, то система В превратится в Г, и тогда окончательная скорость еще намного возрастет.

91. Вопрос о материалах для сжигания, устройстве взрывных труб, оболочке и других частей ракеты не может быть сейчас решен. Поэтому я пока предполагаю для элементов взрыва нефтяные продукты и жидкий кислород или его эндогенные соединения, а для устройства ракеты — разные известные сорта стали: хромовую, бериллиевую и проч.

Конечно, много выгоднее употребить для элементов взрыва одноатомный водород и озон. Но устойчивы ли достаточно такие материалы и могут ли иметь удобный жидкий вид! Это должны решить химики, специально занимающиеся подобными веществами.

Если возможны хорошие результаты с кислородом, нефтью и сталью, то тем лучше они будут при иных более выгодных материалах.

Вопрос о твердой дороге разработан в моем сочинении «Сопротивление воздуха [и скорый поезд]», 27 г.

Прибавление о температуре космической ракеты

Даже среди ученых существуют противоречивые и неясные представления о температуре тел в эфире, например о температуре ракеты.

Говорят о температуре небесного пространства. Говорить об этом невозможно: это не имеет смысла, потому что мы не имеем ясного понятия об эфире. Можно говорить только о температуре газов, жидкостей и твердых тел, помещенных в небесном пространстве.

Если допустить, что кругом какого-нибудь тела в эфире небесного пространства нет никаких других тел, например солнц, планет, комет и малых тел, то такое тело будет только терять теплоту, не получая ее взамен от других тел. Весьма вероятно, что температура такого тела дойдет до абсолютного нуля, т. е. будет иметь 273°C холода: движение молекул остановится, но это не значит, что движение их частей, и тем более протонов, и электронов прекратится. Едва ли вполне прекратится даже движение молекул и атомов.

Но мы не будем погружаться в глубины вопроса. Нам нужно представление о простой температуре тел в небесном пространстве. Весьма вероятно, что она близка к 273°C холода. Такова температура в удалении от солнц, когда они кажутся звездочками, ибо нагреванием от них тогда можно пренебречь. Сомневаться в этом трудно (хотя и в этом деле выводы ученых разноречивы). Действительно, теперь фактически подтверждается, что температура планет, удаленных от Солнца, очень низка, между тем как они нагреваются солнечными лучами. Если бы они удалились еще дальше от светила, так что все солнца показались бы им звездами, то эта температура несомненно дошла бы до абсолютного нуля (273°C холода).

Планеты еще обладают собственной теплотой, они еще борются с их охлаждением, у них еще большой запас тепла и его источников.

Тела же небольшие, к которым можно причислить не только земные тела человеческого обихода, но и астероиды (если они удалены от теплых или накаленных тел), быстро достигают степени абсолютного холода.

Поэтому космическая ракета, вдали от Солнца, между едва мерцающими звездами, по-видимому, находится в критическом положении. Ее температура скоро должна дойти до 273° холода.

Но, во-первых, она может иметь в себе источник тепла, во-вторых, может быть настолько защищена рядом оболочек от потери тепла, что эти потери будут легко вознаграждаться искусственно даже в течение тысяч лет.

Но этот вопрос мы пока оставим. Обратимся к снаряду, который находится на том же расстоянии от Солнца, как Земля. Это несколько не мешает ему быть вне Земли, на ее орбите, на сотни миллионов верст расстояния от Земли, когда она представляется маленькой звездочкой, подобной Венере.

Наша ракета будет терять тепло только от лучеиспускания, ибо воздуха или другой материальной среды кругом ее нет. Но она же будет и получать тепло от Солнца, и потому температура ее будет понижаться только до тех пор, пока расход теплоты (от лучеиспускания) не сделается равным приходу (от лучей Солнца).

Значит, надо сообразить о величине прихода и расхода и тогда уже решать вопрос о величине установившейся постоянной температуры тела.

Величина прихода, конечно, зависит от энергии лучей Солнца. Мы эту энергию примем постоянной. Но она может совсем не восприниматься нашим телом, если оно покрыто со стороны Солнца одной или несколькими блестящими обложками, целиком отражающими эту теплоту. Значит, как бы ни была велика энергия лучей Солнца, она может не восприниматься нашей ракетой, благодаря ее устройству и свойствам поверхности.

Наоборот, есть черные поверхности, которые почти целиком поглощают падающую на них теплоту Солнца.

Итак, приход тепла может колебаться от нуля до некоторой максимальной величины, зависящей от энергии согревающих лучей.

Если бы не было расхода тепла от лучеиспускания, то наша ракета тогда нагрелась бы до температуры Солнца.

Обратимся же к расходу теплоты.

Всякие поверхности тел теряют теплоту, но одни больше, другие — меньше. Притом эта потеря быстро возрастает (в четвертой степени) с увеличением абсолютной температуры тела. Конечно, потери возрастают и с увеличением поверхности (например, снаряда).

Все эти соображения и вычисления приводят к следующим выводам.

Сооружение, с одной стороны обращенное к Солнцу, имеющее с этой стороны темную поглощающую тепло поверхность, а с другой, противоположной (теневой), огражденное от потерь лучистой энергии несколькими блестящими поверхностями, может иметь температуру, высший предел которой не менее 150°C .

Вот практический пример. Имеем шарообразный замкнутый сосуд с газом. Третья доля его поверхности, обращенной к Солнцу, закрыта стеклами, хорошо пропускающими лучистую энергию. Она падает на темную поверхность внутри шара, которая хорошо поглощает лучи Солнца. Остальные две трети поверхности ограждены от потерь тепла одной или несколькими блестя-

щими поверхностями. Температура газа внутри шара доходит до 150°C .

Тот же полый шар, обращенный к Солнцу блестящей поверхностью, получает внутри температуру, близкую к 273°C холода. Колебание теплоты — более 400°C .

Тот же шар, повернутый к Солнцу боком, так что только часть прозрачной поверхности получает лучи Солнца, имеет температуру, среднюю между 273° холода и 150° жары.

Поворачивая шар так и сяк, мы получаем любую температуру между этими пределами. Например, температуру всех климатов, всех высот и всех времен года земного шара.

Если наш снаряд будет достаточно быстро вертеться, обращаясь периодически прозрачной стороной к Солнцу, то в нем установится средняя температура, близкая (по расчету) к 27°C . Это почти вдвое больше, чем средняя температура нашей вращающейся планеты (про Землю).

Но последняя бо́льшую часть солнечных лучей не воспринимает, а отражает обратно в небесное пространство. Ведь 50% земной атмосферы покрыты всегда облаками, блестящая поверхность которых прекрасно отражает солнечный свет. Вот почему средняя температура Земли близка к 15°C .

Вообще температура планет — дело условное и очень сложное, и мы не имеем в виду тут разбирать этот вопрос. В моих рукописях много соображений и вычислений о температуре планет. В печатных же трудах приведены только результаты их...

Кажется, что теперь вопрос о температуре космических ракет достаточно уяснился...

Однако может быть и такое устройство небесных снарядов, что температура их будет выражаться не сотнями, а тысячами градусов. Для этого нужно еще уменьшить расход тепла, не уменьшая его прихода от Солнца.

Если бы мы в нашем шаре уменьшили площадь окон и увеличили площадь блестящей поверхности, то потеря тепла уменьшилась бы, но зато и приход тепла сократился бы. Из этого заколдованного круга, однако, можно выйти. Можно оставить в шаре очень маленькое прозрачное отверстие и впускать в него любое количество солнечной энергии, посредством собирательного стекла или сферического зеркала. Отверстие в шаре должно при этом совпадать с фокусным изображением Солнца. Так, потери тепла дойдут до минимума, без всякого сокращения прихода солнечной энергии.

Что же выйдет? Количество тепла в шаре будет возрастать до тех пор, пока ежесекундный приход не сравняется с секундным расходом. Это непременно должно случиться, так как с возвышением температуры расход тепла возрастает. Температура внутри шара может дойти до 1000° и более.

Если бы даже наш снаряд удалился к пределам солнечной системы, туда, где вращается с своими кольцами Сатурн, где мчатся Уран и Нептун,— и там космическая ракета могла бы получить от Солнца теплоту, достаточную для жизни (описанным путем).

Наоборот, есть возможность получения низкой температуры, несмотря на самые горячие лучи Солнца. Это дает средство путешествовать нашему ракетному прибору поблизости Солнца. Не только там, где кружится и жарится в солнечном жару Меркурий, но и еще ближе.

Уже давно (с 1920 г.) мы об этом писали и теперь только повторяем ранее сказанное.

Цели звездоплавания *

Много пишут и говорят у нас и за границей о возможности звездоплавания.

Но что же тогда будет, какой смысл этого достижения? Какие выгоды может извлечь человечество из доступности небесных пространств?

Многие воображают себе небесные корабли с людьми, путешествующими с планеты на планету, постепенное заселение планет и извлечение отсюда выгод, какие дают земные обыкновенные колонии.

Дело пойдет далеко не так. О спуске на крупные небесные тела нельзя теперь и мечтать — так он труден. Даже спуск на такие небольшие тела, как наша Луна — дело отдаленного будущего. Вполне доступны только такие маленькие тела и луны, как астероиды (от 10 до 400 верст в поперечнике).

Главная цель и первые достижения относятся к распространению человека в эфире, использованию солнечной энергии и повсюду рассеянных масс, как астероиды и еще меньшие тела.

— Какая безрассудная мысль, скажет читатель, — разве можно жить в эфире, без планеты, без твердой опоры под ногами! Только большие планеты имеют атмосферы и могут принять человека.

Но, во-первых, спуск на тяжелые планеты затруднителен в техническом отношении. О трудностях этих могут понимать только специалисты. Во-вторых, мы встретим там атмосферы неизвестного состава, с неизвестными растениями и животными, с неизвестной температурой. Одно это нас может погубить.

Со временем овладеют и планетами, но пока это задача далекая, далекая и о ней даже рано еще говорить.

Если бы мы и сейчас завладели всеми планетами, то и тогда получили бы сравнительно ничтожную награду. В самом деле ценность планеты определяется получаемой ею солнечной энер-

* Впервые опубликовано отдельной брошюрой в Калуге в 1929 г. (Ред.).

гий. Все же планеты вместе взятые получают ее только в десять раз больше, чем Земля. Все это совершенно незаметно в сравнении с полной солнечной энергией, которая в 2,2 миллиарда раз более получаемой Землей и в 200 миллионов раз больше, чем какую имеют все планеты нашей Солнечной системы.

Вот какой энергией может завладеть человек, если сумеет устроиться в небесном пространстве!... Достижение этой цели едва можно сравнить с открытием двух тысяч миллионов новых планет, таких, как Земля.

Когда мы представим себе ясно жизнь в эфире, тогда поймем хорошо это «едва».

Кажется, что может быть нелепее жизни в пустоте и без опоры! Но это не только достижимо, но и представляет преимущества, оценить которые правильно чрезвычайно трудно.

Надо рассмотреть, как там дышит человек, как строит жилища, как двигается, как воспитывает растения, как сам живет, как ест, работает, как справляется с техникой, как чувствует себя, женится, размножается и пр...

Самая, по-видимому, невозможная, нетерпимая вещь — отсутствие воздуха или атмосферы. Отчасти это правда, но атмосфера источник и величайших для человека горестей. Ни атмосферой, ни ее температурой, ни другими ее свойствами человек пока управлять не умеет. Возьмем хотя [бы] температуру. На экваторе днем почти невозможно жить от жары. Ночью сноснее, но сыро и нездорово. Северные страны имеют по жаре несносное лето и несносную по холоду зиму. Каких громадных жертв и трудов стоит человечеству его борьба с температурой воздуха, с ветрами, снегами, ливнями, засухами, бактериями и т. д.!... Атмосфера же лишает нас огромной части солнечной энергии: одна часть отражается облаками, другая часть поглощается даже безоблачным воздухом. Она грабит нас.

Ни люди, ни растения пока не могут обходиться без газов. Человеку нужно не менее половины того количества кислорода, которым он сейчас дышит, т. е. такая его плотность (0,00012), при которой давление на 1 см^2 не менее 100 г (0,1 ат). Еще нужна незначительная примесь паров воды. Азот и другие газы не нужны, даже вредны, как вредна бесполезная примесь к хлебу.

Растения могут довольствоваться ничтожным количеством углекислого газа, кислорода, азота и паров воды. Вот их газовое питание. Общее давление этой газовой смеси не составляет и сотой доли атмосферы, т. е. 10 г на 1 см^2 .

Значит, примесь небольшого количества к атмосфере человека углекислого газа и азота делает эту атмосферу пригодной и для растений.

Мы пока будем говорить только о подобной атмосфере человека, о том, как ее сохранить от рассеивания и очищать от загрязнения. Хотя каждому существу, каждому растению нужна

особого состава атмосфера, как особая температура и особая почва, но мы пока эти подробности оставим.

Обыкновенно сосуд шаро-цилиндрической формы, сделанный из хорошего материала и выдерживающий внутреннее давление, весит в десять раз больше, чем заключенный в нем газ упругости кислорода. Положим, что на человека нужно помещенное объемом в 100 м^3 . Вес 1 м^3 кислорода будет около $0,00012 \text{ т}$, вес 100 м^3 — $0,012$, вес сосуда — $0,12 \text{ т}$ или 120 кг , т. е. он будет иметь массу вдвое большую массы человека.

Пожертвовать на жилище человека 120 кг стекла, стали, никеля и других крепких металлов—это такие пустяки! Не жаль и в 10 раз больше.

Как же устраивается такое жилище? Форма его цилиндрическая, замыкаемая с двух концов полусферическими поверхностями. Чем оно обширнее, тем толщина стенок будет больше. Поэтому жилище (чтобы толщина стенок оказалась практической) устраивается на несколько сотен или тысяч человек. Оно состоит из блестящей, снаружи и внутри, цилиндрической шаровой поверхности. Третья часть ее, обращенная к солнцу, решетчатая со вставленными стеклами. Последняя похожа на кривую раму со множеством стекол.

Какая форма и какие размеры наиболее выгодны? Шаровая форма неудобна потому, что сообщение между шаровыми поверхностями устраивать не особенно удобно. Лучше в этом отношении круглые цилиндрические, очень длинные поверхности. Итак, жилище имеет вид трубы, длина которой неопределенно велика.

Какой же ее поперечник? Чем он больше, тем меньше солнечного света придется на единицу объема, или на каждого обитателя. Значит, большой диаметр не выгоден, потому что свет питает растения, а растения кормят человека. Но и малый поперечник не хорош, так как стесняет движение, ограничивает простор и дает малую толщину оболочки. Можно принять поперечник не менее 2 — 3 м . Но, конечно, он может быть и гораздо больше, сообразно назначению жилища. Залы собраний будут громадны. Также заводские и другие общественные сооружения. Их размер определяется их назначением. Мы пока имеем в виду существование семьи и ее пропитание... По вычислению оболочка цилиндра с диаметром в 3 м будет непрактично тонка. Но ничто не мешает нам ее сделать в 10 — 100 раз толще. Прочность во столько же раз увеличивается, а материала не жалко.

Нетолстая труба, кроме световых преимуществ, имеет еще другие: чем поперечник ее меньше, тем на большее число изолированных друг от друга отделений она может быть разделена. Это же уменьшает риск лишиться воздуха и погибнуть в пустоте.

Положим, например, что длина жилища 3 км , поперечник 3 м . Тогда оно может быть разделено на 300 отделений, каждое

в 10 м длины, 3 м ширины и 70 м³ объема. Это очень порядочная зала, вполне достаточная для помещения средней семьи. Световая ее поверхность составит 30 м², что совершенно довольно для питающего семью огорода.

В чем же тут безопасность? Допустим, что одно из отделений начинает выпускать газ наружу. Манометр это сейчас укажет. Тогда семья уходит в соседнее отделение, а неисправное изолируется. Оно осматривается потом снаружи и внутри, общими силами, в особых непроницаемых одеждах, и исправляется. Тогда семья возвращается в свое лоно. Понятно, что чем больше отделений, тем меньше опасности. Могут быть особые приспособления для автоматического указания места газовой утечки...

Воздух бы в отделении испортился, если бы не растения и их почва. Но как на земле совершается круговорот, очищающий атмосферу и почву, так и в нашем маленьком мирке, т. е. семейном отделении. Подробности дадим, когда будем описывать воспитание растений.

Обратим внимание на температуру жилища. При описанном устройстве и на расстоянии его от Солнца, равном расстоянию от него Земли, т. е. на земной орбите, сносная температура возможна только при вращении жилища, когда окна обращены то к Солнцу, то в обратную сторону, т. е. когда получается в жилище попеременно, то день, то ночь. Она возможна также при постоянном обращении части окон в тень, когда освещена внутри примерно 0,1 всей внутренней поверхности (или 0,3 проекции).

Температура вообще будет зависеть от нас и может изменяться от 250° холода до 200° тепла, смотря по тому, какой частью солнечного света мы воспользуемся. Одним словом, можно получить не только все климаты Земли, но и климаты всех планет Вселенной.

Одно здесь не ладно. Экономия требует, чтобы мы использовали с помощью растений или другими способами возможно большее количество солнечной энергии. Но тогда получится 200° тепла и все будет сожжено. Терять же свет, отворачиваясь от него, обидно. Есть простое средство: это удалиться на другую, более отдаленную орбиту, между Марсом и Юпитером, ближе к первому. Если удалимся вдвое дальше, чем Земля от Солнца, то получим тепла не менее, чем сколько нужно для человека и растений для их блестящего развития. Тогда уже не нужно будет поворачиваться и пренебрегать дарами Солнца.

Некоторое время можем пожить на орбите Земли, но это расточительно. На двойном же расстоянии мы получим и солнечного места вчетверо больше, чем на расстоянии Земли. Там же найдем и много материала, ибо это будет за Марсом, уже в

поясе астероидов. (Есть способ и не расточительный, — использовать всю солнечную энергию без удаления от Солнца.)

Итак, каково будет отношение к нам Солнца, каково-то нам будет в нашем жилище благодаря ему? Мы получим вечный день, или вечную ночь, или чередование того и другого, смотря по желанию. Растения могут пользоваться вечным днем, а человек, привыкший, благодаря вращению Земли, спать, может оградить себя во время отдыха экраном и пользоваться полной темнотой. У нас всегда прекрасная погода и температура по желанию. Не надо одежды и обуви. Обильное питание растительными продуктами. Невозможность заражения, вследствие отсутствия различных бактерий, изолировки и всегда возможной дезинфекции каждого отделения особым способом повышения температуры до 100°C и более. Да и на двойном расстоянии от Солнца можно сильно повышать температуру. Но об этом после. Можно ли сравнить все это с несчастной Землей...

Перейдем еще к очень важному обстоятельству и бесценному дару эфирного простора: к отсутствию кажущейся тяжести. Там есть масса, но силы тяготения, как будто, отсутствуют.

Наше жилище мчится со скоростью нескольких десятков верст в секунду, нескольких миллионов верст в сутки, смотря по расстоянию от Солнца: чем ближе к нему, тем быстрее, и обратно. Но мы этого движения совершенно не замечаем, как не замечаем движения Земли. Нам кажется, что мы погружены в абсолютный покой.

На нас действуют силы тяготения Солнца, планет, звезд и всех небесных тел. Но мы и их не чувствуем, как не чувствуем, будучи на Земле, притяжения Солнца. Мы на Земле ощущаем только ее притяжение. Но в нашем жилище — от Земли далеко; вместо Земли — крохотная масса трубы, которая по своей малости, не оказывает на нас заметного притяжения.

Притяжение Солнца и других небесных тел заставляет нас падать к ним и потому описывать кривую линию, подобную той, которую описывает Земля. Но падение нашего жилища и нас самих совершенно одинаково. Поэтому мы его и не замечаем, как не замечаем, будучи на Земле, нашего падения к Солнцу.

Тяжесть как бы отсутствует, как отсутствует, по-видимому, движение. Нет ни тяжести, ни движения, если мы не произвели их сами. Какие же последствия? Тела не дают друг на друга и не падают. Здание, как бы велико ни было, хотя бы в несколько десятков верст, не может разрушиться и не может никуда упасть. Борьбы с тяжестью при постройках нет. Только при планетных размерах сооружений, в несколько сотен верст, их части, взаимно тяготея, могут оказывать заметное давление друг на друга. При недостаточном сопротивлении материала они сближаются и разрушаются. Но и разрушенное здание упасть никуда не может, как не падает Луна на Землю и обе — на

Солнце... Тела могут держаться неподвижно без всякой опоры и без соприкосновения друг с другом. Направление их тоже безразлично в отношении покоя. Например, мы в нашем жилище можем, не падая, висеть (без веревки или другой опоры) в воздухе, обратившись головою к Солнцу, или ногами к нему, или боком — как хотим.

Грузов не существует у нас, существуют только массы. Любую массу мы можем держать в руках, не испытывая ни малейшей тяжести. Она может быть и на голове, и на спине, и под ногами — мы все равно ее не замечаем. Отсюда видно, что нет необходимости не только в одежде и обуви, но и в мебели. Зачем стулья, кресла, кровати, тюфяки, подушки и т. д. Человек ни к чему сам собой не прижимается, никакое тело на него не давит, всякое место так «мягко», как никакая пуховая постель не может быть мягка.

Зачем перекладывать нежные фрукты, стеклянную посуду и ломкие вещи соломой, опилками, ватой, тряпьем, если нет взаимного давления... Разве все это не великое преимущество нашей среды!

Верха и низа не существует. Пока человек не привык, верх кажется над головой, а низ под ногами. Значит верх и низ меняются по желанию. Каково чувствовать первое время себя без опоры, и под ногами бездну! Потом иллюзия верха и страх исчезают. Но первое время, для успокоения, необходимы: жилище, стены и полы и даже прикосновение к ним.

Теперь рассмотрим движение. Пока не будем говорить об истинном движении, которого впрочем вообще нет: есть движение относительно Земли, Солнца или какого-либо другого тела, абсолютное же движение неизвестно. Но мы отбрасываем даже наше планетарное движение относительно Солнца. Ведь мы его не замечаем и говорить о нем пока не будем. Имеем ввиду только движение, произведенное нами: посредством мускулов, машин или еще чего-нибудь.

Совокупность жилищ, имеющих огромное протяжение в длину и ширину и громадную массу, будем считать неподвижной, как, рассматривая земные человеческие движения, мы считаем неподвижной нашу планету.

Мы, например, находимся в обширной зале, где производим разные опыты движения.

Положим, где-нибудь в середине залы находится какой-нибудь камень, стол, комод или другой предмет, части которого не взаимодействуют, не перемещаются, как например, в работающей машине, или в животном, т. е. мы подразумеваем одно твердое неорганическое тело.

С большими трудами мы можем установить наш предмет (стол) неподвижно. Пусть мы этого достигнем. Что же будет? Он останется вечно неподвижным, т. е. не будет вращаться или

перемещаться относительно стен нашего помещения. Какое положение мы ему придали, такое и останется в нем на веки веков.

То же мы могли бы сделать с человеком: также установить его неподвижно, попросив его не двигать членами. Тогда он ни приближаться к стенам, ни удаляться от них не будет.

Но вот представим ему свободу движений и попросим пустить в дело ноги, руки и что он хочет, и приблизиться к нам. Что же мы увидим? Он будет корчиться, все члены его придут в движение, но он останется на месте (если вообразим, что вокруг его пустота). Он совершенно свободно машет ногами, руками, изгибается как раздавленный червяк, поворачивает голову направо и налево, принимает все положения (сидячее, стоячее), направляет руки и ноги во все стороны, но центр его тяжести остается как бы пригвожденным. Он остается на том же месте и не сдвинулся ни на 1 см.

Мы просим нашего друга покружиться, как кружатся дети. Но и это ему не удастся, несмотря на все его усилия и желания исполнить нашу просьбу. Когда он, утомленный, успокаивается, то лицо его обращено в ту же сторону, как и вначале, когда мы его устанавливали неподвижно. Направление его тела также нисколько не изменилось.

Если так обстоит дело, то как же двигаться, как направлять себя в разные стороны и перемещаться? Ничего не может быть легче этого. Можно сколько угодно вращаться и двигаться во все стороны — как в газовой среде, так и в пустоте. В газовой среде достаточно ладоней рук. Они могут нам служить крыльями. Скоро мы научились бы, отталкивая воздух, вращаться и двигаться куда угодно. Но ладони плохие крылья — поверхность их чересчур мала. Надо взять в руки легкие пластинки, примерно в 1 м². С помощью их можно поворачиваться и двигаться очень скоро. Крылья могут быть и меньше. Ведь одолевая силу тяжести не нужно, приходится только бороться с косностью тела и сопротивлением среды, т. е. с ее инерцией и трением. Усилия для этого нужны самые ничтожные, если только скорость обыкновенная, например, пешего хождения.

Но и в воздухе и в пустоте можно употребить другие приемы. В пустоте же они обязательны, ибо в ней иных средств движения нет. В воздухе нашего жилища они не нужны, тут достаточно крыльев. Все же мы будем продолжать опыты в нашей зале, пренебрегая сопротивлением среды, которое не велико при обыкновенных первобытных скоростях человека.

Мы видели, что человек не мог сам себя привести в движение, т. е. получить поступательное или вращательное движение, не мог даже повернуться в другую сторону. Получалось беспорядочное движение членов и только. В конце же концов все оставалось в прежнем состоянии.

Но представим себе, что человек одет. Он снимает шляпу или пиджак (это возможно) и кидает их в сторону. Вещи мчатся, но и он не остается на месте. Он медленно перемещается в противоположную сторону, пока не стукнется о стену. Если бы не препятствие, его движение продолжалось бы вечно, равномерно и по прямой линии.

Чем большую массу имеет откинутый предмет и чем сильнее он отброшен, тем скорее перемещается и человек. Если бы двое людей одинаковой массы оттолкнулись друг от друга, то оба двигались бы с равной скоростью в противоположные стороны. Если бы один оттолкнулся от двух или от двойной массы, то он получил бы скорость вдвое большую, чем оттолкнутые двое.

При этом трудно избежать вращения: оттолкнувшиеся друг от друга массы еще и вращаются. В общем их движение подобно движению экипажного колеса, планеты, детского волчка и т. д. Но теоретически возможно отталкивание и без вращения, т. е. чистое поступательное движение.

Рассмотрим вращение отдельно. Опять обратимся к нашему одетому человеку. Попросим его снять картуз или сапоги и завертеть их на манер волчка-игрушки. Теперь мы видим вертящийся сапог или картуз. Но и человек, снявший его, начинает медленно поворачиваться. Одним словом, он медленно завертелся, как и его шапка, только в обратную сторону. Чем массивнее и обширнее вещь, которую он завертел и чем скорее она вертится, тем и человек наш вертится быстрее. Если бы два человека одинаковой формы и массы завертели друг друга, то оба имели бы одинаковую угловую скорость вращения. Если же один завертелся вокруг своей высоты, а другой вокруг своей ширины, то последний будет вращаться медленнее, ибо момент [инерции] вокруг поперечной оси будет больше.

В воздухе, конечно, вращение, в силу трения, рано или поздно прекратилось бы. Но в пустоте оно было бы вечным и равномерным, как равномерно и вечно движение планет. И два завертевшиеся человека, как куклы, будут вечно вращаться. Их воля не в силах уничтожить это движение, как и движение поступательное. Но если они опять сцепятся друг с другом, то движение обоих остановится, т. е. вращения не будет.

Представим себе кучку людей, без опоры, совершенно неподвижных и не вращающихся. Общий центр их тяжести непоколебим. Момент вращения* навеки равен нулю. Но каждый из них может сколько угодно кривляться, гримасничать и принимать всякие позы. Движения всех их мускулов так же свободны, как и на Земле. Отталкиваясь друг от друга, они могут получать всякие вращательные и поступательные движения. Какой-нибудь субъект, получивши таковые, если не может схватиться

* Кинетический момент. (Ред.).

оте будет связан с ней веревочкой, никогда не потеряет ни свое вращательное, ни свое поступательное движение. Он навеки остается детским волчком и навеки расстается со своими друзьями. Он будет двигаться вечно, равномерно и прямолинейно. Пройдет тысячи, десятки тысяч верст и все-таки не остановится. Все могут разбрестись куда хотят, но центр их тяжести останется пригвожденным к одному месту пространства.

Чтобы остановить движение, надо другому телу, имеющемуся при нас, сообщить обратное вращение или обратное поступательное движение. Если оно будет недостаточно, то движение главного тела только замедлится, если достаточно, то остановится, если будет излишне быстро, то не прекратится, но переменит направление.

Понятно теперь, как возбуждать и прекращать движения в воздухе. В жилище можно отталкиваться от его стенок, от каких-нибудь предметов, или от воздуха с помощью небольших крыльев, конечно, не имеющих веса. В пустоте — дело опаснее и труднее. Тут нужно иметь опору, т. е. другое тело, хотя и не связанное с жилищем. Можно употребить ракету, сжатый газ или пар, любое твердое или жидкое тело.

Можно обойтись и без подвижной опоры и без отбрасывания тел (которые улетают от нас навеки), если связать себя веревкой или проволокой с жилищем. Тогда мы отталкиваемся от него в желаемую сторону и летим до тех пор, пока привязь нас не остановит. Затем, при возвращении, мы притягиваемся за веревку к жилищу.

Значит движение в эфирной пустоте, в среде без тяжести, может быть трех главных сортов. Прямолинейное равномерное без вращения, вращательное при неподвижности центра тяжести и оси вращения, и смешанное, т. е. соединение вечного вращательного с вечным поступательным — прямолинейным.

Есть еще более сложное вращательное движение, при котором присоединяется колебание оси вращения. Но оно неустойчиво*, т. е. не вечно и понемногу переходит в простое вращение вокруг свободной (специальный термин) оси.

Мы не говорим тут про тела сложные, части которых подвижны, или про живые тела. Те и другие могут отбрасывать видимые или невидимые частицы. И потому указанные законы движения будут, как будто, нарушаться. Так всякое животное непрерывно выделяет из себя разные вещества, например, пары и газы, и потому уподобляется реактивному прибору. Человек в нашем жилище, будучи сначала абсолютно неподвижным, под влиянием отбрасывания газов и паров, неравномерного обращения крови, движения сердца и других органов, — понемногу приобретает не

*Если центральный эллипсоид инерции имеет различные по величине полуоси, то неустойчивым будет вращение около средней полуоси. (Ред.).

только вращательное, но и поступательное движение. Только это не сразу, а спустя значительный промежуток времени.

Если же нет отбрасывания, то все тела живые и мертвые, как бы они сложны не были, подчиняются трем законам, именно:

А. Если центр тяжести сложного тела находится в покое, то этот покой внутренними силами тела не может нарушиться.

Б. Если центр тяжести имеет движение, то и это движение не может измениться внутренними силами ни по величине, ни по направлению, т. е. это движение будет вечным, равномерным и прямолинейным

В. Сюда относится еще третий, чрезвычайно важный закон, относящийся к вращению сложного тела, движение частей которого и взаимное положение постоянно изменяется: вращательный момент инерции * этого тела навеки остается неизменным (о моментах всякого рода см. в механике).

Этот закон имеет, например, применение к сжимающимся солнцам, туманностям, планетам, солнечным системам. Применения его бесчисленны. Так, если вращающаяся группа людей, сцепленных взаимно руками, будет стягиваться в более тесную кучку, то она весьма ускорит свое вращение и тем сильнее, чем кучка делается плотнее и обратно. Не только при этом усиливается угловая скорость, но и абсолютная **.

Что же чувствует человек, вращающийся илидвигающийся без вращений? Опять будем наблюдать его или себя в жилище. С непривычки поступательное движение совершенно не сознается. Нам покажется, что двигаемся не мы, а окружающие нас стены. Также не сознается и собственное вращение. Представляется не свое верчение, а верчение комнаты. Нам кажется, что кто-то завертел наше жилище. Мы, жители Земли, и вертимся с ней, и двигаемся вперед, и имеем еще с ней сотни разнообразных движений. Но все их мы ощущаем не как наше собственное движение, а как движение окружающих нас небесных тел. Только производимые нами самими движения мы сознаем и ощущаем. Множество же движений Земли для наших чувств не существуют.

Но ведь и там, в эфире, мы производим сами свои маленькие движения. Почему же они представляются нам не нашими, а чужими? Причина в плавности этого движения, в незаметности его, вследствие отсутствия толчков, тряски и других следствий земного не идеального движения и вращения.

Все же эти иллюзии, по крайней мере в жилище, должны со временем исчезнуть. Сначала нам на пароходе кажутся движущимися берега, но потом сознаем же мы движение судна, как бы оно тихо и равномерно не было. Так будет, вероятно, и в эфире...

* Кинетический момент. (Ред.)

** Линейная скорость какой-либо частицы. (Ред.)

До сих пор мы говорили о покое и движении в жилищах. Но каковы же наши ощущения будут вне их, в безграничном просторе Вселенной, на ярких и жгучих лучах Солнца?

Уже через окна здания мы многое можем видеть. Небо черное. Узоры звезд такие же, как и на Земле, только меньше красноты в звездах, больше разнообразия в их цветах. Они не мигают, не искрятся и при хорошем зрении кажутся мертвыми точками (без лучей). Солнце тоже кажется синеватым. Земля представляется звездой, как Венера, а наша Луна едва заметна. Узор созвездий не зависит от нашего положения в планетной системе, он все тот же: и с Юпитера, и с Меркурия, но величина Солнца только с земной орбиты такая же.

Вследствие отсутствия атмосферы, звезды, туманности, кометы, планеты и их спутники видим чрезвычайно отчетливо. Видно простыми глазами то, что на Земле нельзя видеть без телескопа. С помощью же последнего можно узреть, что совсем и никогда с Земли не видали...

Особая одежда, с запасом кислорода и поглотителями человеческих выделений, дает нам возможность вылезть наружу из жилища.

Поместимся в тени его. Солнца не видно. Общая картина окажется очень странной. Мы почувствуем себя в центре небольшого черного шара, усыпанного разноцветными точками-звездами и туманными пятнышками. Кроме того, через весь шар тянется широкая туманная полоса млечного пути, кое-где раздваивающаяся. Каждый раз, заслонясь от Солнца, мы погружаемся в ночь. Удалившись от жилища и не выходя из его тени, мы сразу увидим почти все небо, всю сферу.

Солнце бы нас убило своими ультрафиолетовыми лучами, если бы обыкновенные стекла нашей одежды и жилища не предохраняли нас от них. На Земле нас хранит от них атмосфера.

Выплыв из тени, мы увидим Солнце. Оно покажется нам гораздо меньше, чем с Земли, таким же уменьшенным как и небесная сфера. Это субъективно, оно нисколько, не уменьшилось.

Трудно представить себе, что чувствует человек среди Вселенной, среди этого мизерного черного шара, украшенного разной цветными блестящими точками и замазанного серебристым туманом. Нет ничего у человека ни под ногами, ни над головой. Может быть ему представится, что он вот-вот упадет на дно этого шара, в ту сторону, куда обращены его ноги.

Оттолкнувшись от жилища, он будет описывать прямую линию и как будто должен уйти от места своего жительства навсегда. Но то и другое не совсем верно. Тяготение Солнца заставит оттолкнувшегося описывать окружность вокруг светила, в какую бы сторону не направил он свой путь. Значит линия будет не прямая, а кривая. Но 1° этой окружности (на расстоянии Земли) составляет более 2,5 миллионов верст. Стало быть, путь

все же можно считать прямым на протяжении сотен тысяч километров. Если человек при этом проплывает по 1 м/сек (скорость пешехода), то путь его в течение нескольких лет будет прямой, как стрела. Всю круговую орбиту он пролетит тогда в 30 000 лет. Но и после того пройдет так далеко от своего жилья, что и не заметит его.

Если же человечество уже распространилось в огромной небесной сфере и застроило ее вдоль и поперек жилищами и другими нужными ему сооружениями, то оттолкнувшееся существо не будет беспомощно. Оно всюду видит или натывается на людские здания, получает сведения, указания и возвращается куда хочет.

Как просторно это поле Солнечной системы, эта сфера, занять которую может человек! На двойном расстоянии (сравнительно с Землей) ее поверхности от Солнца она в 8,8 миллиардов (почти в 9) раз больше площади наибольшего сечения Земли (ее проекции), или в 2,2 миллиарда раз больше всей ее поверхности. Во столько же раз эта сфера получает больше и солнечной энергии сравнительно с Землей.

Но последняя не получает ее полностью: больше половины отражается облаками в небесное пространство, часть поглощается атмосферой, часть бесплодно падает в океаны, пустыни, на горы, на снежные поля. В общем же итоге Земля получает едва ли более 10% того, что приходится на ее долю.

Таким образом, ценность этой сферы, ее вечного дня, девственных лучей Солнца еще в 10 раз больше, и выражается 22 миллиардами по отношению к Земле.

Простор этого блестящего поля нельзя определить и этой цифрой. Он в миллионы миллиардов раз больше, чем земной. Однако главное значение имеет не он, а солнечная энергия.

Конечно, движение и его законы, вне сооружения, такие же, как и внутри их. Но ощущения чудеснее.

Поступательное движение совершенно не замечается и приписывается окружающим искусственным телам. На положении звезд и планет оно несколько не отражается. Так что, если нет кругом людей и их построек, то все кажется неподвижным.

Но трудно получить строго параллельное поступательное движение. Оно было бы незаметно, если бы к нему не примешивалось движение вращательное. Последнее, если слабо, то не приписывается себе, но заставляет нас думать о вращении черного небесного свода. Ось вращения нашего тела делается осью мира. Так, если мы вращаемся вокруг нашей высоты, то над головой будет один полюс (с «полярной» звездой), под ногами — другой. Остальные звезды будут описывать круги в то самое время, в которое человек делает свой оборот. Например, если в 10 мин, то и звездная сфера будет делать свой оборот в 10 мин. Быстрое вращение может вызвать головокружение, болезнь и

даже смерть. И поэтому оно может сознаваться человеком по своим последствиям.

Трудно также отрешиться от иллюзии верха и низа. Над головой представляется верх, хотя бы голова эта, от вращения тела вокруг поперечной его оси, все время опускалась и поднималась. Нам покажется, что это звезды опускаются и поднимаются. В опускание же головы мы не верим: она как бы неподвижна и над ней верх.

Пугает и низ под ногами без опоры. Все кажется, что упадешь туда. Удивляет и отсутствие опоры — пола или почвы...

Мы не касаемся тут начала космической жизни. Опора ее находится на Земле. Первые жилища, инструменты, машины, питомники растений, работники и т. д. — все это доставляется с нашей планеты. Мы можем только описывать тут постепенный переход переселенцев к самостоятельной, независимой от Земли деятельности: развитие индустрии, народонаселения и его распространение в небесных сферах. Так колонисты первое время питаются привезенными запасами и только постепенно укрепляются и достигают самостоятельности, благоденствия и распространения.

Мы предполагаем это начало жизни уже готовым. Нам остается только описать его. Но как оно приготовлено на Земле и перенесено в эфир — это нас не касается...

Может ли отсутствие тяжести не повредить здоровью человека? Тяжесть усиливает прилив крови к ногам. Устранение ее, наоборот, усиливает прилив крови к мозгу. Поэтому человек с ослабленными стенками кровеносных сосудов, склонный к удару (апоплексии), рискует умереть при погружении в воду, или при лежачем положении, или тем более вверх ногами.

В воде и в лежачем состоянии давление крови делается почти равномерным, как при отсутствии тяжести. Поэтому отсутствие тяжести настолько же вредно или полезно, как и лежачее положение. Большим и слабым такое положение полезно, даже необходимо. Поэтому среда без тяжести для них, врачей и больных — чистый рай: нет пролежней, доступны все части тела и свободны все движения. Здоровым лежанье с течением времени становится невыносимым. Но ведь это больше происходит от того, что лежащий вынужден к физическому бездействию. Если бы он мог работать в постели мускулами, то тягостное чувство исчезло бы. Да и скучно лежать — мало впечатлений. Это тоже причина. В среде же без тяжести работа любыми мускулами вполне зависит от нас.

Тяжесть способствует испражнению и глотанию. Но ведь все это можно делать и в горизонтальном положении. Следовательно, отсутствие тяжести и тут не обязательно. Акробаты ухитряются пить и есть даже вверх ногами, и это не обман.

Стоячее положение на Земле рождает известные болезни и потому избыток его прямо вреден.

В эфирных жилищах посуда, орудия и всякие предметы обихода не требуют корзин, полок, подставок, стоек и пр. Это хорошо. Но, не имея тяжести, от малейших сил, даже от неизбежного движения воздуха, они не остаются на месте, а бродят по всем комнатам, как живые, как пылинки.

Это невыносимо и опасно: при дыхании горошинка, гвоздь, булавка и пр. могут попасть в горло и убить человека. Но все мелкие тела можно удерживать в легких пакетах, ящиках, коробках, мешках. Более же крупные — в сетках. Это очень легко, так как малейшей силы достаточно для этого. Можно держать их и на короткой привязи.

Что делать с почвой, необходимой для растений? При малейших толчках, трении, движении, воздушных токах, сухости — она срывается с места и носится в воздухе в виде пылинок и крупинок глины, песка, извести и т. д. Это тоже недопустимо. Сильные ветры и на Земле носят не только пыль — она всегда в воздухе — но и крупные песчинки, даже камешки, листья, насекомых и пр. Но без тяжести дело гораздо серьезнее и [не]обычнее. Конечно, воздух, прежде чем служить для дыхания, должен непрерывно процеживаться через сети, ткани и разные жидкости.

Но этого мало. Тут необходимо прибегнуть к возбуждению искусственной тяжести. Нет надобности ее делать такой большой, как земная и тем обременять людей для борьбы с ней. Совершенно достаточно тяжести в одну сотую или 0,001 земной. Остановимся на последней, слабейшей. Чем она не достаточна? Под ее влиянием все крупные тела упадут в искусственный низ, т. е. на пол, ибо тогда появится и пол и потолок, и горки. Но падение будет медленное: в 1 сек тело упадет только на 0,5 см, в 10 сек — на 0,5 м, в 1 мин — на 18 м. Ясно, что достаточно и минуты, чтобы освободить высочайшую залу от блуждающих тел — как больших, так и малых.

В специальных жилищах для растений особенно необходима искусственная слабая тяжесть, чтобы удерживать почву на своем месте. Конечно, растениям не опасна пыль, песчинки и блуждание более крупных тел. Но все же они вредны, так как заслонят от них солнечный свет. Кроме того, как же будут жить растения, если вся почва рассеется в воздух.

В эфирной среде получение искусственной и непрерывной тяжести решительно ничего не стоит. Только если она велика, то жилища растений и человека придется делать немного прочнее и потому массивней.

Тяжесть рождается вращением тела. Вращение в пустоте — вечно. И потому тяжесть будет не только вечная и постоянная, но и несостоящая никаких хлопот. Чем быстрее скорость частиц тела по окружности и чем меньше радиус этой окружности, тем и тяжесть от центробежной силы сильнее, и обратно.

Вообразим себе длинную коническую поверхность или воронку, основание или широкое отверстие которой прикрыто прозрачной шаровой поверхностью. Она прямо обращена к Солнцу, а воронка вращается вокруг своей длинной оси (высоты). На непрозрачных внутренних стенках конуса — слой влажной почвы с насаженными в ней растениями.

Вот способ использовать вполне солнечную энергию, без чрезмерного повышения температуры, даже на расстоянии Земли от Солнца. Чем длиннее будет конус, чем больше его поверхность при одном и том же прозрачном основании, тем ниже будет температура внутри конуса. На расстоянии Земли поверхность эта должна быть раза в четыре больше, чем застекленная площадь. Для этого нужно, чтобы образующая (немного большая высоты конуса) была в 2 раза больше диаметра основания. Ближе к Солнцу конус будет длиннее, дальше — короче. Даже при самом близком расстоянии от Солнца можно сделать температуру конуса, его растений и газов сносной. Так, на расстоянии, в 10 раз меньшем земного, конус надо удлинить в 100 раз. Основание его будет в 200 раз короче высоты.

Только соединять вращающиеся конусы проходами затруднительнее, чем описанные цилиндрические жилища человека.

Но жилища растений выгодно делать отдельно, так как они не требуют густой атмосферы и крепких стенок. Таким образом, помимо экономии материала, специальная, хотя и разреженная атмосфера дает наибольший урожай. Случайная же гибель растений от утечки газов не имеет важности. Одно не совсем удобно: выделения людей должны непрерывно поступать в оранжеи, а выделения растений (газы, фрукты и т. д.) — в жилище людей.

В наших конусах солнечные лучи косвенно [наклонно] освещают растения и потому действие их слабее. В конусах они делают не только вечный день, но и вечную весну с определенной желаемой температурой, наиболее благоприятной для воспитываемых растений. Вращение их и рождаемая от того искусственная тяжесть держит влажную почву и растительные отбросы в порядке. Созревшие и отделившиеся плоды мы найдем упавшими на почву, а не блуждающими в свободном пространстве конуса.

В жилищах и других сооружениях человека также слабая тяжесть не бесполезна. Величина ее в 0,01 земной не может затруднить движений и работ. Положим, что имеем помещение в виде шара с диаметром в 2 версты. Сфера медленно вращается вокруг своего диаметра. Скорость по окружности (экватору) около 10 м/сек. Полный оборот совершается в 600 сек или в 10 мин. Наибольшая тяжесть по экватору, в одну сотую земной. Прыжок с внутренней окружности к центру поднимет человека на 100 м, так что движения не стесняются и тяжесть не замечается.

Явления движений в такой сфере сложны и описывать мы их сейчас не будем.

Типы жилищ человека и растений могут быть бесконечно разнообразны и мы пока это тоже оставим.

Объясним очень важное: как достигается в совместном жилище определенная температура, влажность, определенный состав воздуха и хорошее питание для растений и человека.

Легкое вращение рождает тяжесть, избавляет от сора и водворяет порядок. Стекла тонкие, прозрачные, проницаемые, по возможности, для всех родов лучей — кварцевые или еще какие. Лучи ослабляются ими и густой стеной растительности. Поэтому они безопасны для человека. Растения подобраны плодовые, травянистые, мелкие, без толстых стволов и не работающих на солнце частей. Чем они более утилизируют солнечный свет, чем больше дают плодов, тем больше поглощают солнечной энергии и тепла. Но оно возвращается, так как плоды поедаются и люди возвращают в свое жилище тепло, поглощенное растениями; только при накоплении плодов (запасы) это тепло временно задерживается.

Растений должно быть столько, чтобы их корни, листья и плоды давали столько же кислорода, сколько поглощают обитатели жилья. Если последние поглощают более, то люди задыхаются и ослабевают, а растения оживляются от избытка углекислоты; если менее, то людям дышится легко, но растения не имеют довольно углекислого газа и слабеют. Равновесие само собой сохраняется при удачном подборе растений. Регуляция совершается еще и числом квартирантов. Одним словом, количество людей должно соответствовать свойству и количеству растений.

Откуда вода для растений и человека, которой, как будто, надо очень много? Ее количество определено и не изменяется: не убывает и не прибывает. Как же это так? Растения, животные и почва в жилище непрерывно испаряют воду. Но пары эти не могут исчезнуть в плотно закрытом жилище. Они накапливаются в холодильнике в виде воды. Теневая часть помещения имеет отделения с любой низкой температурой. Стоит только отделение обратить к темному небесному пространству и изолировать от внутреннего нагревания (подобие домашних стенных погребов) и мы получим желаемую низкую температуру. В эти отделения пропускается более или менее влажный воздух, где он оставляет столько паров, сколько мы хотим, так как это зависит от быстроты циркуляции и от низости температуры. То и другое у нас в руках.

Вода из холодильников идет на питье, на омовение, на поливку растений или увлажнение почвы. Но не только вода непрерывно циркулирует от растений к холодильникам и обратно, но то же делает и воздух. Он пропускается с помощью особых труб

в почву и уже оплодотворив корни и бактерии, выходит наружу вполне очищенный и годный для дыхания.

Человеческие выделения разжижаются водой и также отправляются в почву, где бактерии скоро их делают годными для питания растений.

В этих наших помещениях не надо ни постоянного притока воды, ни притока пищи для растений и животных. Определенный запас газов, воды, почвы и удобрений служит без истощения.

На Земле совершается то же, только в большом масштабе. Но на Земле удобрения уносятся в океаны и когда-то еще будут извлечены оттуда. В нашем же жилище, если они и расходуются, если и накапливаются в плодах, то немедленно и возвращаются без всякого урона. И на Земле со временем найдут выгодной изолировку растений, их питания и воды. Начнут это с пустынь, где ее недостаточно.

Итак, атмосфера чиста, воздух влажен по желанию, температура и состав атмосферы регулируется тоже по желанию. У нас вечный неиссякаемый источник чистой дистиллированной воды, кислорода, тепла и пищи. Одежды не нужны.

Нет тяжести, не отекают ноги, не гнутся ветки растений от веса плодов. Свободно распространяются соки растений, не стесняясь тяжестью.

Хотя мы и употребляем слабую искусственную тяжесть, но она так мала, что мы можем ею пренебречь, забыть про нее и считать себя в среде свободной от сил тяготения.

Температура жилища вполне зависит от нас. Какая же может быть надобность в одежде! Все могут носить какие угодно одежды и украшения с согласия общества.

Вообще же мы в один момент можем дать желаемую температуру зябким старикам, больным, недоношенным младенцам и пр. Конечно, приходится устраивать жилища сообразно свойствам и желаниям населения. Могут найтись желающие всегда иметь высокую температуру. Жители экваториальных стран, больные, слабые старики потребуют 30° C. Другие — 25, третьи 20 — все — различно. Этому может удовлетворить каждое здание. Одно и то же помещение может менять температуру. Так, для спанья требуется повышенная температура: ведь ни перин, ни тюфяков, ни подушек, ни одеял, ни ночных одежд нет. При собраниях в больших залах одному покажется жарко, другому — холодно. Положим, что мы установим в зале 30° C, т. е. 24° R. В этом случае никто не зябнет и без одежды, но некоторым покажется жарко. Если же установим 25° C, или 20° R, то без одежды слабые озябнут и им придется одеться.

Изменением температуры и непосредственно солнечным светом тут пользуются для самых разнообразных целей. Например, для дезинфекции почвы, атмосферы, стен и всех предметов

жилища. Люди и растения для этого из него удаляются, а температуру доводят до 100—200 С. Понятно, что все живое будет уничтожено. Вот почему облегчится земледелие: не будет вредителей. Произрастать же будет чистая культура желаемых растений.

В связи с подбором их, подходящей температурой, атмосферой и питанием — какие мы можем получить чудесные урожаи и прекрасные плоды! И это — без малейших забот, ведь полоть, уничтожать насекомых, бороться с засухами и ливнями нет никакой надобности...

Химические процессы, например, процессы гниения, брожения, при которых получаются разные спирты, уксусы и другие вещества — требуют определенной температуры. Мы им ее даем. Наши фабрики получают ее, если она не выше 200° С, в зданиях, подобных жилищам. Если же она очень высока, то пользуемся особыми сооружениями, где нагревание тоже производится одним Солнцем.

Вода и всевозможные очень чистые плоды, свободные от всяких зараз, утоляют наш голод и жажду. Невозможны никакие — ни простудные, ни инфекционные заболевания. Самое тело человека, пронизываемое лучами Солнца, освобождается понемногу от всяких вредных бактерий. Чем далее, тем более будет человечество освобождаться от вредных начал, с которыми оно теперь родится.

Раз человек имеет жилище с желаемой температурой, девственное Солнце, день и ночь — по желанию, сколько угодно воды (один запас навсегда), пищи, — раз он не нуждается в одежде, перемещается куда угодно без всякого усилия — то что же ему еще нужно?

Но, во-первых, он размножается, так как это ему выгодно (чем больше население, тем совершеннее общественный строй и более гениев — руководителей). Значит ему нужны новые жилища, т. е. необходим материал и обработка его. Во-вторых, он изучает вещество и вселенную. Ему значит необходимы такие же приборы, которыми пользуются ученые на Земле. Он совершенствует растения и самого себя. Все это требует новых и новых аппаратов. Производство же их требует множества фабрик и заводов, по цели подобных земным. Утварь другая, но ведь она неизбежна. Книги — то же и т. д.

Первое время мы пользуемся материалами с Земли. Но доставка с нее поглощает большую работу. Легче доставка с Луны и небольших планет. Еще легче воспользоваться астероидами с диаметром в несколько верст и еще меньшими телами, которым нет числа между планетными орбитами, в особенности между орбитами Марса и Юпитера.

На крохотных планетках нет атмосфер и жидкостей, но в них сколько угодно гидратной и конституционной воды, газов,

металлоидов и металлов всех сортов. Стоит только разложить химически сухие минералы.

Нам нужны механические силы. Откуда их взять? Механической силы в нашей эфирной области в две тысячи миллионов раз больше, чем на Земле. Она заключается в лучах Солнца. Извлечь ее можно через посредство растений и прямо — от солнечных лучей. Солнце может нам давать древесину, уголь, крахмал, сахар и все бесчисленное множество веществ, доставляемых и сейчас растениями на Земле. Они такой же источник силы, как и каменный уголь, водопады и ветер на нашей планете. Этот источник энергии используется как на Земле, т. е. в жилищах, где есть кислород. Но это неудобно, так как скоро портит их атмосферу.

Можно и прямо использовать теплоту Солнца взамен теплоты горения. У нас на Земле это неудобно и не выгодно по многим причинам: нагреваемые солнцем тела охлаждаются воздухом и ветром. Солнце светит только днем, причем оно часто закрыто облаками и теплота его всегда поглощается наполовину атмосферой, сила лучей непостоянна от их изменяющегося наклона, нет хорошего холодильника с низкой температурой; зеркала, собирающие теплоту, тускнеют скоро от воздуха и влажности; они тяжелы, ломки, дороги, не могут быть велики насколько нужно. Все это делает убыточным применение Солнца к устройству тепловых двигателей на Земле*.

Совсем другое дело в эфирной пустоте, в среде без тяжести. Тут в одном месте можно получить, даже без зеркал, 200° тепла, и рядом, на расстоянии 1 м, 270° холода. Там могут применяться с большой утилизацией тепла паровые двигатели, работающие парами воды, эфира, спирта и других жидкостей.

Разумеется, я привожу только пример моторов, но они могут быть совсем иного сорта. Опишем паровые двигатели в простейшем виде. Имеем два одинаковых сосуда, изолированные друг от друга в отношении тепла. Задний находится в тени переднего, обращенного к лучам Солнца. Передняя сторона имеет черную хорошо поглощающую лучи поверхность. Она и жидкость под ней в сосуде нагревается Солнцем не выше 200° С. Пары жидкости, прежде чем перейти в холодильник, т. е. в задний сосуд такого же устройства, как передний, — проходят через обыкновенную паровую машину или турбину. При надлежащем выборе жидкости и устройстве машины, утилизация легко может дойти до 50%. Такая машина будет давать на каждый 1 м² черной поверхности, обращенной к Солнцу, более 1 л. с.

Когда почти вся жидкость перейдет из переднего сосуда (паровика) в задний (холодильник), то сосуд переворачивают холодильником к Солнцу, а паровиком к темному небесному про-

* По-видимому, непосредственное преобразование тепловой энергии Солнца в электрическую открывает теперь новые возможности. (Ред.).

странству. Одним словом, роли совершенно одинаковых главных частей прибора меняются (автоматически), примерно, каждый час, смотря по объему котлов. Последние, конечно, составлены из трубок, как ковры из нитей. Утериваться жидкости не могут, так как все плотно прикрыто от утечки пара.

- Мы не можем теперь сказать, какого рода двигатели будут в употреблении. Вероятно, очень многих сортов и систем, чего теперь предвидеть невозможно.

Котлы могут иметь поверхность любой величины, так как тяжесть этому не препятствует. Значит и сила их может быть любая...

Сущность заводской промышленности состоит в следующем.

А. Из минералов добывают их составные элементарные части, напр., газы, жидкости, металлоиды и металлы.

Б. Из элементов составляют необходимые или полезные нам соединения, например, газы, духи, краски, лекарства, питательные вещества, кислоты, щелочи, соли, удобрения, сплавы и пр. (и элементы и нужные соединения иногда находят готовыми в природе).

В. Сплавам или другим строительным и вообще твердым веществам придают необходимую форму, например, орудий, машин, утвари, научных приборов, бумаги, тканей, одежд, скафандр, жилищ, заводов и т. д.

Для всего этого (А, Б, В) на Земле служат следующие средства: повышение или понижение температуры и давления, электричество, катализаторы (незначительная примесь разных веществ, способствующих химическому процессу), механические силы.

Без орудий, конечно, дело не обходится. Их готовые образцы уже имеются на Земле и ими же воспользуются вне атмосферы...

Сначала у людей не было орудий, как у животных; потом были очень простые. С помощью этих примитивных были построены лучшие. Из лучших — еще лучшие, и т. д., пока не добрались до теперешних, возбуждающих в нас глубокое изумление и восторг. Прогресс их никогда не закончится, а в эфире он уклонится в сторону,сообразно новым условиям...

Известно, как на Земле получается повышение температуры. Но нам здесь, в эфире, эти средства не нужны, кроме исключительных случаев. Тут повышение всегда можно получить силою солнечных лучей,— очень экономно и любой степени,— от 273° холода до температуры Солнца.

Для получения низшей температуры защищаются от светила блестящими экранами и пользуются лучеиспусканием черных тел в небесное пространство. При этом получают температуру в 273° холода.

Наиболее экономное нагревание, примерно, таково. Камера, желаемой величины и формы, закрыта со всех сторон, в несколь-

ко слоев, хорошо отражающими лучи поверхностями. Так сохраняется теплота внутри камеры, отражается обратно внутрь ее, и температура почти не понижается, как бы ранее высока не была. Это есть подобие термоса, не только гораздо более совершенного, чему способствует несколько оболочек и отсутствие кругом материальной среды, например, воздуха.

Теплота Солнца проникает в камеру через небольшое отверстие. Параболическое зеркало сзади камеры (размерами больше камеры) собирает лучи Солнца в небольшую фокусную группу, как раз величиною с отверстие помещения. Здесь лучи расходятся и нагревают пространство внутри камеры до температуры Солнца, как бы не было мало зеркало. Но это при идеальных условиях: при полном сохранении тепла, при точкообразном отверстии и при совершенстве отражающих зеркал. На деле ничего этого нет, и потому нагревание только тогда близко к температуре Солнца, когда размер зеркала во много раз больше размера камеры. Потом, некоторое неизбежное нагревание ее стенок ухудшает отражающую их способность и также мешает получению температуры Солнца, т. е. $5000-10\,000^\circ$ тепла.

В фокусе параболического зеркала получается изображение Солнца. Чем оно меньше, тем меньше отверстие камеры, тем меньше будет потеря тепла и тем выше температура камеры. Но с другой стороны, приход тепла пропорционален поверхности зеркала. Положим, что радиус зеркала 1 м . Изображение Солнца будет в главном фокусе, на расстоянии полметра от зеркала. Угол солнечного изображения на расстоянии полметра составит около полградуса (таков угловой размер Солнца с Земли). Истинный размер солнечного изображения будет (в мм) равен синусу полградуса, умноженному на 500 мм . Получим около $4,3\text{ мм}$. Если радиус кривизны сферического зеркала будет не 1 м , а P метров, то изображение Солнца будет в P раз больше. Например, для зеркала, с радиусом в 100 м диаметр изображения будет около 430 мм . Итак, чем больше радиус зеркала, тем больше его изображение, тем больше отверстие в камере и тем больше как расход тепла, так и его приход. Мы предполагаем все зеркала подобными, т. е. составляющими одну и ту же часть полной шаровой поверхности. При этих условиях выходит, что температура камеры не будет зависеть от размеров зеркала. Но это не совсем так: большое зеркало даст в камере высшую температуру, потому что [тепло] теряет не только отверстие в камере, но и вся ее поверхность. Потом, имеем еще выгоду больших зеркал: скорость нагревания тел, помещенных в камере, увеличивается с размерами зеркала. Кроме того, они дают больше тепла в единицу времени, и если это тепло поглощается химическими процессами внутри камеры, то и процессы совершаются быстрее.

Вообразим для простоты зеркало круглым, как блюдецко. Оно составляет часть шаровой поверхности. Проведем из центра вооб-

ражаемого шара радиусы к ободкам зеркала (блюдечка). Получим угол. Этот угол не может быть больше 180° (полусферы). Но такой большой угол почти бесполезен, так как захватывает лучей немного более, чем зеркало с углом в 90° , даже 60° . Последний угол мы и примем для зеркал всех размеров. Их поперечник всегда будет равен радиусу. Так если радиус зеркала будет в 100 м, то ширина зеркала будет тоже 100 м, а размер изображения — 430 мм. Он всегда в 233 раза меньше ширины зеркала. Представляя камеру полным шаром, найдем, что практическая ширина зеркала не менее удвоенного диаметра камеры. Если, например, камера в 1 м, то размер зеркала не менее 2 м. Четвертая доля его поверхности будет в тени от камеры. Поэтому его можно делать кольцеобразным. Но и пропавшую $\frac{1}{4}$ долю энергии Солнца можно утилизировать посредством двояковыпуклого стекла или особых зеркал. И то и другое будет впереди камеры ближе к Солнцу.

Зеркала могут быть громадных размеров, так как и при тонкой их поверхности и малой массивности, они целы, не гнутся от тяжести, которой нет. Для более правильной формы им полезно придать слабое вращение вместе с камерой, с которой зеркало составляет одно целое.

Таковыми приборами, в связи с давлением и катализаторами, пользуются для завершения каких-либо химических процессов, требующих определенной температуры. Последнюю легко регулировать величиною поверхности зеркала и разного рода заслонами. Если требуется еще и определенное давление, то отверстие приходится плотно закрывать прозрачным для лучей заслоном.

Но теми же камерами можно пользоваться для нагревания готовых сплавов с целью их отливки, прессования иковки — для придания желаемых форм.

Теперь обратимся к механическому воздействию для обработки холодных или подогретых, твердых и полутвердых материалов. Мы уже говорили о простоте устройства моторов, каждый квадратный метр поверхности которых дает одну силу. Для получения ее, конечно, можно применять и зеркала и химические процессы. Значит механической энергии сколько угодно. (Ее же легко преобразовывать известными способами в электрическую, — если нельзя этого делать непосредственно солнечной радиацией. Электрическая же энергия высокого потенциала, как известно, может давать температуру выше солнечной).

Будут ли работать машины без тяжести? Опору для них, если бы она была нужна, мы всегда имеем в массивном многокамерном жилище или специальных помещениях. Рассмотрим теперь дейтвие некоторых машин в среде без тяжести.

Уголь и дрова будут вылетать из печи, Если же топку оградить решетками, то мелкие частицы угля будут выскальзывать из топок. Кроме того тонкая решетка сгорит или расплавится. Дро-

ва и уголь не будут лежать на дне печи, а распространятся по всему ее пространству до самого потолка. Это, пожалуй, терпимо. Естественной тяги не будет и потому необходима искусственная. Отсюда видно, что угольные, дровяные, торфяные и т. п. толпки неудобны в среде без тяжести (помимо неимения обширных кислородных атмосфер). Но, во-первых, в обыкновенных топках мы, в эфире, не имеем нужды, во-вторых, если бы и случилось в них надобность, то мы могли бы пустить в дело угольный порошок, жидкое топливо и искусственную тягу. Вообще же в среде свободной от тяжести нагревание производится солнцем, а охлаждение — лучеиспусканием тел.

Мы видели, что в двигателях иногда будут употреблять котлы с жидкостями. Последние не будут занимать нижнюю часть сосуда, потому что низа нет, а распределяться хаотически по всему пространству котла, в перемежку с их парами. Таким образом, вместе с паром будет вырываться и жидкость, что непригодно. Но можно навести порядок в котле, если он будет вращаться, если при его неподвижности, внутри его, будет вращаться жидкость, посредством колеса с лопатками. И то и другое легко осуществимо в среде без тяжести. Тогда жидкость распределится по экватору котла, осевая же часть его будет занята паром...

Представим себе какую-нибудь фабрику. Вертятся колеса, качаются разные стержни, летят стружки, снуют как рыбы в воде рабочие. Если вся фабрика вращается, то в ней образуется тяжесть и условия работы будут такие же как на Земле, немного уклоняясь только, в зависимости от величины искусственной тяжести. Если вращения нет или слабо, то тяжесть почти незаметна. Разного рода отбросы тогда должны собираться в специальные подставочные коробки, воздух постоянно процеживаться от пыли и летающих мелких тел. Магниты могут собирать железные, стальные и чугунные стружки и опилки.

Но во многих производствах (например, прокатное дело, прессовочное) нет отбросов или они безвредны и легко устраняются. Там не надо и искусственной тяжести. Наконец, когда отбросы грозят рабочему, то голова его может быть защищена на всякий случай сеткой или стеклом, а рот особой подушкой. Особая одежда также служит защитой. Да и на земле разве мы гарантированы от отбросов в виде летающих насекомых и быстро летающих стружек.

Рабочие и инженеры летают среди машин и продуктов и потому могут попасть между колес, рычагов и других движущих частей и изувечить себя. Но опасные места могут ограждаться сетками. Управление частями машин может быть вне машин, в особом месте. Все это не ново и употребляется давно и на Земле.

Обрабатываемая вещь, в среде без тяжести, как бы велика и массивна не была, не падает, не кривится, не давит на рабочих и легко поворачивается и переносится во все стороны. Также и

рабочие могут делать свое дело во всяком положении и во всяком месте, не боясь свалиться при какой угодно позе (например, вверх ногами по отношению друг к другу). Нужна только опора. Но он ее всегда найдет сцепив ноги или свой корпус с самим обрабатываемым предметом или со станком. Удобство работы в среде без тяжести выше всяких похвал...

При разного рода работах на Земле не столько пользуются тяжестью, сколько инертностью массивных тел. Молоток работает в среде без тяжести так же хорошо, как и на Земле. Сила его удара не столько зависит от тяжести, сколько от скорости его движения, зависящей от напряжения мускулов и величины размаха.

В машинах еще менее пользуются силою тяжести, чем в ручных работах. Тяжелые молоты успешно заменяются сравнительно легкими прессами. Да и кто нам мешает какою-либо силой придавать массам (в эфире) скорость, которую получают на Земле тела при падении. Все дело в скорости, в ней сила удара. Скорость же гораздо удобнее сообщать телам в среде без тяжести, чем на Земле. Удар от тяжести имеет одно направление — вниз, удар же от скорости — куда угодно. Это преимущество...

Кинутые тела, как будто, опаснее в среде без тяжести. На Земле они падают на почву и делаются безопасными, в среде же без тяжести они мчатся по прямой линии, пока кого-нибудь не зашибут. Но с одной стороны и на планетах предметы, быстро движущиеся, как военные снаряды, долго летят, прежде чем упасть и остановиться, с другой — и бродячие тела в жилищах эфира, встречая их стенки, теряют свою скорость и останавливаются. Опаснее такие тела вне зданий, в эфире. Но, во-первых, не надо производить без надобности эти бродячие тела, во-вторых, и от них можно оградиться, как ограждаются на Земле от пуль и ядер.

Механика в среде без тяжести ничем не отличается от научной механики, исключите только тяжесть...

Тяготение Солнца на расстоянии Земли очень невелико, именно оно в 1800 раз меньше земного, т. е. секундное ускорение будет 0,0055 м или 5,5 мм. Усилие, которое на Земле поднимает на 1 м, тут может поднять почти на две версты. Но из этого не следует, что удаление от Солнца и приближение к нему, при малых относительных скоростях, ограничивается километрами. Дело в том, что тут речь идет об относительных движениях. Брошенное тело, кроме малой относительной скорости, еще имеет планетную скорость относительно Солнца. Благодаря ей и за счет ее, брошенный предмет удаляется от светила и приближается к нему на тысячи верст, несмотря на свою малую относительную скорость...

В нашей среде наблюдается еще взаимное притяжение людей и других подобных по малости тел. Но оно очень слабо для окру-

жающих нас малых предметов. Однако свинцовые или платиновые шарики на возможно близком расстоянии друг от друга движутся как небесные тела. Только скорости их должны быть крайне малы, в противном случае они разлетаются в разные стороны, по прямым путям.

Это дает возможность в эфирной пустоте решить практически массу задач, нерешенных до сих пор математиками и крайне важных. Например, о траекториях движения трех взаимно действующих друг на друга тел.

Но неудобна при этом медленность движения и продолжительность наблюдения. Так сравнительно маленький шарик обращается вокруг сравнительно большого, из самого плотного материала и при самом ближайшем расстоянии, в течение 2500 сек. или 42 мин. Это время несколько не зависит от размеров большого шара: будь он величиною с Солнце или с дробинку — результат один и тот же, т. е. время обращения всегда равно 42 мин.

Для практического решения вопросов о форме движения приходится удалять тела друг от друга, причем время наблюдения должно дойти до нескольких дней и месяцев. В этом неудобство. Абсолютные размеры тел могут быть как угодно малы. Может быть найдут более плотные вещества или может быть коэффициент притяжения малых тел окажется больше — тогда наблюдение ограничится меньшим временем.

Малость скоростей (для увеличения их) заставит употребить тела больших размеров.

Очень, вообще, удобны определения взаимных притяжений и отталкивания тел, от каких бы то ни было причин, в среде без тяжести...

Тела не падают и не имеют веса, но законы инерции тут особенно легко наблюдаются. Так, чем больше масса тела, тем труднее ему придать движение. Чем больше масса тела, и потребная скорость, тем сильнее и дольше нужно на него давить. Также, чтобы остановить тело, надо тем большее усилие и время, чем больше его масса и скорость. Удар движущегося тела тем сильнее, чем само оно массивнее и тверже, и чем тверже и массивнее то тело, по которому оно ударяет...

Хотя в эфирных жилищах плотность кислородной атмосферы и в десять раз меньше, чем в нашем воздухе, но и тут движение быстрое и продолжительное неэкономно, т. е. требует большого расхода работы. Напротив, вне жилищ, в пустоте, оно почти ничего не стоит. Надо лишь один раз затратить работу для приобретения желаемой скорости. Потом она сохраняется без изменения, если не удаляться от Солнца. Впрочем и это, как мы видели, имеет малое влияние — на протяжении тысяч верст.

В пустоте можно путешествовать или в особых одеждах, заключающих аппараты для дыхания, или в самих жилищах, отор-

ванных от общей их массы. Последнее гораздо удобнее, так как дает простор, избавляет от одежды, дает своими растениями пищу, питье, кислород и все необходимое. Кроме того, оно может совершаться в многочисленном обществе. Это движение даже не будет заметно. Нам покажется только движение совокупности жилищ. Мы условно их движение (для одоления тяготения Солнца) считаем нулевым. Ведь оно незаметно, как движение планеты для ее жителей.

Как избежать при этом опасных столкновений экипажей или поездов? Будут несколько главных направлений движения и одна скорость для каждого направления. Поезда одного направления будут иметь одну дорогу и столкновения тут быть не может. Все дороги разных направлений далеки друг от друга и потому небесные корабли разных скоростей столкнуться не могут...

Законы рычага, жидких и газообразных тел не осложняются их весом.

Газ рассеивается безгранично, пока от расширения и охлаждения не превратится в пыль, состоящую из твердых не испаряющихся частиц.

Жидкости принимают форму шара или пузыря. Летучие скоро замерзают от испарения, а не летучие остаются шарами. Шары эти можно разбить на несколько меньших шаров и обратно. Прилипающие жидкости, обволакивая все предметы, образуют причудливые формы.

Звуки и вообще разного рода колебания распространяются совершенно так же, как и на Земле. Только волн, подобных морским, не образуется. Для этого нужна тяжесть. Не работают барометр и часы с маятником. Но карманные действуют по-прежнему. Рычажные весы и пружинные бесполезны, так как тела невесома. Массу ни теми, ни другими тоже определить нельзя. Масса определяется на центробежной машине, или в среде искусственной тяжести — рычажными весами. Определение силы можно делать силомером или пружинными весами.

Магнитные, электрические и другие силы действуют проще, яснее, так как тяжесть не осложняет явления...

Человек скоро приспосабливается к среде без тяжести, но у животных может не хватить для этого разума и они страдают. Насекомые нелетающие будут бесплодно барахтаться в воздухе. Но, зацепившись за стенку, они будут бегать, не замечая отсутствия тяжести. Летящие насекомые (и птицы) будут перемещаться, но не так, как хотят. Они скоро достигнут стенок и уцепятся за них коготками. Ходьба птицам и другим крупным животным не удастся: они, при первой попытке, оттолкнутся от стенок и окажутся в газовой среде.

Кошка и подобные существа, с поворачивающимися внутренними органами, могут самовольно вращать наружную часть тела, по крайней мере, на 180° .

Мы видели, что человек также может вертеться и двигаться с помощью опоры, например, своей шляпы. Но и без опоры он может поворачиваться. Для этого ему нужно, например, поднять руку и вращать ею так, как будто бы он вертел рукоятку какой-нибудь машины. Круговое движение руки, ноги или другого члена придаст и его телу вращение. Но стоит только остановить член, как и его тело успокоится, хотя будет смотреть уже в другую сторону.

Тут мы не имеем в виду окружающую жидкую или газообразную среду, с помощью которой можно получить всякое желаемое движение...

Человек во что бы то ни стало должен одолеть земную тяжесть и иметь в запасе пространство хотя бы солнечной системы.

На Земле его подкарауливают опасности разного рода. Мы уже не говорим о той гадкой жизни, которую все мы испытываем непрерывно: эти опасности и неприятности человек скоро устранил. Но мы говорим про катастрофы, которые могут погубить все человечество или значительную его часть.

Сколько, например, раз та суша, на которой мы сейчас живем, заливалась водой и была дном океана! Нельзя быть уверенным, что эти явления всегда происходят постепенно. Землетрясения внезапно разрушают целые города и затопляют изрядные площади. Большие катастрофы бывали, хотя исторический человек и не был еще их свидетелем (если не считать сомнительного всемирного потоп). Только, чем обширнее катастрофа, чем она ужаснее, тем реже. Мы еще можем ее дожидаться.

Падение на Землю тучи болидов или планетки с поперечником в десяток верст может дать такой удар Земле, что образовавшаяся твердая, жидкая или газообразная волна все сметет с лица Земли — и человека, и его постройки. При этом одно повышение температуры атмосферы может все спалить или умертвить.

Представьте себе теперь, что то же случилось с образовавшимися эфирными поселениями: пролетел через них астероид с диаметром в 10 км. Он может уничтожить всего только 75 км² поселений, а не так как на Земле, т. е. не 510 000 000 км². Притом в эфире легче выследить путь планетки и сделать его свободным (временно) от жилищ и других построек. Ведь перемещение их почти ничего не стоит. А как вы устранили Землю с пути движения какого-нибудь небесного тела?

Кстати об аэролитах. От крупных из них опасность в эфире такая же; как и на нашей планете. Но так как падения их на головы, дома и постройки крайне редки и никого не страшат, то также они не могут страшить и в эфире. От мелких на Земле нас ограждает атмосфера, в которой они рассыпаются или сгорают. В эфире же может ограждать жилище. Удар крохотного кусочка камня, величиною в малую долю миллиграмма, пронзая челове-

ка, не сделает ему серьезного вреда. Попадая же в слой кварцевого стекла или стали, эта крупинка, по всей вероятности, в нем завязнет. Кусочек от удара расплавится и обратится в пар. Также расплавится и обратится в пар ничтожная часть поверхности здания. Удар может образовать в стенке и расплавленный очень тонкий канал. Его жидкое состояние зальет сейчас же образовавшуюся дыру и через нее даже не проникнет газ.

Кроме того, уже многократно доказывалось, что падение даже крохотного аэролита на человека есть маловероятное явление, требующее в среднем несколько тысяч лет (подразумевается на Земле отсутствие атмосферы).

Землю, как и всякое небесное тело, ожидает взрыв от накопления внутри ее упругой материи. Придет время, когда человечеству будет грозить этого рода опасность. Куда же он спасется, если не завладеет пространством солнечной системы!

Еще угроза: угасание и охлаждение нашего Солнца. Тогда придется бежать и из солнечной системы. Но бежать гораздо будет легче из эфирного простора, чем из планетной темницы, приковавшей нас и все, что мы имеем, цепями тяготения к Земле.

Перенаселение человечества на Земле вынуждает также к борьбе с тяжестью и использованию небесного простора и его богатств.

Много и других грозных опасностей поджидает человечество на его планете. Они также вынуждают людей искать спасения в небесах.

О выгодах же переселения мы много говорили, но всего ни переговорить, ни представить себе невозможно.

Реактивный аэроплан*

(Взято из большой рукописи)

2. Этот аэроплан отличается от обыкновенного тем, что совсем не имеет гребного или воздушного винта.

Его действие заменяется отдачей (реакцией) продуктов горения в обыкновенных авиационных моторах.

Но последние требуют некоторого преобразования и дополнения. Так, сжигают много горючего, причем они дают сравнительно небольшую работу, напр[имер], в 10 раз меньше, чем следует по количеству топлива. Они делают большое число оборотов и имеют потому расширенные клапанные отверстия. Продукты горения направляются через конические трубы назад, в кормовую часть аэроплана.

Кроме того, сжигание хотя бы и очень холодного воздуха выcot сопровождается его накаливанием.

Вот таблица.

Во сколько раз сжимается какой-нибудь постоянный газ или смесь их (воздух)

1		6		36		216		1296		7800
---	--	---	--	----	--	-----	--	------	--	------

Относительная абсолютная температура

1		2		4		8		16		32
---	--	---	--	---	--	---	--	----	--	----

Абсолютная температура

+273		546		1092		2184		4368		8736
------	--	-----	--	------	--	------	--	------	--	------

Температура, °C

0		273		819		1911		4095		8463
---	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------

Абсолютная температура

+200		400		800		1600		3200		6400
------	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------

Температура, °C

-73		+127		+527		1327		2927		6127
-----	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------

* Впервые издана отдельной брошюрой: «Реактивный аэроплан». Изд. автора. Калуга, 1930. (Ред.).

Из последней строки видно, что даже при ледяном (-73°C) воздухе высот сжатие его в 36 раз уже требует обязательного охлаждения.

Для этого мы пользуемся сильным расширением продуктов горения в разреженной атмосфере и происходящим от этого их сильным охлаждением. Поэтому этот накаленный сжатием воздух проводится предварительно в особый кожух, окружающий кормовые концы труб с расширяющимися продуктами горения. Тогда уже этот сжатый и охлажденный воздух служит для охлаждения рабочих цилиндров, а затем для горения в них.

3. Моя теория самолета [18]95-го и [19]29 г. («Аэроплан») * показала, что на высотах он только тогда приобретает усиленную скорость в разреженных слоях атмосферы, когда работа мотора пропорциональна скорости самолета.

Следующая таблица служит для пояснения:

Относительная плотность воздуха высот								
1		1:4		1:9		1:16		1:25
Приблизительная высота полета над уровнем океана, км (при 0°C)								
0		11,1		17,6		22,1		25,7
Относительная поступательная скорость аэроплана								
1		2		3		4		5
Требуемая относительная энергия моторов								
1		2		3		4		5

Этой способностью (выделять работу, пропорциональную скорости снаряда) обладает только реактивный двигатель, в который мы и хотим преобразить обыкновенный авиационный мотор — с целью увеличить скорость аэроплана в разреженных слоях воздуха. Иного выхода нет. Такой вывод мы получаем, если пренебрегаем работой остановки встречного воздушного потока, потребного для сжигания топлива.

Но на высотах приходится сжимать разреженный воздух для употребления в моторах. Для этого-то, главным образом, и пойдет обычная механическая работа двигателей. Потому мы и не можем от них вполне избавиться.

Двигатель, делая огромное число оборотов, работает почти впустую и выделяет сравнительно небольшую работу: он не экономен. Но большая работа нам и не нужна, так как работа сжатия холодного разреженного атмосферного воздуха сравнительно невелика, и энергии моторов (с огромным избытком) на это хватает. Главная цель двигателя: реактивное действие отброса продуктов горения, пропеллер уже устранен.

* Имеются в виду работы: «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина», 1895 г. и «Новый аэроплан», 1929 г. См. наст. книгу, стр. 296—312. (Ред.).

Покажем величину этой работы. Так как сжимаемый воздух охлаждается кормовыми частями реактивных труб, то температуру его примем постоянной. В таком случае для определения работы его сжатия воспользуемся формулой (14₁) (см. мое «Давление»*, стр. 9):

$$A = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{V_1}{V} \right).$$

Гут P_1 и V_1 — первоначальное давление и объем, а V есть конечный малый объем (после сжатия). Положим, что воздух разрежен в 1000 раз. При этом давление его будет тоже в 1000 раз меньше. Цель наша — сжать этот огромный объем в 1000 раз, чтобы довести его до первоначального малого объема, совершив для этого некоторую работу. Отсюда видно, что произведение $P_1 V_1$ остается постоянным, какой бы мы разреженный слой воздуха ни взяли. Значит, работа сжатия зависит только от логарифма сжатия ($V_1 : V$). Произведение $P_1 V_1$ при 0° С равно 10,3 тм. Теперь, по формуле (14₁), легко составим таблицу работ для получения 1 м³ сжатого воздуха нормальной плотности. Именно:

Разрежение воздуха или требуемое сжатие					
1	6	36	216	1296	7800
Работа получения куб. метра воздуха нормальной плотности (0,00129), при нулевой температуре, тм (приблизит.)					
0	18	36	54	90	108

Потом (8) мы увидим, что на единицу массы (1 кг) горючего, в случае бензола, требуется около 11 м³ нормального воздуха**. Для получения его из разреженного в 7800 раз нужно 108 тм. Но килограмм бензола может дать не менее 4 сил в течение часа. Это составит работу (75 · 3600 · 4) в 1 080 000 кГм, или в 1080 тм. Выходит, что эта работа в 10 раз больше требуемой для сжатия.

При меньшем сжатии и работа меньше, как видно из таблицы. Но работа, без охлаждения воздуха, будет гораздо больше. Тут мы можем воспользоваться формулой (39). Именно:

$$A = B \cdot P_1 \cdot V_1 \{1 - (V_1 : V)\}^{(B+1)} \quad (32)$$

Из (44) знаем: $B = 2,48$ и $1 : (B + 1) = 0,287$. Положим $V : V_1 = 780$. Тогда вычислим $A = P_1 \cdot V_1 \cdot 34,7 = 358$ тм, т. е. она будет в 3 с лишком раза больше предыдущей (108 тм). Все же она в 3 раза меньше выделяемой моторами. На практике надо взять среднюю работу, которая будет раз в 5 меньше выделяемой мо-

* Здесь и далее ссылка на работу «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Калуга, 1930 г. (Ред.).

** Весь расчёт Циолковский ведет на 1 м³ сжатого воздуха. (Ред.).

торами. Вычисленная работа относится к сжиманию в пустоте. Давление атмосферы помогает сжимать, и потому истинная работа меньше, в особенности в нижних слоях атмосферы и при небольшом сжатии.

В низших слоях воздуха аэроплан пребывает недолго. Но и тогда работа моторов полезна и пойдет для воздушного охлаждения рабочих цилиндров и даже для сжатия воздуха, ради усиленного сгорания бензина, увеличения мощности моторов и силы взрывающихся газов.

Действительно, формулы и таблицы может применить и для сжимания нормального воздуха (близ уровня океана) для усиления энергии моторов (только стенки их нужно делать прочнее). Из (14₁) и (39) видно, что работа сжатия при этом пропорционально увеличивается, ибо P_1 увеличивается. Но ведь зато и работа моторов возрастает во столько же раз. А так как запас прочности у рабочих цилиндров всегда излишне велик (чтобы не делать очень тонких стенок), то весьма выгодно сжимать воздух даже в нижних слоях атмосферы.

4. При разработке теории таких аэропланов нам приходится иметь дело со сжатием и расширением газов, с их теплопроизводительной способностью, т. е. с теплотой горения, с их скоростью отброса, с их реакцией, с сопротивлением воздуха, с компрессорами и их работой и с разными другими вещами.

Поэтому мы должны снова сослаться еще на нашу печатную работу: «Давление на плоскость» (1930 г.).

5. Для исследования горючего, ради определенности, мы разбираем три рода топлива: водород, углерод, бензол. Для сжигания их берем чистый кислород, обыкновенный воздух или азотный ангидрид (N_2O_5).

Это не значит, что мы считаем такие материалы для двигателей наилучшими или наиболее выгодными, но просто потому, что иные материалы пока не испытаны и еще не доказана возможность их практического применения.

Например, одноатомный водород (H) выделяет при образовании двухатомного водорода (H_2) в 16 раз больше энергии, чем такая же масса гремучего газа. (См. мое [сочинение] «Космическая ракета», [19]27 г., стр. 15) *. Но мы не можем предлагать горючего, не испытанного практически. Например, я не знаю, может ли одноатомный водород (H) быть обращен в жидкость и насколько эта жидкость безопасна в отношении взрыва. То же скажем и про другие материалы, предлагаемые разными авторами, например озон (O_3) и легкие металлы, как горючее (например, алюминий, литий, кальций и т. д.). Также пока не практична

* Имеется в виду работа «Космическая ракета. Опытная подготовка», 1927; см. наст. книгу, стр. 284. (Ред.).

идея отбрасывания частей аэроплана или превращения их в топливо.

6. Вот таблица, показывающая относительный вес материалов, участвующих в горении:

Название горючего	Водород	Углерод	Бензол
Формула горючего	H_2	C	C_6H_6
Относит[ельный] вес частицы (молекулы)	2	12	78
Название продуктов горения	Вода	Углекислый газ	Вода и углекислый газ
Формула продуктов горения	H_2O	CO_2	H_2O и CO_2
Относит[ельный] вес потребного для сгорания кислорода (O_2)	16	32	240
То же, но азотного ангидрида (N_2O_5)	21,6	43,2	324
Относит[ельный] вес продуктов горения при кислороде	18	44	318
То же при N_2O_5	23,6	55,2	402
Принимаем вес горючего за единицу	1	1	1
Тогда вес кислорода будет	8	2,67	3,33
Тогда вес продуктов горения будет при кислороде	9	3,67	4,33
Тогда вес N_2O_5 будет	10,8	3,6	4,5
Тогда вес продуктов горения при N_2O_5 будет	11,8	4,6	5,5

7. Если в нашем аэроплане мы сжигаем воздух, то надо указать на количественные отношения его частей.

Для этого предлагаем таблицу:

Название	Возд[ух]	Кислор[од]*	Остальное
Состав воздуха по весу	100	23,6	76,4
То же по объему	100	21,3	78,7

* Более точно кислород составляет 23,15% воздуха по весу и 20,93% по объему. (Ред.)

Отсюда найдем следующие весовые отношения составных частей воздуха: $N_2 : O_2 = 3,24$; $O_2 : N_2 = 0,309$; $O_2 : \text{воздух} = 0,236$; $\text{воздух} : O_2 = 4,24$, это, например, значит, что кислород составляет по весу 0,31 веса азота и 0,236 веса всего воздуха.

Для объемных отношений получим: $N_2 : O_2 = 3,69$; $O_2 : N_2 = 0,271$; $O_2 : \text{воздух} = 0,213$; $\text{воздух} : O_2 = 4,70$.

8. Теперь можем дать количество воздуха по весу и объему на единицу массы (1 кг) горючего.

Формула горючего	H_2	C	C_6H_6
Количество его по весу	1	1	1
Потребное количество кислорода . . .	8	2,67	3,33
Вес продуктов горения при кислороде	9	3,67	4,33
Потребное количество воздуха	33,9	11,3	14,13
Вес продуктов горения при воздухе .	34,9	12,3	15,13
Потребное колич[ество] воздуха по объему (плотность = 0,0013), m^3 .	26,1	8,7	10,9

9. Но нам важно знать еще потребное количество кислорода воздуха и азотного ангидрида на метрическую силу (100 кгм). Поэтому предлагаем следующую таблицу [см. стр. 375].

10. Сделаем пояснения и выводы из этой таблицы. При использовании атмосферного кислорода очень выгодно запастись водородом. Вес этого горючего, на ту же работу, будет в 3 раза меньше, чем бензина (стр[оки] 3 и 12). Жаль только, что жидкий водород пока мало доступен. Выгоден также ожиженный болотный газ, или метан (CH_4).

В случае же запасенного жидкого кислорода разница запасов или взрывных элементов не так велика (стр[ока] 7). Тут нет большой выгоды заменить бензин водородом. Почти то же при употреблении N_2O_5 .

При полном весе снаряженного аэроплана в одну тонну даже часовой запас топлива не кажется чрезмерным (12). Для водорода же он совсем мал.

В стр[оках] 13 и 14 дается секундная скорость отброса при самых благоприятных условиях: при совершенном горении, без потери тепла, при длинных конических трубах и расширении продуктов горения в пустоте. Когда используем воздух, то понятно, что масса продуктов взрыва будет почти в 4 раза больше (7 и 8), чем при чистом кислороде. Поэтому скорость отброса тут будет вдвое меньше. Но зато мы избавляемся от обременительных запасов кислорода. Однако нельзя освободиться от этих запасов в пустоте или в очень разреженных слоях атмосферы. Запасы N_2O_5 дают небольшое преимущество сравнительно с кислородом.

Строки 15 и 16 дают величину ускорения ракеты массой в 1 т, причем сопротивлением воздуха пренебрегается. Выходит, что использование воздуха выгоднее, так как дает большее ускорение, не говоря уже про обременение жидким кислородом. Эти числа мы получили так. Узнали, во сколько раз вес ракеты (1000 кг) больше секундной массы отброса. Затем на полученное число мы разделяем секундную скорость отброса. (По известным законам, от действия силы между двумя массами большая получает во столько раз меньшую скорость, во сколько раз она

	H ₂	C	C ₆ H ₆
1. Формула горючего			
2. Количество тепла на единицу массы горючего . . .	34 180	8080	11 500
3. Тепловое отношение	2,97	0,709	1
4. Сколько надо горючего на 1 метрическую силу в час, кг	0,0842	0,353	0,25
5. Сколько надо кислорода на силу (100 кгм) в час . .	0,674	0,942	0,833
6. Сколько надо воздуха в час на силу, кг	2,498	3,994	3,532
6 ₁ . Сколько надо N ₂ O ₅	0,910	1,272	1,125
7. Вес отброса в час при горении в кислороде	0,758	1,295	1,083
8. То же, при горении в воздухе, кг	2,584	4,347	3,782
8 ₁ . То же, при употреблении N ₂ O ₅	0,994	1,625	1,375
9. Вес отброса при кислороде на 1000 сил в час	758	1295	1083
10. То же, в 1 сек	0,21	0,36	0,30
11. То же, при горении в воздухе, кг	0,72	1,21	1,05
11 ₁ . То же, при употреблении N ₂ O ₅	0,275	0,450	0,380
12. Часовой запас горючего на 1000 сил, кг	84	353	250
13. Секундная скорость отброса при кислороде («Ракета», 26 г.) ^х , м	5650	4290	4450
14. То же, но при воздухе	2743	2082	2160
14 ₁ . То же, при азотном ангидриде N ₂ O ₅	4900	3840	3900
15. Секундное ускорение ракеты в 1 т, при кисл[ороде], м/сек ²	1,19	1,54	1,33
16. То же, при воздухе, м/сек ²	1,97	2,52	2,27
16 ₁ . То же, при N ₂ O ₅	1,35	1,75	1,48
17. Давление (отдача) от этого на ракету при кислороде кг	119	154	133
18. То же, при воздухе, кг	197	252	227
18 ₁ . То же, при N ₂ O ₅	135	175	148
19. Скорость ракеты через час при кислороде в пустоте, м/сек	4284	5544	4788
20. То же, но при употреблении воздуха (см. 15, 16) .	7092	9072	8172
21. Сколько надо секунд для получения скорости в 8000 м/сек при кислороде	6720	5200	6010
22. То же, час	1,87	1,44	1,67
23. Соответствующее количество горючего, кг (см. 12) . .	154	508	418
24. Сколько надо сек. для получения скор[ости] в 8000 м/сек при воздухе (см. 18)	4061	3175	3524
25. То же, час	1,13	0,88	0,98
26. Соответствующее количество топлива	94,9	310,6	245,0
[27]. Объем потребного количества воздуха — на 1000 сил в час, м ³ . Плотность возд[уха]=0,0013	1921	3079	2717
[28]. То же, сек	0,53	0,35	0,75

* Имелся в виду работа «Исследование мировых пространств» (1926 г.), которую Циолковский в ряде своих рукописей именовал «Реактивный прибор — ракета». (Ред.).

больше другой массы). Понятно, что по мере сгорания топлива ускорение снаряда должно возрастать. Мы дали наименьшее.

Строки 17 и 18 выражают отдачу или тягу в килограммах.

Строки 19 и 20 дают скорость ракеты по истечении часа, не считая сопротивления среды. Эта скорость, при употреблении воздуха, достигает первой космической.

Но спрашивается, возможен ли мотор в 1000 сил, при массе всего снаряжения в 1000 кг. Одно бензиновое топливо поглощает 250 кг (стр[ока] 12). При теперешнем состоянии моторного дела двигатель в 1000 сил будет весить не менее 500 кг. Но дело в том, что наш мотор может давать только 100—200 сил (см. 3), лишь бы он сжигал столько, сколько сжигает мотор в 1000 сил. Тут главное не работа, а горение и реакция. Такой мотор может весить гораздо меньше, например 100 или 200 кг. Тогда останется достаточно на остальное сооружение со снаряжением.

Ст[рока] 23 показывает величину запаса одного горючего, при употреблении кислорода, для получения скорости 8 км/сек (в пустоте). И без запасов кислорода он оказывается велик, а с кислородом невозможен — при весе ракеты в 1 т. Напротив, запас горючего при использовании воздуха с тою же целью возможен.

Но может ли подняться обыкновенный аэроплан, массой в 1000 кг, при найденной нами реактивной тяге (17 и 18 стр[оки])? Полагая обыкновенный самолет в 100 сил в одну тонну весом и с секундной скоростью в 40 м, найдем его тягу в 125 кг. Полезность воздушного винта принимаем в 0,67. При кислороде эта тяга у реактивного аэроплана близка к 125 кг (17), так что и тут самолет поднимется и полетит без пропеллера (со скоростью 40 м/сек). Но при использовании воздуха (18) отдача чуть не в два раза больше. По моей теории («Аэроплан», 1895 и 1929 гг.) * самолет с тягой в 125 кг может лететь со скоростью вдвое большею: на высоте в 12 км, где воздух раза в 4 реже.

11. Мы имеем в виду равномерное и горизонтальное движение аэроплана. Мы не считаемся с работой его восхождения на высоты и с работой приобретения постоянной скорости движения. Этим можно пренебрегать только при скоростях, не превышающих 500 м/сек, и при поднятиях не свыше 30 км. При этих условиях естественное сгущение воздуха в передней трубе оказывается недостаточным, и мы поэтому, вообще, не можем избежать употребления компрессора того или иного типа.

12. Положим, что мы достигаем при уровне океана секундной скорости в 100 м. Это при употреблении нашего реактивного двигателя. На высоте около 12 км, где воздух вчетверо реже, скорость самолета, при том же моторе, будет уже в два раза больше. Как же это так? Ведь мотор тот же. Дело в том, что реак-

* См. примечание к стр. 370 данной работы. (Ред.).

тивный мотор выделяет мощность, пропорциональную скорости движения снаряда. Действительно, его тяга, или реакция, не изменяется ни при каких скоростях. Например, если реакция составляет 250 кг, то отчего она может уменьшиться при большей или меньшей скорости аэроплана. А если так, то выделяемая в 1 сек работа будет пропорциональна скорости самолета. Если его скорость увеличилась в 5 раз, то при той же тяге и работа увеличится в 5 раз. При нулевой скорости и мощность мотора, несмотря на громадную реакцию, будет равна нулю. Мы подразумеваем, конечно, используемую работу: чем больше скорость, тем использование энергии горения больше.

13. Работа, необходимая для прохождения единицы пути на разных высотах, остается неизменной (см. «Новый аэроплан»). Она не зависит от скорости снаряда на разных высотах. Это значит, что мощность, или работа в единицу времени, пропорциональна скорости самолета. Но это только при обыкновенных пропеллерах. При реактивном же моторе мощность (вернее — расход горючего) одна и та же. Следовательно, расход топлива на единицу пути тем меньше, чем скорость больше.

14. Приведем пример. Мы нашли, что самолет весом в 1 т должен сжигать, по крайней мере, столько горючего, сколько требуется на 1000 метр[ических] сил. При уровне океана он будет иметь секундную скорость во сто метров. Он будет при этом сжигать топлива в 5 раз больше, чем необходимо для обыкновенного самолета с винтом. Поэтому наш реактивный аэроплан убыточнее обыкновенного в пять раз. Но вот он летит вдвое скорее — там, где плотность атмосферы в 4 раза меньше. Тут он будет невыгоднее только в 2,5 раза. Еще выше, где воздух в 25 раз реже, он летит в 5 раз скорее и уже использует энергию так же успешно, как винтовой самолет. На высоте, где среда в 100 раз реже, его скорость в 10 раз больше, и он будет выгоднее обыкновенного аэроплана в 2 раза.

При очень больших скоростях явление настолько осложняется, что наши выводы станвятся не довольно верными (так как мы не принимаем во внимание, что кислород для горения заимствуется из атмосферы. См. мое [сочинение] «Сопrotивление воздуха [и скорый поезд]», 1927 г.).

15. Зачем же мы гоняемся, чего достигаем, если экономия работы не особенно обильна? Дело в том, что мы получаем скорость движения, невозможную для самолета с винтовым пропеллером.

При значительных скоростях мы также неизбежно достигаем больших высот. Кроме того, при этом получается заметная центробежная сила, которая тем более сокращает работу и подымает нас кверху, чем скорость больше. При секундной скорости около 8 км работа эта сокращается до нуля и мы выходим за пределы атмосферы.

16. Большая скорость снаряда имеет применение и к земному транспорту, если и не получается экономии топлива.

Мы видели, что полет при взятых условиях не может продолжаться больше часа. Вот расстояние, которое может пролететь снаряд на разных высотах, при разной поступательной скорости полета:

Относительная плотность разреженных слоев атмосферы:

1 | 1:4 | 1:9 | 1:16 | 1:25 | 1:100

Приблизительная высота полета, км:

0 | 11,1 | 17,6 | 22,1 | 25,7 | 36,8

Секундная скорость, м:

100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 1000

Часовая скорость, км:

360 | 720 | 1080 | 1440 | 1800 | 3600

Последняя строка показывает и часовой рейс. Очевидно он недостаточен для практических целей. Но, во-первых, высота и скорость могут быть еще больше, во-вторых, весовой запас и энергия горючего могут быть еще увеличены. Тогда рейс окажется достаточным для перелета через океаны.

17. Мы здесь почти не касаемся расчетов относительно восходящего ускоренного движения снаряда и достижения им космических скоростей, освобождающих его от сопротивления атмосферы. Говорим только про земной транспорт и лишь намекаем на небесный: указываем на переходную к нему ступень. За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных или аэропланов стратосферы.

Звездоплавателям*

Более практические люди стремятся применить силу или принцип отдачи (реакции) к устройству: 1) могущественных реактивных двигателей, к быстрому движению, 2) автомобилей, 3) глиссеров и 4) саней.

Разберем все это.

Взрывной мотор, подобный водяной турбине, не может дать большого использования энергии взрыва, так как окружная скорость колеса с лопатками (турбины) не может превышать 200—400 м/сек. Между тем как выгодная утилизация требует скорости лопаток в 1,4 меньше скорости вылетающих продуктов взрыва. Она же может доходить до 5000 м/сек. Следовательно, скорость лопаток будет около 3500 м/сек, что при известной крепости самых лучших материалов невозможно.

Если же ограничиться секундной скоростью лопаток в 100 м, то мы используем только 3% данной химической энергии. Это неэкономно.

Тут необходимо сложное колесо, вообще, приемы, употребляемые при постройке современных паровых турбин. Тогда можно достигнуть очень высокого процента утилизации данной энергии.

Но вот еще условие. Продукты взрыва должны выделяться в пустоту, иначе они не будут иметь достаточной скорости. Из этого уже видно, что подобные моторы не могут быть очень легки. Кроме того, мы встретим еще много практических затруднений, говорить о которых здесь не место. Однако великое будущее этих моторов несомненно.

Автомобили ракетным способом (да и никаким) не могут получить большой скорости, вследствие большого сопротивления воздуха в нижних слоях атмосферы. Кроме того, их колеса, даже без воздушных камер, разрываются от центробежной силы при скорости (по ободу), превышающей 200—400 м/сек. Чтобы

* Впервые напечатана в 1930 г. Изд. автора, Калуга (Ред.).

получить скорость, большую 100 м/сек, надо избавиться от колес и устроить для них особый путь (см. мой «Скорый поезд» *); кроме того, надо дать им более удлиненную и хорошую форму. Но и тогда не получим скорости, большей 1000 м/сек. Да и что в ней при ужасном расходе сил. Их проглатывает сопротивление воздуха.

Сжатые газы (например, углекислый — CO_2) употреблять при этом невыгодно, так как их внутренняя энергия движения (кинетическая) крайне ничтожна. Притом они требуют сосудов, вес которых в десять раз больше веса сжатых газов. Ожиженные холодные свободно испаряющиеся газы не требуют крепких и массивных сосудов, но их кинетическая энергия еще меньше сжатых газов. Выделяя ее, они заимствуют тепло от окружающих тел и воздуха, что не может совершаться так быстро, как надо.

Взрывчатые вещества в готовом виде также неприменимы (порох, динамит и пр.). Помимо неизбежности взрыва от сотрясений (детонации), они требуют тяжелых пушек или сосудов, так как взрывание в одном месте передает происходящее от него давление во всю массу. Неизбежность взрыва подтвердилась недавно трагической смертью Валье и другими случаями.

Относительно глассера и саней скажем то же. Но у них нет колес, и это преимущество. Но зато к сопротивлению воздуха прибавляется сопротивление и трение воды или снега. Говорю, конечно, про автомобили и глассеры, действующие отдачей (ракетные). Другие обречены на меньшие скорости вследствие вращающихся пропеллеров или колес.

К звездоплаванию пока намечается два главных пути: 1) постепенный переход от аэроплана к звездолету и 2) чисто реактивный (ракетный) прибор.

Сначала самолет не выходит из пределов атмосферы, подымается на небольшую высоту и пролетает небольшое горизонтальное расстояние. Потом забирается все выше и выше, проходит расстояние, все большее и большее. Наконец, выходит за атмосферу и летит уже с разбегу (по инерции), как небесное тело.

Далнейший путь как для преобразованного самолета, так и для ракетного снаряда обеспечен давлением света. Признаюсь, я сам мало верю в это давление, несмотря на подтверждающие опыты. Но они могут быть объяснены иначе, гораздо проще, причем в этом объяснении давление света никакой роли не играет. По-моему эти опыты как раз отвергают давление света.

Но так как большинство ученых верит в световое давление, то мы можем тоже его принять, не встретив возражений. Мои расчеты много раз проверены и не могут возбуждать сомнений.

Так, я показал («Ракета», 1926 г., стр. 80) **, что 1 кг веще-

* См. «Сопротивление воздуха и скорый поезд», Калуга, 1927 г. (Ред.).

** «Исследование мировых пространств...», 1926 г.; наст. книга, стр. 246. (Ред.).

ства, с поверхностью в 1 м^2 в течение года получает от солнечного света приращение скорости, большее 200 м/сек .

При отсутствии тяжести легко устраивать огромные поверхности самого незначительного веса. Например поверхность, толщиной в $0,01 \text{ мм}$, плотности воды и площади во 100 м^2 , весит только 1 кг . Вращение этого квадрата (со стороною в 10 м) придаст ему известную натянутость, гладкость и прочность. Давление света сообщит ему в год секундную скорость в 20 км . Этого более чем достаточно для блуждания по всей солнечной системе и даже полного удаления от Солнца (т. е. путешествия в Млечном пути). Действительно, снаряд (от Земли) имел скорость в 30 км/сек . С прибавкой это будет 50 км/сек . Для полного же удаления от Солнца надо $42 (30 \times 1,4) \text{ км/сек}$. Остается еще свободная скорость (для Млечного пути) в 8 км/сек .

Мы положим на снаряд тонну вещества, да на поверхность столько же. Тогда снаряд в 2 года получит такую же прибавку скорости, т. е. 20 км/сек .

Хорошо бы было при давлении света! Оно обеспечивает блуждание во вселенной: если не в 2 года, то в несколько лет получается достаточная для этого скорость.

Только там, за атмосферой, мы можем решить вопрос о существовании светового давления...

Разберем сначала переход самолета к звездолету, а потом уже рассмотрим ракетный прибор.

В моих работах («Аэроплан», 1895 г. и «Новый аэроплан», 1929 г.) * я доказывал, что самолет может летать вдвое скорее в среде, которая вчетверо разрежается (на высоте в 10 км), причем от него требуется вдвое большая работа мотора при том же его весе. Вообще, скорость самолета увеличивается в n раз, если среда разрежается в n^2 раз; но энергия двигателя при этом обязательно должна быть в n раз больше.

С одной стороны, энергия обыкновенного мотора не только не может быть увеличена, но она даже страшно падает в разреженной среде. Значит, необходимы сжиматель воздуха, новый для того расход энергии и прибавочное утяжеление снаряда на сжиматель. Мало того, при сильном сжатии газа он страшно накаляется. Следовательно нужен еще и охладитель.

С другой стороны, ускоренное вращение пропеллера разорвет его на куски от центробежной силы.

Зададимся пока целью увеличить скорость самолета только в два раза. Для увеличения энергии мотора вдвое можно число его оборотов увеличить вдвое. Надо тогда расширить клапанные отверстия и употреблять горючее, быстро смешивающееся с воздухом. Это — лучший бензин, или жидкий водород, или другой горючий газ.

* Имеются в виду работы: «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина», 1895 и «Новый аэроплан», 1929. (Ред.).

Тангенс наклона лопастей воздушного винта к его плоскости придется также увеличить вдвое. Примерно с $0,3$ до $0,6$. Соответствующие углы будут 17 и 31° . Эти углы вполне допустимы без большого нарушения экономии. При этом скорость самолета может возрасти вдвое при том же числе оборотов. Но число оборотов машины увеличилось вдвое. Как же быть? Надо или употребить передачу (0,5), или уменьшить диаметр воздушного винта вдвое. Экономнее первое (цепная трансмиссия).

Надо еще сжимать четверо разреженный воздух. При этом его абсолютная температура увеличивается в $1,75$ (см. мое «Давление», стр. 4) *. Если на высоте 10 км темпер[атура] будет 43° холода или 230° абсолютной температуры, то при сжатии она дойдет до 403° , т. е. воздух нагреется до $(403-273) 130^\circ$ С. Это терпимо, и тут даже можно обойтись без его охлаждения. Но сжиматель (компрессор) все же необходим.

Это еще не все. Продукты горения вырываются из мотора с большой силой. Глушителя мы не будем употреблять, а пользуемся их отдачей. Чем больше скорость аэроплана, тем это выгодней. Чем также разреженнее среда, тем меньше препятствия для расширения продуктов горения и тем скорость их вылета больше, как и отдача.

Понятно, что продукты горения направляют в особые конические трубы, расположенные вдоль аэроплана и обращенные своими широкими открытыми жерлами назад, к хвосту самолета. Как показывают мои неизданные расчеты, отдача может увеличить вдвое энергию самолета.

Возможно даже утроение его скорости на высоте, где воздух в 9 раз реже. Угол наклона лопастей возд[ушного] винта к его плоскости вращения перейдет от 17 к 42° , что еще терпимо. Передача будет $1:3$ (или диаметр винта втрое меньше), что уменьшит число оборотов винта втрое, т. е. восстановит прежнюю скорость его вращения. (Не забудем еще про утроенную скорость оси мотора и неизбежное расширение клапанных отверстий.) Увеличение абсолютной температуры будет $2,4$. Значит, при 73° холода в воздухе или 200° абсол[ютной] темпер[атуры] получится 480° , или $(480-273) 207^\circ$ С. Это еще терпимо и не требует охлаждения.

Но все же удвоенные и утроенные скорости самолета еще далеки от космических. Как же быть далее? Больше угол лопастей увеличивать невозможно. Нагревание потребует охлаждения. А где же взять холод? На высотах его много, но все же недостаточно, так как воздух чересчур разрежен, и температура его не ниже 70° С.

* См. «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Калуга, 1930. (Ред.).

Итак, дальнейшее увеличение скорости останавливается: 1) из-за воздушного винта, 2) необходимости сжатия, 3) сильно-го от того нагревания и 4) необходимости охлаждения. Воздуш-ный винт можно заменить движущимися как у птицы крыльями. Это хотя и очень выгодно, так как увеличивает подъемную силу самолета, но сложно в строительном (конструктивном) отноше-нии.

Проще совсем выбросить пропеллер. Это возможно при боль-ших скоростях самолета и полете его в разреженной среде, так как отдача продуктов горения тем производительнее, чем ско-рость его больше и среда реже. Разреженная среда позволяет га-зам сильнее расширяться, отчего они достигают большей скоро-сти при выходе из труб и низшей температуры, доходящей в пре-деле (пустоте) до 273° холода.

Вот это-то и может служить источником охлаждения от сжа-тия воздуха. Для этого мы накаленный и сжатый мотором воз-дух заставляем обтекать кормовые концы труб с сильно охлаж-денными от расширения продуктами горения. Потом уже сжатый и теперь охлажденный воздух мы направляем в рабочие цилин-дры мотора.

Мы тут зараз убиваем трех зайцев: подогреваем в трубах охлажденные от расширения продукты горения и тем увеличи-ваем их скорость и отдачу, одновременно охлаждаем сильно на-гретый сжатием воздух, предназначенный для рабочих цилин-дров, и, наконец, получаем усиленное реактивное действие, ибо двигатель без пропеллера может делать большее число оборотов. Механическая же работа его будет невелика, так как пойдет, главным образом, на сжатие воздуха.

До каких пределов можно всеми этими приемами увеличивать скорость аэроплана — неизвестно. Можно ли будет так достигну-ть космической скорости и выйти за пределы атмосферы — это вопрос, на который мы не в силах дать ответа (тем более поло-жительного). Во всяком случае, построение высотных аэропланов нас многому научит и приблизит к звездолету. Подробные ма-тематические расчеты отдачи самолета при описанном его устрой-стве у меня давно были готовы и даже отправлены в одно учреж-дение. Есть, конечно, и копии этих работ.

* * *

Перейдем к чисто ракетной машине. И в ней нельзя обойтись без мотора, так как приходится толкать или накачивать элемен-ты взрыва в камеру смещения и горения. Тут мы также никаких пропеллеров не употребляем ввиду быстрого достижения значи-тельных скоростей, которых пропеллеры вынести не могут. Но ничто не мешает нам пользоваться отдачей продуктов горения в двигателях, как это сейчас было описано.

Значит, мы приходим к предыдущему устройству с прибавкой чисто ракетного приспособления. Оно описано в моей «Космической ракете» (1927 г.) *.

Но вот вопрос. Когда снаряд достигнет очень разреженного воздуха, то питание им двигателя уже станет невозможно. Как же снабжать его кислородом? Но ракетный мотор имеет его запас в самом снаряде, и потому часть этого запаса, при достижении очень разреженных слоев воздуха, пойдет на питание двигателя.

Теперь укажем на те условия конструкции ракетного аппарата, от исполнения которых, вообще, уклоняются практики (а герой Валье поплатился и жизнью).

1. Готовое взрывное вещество непригодно. Например, разного рода порох, нитроглицерин, лидит, динамит и пр.

2. Элементы взрыва (например, кислород и водород), до соединения в трубах, не должны смешиваться.

3. Они разделены и расположены в разных сосудах или отделениях.

4. Они должны быть жидки при обыкновенной температуре. Например, как бензин и азотный ангидрит.

5. Они должны быть как можно более плотны, чтобы не занимать большого объема.

6. Их пары не должны производить значительного давления на стенки сосудов, чтобы не надо их было делать массивными.

7. Они не должны иметь очень низкую температуру, как жидкие свободно испаряющиеся газы, чтобы сдерживать больше энергии.

8. Насосы — поршневые и накачивают жидкости, еще не нагретые.

9. Последние не должны действовать химически на стенки насосов, проводящих в огненную камеру труб, и на самые трубы. Поэтому их делают из подходящего материала или покрывают внутри таким.

10. В камере взрывания элементы взрыва должны смешиваться как можно лучше и как можно скорее, чтобы давать взрыв моментальный, подобный взрыванию пороха или выстрелу.

11. Камера взрывания должна охлаждаться холодом, заимствованным от расширенных продуктов взрыва, температура которых, при выходе их наружу, должна достигать 273° холода. Для этого камеры взрывания и их продолжение, т. е. трубы выхода продуктов горения, должны быть окружены кожухом, в котором искусственно циркулирует нетолстый слой легкой жидкости (например, масла, газа и т. д.), передающий тепло от камер взрывания и сильно нагретых частей выходных труб к холодным их частям. Польза будет двойная, как я объяснял. Для того же

* См. наст. книгу, стр. 274—288, (Ред.).

отчасти могут служить и сами трубы, если они хорошие проводники тепла.

12. Взрывание должно быть быстрым, так же как и нарастание давления в камерах и трубах. Получаются моментальный взрыв, давление в несколько сот атмосфер и затем освобождение труб и камер от большого давления. После этого насосы накачивают новую порцию вещества взрыва. Получается второй взрыв, толчок и улет образовавшихся газов.

13. Число накачиваний в секунду должно быть как можно больше, например 30 или 50. Столько же получится и выстрелов в секунду.

14. Работа накачивания, вследствие совпадения его с наименьшим давлением в огненной камере и трубах, будет невелика.

15. Трубы, выходящие из камеры, через которые вылетают продукты взрыва, должны иметь к выходу расширенную коническую форму (форма музыкальных труб, рупора, слуховой трубы и т. п.). Это укорачивает их длину и усиливает отдачу.

16. Таких труб должно быть несколько, и взрывание в них должно быть одновременное, так чтобы одна камера взрывала за другой через равные промежутки времени. 30—50 толчков в 1 сек в одной трубе сливаются в один, а в десяти, например, трубах дают 300—500 выстрелов в 1 сек, и тем более сливаются в одно целое. Этим мы предохраним снаряд от разрушительного колебания. Большее число взрывных труб и камер полезно еще и в отношении экономии материала. Из артиллерийского дела известно, что вес пушки (орудия) возрастает гораздо быстрее давления в ней при том же объеме канала.

Опыты пр[офессора] Оберта были наиболее научны, но и они не удовлетворяли большинству этих условий. Про других звездоплавателей и говорить нечего. Вот почему получались пока столь печальные результаты. Таков практический удел всех великих начинаний. Они все же драгоценны и смущать никого не должны.

Первые попытки летания, воздухоплавания, применения пара, электричества и всех других изобретений также заставляли падать духом и опускать руки средних людей и даже изобретателей. Но мы, наученные историей, должны быть мужественней и не прекращать своей деятельности от неудач. Надо искать их причины и устранять их.

Стратоплан полуреактивный*

Краткое описание наглядных чертежей

1. Даем сначала план или горизонтальную проекцию [рис. 1]. Видим три почти одинаковых корпуса хорошей формы. В одном помещаются управители (пилоты). Он плотно закрыт от потери воздуха. Поэтому на высотах в нем также легко дышать, как вни-

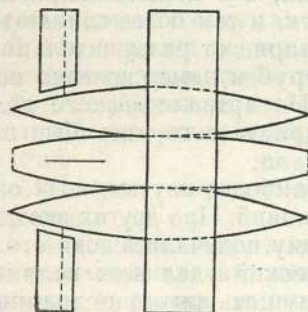


Рис. 1

зу. Другой — содержит горючее. В среднем помещен: воздушный винт (пропеллер), двигатель (мотор), сжиматель воздуха (компрессор), холодильник и проч. (Средний корпус будет описан далее по чертежам [см. рис. 2—3]). Сверху корпусов проходит большое крыло, которое служит и связью для них. Сзади два крыла, могущие поворачиваться. Согласно их вращение служит как руль высоты, а несогласное — как крылья боковой устойчивости. Наконец, укажем на руль направления, помещенный сзади и сверху на среднем корпусе.

2. На рис. 2 изображен продольный разрез среднего корпуса. Передняя его часть (1) может открываться более или менее (см. еще рис. 3). Вполне закрытой она не бывает. Так же устроена и задняя часть корпуса (9). Встречный поток, во время движения самолета, всегда его проникает, чему способствует еще и воздушный винт (2), приводимый в движение нефтяным или бензиновым двигателем (3). Он охлаждается общим воздушным потоком в среднем корпусе (футляре). Потоки чистого воздуха на всем этом чертеже означены одиночными стрелками. Продукты

* Впервые опубликовано в 1932 г. отдельной брошюрой. Изд. автора, Калуга. (Ред.).

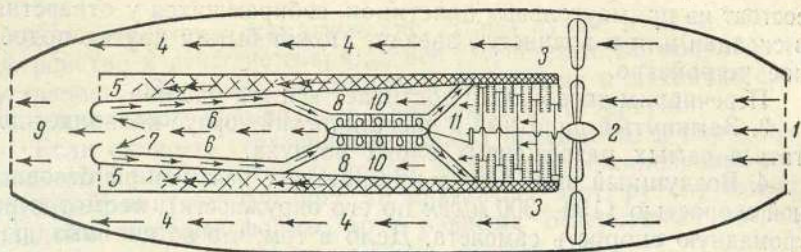


Рис. 2

горения из двигателя идут по многим трубам (3) и собираются в кольцеобразное (между двумя цилиндрами), постепенно расширяющееся пространство.

Здесь они сильно расширяются, их теплота превращается в движение, от чего они приобретают большую скорость и низкую температуру, доходящую до 250° холода. У нас получается хороший холодильник (5). Трубы с продуктами горения на чертеже затушеваны. Направление движения [продуктов горения] означено двойными стрелками.

Самолет движется силою воздушного винта и отдачей продуктов горения. Вся эта масса газов вылетает с большой скоростью через заднее изменяющееся отверстие среднего корпуса.

К кольцевому пространству (5) холодильника прилегает другое такое же пространство, тоже между двумя цилиндрами. В него входит через кольцеобразное отверстие (7), заворачивая назад, поток чистого воздуха. Сильно охлажденный холодильником (5), он направляется через ряд труб (8) в сжиматель газа (10). Он приводится в усиленное вращение от мотора (3) при посредстве зубчатых колес и шарнира Гука (11). Из сжимателя чистый сжатый и уже нагретый (от сжимания) воздух направляется по нескольким трубам в мотор, чтобы вместе с бензином питать рабочие цилиндры.

Чем больше скорость самолета, тем более суживаются отверстия спереди и сзади среднего корпуса. Устройство этих изменяющихся отверстий видно из чертежа [см. рис. 3]. Тут представлено отверстие спереди или сзади. Поверхность конца корпуса

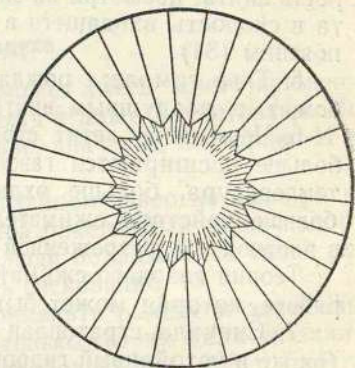


Рис. 3

состоит из прямоугольных пластинок, собирающихся у отверстия в складки или в волнистую звезду. Может быть и другое подобное устройство.

Перечислим теперь, чего достигает вся эта машина.

3. Замкнутый пилотный и пассажирский корпус позволяет летать в самых разреженных слоях воздуха.

4. Воздушный винт всегда вращается с неизменной безопасной скоростью (150—300 м/сек по его окружности), несмотря на громадную скорость самолета. Дело в том, что во сколько раз увеличивается его скорость, во столько же раз уменьшается площадь отверстия спереди и сзади. Например, при полном наибольшем раскрытии жерла (цилиндр) пусть скорость самолета будет 100 м/сек. Если скорость снаряда увеличится в 9 раз (900 м/сек), то площадь отверстий тоже нарочно уменьшается в 9 раз, а поперечник их, значит, — в три раза. Следовательно, при таких действиях количество воздуха, входящего в средний корпус, будет всегда одно и то же, что и обуславливает неизменную скорость потока в широкой части футляра и такую же неизменную скорость винта, несмотря на самую разнообразную скорость самолета и скорость входящего в жерло воздуха *. Мы это еще потом поясним (34).

5. Тяга самолета рождается не только обыкновенным способом, т. е. воздушным винтом, но и отдачей продуктов горения.

6. Чем выше летит стратоплан, чем реже атмосфера, тем больше расширяются газовые продукты горения, тем ниже их температура, больше охлаждение питающего мотор воздуха и больше действие сжимателя. Так что он исправно работает и в плотной и в разреженной атмосфере.

Теория газового сжимателя описана в особой, изданной мной работе, которая может быть получена от меня **.

7. Сначала стратоплан катится по рельсам, снегу или воде (он же и устойчивый гидроплан). Получив секундную скорость в 100 м, он поднимается на воздух и летит наклонно вверх все скорее и скорее. Летя в нижних слоях воздуха, он скоро достиг бы предельной скорости, примерно, в 200 м/сек. Но круто поднимаясь вверх, он встречает все более и более разреженные слои воздуха, отчего скорость его продолжает возрастать: сначала медленно, а потом на больших высотах, где воздух очень разрежен, быстрее.

8. Имеем в виду, что работа мотора не только не ослабеваает, но даже усиливается, благодаря низкой температуре холодильника и сильному охлаждению (может быть, даже ожигению) воздуха, поступающего в компрессор.

* Реальные явления обтекания и работа воздухозаборников гораздо сложнее. (Ред.).

** Имеется в виду работа «Сжиматель газов и его расчет», 1931. (Ред.).

9. Все чертежи схематические. Чтобы лучше и легче понять устройство и действие снаряда, все второстепенные подробности устранены. Например, не означены скрепления и механизм сжимания входного и выходного (для воздуха) отверстия.

Если скорость стратоплана должна превышать в определенное число раз ту, которую может выдержать обыкновенный воздушный винт без футляра, то практичнее этот футляр сделать гладким, хорошей формы, но с равными отверстиями спереди и сзади.

Если, например, максимальная скорость снаряда должна в 9 раз превышать обыкновенную, то и отверстия должно делать, по площади, в 9 раз меньше, а по диаметру — в 3 раза.

Таким образом могут быть устроены стратопланы на удвоенную, утроенную и т. д. скорость.

Чтобы в начале полета, при малой скорости, не тратить лишней работы на движение, футляр может иметь особые продольные постепенно закрывающиеся отверстия: спереди — сверху футляра, а сзади — снизу его. Подъемная сила от этого только увеличится.

Сжиматель воздуха

10. Он интересен сам по себе и может иметь много применений. Вероятно, подобные приборы есть и даже патентованы. Но я недавно только усвоил их действие, значение и теорию. И в этом вся суть. Объяснимся.

Еще за 3000 лет до нашей эры китайцам известна была ракета. Полтора столетия тому назад силой ракеты был даже поднят на воздух баран. Возможно, что и люди поднимались силой ракеты, хотя это, должно быть, и очень рискованно.

Что может быть проще идеи применить ракету к движению на суше, воде и в воздухе. Однако только теория дала указания на истинное значение реактивных приборов. До 1903 г. ракета была только игрушкой или имела ничтожные земные применения. Космическое ее значение в полной мере никем не предугадывалось, по крайней мере не было определено научно. То же можно сказать и про мой сжиматель.

11. Обыкновенный воздушный винт не применим для быстрых движений высотного самолета, так как разрывается при известной окружной скорости, независимо от своего размера. Также и лопасти нашего вентилятора не могут иметь по своей окружности скорости больше предельной. Число оборотов может быть тем больше, чем меньше диаметр винта, но скорость по окружности его не превышает предела, зависящего от крепости материала, из которого он устроен.

12. Вентилятор-сжиматель изображен на втором чертеже (10). Только сзади, у выхода потока, к нему должна быть прибавлена сжимающаяся у вершины коническая поверхность. Ее отверстие

у вершины может суживаться и расширяться по желанию управителя. Из конуса, с едва заметным отверстием, она (поверхность) может превращаться в цилиндр.

13. Вентилятор-сжиматель (рис. 2 и 3) состоит из круглой цилиндрической трубы, внутри которой вращается другой закрытый цилиндр с усаженными вокруг него воздушными винтами (они подобны самолетным или имеют форму архимедова винта). Между каждыми двумя винтовыми кругами расположена вдоль, параллельно оси цилиндров, плоская неподвижная лопатка. Она может быть протянута эксцентрично в большем цилиндре и прикреплена к нему же. Цель этих лопаток — избежать по возможности вращения воздуха в сжимателе. Диаметр внутреннего вращающегося цилиндра, примерно, в два раза меньше, чем внешнего — неподвижного.

14. Когда ось вращается при полном расширении конечного конуса (цилиндр), то воздух почти не встречает сопротивления своему стремлению и движется почти без сжимания, как от действия одного винта. Но чем больше суживать выходное отверстие (рис. 3), тем проходящий газ при выходе сжимается сильнее.

Действие это всего понятнее, если мы вообразим, что выходное отверстие совсем закрыто. Потока не будет, но воздух будет тем более сжат, чем ближе находится к концу трубы.

15. Тут каждая пара лопаток сжимает его на определенную величину. Положим, первый винт увеличивает давление и сжатие воздуха в 1,1. Тогда второй винт, вместе с первым, увеличит это давление уже в $(1,1)^2$, третий, с первым и вторым — в $(1,1)^3$, десятый — в $(1,1)^{10}$ и т. д.

Видим, что предельное давление и сжатие в трубе возрастает с числом винтов. В одной и той же трубе оно неодинаково и выражается рядом чисел: $(1,1)$, $[(1,1)^2]$, $(1,1)^3$... $(1,1)^{10}$... Последнее число выражает давление в трубе после десятого воздушного винта.

Кроме того, повышается от сжатия и температура, что искажает эти выводы в сторону уменьшения давления, так как плотность воздуха с его нагреванием уменьшается.

16. Если мы откроем немного отверстие, то получится поток, но указанное давление сейчас же немного ослабится. Чем шире будет отверстие в конусе (рис. 3), тем скорее поток, но меньше давление и сжатие (явление гораздо сложнее).

Есть среднее внешнее сопротивление, при котором действие потока самое выгодное.

18. Положим, что ось покрыта цилиндром, диаметр которого в 2 раза меньше диаметра трубы. Винтовые лопасти расположены кругом малого цилиндра, и воздушный ток проходит в кольцеобразном пространстве между обоими цилиндрами. Этот проход составляет 0,75 площади поперечного сечения большего ци-

линдра. Малый цилиндр оканчивается плавными поверхностями, которыми он закрыт с обоих концов.

19. На чертеже [рис. 2] видим продольный разрез 10. В нем мы замечаем перегородки. Они прикреплены к большему цилиндру, но не касаются малого. Перегородки назначены затем, чтобы в трубе не могли образоваться вращающиеся токи, которые уничтожат или ослабят напряжение газа и его поступательное движение.

20. Выгодно, чтобы перегородки при наименьшем сопротивлении имели и наименьший вес. Для этого оба конца каждой прикрепляются к большему цилиндру.

Расчет сжимателя

21. Определим наибольшую скорость (u) по окружности вращающегося тела. Пусть это тело — цилиндрическая палка, или вообще цилиндр, расположенный перпендикулярно к оси вращения (как спица колеса).

Наибольшая скорость по окружности получится, когда наибольшее напряжение цилиндра (u оси) от центробежной силы равно сопротивлению материала. На этом основании составим уравнение:

$$\frac{u^2 \cdot l}{l \cdot g} \cdot \gamma \cdot 0,5 = \frac{K_z}{S},$$

где видим длину цилиндра l , выражение земной тяжести g , плотность материала γ , временное сопротивление материала разрыву K_z и запас прочности S . Коэф[фициент] 0,5 нашли с помощью несложного интегрирования. Отсюда

$$u = \sqrt{\frac{2g \cdot K_z}{\gamma \cdot S}}.$$

Из этого видим, что максимальная окружная скорость цилиндра несколько не зависит ни от его толщины, ни от длины. Понятно, что число оборотов палки в секунду тем больше, чем меньше ее длина l . Но скорость u пропорц[иональна] квадратному корню из крепости материала и обратна запасу прочности S и плотности материала γ (см. формулу).

22. Стержень может к концу суживаться, как конус, как клин, или как тело везде равного сопротивления. Это увеличит окружную скорость. Но у нас предполагаются лопатки воздушного винта, и потому уменьшение площади сечения к концу едва ли удобно. От расплющивания цилиндра в лопатку и так она к концу утоньшается.

23. Каково же будет сгущение воздуха лопаткой вентилятора? Форма лопатки — часть архимедова винта. Мы используем только высшую половину стержня.

Если наклон верхнего элемента лопатки к окружности ее вращения означим через $\text{tg } \alpha$, то наклон нижнего ее элемента будет $2 \cdot \text{tg } \alpha$. Наибольшая нормальная к окружности скорость воздушного потока в цилиндрической трубе будет $v = u \cdot \text{tg } \alpha$. Скорость эта, благодаря свойствам архимедова винта, будет одна и та же для всей лопатки, или для определенного поперечного сечения трубы.

24. Этот ток воздуха вдоль трубы может произвести максимальное давление P не меньше следующего:

$$P = \frac{(u \cdot \text{tg } \alpha)^2}{2g} \cdot d.$$

25. Тут u мы можем исключить с помощью формулы (21). Тогда получим $P = \text{tg}^2 \alpha \{K_z : (\gamma s)\} \cdot d$.

Нам именно интересно это наибольшее давление. Оно возрастает с удельной прочностью материала ($K_z : S$), плотностью среды (d) и тангенсом наклона лопастей (в квадрате).

Большой запас прочности (S) не выгоден.

26. Тангенс угла верхней части нельзя принять больше 1. Тогда угол лопасти с окружностью будет 45° , а нижней ее части — $64,5^\circ$. Положим далее в формуле (25): $K_z = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ сечения (это можно принять только для отборных и испытанных сортов хромовой или другой подобной стали); $\gamma = 8$; $S = 4$ (не менее); $d = 0,0012 \text{ кг/дм}^3$.

Теперь вычислим по формуле (25): $P = 75 \text{ кг/дм}^2$, или 0,75 метр[ической] атмосферы. Формула (21) дает и соответствующую скорость по окружности лопаток, именно $u = 353,5 \text{ м/сек}$.

27. Ближе к жизни будет положить $\text{tg } \alpha = 0,5$. Тогда $P = 19 \text{ кг/дм}^2$, или 0,19 ат, а $u = 353,5$ (та же).

28. Цилиндрическая труба, имеющая несколько воздушных винтов на одной оси, даст следующие наибольшие давления при разном числе винтов.

Мы можем принять для возрастания давления число 1,2, предполагая постоянную температуру, или искусственное охлаждение трубы и воздуха.

Число воздушных винтов:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8

Сжатие, ат:

1,2 | 1,44 | 1,73 | 2,07 | 2,48 | 2,99 | 3,59 | 4,28

Число возд[ушных] винтов:

10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24

Сжатие, в ат (приблизит.):

6,75 | 8,94 | 12,9 | 18,3 | 26,3 | 37,8 | 54,4 | 79,9

29. Положим в формуле (25), чтобы быть еще ближе к жизни: $\operatorname{tg} \alpha = 0,5$; $K_z = 10^6$; $\gamma = 8$; $S = 5$; $d = 0,0012$

Тогда $P = 7,5 \text{ кг/дм}^2$ или $0,075 \text{ ат}$. По формуле (21) $u = 223,6 \text{ м/сек}$.

30. На этом основании получим таблицу:

Число винтов:														
2		4		6		8		10		14		18		20
Давление, ат (приблизит.):														
1,15		1,32		1,52		1,74		2,00		2,64		3,48		4

Число винтов:														
30		40		50		60		70		80		90		100
Давление:														
8		16		32		64		128		256		512		1024

31. Для стратоплана, летящего на высотах в очень разреженных слоях воздуха, надо большое сгущение, небольшое число винтов и огромный объем сгущаемого воздуха для горения.

Примем условия (26). Именно: $u = 353,5$, сжатие 1,75 (от одного винта).

Число винтов:																
1		2		3		4		5		6		7		8		9
Сжатие:																
1,7		2,9		4,9		8,4		14,3		24,0		40,8		70,5		117,6

Число винтов:																
10		12		14		16		18		20		22		24		26
Сгущение:																
204,5		591		1714		4960		14 380		41 470		120 000		348 · 10 ³		10 ⁶

Конечно, во всех этих таблицах мы получаем наибольшее предельное давление. Высокое сгущение применимо только для соответствующего разрежения воздуха в высших слоях атмосферы.

Применение сжимателя

32. Этот компрессор может дать какое угодно давление (до сжижения газов или же очень высокой температуры) и какое угодно количество воздуха. Коэффициент использования работы мотора зависит от устройства сжимателя, давления и скорости потока.

Невысокий коэффициент полезности искупается простотой устройства, отсутствием смазки, компактностью, возможностью

высокой температуры, легкостью и дешевкой сжимателя. Он применяется к вентиляторам, домнам и разного рода печам и приборам, где нужно много воздуха при большом давлении и высокой температуре. Также к стратопланам, к реактивным судам, экипажам и скорым поездам (например, «Цеппелин на рельсах» и мой бесколесный поезд). Он превращает механическую работу в теплоту и обратно. Может служить и для подъема жидкостей и обратно, как турбина.

Пропеллер

33. Теперь опишем пропеллер. Он отличается от описанного сжимателя только тем, что имеет и спереди конус, подобный заднему. Число его воздушных винтов неопределенно и может ограничиться даже одним винтом (рис. 2).

Когда пропеллер, с открытыми вполне отверстиями, в виде цилиндра, мчится вместе со снарядом, то относительная (по отношению к трубе) в нем скорость потока будет $c + W$, т. е. скорость снаряда (c) плюс относительная (по отношению к винту) скорость отброса (W) — от действия воздушного винта. Но так как скорость снаряда (c) может быть очень велика, то и относительная скорость потока в трубе пропеллера — так же. Между тем как последняя не может превысить предела, определяемого формулами (21) и (23), которые дают

$$c + W = \sqrt{\frac{2g \cdot K_z}{\gamma S}} \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Эта скорость вполне определенная. Максимум ее мы определили в 353 м/сек. Значит, и снаряд не может иметь большой скорости, иначе разлетится от центробежной силы воздушные винты,

т. е. лопатки в трубе.

34. Как же быть? Неужели большой скорости снаряд иметь не может? Но из этого тупика есть выход.

Начнем с опыта (см. рис. 4). Я устроил наружную

часть (футляр) моего пропеллера без лопаток (без винта).

Пластинки (маятники) в этой трубе, в середине сильно расширенной, были повешены в 4 местах: посередине, у входного отверстия, у выходного и сбоку у входа — вне трубы. Оба отверстия были одного размера, маятники — тождественны.

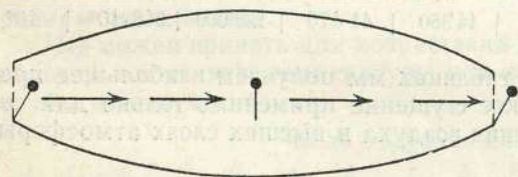


Рис. 4

С этим прибором я равномерно двигался или стоял у полуоткрытой двери теплой комнаты. В последнем случае получался сверху двери очень правильный поток из теплой комнаты в холодную.

Все флюгера были совершенно одинаковы. Поэтому наблюдаемое одинаковое отклонение крайних указывало на одинаковую силу или скорость потока. Но средняя пластинка (флюгер) уклонялась незаметно мало. Это указывало на малую скорость воздушного потока в расширенной части трубы.

35. Что же видим? Пусть такая труба мчится вместе со снарядом вдоль своей длинной оси. Встречный поток входит в переднее отверстие со скоростью снаряда, затем ослабляется чрезвычайно в широкой части трубы; но из выходного отверстия выходит с такой же скоростью, с какой входил. Это самое и подтверждает наш опыт*.

36. Если мы будем площадь крайних отверстий уменьшать пропорционально увеличению скорости аэроплана, то относительная скорость в расширенной части трубы будет оставаться неизменной, несмотря на увеличение скорости снаряда. Действительно, если, например, скорость самолета увеличится в 10 раз, а крайние отверстия уменьшатся (по площади) во столько же раз, то объем входящего в пропеллер воздуха останется неизменным. А так как средняя площадь сечения трубы также не изменилась, то скорость потока в этом сечении тоже не может измениться.

37. Таким образом, воздушные винты будут работать безопасно при всякой скорости самолета, так как скорость окружающей их (винты) среды не возрастает, несмотря на возрастание скорости самолета.

При отсутствии винтов относительная скорость среды у входа и выхода пропеллера будет равна, приблизительно, скорости самолета (только трение и изменение температуры от сжатия и расширения воздуха ее немного ослабляют). Но благодаря действию работающего пропеллера эта скорость увеличивается на некоторую величину, смотря по энергии мотора.

Значит поток по выходе приобретает некоторую избыточную скорость сверх скорости стратоплана.

38. При его полете отверстия должны суживаться по мере ускорения его движения. Так, если скорость снаряда увеличилась в 25 раз, то площадь обоих отверстий должна уменьшаться в 25 раз, а диаметр их — в 5 раз.

39. Нами при этом должен руководить указатель ускорения снаряда: отверстия должно изменять до тех пор, пока ускорение

* Когда скорость потока приближается к скорости звука, явления у входа в воздухозаборник существенно отличаются от условий опыта Циолковского благодаря возникновению скачков уплотнения. (Ред.).

снаряда достигнет наибольшей величины. Ускорение же движения какого-либо тела точно показывает особый простой прибор (акселерометр).

Итак, наше приспособление дает возможность употреблять воздушный винт при всякой скорости самолета, так как наш винт всегда вращается с одной скоростью, несмотря на разную скорость снаряда.

Наибольшую скорость потока в средней части трубы мы определяли в 353 м/сек. Безопаснее будет меньшая скорость, например 210. Сначала эта скорость не получается. Но постепенно скорость снаряда увеличивается и доходит, положим, до 200 м/сек. Скорость отброса (относительно винта) примем в десять метров. Далее, при цилиндрической форме трубы, т. е. при вполне открытых отверстиях пропеллерной трубы, скорость потока и вращение лопаток увеличиваться не должны. Поэтому, при возрастании скорости снаряда, мы площади краевых отверстий уменьшаем пропорционально увеличению скорости движения прибора.

Выразим это таблицей:

Скорость снаряда, м/сек	100	400	900	1600	2500
Относительная площадь крайних сечений трубы	1	0,25	0,11	0,067	0,04
Относительный диаметр отверстий	1	0,5	0,33	0,25	0,2

Скорость потока в широкой части трубы всегда будет 210 м/сек, но скорость выходящего и входящего потока приблизительно одинаковы и будут

110 420 630 840 1050

Конечно, отверстия можно суживать больше показанного (только это невыгодно), но расширять сверх нормы нельзя: разорвется воздушный винт.

Итак, с полными отверстиями пропеллерной трубы мы можем двигаться только до скорости в 100 м/сек. Далее обязательно суживание отверстий. Если оно будет более чем нужно, воздушный винт останется цел, если меньше, чем следует по таблице и указанному закону, то разорвется.

Продолжение работы постараюсь издать особо.

Пока могу сообщить, что этот стратоплан, для достижения даже умеренных высот, должен иметь не менее 1000 метрических сил, при полном весе в одну тонну. Следовательно, мотор должен быть легче обыденного авиационного. Примерно на килограмм его веса надо не менее 2—4 метрических сил. Практика к этому идет, и есть уже моторы, которые дают на килограмм своего веса до 2 л. с. (Статья эта написана в конце 1930 г.)

Достижение стратосферы *

I. Взрывчатые вещества и горючее

В сущности нет резкой границы между процессом взрывания вещества и простым горением. Действительно, то и другое есть более или менее быстрое химическое соединение. Горение есть медленное соединение — в 1 *сек* соединяется, положим, 1 *г* вещества; взрыв же есть быстрое горение — в 1 *сек* соединяется, допустим, 1 *т* вещества, т. е. в 1 000 000 раз больше.

Так же можно смотреть на тление, ржавление и медленное окисление или, вообще, на всякую медленную химическую реакцию. Одним словом, разница во всех этих явлениях чисто количественная.

Заметим, что энергия взрывчатых веществ на единицу их массы даже гораздо меньше, чем энергия, выделяемая единицею массы горючего.

Так, 1 *кг* дымного пороха дает 783 *кал* (338 000 *кГм*) **, динамит от 1291 до 1900 *кал*, оксимитовые смеси от 2000 до 2500 *кал*, гремучий газ — 3200 *кал*, смесь угольного порошка с жидким кислородом — 2200 *кал*.

При горении же получается на 1 *кг* углерода 8000 *кал*, на 1 *кг* нефтяных продуктов — от 10 000 до 12 000 *кал*, на 1 *кг* водорода — 29 000 *кал*. Главная причина различия в том, что при горении кислород воздуха не считается, как ничего не стоящий и незапасаемый.

Итак, в экономическом отношении горючее выгоднее взрывчатых веществ, тем более что последние гораздо дороже и использование их много труднее. Экономично это делать пока совсем не умеют. Все эти опыты с реактивными автомобилями, глассерами, санями, планерами имеют большое значение только как учеба и подготовка к стратоплану и звездолету.

* Впервые напечатано под названием «Топливо для ракеты» в сборнике «Реактивное движение», вып. 2. М., 1936, стр. 13—20. Рукопись датирована 29 июня 1932 г. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 75). (Ред.).

** Более точное значение — 334 340 *кГм*. (Ред.).

Какие же тогда преимущества имеют взрывчатые вещества? Большие преимущества, хотя никак не экономические. Действительно, взрывчатые вещества в короткий промежуток времени выделяют чудовищную энергию, так как химическое соединение смешанных элементов горения происходит почти моментально.

Положим, что углерода сгорает килограмм в секунду, между тем как взрывчатого вещества может сгорать в эту же секунду несколько тонн. Если при этом, как обыкновенно, получаются летучие продукты, то они могут приобрести секундную скорость в несколько километров. Их энергия движения может быть использована турбиной, хотя практическое решение этого вопроса еще недостаточно созрело. Мы верим, однако, что будущее реактивных моторов должно быть блестящим. Мы основываемся на том, что летучие продукты взрыва, расширяясь в искусственной или естественной пустоте (вне атмосферы), всю свою энергию превращают в движение. Так что процент использования может быть высок, как нигде. Кроме того, имеет большое значение быстрота горения и, значит, выделения энергии.

Преимущество взрывчатых веществ уже сейчас утилизируется для огнестрельных орудий и разрушения твердых масс (например, гранитных скал). Так же, в малую долю секунды, они сообщают большую скорость пушечному ядру, выделяя (в среднем) несколько миллионов лошадиных сил в 1 сек. В ту же малую долю секунды они производят мощную работу раздробления каменных масс.

Ракетные приборы прямого действия (ракета) могут давать также большую мощность снарядам и экипажам, при условии их секундной скорости в несколько километров. Но такая скорость невозможна в нижних слоях атмосферы, так как этому препятствует сопротивление плотного воздуха. Только в крайне разреженных слоях атмосферы возможна такая скорость и приличное использование.

Кстати, опровергнем тут весьма распространенное заблуждение — будто в высших разреженных слоях атмосферы возможна космическая скорость при обычной энергии двигателей. Еще в 1895 г. в своих изданных трудах* я находил, что потребная мощность мотора в наиболее благоприятном разреженном слое пропорциональна скорости самолета. Например:

Разрежение	1	4	9	16	25	36	49	64
Скорость	1	2	3	4	5	6	7	8
Требуется мощность при том же весе мотора . .	1	2	3	4	5	6	7	8

* Циолковский имеет в виду вышедший в 1895 г. отдельный оттиск его работы «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина». (Ред.).

(Это через 35 лет подтвердил американский ученый Корвин-Круковский). И то хорошо, так как при неизменной плотности воздуха эта мощность пропорциональна кубу скорости, т. е. эта мощность возрастает в отношении чисел: 1, 8, 27, 64, 125, 216, 343, 512 и т. д.

Трудности при полете в стратосфере большие, но их можно одолеть, пользуясь именно чудовищной мощностью взрывчатых веществ.

II. Двигатели и взрывание

1. Собственно, во всякой топке происходит непрерывно взрывание, особенно это ясно там, где употребляют форсунки. Однако этим взрыванием в обыкновенной паровой машине или турбине непосредственно не пользуются. Пользуются только получаемым теплом: тепло нагревает воду и пар, и уже отсюда работа. Энергия этих моторов наименьшая, т. е. на килограмм веса двигателя имеем в секунду малую мощность. Когда имеем дешевое топливо, как торф или уголь с негодными примесями, и не стесняемся весом машины, то это очень экономично. Но в локомотиве — топливо более чистое и дорогое и экономия тут колеблющаяся. Видно стремление перейти к взрывчатым моторам (бензиновые и дизель-моторы) или к электрическим.

2. Второй случай имеем в моторах внутреннего горения. Тут пользуются силою взрывания, и потому эти моторы правильнее называть взрывными. Их выгоды: огромная энергия, экономное использование горючего и потому малый его запас. Невыгода — более чистое и дорогое горючее. Впрочем, дизель-моторы, работающие на дешевом мазуте, этого недостатка не имеют. Но легкие их типы еще мало распространены.

В обоих случаях используют ничего не стоящий кислород (из воздуха).

3. Реактивные автомобили, глассеры, сани, аэропланы, стратопланы и звездолеты используют запасенный заранее кислород или другой элемент, необходимый для горения. Цель — в короткое время получить чудовищную энергию.

Тут могут быть два приема.

А. Кислородный элемент или заменяющий его может быть заранее смешан с горючей частью (напр., порох). До сих пор для движения или полета людей употреблялись только готовые взрывчатые вещества.

Преимущества этого приема в следующем: произвольно быстрое развитие энергии и простота в устройстве двигателя. Невыгод гораздо больше, именно: опасность общего взрыва всего запаса (раны и гибель Валье и других); обременение машины весом кислородного соединения (жидкий кислород или его жидкие азотные соединения); обременение весом труб, начиненных взрывчатым веществом и выдерживающих огромное

давление вырывающихся сжатых продуктов горения (от этого трубы должны быть крепки и тяжелы); при небольших скоростях, доступных в нижних слоях атмосферы, малый процент использования химической энергии; дороговизна взрывчатых веществ.

Б. Во втором приеме кислородное соединение отделено от горючего. Элементы соединяются постепенно, как в авиационном моторе, только кислород берется не прямо из воздуха. Опасности общего взрыва нет, обременения тяжелыми трубами — также. Но прочие невыгоды остаются.

Что же заставляет прибегать нас к запасенному кислороду? На громадных высотах, в чрезвычайно разреженном воздухе или еще выше, за атмосферой, в пустоте, необходим запас кислородного соединения, потому что из атмосферы кислород извлекать практически невозможно, а в пустоте его нет. Так можно достигнуть больших скоростей, и использование химической энергии может быть весьма значительным. Остаются невыгоды: обременение весом кислорода и дороговизна его или его соединений. Но элементами взрывания могут служить: дешевая нефть (горючее) и жидкий кислород или его соединение, например жидкий азотноватый ангидрид. Это не так дорого.

Разделение элементов взрыва уже осуществляется на практике в небольших летающих приборах (без людей). Дело, очевидно, прогрессирует. Но эти приборы имеют другие недостатки, указанные мною в журнале «Самолет» (1932 г.) *. Поэтому они и дают такие слабые результаты.

III. Выбор элементов взрыва для стратоплана

Мы подразумеваем достижение очень разреженных слоев воздуха, когда извлечение кислорода из воздуха затруднительно.

Элементы взрывчатых веществ для этой машины должны обладать следующими свойствами.

1. На единицу своей массы при горении они должны выделять максимальную работу.

2. Они должны давать при соединении газы или летучие жидкости, обращающиеся от нагревания в пары.

3. Они должны при горении развивать возможно низкую температуру, т. е. иметь низкую температуру диссоциаций, чтобы не испортить ствола (дюзы).

4. Должны занимать небольшой объем, т. е. иметь возможно большую плотность.

* Имеется в виду статья «Реактивное движение и его успехи», опубликованная в журнале «Самолет», 1932, № 6. (Ред.).

5. Должны быть жидки и легко смешиваться. Употребление же порошков сложно.

6. Они могут быть и газообразны, но иметь высокую критическую температуру и низкое критическое давление, чтобы удобно было их употребить в ожиженном виде. Ожиженные газы вообще невыгодны своей низкой температурой, так как они поглощают тепло для своего нагревания. Потом употребление их сопряжено с потерями от испарения и опасностью взрыва. Не годятся также дорогие химически неустойчивые или труднодобываемые продукты.

Приведем примеры. Например, водород и кислород удовлетворяют всем условиям, кроме 4-го и 6-го. Действительно, жидкий водород в 14 раз легче воды (плотность его 0,07) и потому неудобен, так как занимает большой объем. Потом, критическая температура водорода равна 234° холода, а кислорода 119° холода. Углерод в отдельности не годится по своему твердому состоянию. Кремний, алюминий, кальций и другие вещества не годятся не только по твердому состоянию, но и потому, что дают с кислородом нелетучие продукты. Озон не годится, потому что дорог и химически неустойчив. Его температура кипения 106°C холода*. Большинство простых и сложных тел непригодно, потому что выделяют при соединении малую энергию на единицу продуктов.

Какие же вещества пригодны?

А вот какие.

1. Простые или сложные, но имеющие при обыкновенной или не очень низкой температуре жидкое состояние и плотность, недалекую от плотности воды. Значит, можно допустить и ожиженные газы, но имеющие высокую критическую температуру кипения в пустоте.

2. Выделяющие наибольшую работу на единицу полученных продуктов. Таковы некоторые слабозкогенные и в особенности эндогенные соединения (последние при разложении не поглощают, а выделяют теплоту и потому особенно выгодны).

3. Недорогие и химически устойчивые.

4. Дающие при горении летучие продукты: газы или пары.

Наиболее энергичные составные части взрыва, дающие летучие продукты,—это водород и кислород. При образовании водяного пара на каждый грамм выделяется 3233 кал . Такое же горение легких металлов (лития, алюминия, магния, силиция и бора) дает от 3400 до 5100 кал , т. е. значительно больше. Однако эти материалы не пригодны по нелетучести продуктов.

Но в отдельном виде водород и кислород пока неудобны. Лучше всего заменить их слабыми соединениями с другими эле-

* По современным данным температуры кипения указанных элементов следующие: водорода — $252,8^{\circ}\text{C}$, кислорода — $182,98^{\circ}\text{C}$, озона — 112°C . (Ред.).

ментами. Так что у нас вместо водорода будут водородные соединения, а вместо кислорода — кислородные. Самые подходящие для горения в кислороде — это углеводороды. И водород и углерод, при соединении с кислородом, дают летучие продукты. В этом отношении они пригодны. Водород, при соединении с кислородом, на единицу массы продуктов дает больше энергии, чем углерод. Именно водород дает от 3233 (пар) до 3833 (вода), а углерод 2136 (все последующие числа выражены в малых калориях на 1 г или на грамм-молекулу вещества). Поэтому углеводороды выделяют при горении тем больше энергии, чем больше процент водорода. Таковы предельные углеводороды. Из них самый простой — метан (CH_4), или болотный газ. Он содержит наибольший процент водорода (25%). Но надо принять во внимание, что большинство этих соединений — экзогенные, т. е. при их образовании выделяется тепло. Когда эти соединения сгорают в кислороде, то они прежде должны разложиться на H_2 и O_2 , причем, обратно, поглощается тепло. Кроме того, ожиженный метан имеет низкую температуру (-82°) кипения и потому неудобен. Но вычислим его энергию взрыва. С требует O_2 . При этом на грамм-молекулу (моль) выделяется 94 000 кал. H_4 требует O_2 . При этом на 36 г выделяется 116 000 кал. Всего на 80 г выделяется 210 000 кал. Но предварительное разложение CH_4 требует 18 500 кал на 16 г (моль). Остается 191 500 кал на 80 г. На 1 г продуктов получим 2394 кал.

Среди углеводородов есть такой, который содержит меньший процент (12,5%) водорода, но образуется он с поглощением теплоты (эндогенное соединение). Это этилен (C_2H_4). Мы находим его более подходящим. Действительно, C_2 требует O_4 . На 89 г выделяется 188 000 кал. H_4 требует O_2 . На 36 г выделяется 116 000 кал (пар). Значит, на 124 г выделяется 304 000 кал. Но при разложении C_2H_4 выделяются обратно поглощенные ранее на 28 г (моль) 15 400 кал. Так что всего получим 319 400 кал. Это на 124 г. На 1 г продуктов получим 2576 кал. Это немного больше, чем от метана. Этилен легко ожижается, так как критическая температура его 10° тепла, а критическое давление 52 ат. Этилен легко получается из этилового спирта или эфира при пропускании [последних] через глиняные шарики, нагретые на 300—400°C. Выходит, что этилен выгоднее болотного газа (метана).

Испытаем теперь бензол (C_6H_6). Как жидкость довольно плотная, он наиболее пригоден для звездолета. Но он содержит только 8% водорода. Какова же его энергия на единицу массы продуктов при его химическом соединении с кислородом? Бензол — экзогенное соединение. Но при образовании он выделяет на моль (грамм-молекулу, или 78 г) всего только 10 200 кал. Но все же сделаем расчет. C_6 требует O_{12} и H_6 нуж-

дается в O_3 . Значит, на 318 г продуктов выделяется 738 000 кал. Вычитая отсюда поглощение на разложение C_6H_6 , получим 727 800 кал. Это на 318 г. На 1 г продуктов найдем 2289 кал. Это немного менее этилена, но зато имеем жидкость обыкновенной температуры и очень незначительное давление ее паров.

Ацетилен (C_2H_2) такого же процентного состава неудобен, как газ. Притом это экзогенное соединение выделяет гораздо больше тепла при своем образовании, чем бензол, примерно в 18 раз. Значит, и поглощает больше при горении. Кроме того, чем больше в углеводороде углерода, тем выше температура диссоциации, а следовательно, и температура взрыва. Лучше всего ожиженный водород; но получение его и хранение затруднительно, помимо огромного занимаемого им объема.

Приведем тут результаты наших расчетов о теплоте горения спиртов, эфира и скипидара:

Спирт метиловый (CH_4O)	2123 кал
Спирт этиловый (C_2H_6O)	2327 »
Эфир ($C_4H_{10}O$)	2512 »
Скипидар ($C_{10}H_{16}$)	2527 »

Справа показано число выделяемых калорий на единицу продуктов горения. Видно, что и этими горючими пренебрегать нельзя.

При наших расчетах мы предполагаем ожиженный кислород. Это представляет большие неудобства. Озон же химически неустойчив и практически недоступен. Поэтому обратимся к кислородным соединениям.

Интересны кислородные соединения азота. Перечислим наиболее для нас подходящие. Эндогенное газообразное соединение закись азота N_2O непригодно, потому что содержит большой процент азота. То же можем сказать и про эндогенное соединение — окись азота NO . Третье соединение — азотноватый ангидрид (NO_2) представляет бурую довольно устойчивую жидкость. Образование ее (синтез) сопровождается ничтожным выделением тепла. Она химически довольно устойчива (до $500^\circ C$) и очень плотна (1,49), что делает ее весьма пригодной. Она сильный окислитель, но покрытие резервуаров, труб, клапанов и проч. золотом, платиной, иридием и другими неокисляющимися веществами предохраняет машины от разъедания.

Пятое соединение — азотный ангидрид N_2O_5 — содержит немного менее азота, но оно неудобно по своей химической неустойчивости.

Остановимся на NO_2 . Это соединение вполне заменяет кислород, но оно обременено азотом. Это уменьшает скорость вылета газообразных продуктов горения, потому что увеличивает их массу. Мы остановились на бензоле. Его частичный вес

(моль, или грамм-молекула) 78. Мы видели, что это вещество удовлетворяется O_{15} или 240 г. Вес продуктов при горении в чистом кислороде равен 318 г. Но у нас O_2 . Тут на O_{15} прибавляется азота (N) 105 г. Продуктов будет 423 г. Эта масса больше в $423 : 318 = 1,331$. От увеличения массы продуктов горения скорость их вылета уменьшается в 1,15 раза, т. е. составит 87%. Например, вместо 6000 м/сек будет 5220. Энергия взрыва на грамм продуктов составит 1721 кал.

Может быть, нам скажут: а нитроглицерин, пироксилин и пр.— разве они не дают больше энергии? Увы, гораздо меньше, как это видно из следующей таблицы. В ней показана теплота образования приводимых тел из элементов на 1 г продуктов в малых калориях. Выбираем наиболее энергичные взрывчатые вещества:

Алюминий с аммиачной селитрой	1480
Порох дымный и бездымный	от 720 до 960
Нитроглицеринный порох	до 1195
Нитроглицерин	1475
Динитробензол с азотной кисл[отой]	1480
Пикриновая кислота	750
Гремучая ртуть	350
Азотнокислый диазобензол	1330

Эти готовые взрывчатые вещества употреблять невозможно вследствие опасности неожиданного взрыва всей массы, помимо их малой энергии.

Резюмируем сказанное:

1. Водород негоден по малой плотности и трудности хранения в жидком виде.
2. Ожиженный метан CH_4 с жидким кислородом дает 2394 кал. Неудобны вследствие низкой температуры кипения.
3. Маслородный газ, или этилен (C_2H_4), с O_2 дает 2576 кал. Эта смесь более подходящая, так как этилен (C_2H_4) имеет критическую температуру в $+10^\circ$.
4. Бензол (C_6H_6) с кислородом дает 2289 кал. Энергия меньше, но жидкое состояние выкупает. Пригодны и смеси жидких углеводородов с высокой температурой кипения (керосин и пр.), тем более что они дешевы (нефть).
5. Употребление жидкого кислорода представляет некоторый минус вследствие его холода и затруднения в хранении.
6. Наиболее подходит замена кислорода азотноватым ангидридом (NO_2). Это бурая, химически устойчивая жидкость плотнее воды.
7. При смешении ее с бензолом на единицу продуктов выделяется 1721 кал. Эти две жидкости наиболее подходящи для взвешивания. Но части его машин должны быть предохранены от

окисляющего влияния NO_2 . Эта энергия (1721 кал) невелика, но больше, чем энергия самого лучшего пороха и самых страшных взрывчатых веществ (нитроглицерин). Притом последние дороги и их невозможно держать в больших количествах.

8. Пригодны также спирты и «серный» эфир.

Приводим тут еще таблицу зависимости между теплотой горения и соответствующей скоростью продуктов горения (при длинных трубах и в пустоте).

Теплота горения кил орамма в больших калориях:										
700		1000		1200		1500		1700		2000
Идеальная механ[ическая] работа в тысячах килограммометров:										
300		428		513		642		727		856
Соответствующая идеальная скорость, м/сек:										
2450		2920		3200		3580		3810		4130
Теплота горения:										
2200		2500		2700		3000		3200		3500
Идеальная работа в тысячах килограммометров										
944		1070		1155		1284		1369		1498
Скорость, м/сек										
4340		4630		4800		5060		5230		5470

Так при употреблении эфира получим 4630 м/сек скорости.

При горизонтальном движении по рельсам или при отсутствии тяжести и сопротивления среды получим такие окончательные скорости снаряда, при разных массах взрывного материала, по отношению к весу снаряда со всем содержимым, кроме горючего и кислорода:

Сравнительный запас взрывного материала:

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10

Принимая скорость отброса при эфире в 4630 м/сек, получим такую наибольшую секундную скорость снаряда, м:

3200 | 5094 | 6400 | 7465 | 8314 | 9026 | 9646 | 10 194 | 10 685 | 11 126

Значит, при пятикратном (5) запасе можно сделаться спутником Земли, а при десятикратном (10) — спутником Солнца, так как произойдет отделение снаряда от Земли и перемещение его на орбиту нашей планеты.

Теория реактивного движения*

Реактивное движение — это то самое движение, которое производится отдачей огнестрельных орудий.

Кажется странным, что неуклюжую силу, откатывающую пушку во время выстрела, надеются использовать не только для быстрых движений в разреженных слоях воздуха (в стратосфере), но и для молниеносных по скорости скитаний между планетами и звездами.

Прежде всего докажем, что взрывающееся вещество (если, разумеется, взять его в достаточном количестве) может сообщить какую угодно скорость аппарату, в котором оно взрывается.

Чтобы упростить вопрос, допустим отсутствие трения и сопротивления воздуха. К этому можно приблизиться реальнее, если вообразить, что прибор скользит по ровному (горизонтальному) пути в длинной трубе, из которой удален воздух.

Пусть аппарат с человеком и со всеми машинами (без взрывчатых веществ) во всех случаях весит тонну. Вес же его вместе со взрывчатыми веществами составит в тоннах ряд кратных друг другу чисел (геометрическая прогрессия): 2; 4; 8; 16; 32; 64; 128...

Вычитая отсюда вес прибора, т. е. 1 т получим такой ряд, показывающий нарастание веса взрывчатого материала: 1; 3; 7; 15; 31; 63; 127...

Если масса ракеты и масса взрывчатого вещества одинаковы (тонна), то очевидно, что скорость взрывающегося газа и скорость снаряда приблизительно одинаковы. Действительно, одна и та же сила (см. рис. 1, стр. 171) действует, в данном случае, между равными массами.

Почему же тогда одной из масс двигаться быстрее или медленнее другой?

* Работа впервые напечатана в журнале «В бой за технику», 1932, № 15—16, стр. 19—21. (Ред.).

Означим полученную секундную скорость единицей, например, 1 км.

Теперь вообразим снаряжение согласно второму члену (4 и 3) ряда. Взорвем сначала 2 т. Оставшиеся 2 т получат скорость в 1 км/сек. Потом взорвем последнюю тонну. Оставшаяся тонна получит прибавочную скорость еще в 1 км/сек. Всего же прибор будет иметь скорости 2 км/сек.

Возьмем снаряжение взрывным материалом, согласное с третьим членом ряда (8 и 7). Взорвем прежде 4 т. Получим для оставшихся 4 т единицу скорости. Взорвем далее 2 т. Для оставшихся теперь 2 т получим прибавочную единицу скорости, а всего две. Наконец, взрываем последнюю тонну запаса. Оставшаяся тонна приобретет еще единицу скорости, а всего три.

Продолжая наш ряд, найдем для разных степеней снабжения одной и той же «ракеты» (условное обозначение) такие относительные скорости: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7...

Следовательно, когда вес снаряженной ракеты возрастает в кратной (геометрической) прогрессии, то скорость ее увеличивается также беспредельно, но в прогрессии арифметической.

Какая же будет истинная окончательная секундная скорость снаряда? Она зависит от скорости вылетающих из неподвижной трубы газов и от величины запасов (например, пороха).

Произведенные Годдардом и другими опыты показали, что скорость вылетающих из дула (при холостом выстреле) газов может доходить до 3 км/сек и более. Теоретически доказано, что в пустоте, при наличии довольно длинной конической трубы (ракеты) и при пользовании самыми энергичными взрывчатыми веществами, скорость эта может быть доведена до 5—6 км/сек.

Примем хоть 5 км/сек. Тогда получим такой ряд скоростей (в км/сек): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35...

Если даже взять более скромное число в 4 км/сек, то найдем ряд скоростей: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28...

Но уже скорости в 8 км/сек достаточно, чтобы вечно носиться выше атмосферы кругом Земли в качестве ее спутника (как Луна). Скорости в 12 км/сек довольно, чтобы стать на путь (орбиту) Земли и сделаться, таким образом, маленькой планетой*. Наконец, скорость в 16 км/сек может одолеть притяжение всех планет и Солнца. Снаряд, наделенный такой скоростью, будет вечно удаляться от нашей солнечной системы и гулять в Млечном пути (Галактика) среди иных солнц и планет. И это случится уже тогда, когда запас взрывчатого вещества превышает вес ракеты всего только в 15 раз. О больших

* Более точные значения скоростей будут соответственно 7912 и 11 189 м/сек. (Ред.).

скоростях пока говорить не будем. Но возможны ли такие за-пасы?

Даже в рекордных аэропланах масса взрывного материала не превышает веса аппарата. Так же и в паросоудах. В послед-них этому мешают экономические причины: там нужно иметь как можно больше места для оплачиваемых грузов. В самолетах же, особенно больших, основная масса материала идет на моторы, корпус и крылья. Запас горючего поневоле будет мал.

Чтобы вес горючего с кислородом в 15 раз превышал вес ра-кеты, нужно выполнить такие условия.

Элементы взрыва (нефть и кислород) не должны производ-ить сильного давления на заключающие их сосуды (иначе по-следние пришлось бы делать массивными).

Они должны быть плотны, чтобы не занимать много места. В этом отношении даже жидкий водород не годится, так как он в 14 раз легче воды.

Надо, чтобы нарастание (ускорение) скорости снаряда было не больше 10 м/сек, иначе относительное утяжеление эле-ментов взрыва и всех частей снаряда заставит делать его проч-нее, а следовательно, и массивнее, тяжелее. Движение снаряда выгоднее делать наклонным.

Безопасность, легкость и хорошее действие ракеты еще нуж-даются в следующем:

1. В разделении элементов взрыва, постепенное соединение которых дает реактивное давление.

2. В наличии конической трубы, в узкой части которой сме-шиваются и взрываются порции взрывчатых веществ.

3. В поршневых насосах, накачивающих элементы взрыва.

4. В периодическом накачивании. Это ряд как бы холостых выстрелов, производимых примерно 50—100 раз в 1 сек.

После каждого выстрела дуло (труба) освобождается от газов, и нужно тогда уже небольшое усилие, чтобы втолкнуть в нее новую дозу составных частей взрыва. Без этого от насосов и двигателей потребовалась бы неосуществимо большая мощ-ность*.

Полет в разреженной среде (в стратосфере), а потом и в пустоте мирового пространства нуждается в особых средствах сохранения жизни пилота и пассажиров. Вот они**:

1. Замкнутый корпус, непроницаемый для газов, как при полете проф. Пикара (он поднялся на 16—17 км высоты, где воздух был в 6 раз реже, чем у уровня океана).

* В настоящее время осуществлены пульсирующие реактивные двигатели, у которых число взрываний около 50 в сек., и жидкостные реактивные двига-тели с подачей компонентов топлива в двигатель или при помощи газов высо-кого давления, или при помощи специальных насосов. (Ред.).

** Подробнее см. «Космическая ракета»; наст. книга, стр. 274—288. (Ред.).

2. Снабжение помещения кислородом. Дневной запас его на человека не превышает одного килограмма.

3. Щелочи и другие вещества для поглощения выдыхаемых и выделяемых человеком продуктов.

4. Запас пищи. Для продолжительного пребывания вне атмосферы могут оказаться полезными специально подобранные растения, обильно подающие кислород и пищу. Для этого очевидна необходимость прозрачных окон и солнечного света (растения поглощают углекислоту и выдыхают кислород лишь под действием света). Недостатка в солнечных лучах не будет, так как облаков, воздуха и туманов за атмосферой нет.

5. Регулирование температуры ракеты посредством изменения отражающей и поглощающей солнечный свет поверхности снаряда. Это устраивается так: кроме прочной и непроницаемой для газов оболочки прибора на ней есть еще другая, подобная рыбьей чешуе; раздвигая ее чешуйки, делают поверхность ракеты блестящей, а сдвигая и складывая их (чешуйка под чешуйку), обнажают черный, непроницаемый корпус.

Подвижная чешуя служит также и для предохранительного охлаждения поверхности корпуса от нагревания при пролетании через атмосферу.

Указанные космические скорости (8—16 км/сек) невозможны в нижних слоях атмосферы, потому что они немедленно теряются, благодаря громадному неодолимому сопротивлению атмосферы.

Но реактивный прибор набирает эту космическую скорость постепенно, достигая ее лишь за пределами атмосферы.

В начале пути выгоден наклонный, восходящий ускоренный полет. Тут полезны плоские крылья. В нижних слоях воздуха скорость небольшая. Постепенно, уже в разреженной среде она достигает одного-двух километров в секунду. Но там уже эта скорость не даст большого сопротивления, потому что воздух очень редок. Не даст она и большого нагревания поверхности снаряда, так как воздух в верхних слоях помимо своей разреженности и холоден*. Для предохранения от чрезмерного нагревания ракеты, вероятно, будет довольно одного изоляционного слоя, например, порошка, пробки. Наиболее подойдет для этой цели — по своей невесомости — пустота между первой и второй оболочкой прибора (для чего воздух между ними надо выкачать).

Даем тут схематическое изображение этого прибора в простейшем виде с указанием его частей (см. рис. 1 и 2).

1. Крылья — вроде оперения. При небольшом размахе они не будут тяжелы, а вследствие большой длины (вдоль снаряда)

* По современным данным, на высотах более 90 км имеют место высокие положительные температуры. (Ред.).

не будут очень «пухлы». При малой скорости они будут работать сравнительно слабо, при большой — лучше. Необходима почти плоская их форма.

2. Подвижная блестящая чешуя (на рисунке видна лишь часть ее), чем она нормальнее к поверхности ракеты, тем более открывается черная поверхность корпуса, что приводит к понижению температуры. Наоборот, чем она параллельнее корпусу, тем меньше потеря тепла и выше температура. Окна, обращенные к солнечному свету, не должны закрываться чешуей при получении высокой температуры. При полете в атмосфере чешуя должна смыкаться в одну поверхность, и потому тут невозможно регулирование температуры. Поэтому

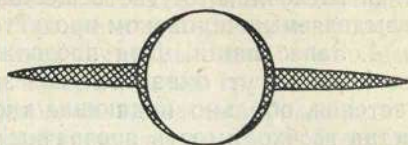


Рис. 1

выгоднее сдвигающая продольная чешуя.

3. Помещение для людей.

4. Непроницаемая крепкая оболочка ракеты, выдерживающая давление по крайней мере 1 ат.

5. Чешуя сдвигающая (как веер).

6. Слабый мотор.

7. Насосы для накачивания кислорода и нефти.

8. Место смешения элементов взрыва (карбюратор).

9. Коническая труба. Из широкого отверстия вырываются разреженные и холодные газы с относительной скоростью 3—6 км/сек. Эта скорость для каждого прибора всегда одна и та же.

10. Два руля отвесных и два горизонтальных. Это рули направления и устойчивости против вращения ракеты. Рули работают и в пустоте благодаря стремительно вылетающим продуктам горения (газы являются упором для лопастей руля).

11. Жидкий кислород.

12. Нефть.

Устройство и действие подобных описанному чисто реактивных приборов сравнительно очень просто. Жидкий кислород и нефть, смешиваясь в карбюраторе, взрываются и выбрасываются в виде стремящихся расшириться газов через коническую трубу наружу, толкая стенки ее, а следовательно, и весь при-

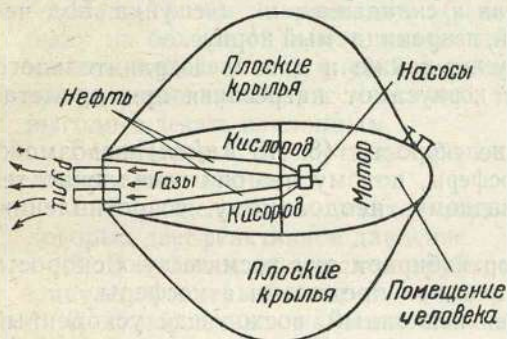


Рис. 2

бор вперед. Непроницаемая очень продолговатая поверхность регулирует во время полета температуру. Охлаждение ее — нефтью, а нефти — кислородом. Отсутствуют даже особые баки для горючего (только перегородки). Конструкция обслуживается всегда двумя крохотными насосами и очень слабым мотором. Для управления снарядом и устранения его вращения предназначены две системы рулей.

Если простота и легкость прибора — главные его достоинства, то основной недостаток его в том, что он должен запасать кислород. Потребное количество его по сравнению, например, с бензолом в три с лишком раза больше последнего. Это дает утяжеление в 4 раза*.

Опытные полеты с такого рода прибором надо будет разворачивать постепенно. Сначала ракета может ограничиться полетами в нижних слоях воздуха (тропосфере), потом в верхних (стратосфере), затем вылетать в пустоту за атмосферу и, наконец, совершать космические полеты.

Возвращение, как показали я и Гоман, может совершаться без расходования взрывных материалов: сначала быстрое спиральное движение в редчайших слоях воздуха, потом в более плотных постепенная потеря космической скорости, наконец, планирование и спуск на почву или воду наподобие обыкновенного аэроплана.

Казалось бы, эти чисто реактивные приборы сулят очень много. Отчего же работы в этой области, производившиеся до сих пор в Европе и Америке, дали так мало. Так, наиболее удачный полет ракеты (1931 г.) К. Риделя близ Берлина дал ее поднятие только на 1,5 км. Высший результат получила итальянская ракета д-ра Лиона, которая поднялась на 9,5 км.

Другие практические результаты еще слабее.

Ракеты с крыльями Годдарда и Свана не оправдали себя. Например, планер Свана (80 кг весом) поднялся на высоту всего 60 м.

Причины таких слабых успехов отчасти в недостатке средств, отчасти в ошибках исследователей. Я указал эти ошибки в своей книжке «Звездоплывателям». Здесь не место входить в эти тонкости.

Ведь и первые попытки устроить самолет были не менее жалки.

Теперь обратимся к аэропланам высот, или стратопланам. Это обыкновенные аэропланы, но снабженные чрезвычайно легкими и мощными моторами, сжимателями воздуха (компрессорами), воздушным винтом с крутонаклонными лопастями, близко совпадающими с направлением полета, и многочисленными охладителями.

* См. «Реактивный аэроплан», 1930.

Полет такого стратоплана возможен только в воздухе. Устройство его очень сложно и масса, по необходимости, велика.

По моим расчетам, подтвержденным новейшими исследователями (Корвин-Круковский. См. книгу проф. Рынина «Суперавиация и суперартиллерия», 1929 г., стр. 51—53), выходит, что скорость стратоплана — при прочих равных условиях — пропорциональна квадратному корню из разрежения среды, причем мощность должна возрастать пропорционально скорости полета.

На основании этих соотношений составим таблицу:

Относительное разрежение среды, или легкость воздуха, где летит аэроплан *:

1, 4, 9, 16, 25, 36...

Соответственно этому относительная горизонтальная скорость полета:

1, 2, 3, 4, 5, 6...

Относительная же требуемая мощность мотора:

1, 2, 3, 4, 5, 6...

Следовательно, для того, чтобы увеличить скорость вдвое, надо или мощность мотора увеличить в два раза (что обременит аэроплан весом), или сделать двигатели при той же силе вдвое легче. Последнее — единственный выход. Может быть, легкость эту со временем и весьма увеличат. Допустим, что ее увеличат в 5 раз (200 г/л. с.). Тогда поступательная горизонтальная скорость увеличится в 5 раз. Если, например, при моторах обыкновенного веса она достигала 200 м/сек (720 км/час), то при более легких возрастет до 1000 м/сек (3600 км/час).

На таких самолетах перелет через Атлантический океан может быть совершен в 2—3 часа. Это будет на относительно небольшой высоте, где воздух, однако, в 25 раз реже, чем у поверхности океана.

По журнальным данным сообщают, что известный строитель Фарман очень занят высотными самолетами. Он надеется, что на высоте 6 км скорость стратоплана удвоится, а на высоте 12 км учетверится. На высоте в 6 км атмосфера разрежается вдвое, а на высоте 12 км — вчетверо. Следовательно, и в последнем случае скорость может только удвоиться сравнительно с рекордной и то при условии, чтобы или уменьшить вдвое удельный вес мотора или увеличить вдвое его вес и мощность. Но и такого удвоения скорости трудно ожидать ввиду сложности аэроплана высот, приводящей к соответственному увеличению его веса.

* Относительное разрежение это $\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)$, где — ρ_0 плотность воздуха на уровне моря, ρ — плотность воздуха на заданной высоте. (Ред.).

Английская пресса сообщает, что в 1932 г. предполагается перелет через Атлантический океан на высоте 16 км со скоростью 1250 км/час (347 м/сек). На высоте 16 км воздух разрежается в 6 раз. Значит, скорость может быть увеличена в $2\frac{1}{2}$ раза. Но опять потребуется и от двигателя при том же его весе энергия в $2\frac{1}{2}$ раза бóльшая. Если рекордная скорость на большое расстояние 100 м/сек (360 км/час), то возможно достичь максимум 250 м/сек, а не 347. Это тоже пока мечта*. Ведь мы не приняли еще в расчет утяжеление аэроплана от сжимателей и других сопряженных с разрежением воздуха усложняющих приспособлений.

Все это, надо думать, возможно осуществить в будущем, но пока подходящих условий для этого нет. Конечно, результаты, достигнутые нами на высотах, великолепны, но как облегчить двигатели в 5 раз? Ведь основная секундная скорость (200 м/сек, или в час 720 км) в низших слоях воздуха еще не достигнута, а на высотах важной помехой является страшно усложненное устройство стратоплана.

В моем сочинении, которое вскоре выходит в свет («Стратоплан полуреактивный»), я предлагаю полуреактивные стратопланы. Они тоже сложны, но скорее достигнут желаемого успеха, хотя и не дадут космической скорости.

* * *

Звездоплавание — только цель и весьма отдаленная. Она бы очень приблизилась, научись мы использовать солнечную энергию, лишь одна двухмиллиардная часть которой достается на долю нашей планеты.

Но прежде чем дойти до этой цели, мы должны пройти ряд этапов. Первый этап — усовершенствование обыкновенного аэроплана и получение удвоенной или утроенной скорости полета на высоте 12—18 км, где воздух в 4—9 раз реже. Тогда в нашем распоряжении будет секундная скорость в 200—300 м (или часовая 720—1080 км). Перелет через Атлантический океан сократится до 8—10 час (см. мою работу «Новый аэроплан», 1929 г.).

Затем появится полуреактивный стратоплан. Секундная его скорость может быть гораздо выше, примерно, до 1000 м/сек или 3600 км/час. Он будет летать на высоте 23—24 км, где атмосфера в 100 раз реже, чем у поверхности океана**. Перелет из Америки в Европу будет отнимать всего 2—3 часа.

Экономических выгод в расходовании горючего не получится: теория показывает, что на единицу пути и на какой-либо определенный путь расходуется одна и та же масса горючего. Кроме

* Скорости современных самолетов нередко превосходят скорость звука, т. е. больше 340 м/сек. (Ред.).

** По данным международной стандартной атмосферы, плотность воздуха на высоте 24 км в 26 раз меньше плотности воздуха у Земли. (Ред.).

того, полуреактивный стратоплан очень сложен и дорог, что не может не отразиться и на стоимости полета.

Но это еще не будет полной победой над стратосферой. На высшем этапе чисто реактивный прибор даст возможность проникнуть еще выше благодаря своей чрезвычайной простоте и большому запасу кислорода.

Какова будет его максимальная скорость — решит практика. Но надо не забывать, что при секундной скорости больше 1 км начинает уже обнаруживаться центробежная сила, облегчающая вес «ракеты». Если же скорость повысится до 8 км/сек, снаряд потеряет всю свою тяжесть и унесется за пределы атмосферы. Вот когда будет побежден воздушный океан и одолено земное тяготение!

Тогда ракета при своем спиральном восхождении будет летать в пустоте, подобно маленькой близкой к нам луне.

Однако едва ли можно рассчитывать без вспомогательных средств на достижение этой первой космической скорости.

Вспомогательные же средства сводятся к следующему.

1. Необходим предварительный разгон ракеты по особо оборудованному твердому восходящему пути. За это время она не расходует горючее, а пользуется энергией, истекающей из особых сооружений по бокам дороги (аналогично трамваю).

2. Надо построить многоракетный поезд, летящий в атмосфере. Только одна из составных ракет приобретает наибольшую скорость и улетает за атмосферу, а остальные возвращаются на Землю (см. «Космические ракетные поезда», 1929) *.

3. Летящий снаряд нужно первоначально питать земной энергией через вещественные или «невещественные» провода (например поток лучистой энергии).

Получив возможно большую скорость, ракета продолжает путь своей собственной энергией посредством взрывания запаянных элементов взрыва.

Какие выгоды и какое могущество получит человек при одолении тяготения и завоевании солнечной системы, описано в моей книге «Цели звездоплавания» (1929 г.).

Завладение солнечной энергией, бесплодно уходящей теперь в пространство, не есть еще завоевание лун и планет. Даже спуск на нашу Луну по множеству причин представляет сложную и трудную задачу. Что же касается больших планет, то об этом пока рано думать.

Очень доступны планетки (астероиды), имеющие от 10 до 400 км в поперечнике. Еще доступнее небесные тела меньших размеров. Они будут первыми достижениями звездоплавателей,

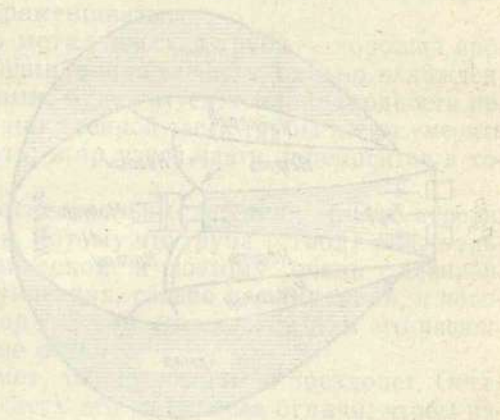
* Этот метод получил в современных научно-технических изысканиях полное признание. (Ред.).

первым приютом для людей. Тут же найдем мы и первый материал для строительства в безднах эфира.

Когда же все это будет?

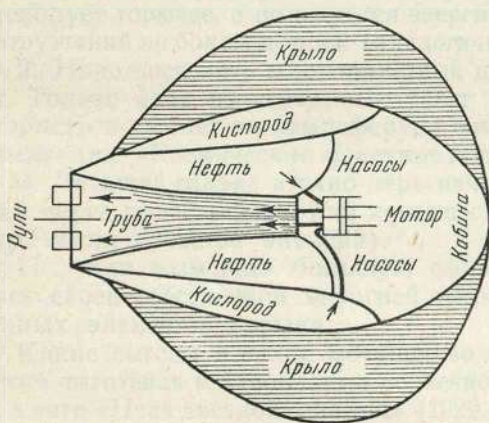
Никто не в силах этого предвидеть, если даже принять в расчет стремительную быстроту прогресса науки и техники настоящего времени. Вероятно, придется ждать десятилетия, если не столетия.

Впрочем, все возможно. Быстрота нарастания прогресса есть величина неизвестная.



Звездолет*

Звездолет — тот же аэроплан, только без воздушного [винта]. Ввиду чрезвычайной быстроты движения крылья имеют едва заметную вогнутость. Элементы взрыва, т. е. горючее и кислород, разъединены (см. рисунок). Они накачиваются в карбюратор двумя поршневыми насосами. Здесь они встречаются особую «решетку смешения» и взрываются разными известными способами.



Ракетоплан К. Э. Циолковского. Чертеж автора

Из огненной камеры они устремляются в коническую трубу, из которой быстрым, охлажденным от расширения и разреженным потоком вырываются наружу в кормовой части снаряда. Отдача этих газов и производит непрерывно ускоряющее движение ракеты. У расширенной наружной части трубы (дюзы) находятся рули: направления, высоты и боковой устойчивости.

Благодаря стремительному потоку выхлопных газов они работают и в пустоте независимо от окружающей среды.

В огненной камере происходит ряд взрывов, как в браунинге или пулемете. Разница только та, что в реактивном звездолете ствол конический, взрыв холостой (без пули), да составные части

* Впервые было опубликовано в журнале «Знание — сила», 1932, № 23—24, стр. 15. (Ред.).

взрывчатого вещества разделены и смешиваются только в огненной коробке. Еще разница: они накачиваются при посредстве особого двигателя. Последнее условие можно устранить, используя отдачу (реакцию), как ее использует пулемет. Это еще упрощает наш снаряд, который уже немного тогда будет отличаться от пулемета.

Последний делает до десяти и более взрывов в секунду. Число взрывов в звездолете может быть еще больше, так как холодные взрывы скорее освобождают трубу (дюзу) от газов. Авиационные моторы могут давать в рабочих цилиндрах до 20 и более взрывов в 1 сек. Известен даже двигатель с сотнею оборотов, или 50 взрывами в 1 сек.

Если каждое накачивание будет давать 100 г взрывчатого вещества, то при 40 залпах в 1 сек будет сожжено 4 кг взрывчатых материалов. Этого будет вполне довольно для полета звездолета весом в тонну и для его непрерывно ускоряющегося движения.

Но взрывная камера и коническая труба (дюза) могут сильно накалиться, если не принять предохранительных мер к их охлаждению. Поэтому они окружены жидким горючим, а жидкое горючее — жидким, свободно испаряющимся кислородом. Эти жидкости полезны непрерывно перемешивать.

Надо еще помнить, что металлическая труба — хороший проводник тепла. А потому расширенная ее часть, сильно охлажденная расширяющимися газами, будет путем теплопроводности переносить свой холод узкой накаливаемой части трубы и тем умерять ее жар. Правильнее сказать: жар узкой части переносится в холодный конец трубы.

В пулеметах и других огнестрельных орудиях трудно хорошо использовать тепло горения, потому что труба (ствол) обязательно должна быть цилиндрической и поэтому очень длинной. В звездолете же труба коническая, сильно расширенная, и потому ее можно делать тем короче, чем угол конуса или его расширение больше (но не больше 30°).

Если осуществим пулемет, то осуществим и звездолет. Остается только заимствовать часть его механизма отдачи, чтобы избавиться от особого мотора.

Приняв секундный расход взрывчатого вещества в 4 кг, а полный снаряженный вес звездолета — в 1 т, найдем, что запас взрывчатого вещества в 0,8 т (800 кг) израсходуется в течение 200 сек. В это время звездолет, устремляясь под углом примерно в 30° к горизонту, быстро достигнет разреженных слоев воздуха и приобретет такую скорость, которая выкинет его за пределы атмосферы.

Звездолет с предшествующими ему машинами*

1. Усовершенствованная паровая турбина.
2. Могучий легкий мотор.
3. Стратоплан с таким мотором.
4. Звездолет.

Паровые турбины. Недостаток паровых турбин

Сначала турбина была проста: имела только паровой котел, сопло и один диск с лопатками. Использование энергии было очень слабое, а скорость вращения огромная, непрактичная и опасная. Потом прибавили холодильник, так что с одной стороны лопаток было давление пара, а с другой — почти пустота (вакуум). Использование энергии увеличилось.

Наконец, придумали*многодисковые турбины с промежуточными неподвижными дисками, у которых также были направляющие лопатки (диафрагмы). Это было гениальное добавление (рис. 1).

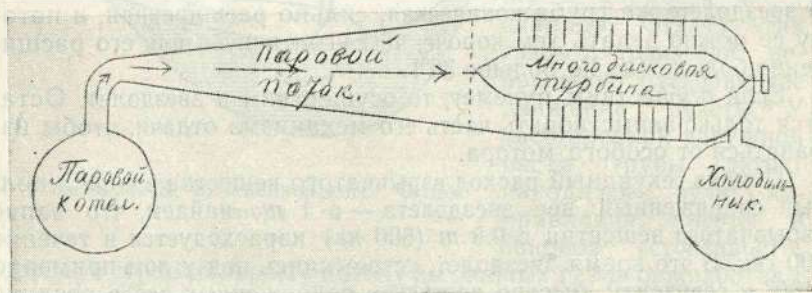


Рис. 1. Новая паровая турбина. Продольный разрез

* Впервые опубликовано в кн.: К. Э. Циолковский, Избранные труды. Изд-во АН СССР, 1962. Рукопись датирована августом 1933 г. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 86).



Рис. 2

Мы разберем значение дисков подвижных и неподвижных, которые устроены почти одинаково. Подробности упускаем. Диски как бы насажены на рабочий вал, и все это заключено в один общий цилиндр. Нечетные вращаются вместе с валом, а четные не прикреплены к нему, а к цилиндру, а потому неподвижны. (Для сокращения допускаем упрощение).

Вообразим продольный нормальный к дискам их разрез. Получим ряд волнистых плавных кривых (рис. 2).

Это не совсем точно, но для пояснения довольно, особенно если скорость паров чрезвычайно велика. Нечетные цифры означают разрез подвижных дисковых лопаток, а четные — таких же неподвижных. Затухеваны подвижные лопатки. Пар, входя по множеству кривых каналов между лопатками первого подвижного диска, приводит его во вращательное движение, теряя часть своей скорости и производя на счет энергии своего движения работу. Затем, входя в каналы между неподвижными лопатками первой диафрагмы, выправляется, приобретая движение почти вдоль оси главного вала или вдоль цилиндра, вмещающего диски. Далее, пар ударяется, хотя и с меньшей скоростью, в подвижные лопатки второго диска, производя работу и теряя часть своей скорости. Так дело идет и далее, пока пар не потеряет большую часть своей скорости.

Пройдя все диски, он сгущается в холодильнике, образуя воду. Все это гораздо сложнее: и диски, и диафрагмы не вполне сход-

ны, а постепенно изменяются. Но не будем входить в известные подробности и расчеты.

Многодисковые турбины дают средство использовать всякую скорость пара, чего нельзя сказать про однодисковую. При однодисковой турбине большая часть энергии движения пропадает бесплодно. Дело в том, что окружная (наибольшая) скорость лопаток или диска вполне определена и ни при каком их материале не может превышать, примерно, 300 м/сек . Для наиболее выгодного же использования энергии движения газа нужно, чтобы скорость лопаток была равна не менее одной трети скорости пара. Конечно, если скорость его невелика, например 600 м/сек , то хорошее использование возможно и при однодисковой турбине Лавалля. Неудобство только в опасной скорости вращения и непрактичности ее применения к генераторам электричества и другим целям, где скорость требуется, вообще, небольшая. Если же скорость пара или газа, например, равна $2\text{--}5 \text{ км/сек}$, то почти вся кинетическая энергия пропадает, так как скорость по окружности лопаток не может превышать $200\text{--}300 \text{ м/сек}$.

Другое дело многодисковая турбина. Устраивая лопатки малой кривизны, мы можем получить какую угодно малую скорость лопаток, какова бы ни была скорость пара или газа, и очень большое использование тепла. Только чем больше скорость пара и меньше желаемая скорость лопаток, тем число дисков и диафрагм должно быть значительнее. Я вижу, однако, некоторые недостатки и в многодисковых турбинах. Перечислю их.

1. Скорость вытекающего из котлов сжатого пара не может превышать $500\text{--}600 \text{ м/сек}$. При ином же устройстве турбины она могла бы дойти до 2000 м/сек . Энергия же этого движения будет в 16 раз больше.

2. Температура выходящих из сопел паров чересчур велика ($300\text{--}400^\circ$) и действует вредно на диски и цилиндр.

3. Пар, сгушаясь в конденсаторах, выделяет бесплодно энергию, затраченную на его образование.

4. Используется только небольшая площадь дисков, так как пар устремляется из нескольких узких сопел.

Укажем на средства устранить эти недостатки. Главный же из них — малое использование энергии тепла, или горючего.

Устройство моей турбины

Предлагаемая мною турбина имеет следующее устройство (см. рис. 1, на котором схематически она изображена в продольном разрезе).

Пар из паровика не устремляется прямо на лопатки диска с небольшой скоростью, но прежде идет по конической трубе. Расширяясь и охлаждаясь, он от этого приобретает скорость до 2000 м/сек . Почти весь он при этом оживает и в расширенной

части получаем уже не поток пара, а поток капель, движущихся втрое быстрее пуль и ядер. Таким образом, почти все тепло и скрытая теплота испарения превращаются в кинетическую энергию.

Этот поток устремляется на $\frac{3}{4}$ площади первого диска, а потом и на остальные диски, пока не потеряет почти всю свою скорость. Утилизация горючего будет громадная, деятельность же холодильника сведется почти к нулю.

Собственно, нет даже надобности и в очень высоком давлении пара. Это же очень уменьшает вес и увеличивает безопасность паровых котлов. Все же высокое давление полезно, потому что сокращает размеры конической трубы. Оно особенно полезно при отсутствии холодильника (в атмосфере высокого давления).

Паровая турбина без котла и холодильника

Известная и описанная мною турбина имеет большой удельный вес, т. е. вес, приходящийся на одну ее силу: ужасно тяжелы котлы и холодильник! По этой причине такие турбины непригодны для дирижаблей, аэропланов, стратопланов, автомобилей — вообще там, где требуется большая мощность при малом весе.

Мы можем избежать холодильников при большом начальном давлении пара в котлах. Потеряем в использовании горючего тем более, чем менее будет давление пара по отношению к внешнему атмосферному давлению. Значит, на высотах использование горючего будет тем больше, чем выше поднимемся, т. е. чем реже атмосфера. Отсюда — выгодное применение приборов без холодильника к стратопланам.

Однако котлы останутся и все дело окажется неподходящим. Нельзя ли избежать и котлов? (Все же котлы могут быть тем легче, чем внешнее атмосферное давление слабее.)

Рис. 3 показывает устройство мощного двигателя с малым удельным весом. Тут запасается не только горючее (нефть), но и кислород в жидком виде или его кислородное соединение. Кислород может быть нечистым, т. е. с значительной примесью азота. На жидкий кислород небольшой спрос, и потому он пока имеет значительную цену. Если же его будут применять ко всякого рода легким моторам, притом с большой примесью азота, то цена его значительно снизится и он не будет стоить дороже нефти. Нефть и жидкий кислород накачиваются одновременно, посредством насосов и двигателя, в особую камеру (карбюратор), расположенную в начале конической трубы. Здесь эти элементы смешиваются посредством особой «решетки» и дают непрерывное горение и температуру до 3000° . Образуются углекислый газ и пары воды, имеющие огромное давление в несколько тысяч атмо-

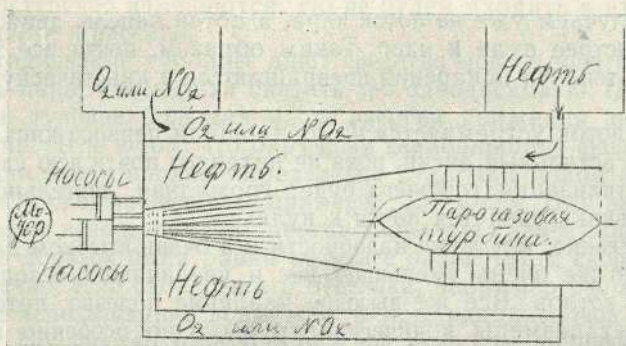


Рис. 3. Двигатель малого удельного веса.
Продольный разрез

сфер. То и другое, расширяясь в трубе и от этого охлаждаясь, приобретают все большую и большую скорость, которая к концу трубы доходит до 4000 м/сек. Этот стремительный и к концу холодный газовый поток, с примесью паров воды и водяных капель, ударяет в лопатки подвижных и неподвижных дисков и превращается в работу вращения.

Кислородное соединение охлаждает нефть, а нефть, циркулируя вокруг конической трубы и карбюратора, охлаждает эту огненную камеру и мешает тем ее расплавлению, горению и разрушению. Кроме того, стальная труба, накаляясь у карбюратора, передает свое тепло путем теплопроводности холодным частям трубы, составляющим продолжение камеры смешения, и тем еще более охлаждается.

Утяжеление мотора тут происходит только от жидкого кислородного соединения. При бензоле (C_6H_6) и кислороде (O_2) масса последнего будет почти в 3 раза больше горючего (См. «Ракета», 1927 г.) *.

При других углеводородах и большой примеси азота это отношение может возвыситься до 4. Но, с одной стороны, такое топливо, как уголь, используется в 3—4 раза слабее, чем нефть, так что запас его едва ли не превысит запас нефти вместе с кислородом; с другой — при полете в стратосфере гораздо проще запастись кислородом, чем извлекать его из редкой атмосферы, а затем охлаждать и сгущать его.

Если давление не очень велико в карбюраторе, то можно употребить непрерывное накачивание горючего или кислородного соединения. Если же оно максимальное (что выгоднее в отно-

* Имеется в виду работа «Космическая ракета. Опытная подготовка», 1927 г., см. наст. книгу, стр. 274—288. (Ред.).

шении экономии веса и использования горючего в плотной атмосфере), то работа вкачивания будет непосильно велика. Тогда удобнее применить прерывистое накачивание элементов взрыва с помощью поршневых насосов. В этом случае получим ряд холостых залпов (выстрелов). В короткие промежутки между ними и производится вкачивание с наименьшим расходом энергии. Лопатки дисков будут подвергаться изменяющемуся давлению газового потока, что заставит их делать прочнее.

Из кислородных соединений наиболее пригодна бурая химически устойчивая жидкость азотноватого ангидрида (NO_2).

Мотор, накачивающий элементы взрыва в карбюратор, может, конечно, свою работу заимствовать от турбины через особую передачу (трансмиссию). Но может быть и самостоятельным, что удобнее. Лучше всего — взрывчатый мотор, заимствующий энергию от элементов взрывания. Продукты выбрасываются в общую трубу и усиливают реактивное действие.

Применение описанной турбины к стратоплану.

Конструкция такого аэроплана высот (стратоплана) в продольном разрезе наглядно изображена (схематически) на рис. 4.

Средняя часть корпуса с крыльями занята описанным мотором. Он приводит в движение воздушный винт (пропеллер). Последний засасывает воздух справа и выгоняет его влево. От этого прибор движется слева направо (см. стрелки вне корпуса, означающие направление движения корабля). Этому движению помогает еще и отдача (реакция) отработавшего газового потока. Она тем сильнее, чем меньше используется турбиной движение парогазового потока. При достигнутой стратопланом большой скорости на высотах важнее работа отдачи, чем работа воздушного винта. Внизу, в плотных слоях атмосферы, — наоборот. Поэтому внизу, при малой скорости, более должен работать винт, а в разреженных слоях, при большой скорости, — отдача.

Крайние отверстия корпуса должны быть тем меньше, чем скорость стратоплана больше. Иначе от центробежной силы разорвется воздушный винт (см. мой «Стратоплан», 1932 г.)*. Сзади, с правой стороны мотора, видим замкнутое помещение (кабинку) с кислородной атмосферой или с обыкновенным воздухом неизменной плотности. Это каюта для людей. Она необходима на больших высотах с очень разреженным слоем воздуха.

Наблюдение окружающего совершается через несколько особых зрительных трубок (перископов).

* Циолковский имеет в виду брошюру «Стратоплан полуреактивный»; см. наст. книгу, стр. 386—396. (Ред.).

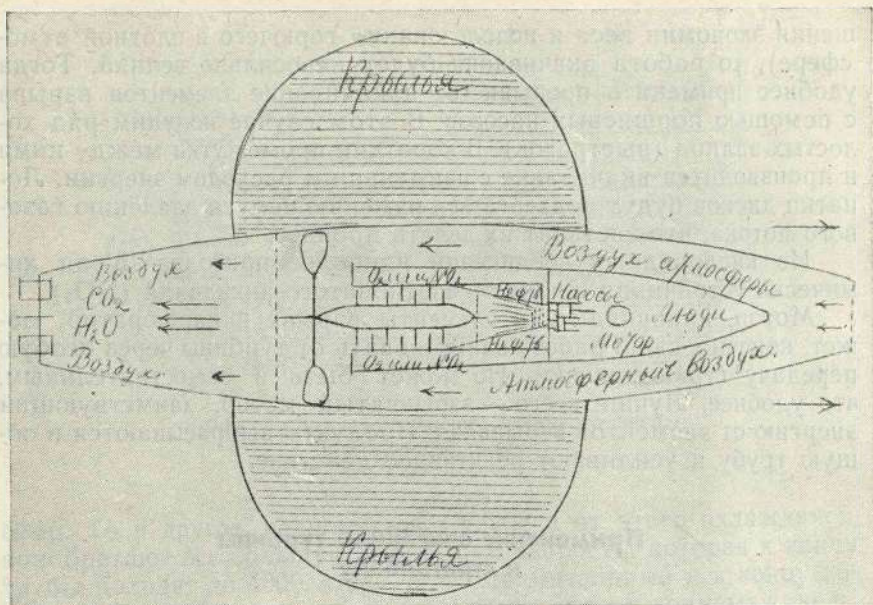


Рис. 4. Стратоплан. Продольный разрез

Примечание. Последний подвижный диск турбины с лопатками искривляет поток. Также закручивает поток и большой воздушный винт. Этому можно противодействовать двумя рулями направления — посредством неравного их наклона. Но можно еще поставить против воздушного винта особую неподвижную диафрагму, подобную воздушному винту, только с обратным искривлением лопаток. Она выпрямит поток, и так будет устранено вращение стратоплана вокруг продольной его оси. Диафрагма эта на чертеже не изображена.

Примечание 2-е. По образцу турбины устраивается и мой батарейный сжиматель газов.

Звездолет

Описанный полуреактивный аэроплан, значительной величины, может унести на буксире чисто реактивный прибор (звездолет) на возможно большую высоту. Тогда звездолет, предоставленный самому себе, приведет в действие свой чисто реактивный мотор и устремится уже за атмосферу. Звездолет мой (рис. 5) неоднократно был описан в печати, и потому отсылаем читателя к этим описаниям (см. «Знание — сила», 1932, № 23—24).

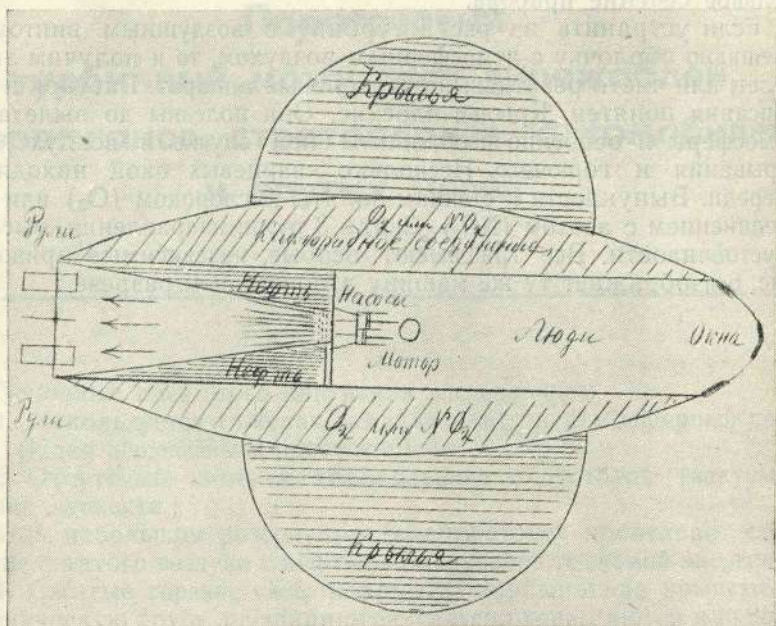


Рис. 5. Звездолет. Продольный разрез

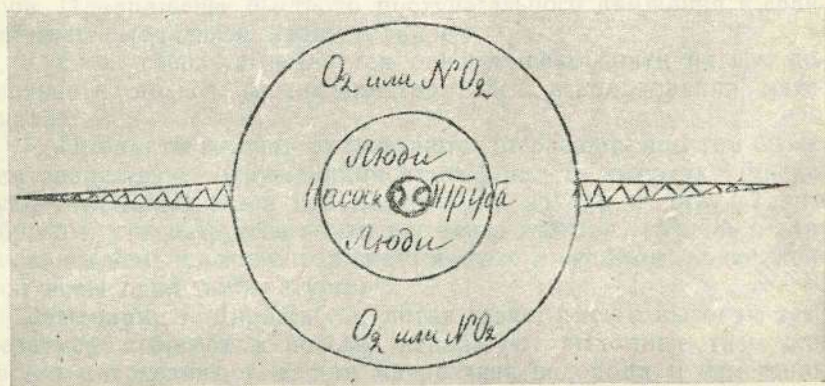
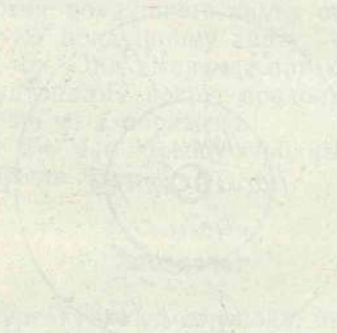


Рис. 6. Звездолет. Поперечный разрез

Привожу тут все-таки упрощенный его рисунок. Это есть продольное сечение прибора.

Если устранить из рис. 4 турбину с воздушным винтом и внешнюю оболочку с атмосферным воздухом, то и получим звездолет, или чисто реактивный летательный аппарат. Рисунок и без описания понятен. Крылья плоские. Они полезны до вылета из атмосферы и особенно необходимы при спуске в воздухе без взрывания и горючего. Несколько кварцевых окон находится впереди. Выпуклости к стенкам заняты кислородом (O_2) или его соединением с азотом (NO_2). Сзади 3 руля: направления, высоты и устойчивости. Все три имеют особые, независимые приводы. Рис. 6 изображает ту же машину в поперечном разрезе.



Парогазовый турбинный мотор для дирижаблей, аэропланов, стратопланов, автомобилей и других целей*

Основные идеи этого двигателя в следующем.

1. Используется тяжелая жидкая нефть и атмосферный воздух. (Идея дешевизны и простоты.)

2. Отсутствие котла и холодильника с пустотой (вакуум). (Идея легкости.)

3. В небольшом резервуаре (карбюраторе) происходит смешение сжатого воздуха с нефтью. (Получение тепловой энергии.)

4. Сжатые горячие газы и пары из карбюратора врываюся в коническую трубу, расширяются, сильно охлаждаются и приобретают большую скорость движения. (Превращение тепловой энергии в быстрое поступательное движение.)

5. Сильно охлажденные, они приводят в действие многоступенчатую коническую турбину. (Идея простоты и могущества мотора. Превращение быстрого поступательного движения в сравнительно медленное вращательное.)

6. Сила газов устремляется одновременно почти на всю поверхность дисков (преимущество: идея использования материала).

7. Продукты горения охлаждаются от расширения тем более, чем разреженнее окружающая атмосфера. На высотах температура отходящих газов доходит до 200° холода и ниже. Таким образом, утилизируется почти все тепло горения. (Мысль о наибольшем использовании горючего и целости турбины, подверженной невысокой температуре.)

Замечание 1. Дирижабли, летая низко, имеют высокую температуру отбросов и потому используют выходные газы для своего нагревания, т. е. для нагревания водорода и изменения подъемной силы. При этом в нагревательной трубе сжижаются

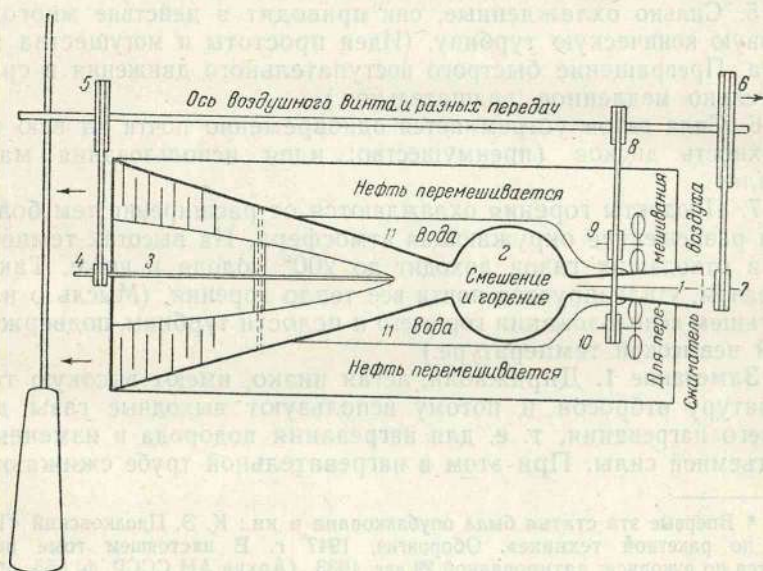
* Впервые эта статья была опубликована в кн.: К. Э. Циолковский «Труды по ракетной технике». Оборонгиз, 1947 г. В настоящем томе печатается по рукописи, датированной 29 авг. 1933. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 85). (Ред.).

пары воды. Полученная жидкость стекает и идет в дело. Пустоты в нагревательной трубе нет. Газы уходят в атмосферу.

Замечание 2. Стратопланы используют те же газы, но более холодные, как отдачу (реакция).

8. Для охлаждения карбюратора и прилегающих к нему наиболее горячих частей конических труб имеется особое отделение или рубашка 11, залитая водой (см. рисунок). Когда вода достигает давления в 10 ат (или большего) и температуры 179° (или высшей), то образующийся пар врывается через клапан в карбюратор, усиливает парогазовый поток и работу турбины. (Это примерное давление. Оно может быть и больше, соответственно давлению на клапаны.) Рубашка 11 с водой окружена еще нефтью (9, 10). Она циркулирует благодаря особому приводу и вращающимся лопаткам (винты). Вода охлаждает карбюратор и трубу, воду охлаждает нефть, нефть охлаждается стенками нефтяного бака, стенки же его охлаждаются атмосферой. Можно попробовать обойтись без воды. Последняя, однако, возвращается из нагревающей дирижабль трубы в водяную рубашку. Можно скорее охлаждать нефть, разбрызгивая ее в воздушном потоке и опять собирая. Это проще, чем охлаждение ее пузырьками воздуха или воздушными трубами. Для стратопланов приходится обходиться без воды с тяжелой, охлаждаемой воздухом нефтью. Воздух в сжиматель засасывается, проходя прежде через нефть и охлаждая ее.

Наглядный чертеж с надписями и номерами все это разъясняет.



Вот как двигатель заставляют работать. Сначала особым вспомогательным мотором приводят в действие сжиматель 1 воздуха и нефтяной насос (не изображенный). Таким образом карбюратор 2 и турбина 3 начнут работать. Тогда посторонний мотор выключают (не изображен) и заставляют через передачу 4—7 сжимать воздух и вкачивать нефть в саму турбину 3. Если выбросить охлаждающую водяную рубашку 11, то горючее, т. е. нефть будет непосредственно окружать карбюратор 2, сжиматель воздуха 1 и турбину 3. В самом деле, охлаждение необходимо, потому что сжиматель сильно нагревается от сгущения воздуха. Еще более накаляется карбюратор. Также нагревается и начало конической трубы, где заканчивается горение разбрызганной нефти. Кажется, она должна от этого не только кипеть, но и химически разлагаться. Но на деле этого нет, так как расширенный конец турбины нагрет слабо и даже может быть очень холоден — у двигателя высот, где отходящие газы сильно расширяются. Накаленные стенки карбюратора и начало конической трубы уносят свое тепло к холодным ее частям, ибо металл хорошо проводит теплоту. Равномерность температуры в нефтяном баке еще поддерживается перемешиванием нефти (8—10). В разреженном воздухе, конечно, это так, но в низших слоях атмосферы придется прибегать к охлаждению нефти воздухом атмосферы. Самый экономный способ для этого — разбрызгивание нефти в холодной струе воздуха. Разумеется, при этом воздух унесет часть горючего. Но надо брать такое, которое не давало бы паров при умеренной температуре. Можно также этот охлаждающий атмосферный воздух, уносящий пары нефти, направлять в сжиматель воздуха. Тогда нефть не пропадет. Надо только, чтобы температура кипения нефти была высокой, дабы не унеслось много паров горючего и не было взрыва в сжимателе. Гребешки (фланцы) на баках, представляют лишний вес и не допустимы для мощных и легких двигателей. Трубы, проходящие через нефть и проницаемые воздухом, не так тяжелы и более поэтому допустимы как охладители.

Вот, в общих чертах, описание нашего мотора. Цель такого устройства: чрезвычайная легкость, громадная мощность, простота устройства и следовательно дешевизна. Особенно выгодны такие моторы на высотах, где с успехом используется и реакция отходящих газов. Мы не запасаем особые кислородные соединения. Использование же атмосферного кислорода возможно только до некоторой высоты, где воздух не чрезмерно разрежен. В противном случае встретим затруднение в его сжимании. Действительно, если, например, весьма разреженный воздух сгущается в 1000 раз, то температура его повышается до 4000 градусов. Едва ли в нефти он успеет достаточно охладиться. Тогда уже на конусе сжимателя необходимы хотя бы тонкие ребра (фланцы). Впрочем, эту роль играют и диафрагмы, соединенные

сваркой с оболочкой сжимателя. Диафрагмы же отлично будут охлаждать поверхность турбины и нефть, если температура охлаждающих газов будет низкая. В противном случае поверхность турбины будет охлаждаться нефтью. Диафрагмы надо делать из самого лучшего проводника тепла. Указать пределы высот и скоростей стратоплана без опытов мы пока не беремся. Считаем не лишним тут привести некоторые расчеты, доказывающие осуществимость, необычайную мощность этих моторов — при малом их удельном весе и ничтожном удельном объеме (компактность).

Для аэропланов можно, при винте малого диаметра, избежать передачи. Для дирижабля же (и вообще) удобнее прибегнуть к уменьшению угловой скорости (редуктор).

Предпочтительнее употребление турбинного (роторного) сжимателя, так как при нем получается огромное количество воздуха, нет смазки и можно поэтому достигнуть высшей степени сгущения, что особенно выгодно при окружающей плотной атмосфере, например, для дирижаблей.

Вот таблица, взятая из моего печатного труда («Давление на плоскость», 1930 г., стр. 4 и 5) *.

Сжатие	2	3	4	5	6	7	
Нагревание . . .	87	153	205	248	289	325	
Сжатие	8	9	10	11	36	212	1296
Нагревание . . .	358	388	418	459	923	2123	4527

Тут предполагается начальная нулевая температура воздуха. На высотах температура будет немного меньше.

Ясно, что поршневыми насосами сжатие не может быть больше 10—40. Насосы неудобны еще и потому, что в них неудобно охлаждать нагретый от сжатия воздух, между тем, как в сжимателях это превосходно достигается диафрагмами. Но и турбинкой нельзя прибегнуть к высокому сжатию, так как тогда работа вкачивания воздуха окажется велика, если не употребить охладителей.

Возьмем, например, мотор в две тысячи метрич[еских] сил (метрич[еская] сила равна $\frac{4}{3}$ л. с., или 100 кгм., или 0,1 тм). По моему расчету для этого нужно не менее 1 м³ воздуха («Реактивный Аэроплан», 1930 г., стр. 13) **. Конечно, при этом только идеальная машина выделит 2000 сил. Наши же, в низших слоях воздуха, не более 1000 м[етрических] сил.

По моим расчетам [«Давление»..., стр. 12] работа сжатия при постоянной температуре невелика. Но так как воздух сильно при

* Здесь и далее имеется в виду работа Циолковского «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Катуга, 1930. (Ред.).

** См. наст. книгу, стр. 375. (Ред.).

этом нагревается, то работа сжатия во много раз увеличивается. Правда, вся эта работа в турбине должна бы целиком возвращаться, но на практике часть ее все же теряется. Вот таблица работ.

Сжатие:					
2	3	4	5	10	100
Работа при постоянной температуре:					
13,9	16,5	18,4	20,0	26,2	46,5
Работа при нагревании:					
15,9	20,8	24,8	28,3	42,2	135,4

Так при десятикратном уплотнении воздуха, при начальной нулевой температуре и нормальной его плотности, требуется непрерывная работа в 26 метрических сил. А при естественном нагревании — 42 метрические силы. При стократном уплотнении нужно 47 и 135 сил. Это можно уделить от получаемых 1000 сил, тем более, что работа эта отчасти возвращается. Охлаждать сжатый воздух, однако, возможно, но это увеличивает сложность машины и ее вес.

Сильнее уплотнять воздух затруднительно. Если, например, будем уплотнять воздух в 1000 раз, то температура будет около 4000°. Охлаждение возможно, но произойдет сильное нагревание нефти (за неимением подходящих тугоплавких материалов).

Итак, мы сначала должны остановиться на умеренном сжатии в 10. Тогда и в карбюраторе будет 10 ат давления. Входящий в него сжатый воздух будет иметь только 418°, но сильно охладится нефтью при посредстве диафрагмы сжимателя. Потребная работа от 26 до 42 метрических сил. Работа вкачивания нефти незначительна и мы считать ее не будем.

На 1000 сил надо 1000 л воздуха. Сжатого до 10 ат потребуются 100 л. Сжатый кислород воздуха, соединившись химически с нефтью, нагреется, примерно, до 1000—2000°. Этот объем от нагревания увеличится при том же удешевленном давлении раз в 7, т. е. составит 700 л. Столько прибывает в карбюратор и столько же должно выходить из его отверстия в 1 сек (подвижное равновесие).

Итак, в 1 сек входит 100 л. Получается от нагревания и расширения 700 л. Избыток входит в коническую трубу 3. Скорость, под влиянием этого давления и данной температуры, будет около 1000 м/сек. Чтобы вышло 700 л со скоростью 1000 м/сек, вычислим отверстие по формуле: $S \cdot v = V$.

Отсюда $S = V : v$, т. е. 7 см². Диаметр круглого отверстия будет около 3 см. Положим, что газ расширится в 10 раз (атмосферное давление). Тогда его объем в 1 сек будет 7000 л, абсолютная температура понизится в 2,53 раза («Давление»..., стр. 4)

и будет $1800 : 2,53 = 710^\circ \text{K}$ или 437°C , т. е. большая часть энергии тепла обратится в движение.

Какой же объем газов пройдет в секунду через выходное отверстие турбины? Поступает в карбюратор 1 м^3 . Он дает при той же температуре горения более 1 м^3 . Поступает в 1 сек 1 м^3 . Если абсол[ютная] температура выходящего потока будет 710° , то получите около 3 м^3 газа при атмосферном давлении.

Положим, что скорость выходящих газов будет 400 м/сек . Какова же тогда будет площадь отверстия турбины? Имеем $S \cdot v = V$. Отсюда $S = V : v$. Получим, $0,0075 \text{ м}^2$. Диаметр будет $9,8 \text{ см}$. Но весь диск не используется. Используется, примерно, половина площади. Так что имеем $(\pi/4) \cdot D^2 \cdot 0,5 = 0,0075$, откуда $D = 13,8 \text{ см}$.

Следовательно, на $1000 \text{ м[етрических]}$ сил диаметр турбины составит около $13,8 \text{ см}$. Если разрежение и использование горючего меньше, то и выходной диаметр конуса, заключающего диски, будет меньше. При мощности в $100000 \text{ м[етрических]}$ сил воздуха будет поступать в 100 раз больше. Так что при атмосферном давлении диаметр турбины будет иметь только $1,38 \text{ м}$. Небольшой размер турбины обуславливает и ее небольшую массу.

Определим объем карбюратора на $1000 \text{ метри[ческих]}$ сил. В него поступает $0,1 \text{ м}^3$ сжатого воздуха, или 100 л . Такой объем и будет достаточен для него. Вес его при давлении в 10 ат будет около 1 кг . Вес карбюратора составит около 10 кг . На метрическую силу придется в 100 раз меньше, чем в авиационных двигателях. Но мы видим на чертеже еще коническую трубу, турбину, сжиматель, передачу, бак и пр. Это доводит вес машины до 50 кг и более. Все же она будет в десятки раз легче авиационных моторов. Увеличение мощности машин увеличивает во столько же раз их объем и вес.

Число оборотов зависит от числа подвижных дисков. Если один, то окружная скорость будет 1000 м/сек . Число оборотов при 4 м диаметра будет около 160 . Конечно, это невозможно. При 10 подвижных дисках скорость будет уже 100 , а число оборотов 16 . Это подходит близко к числу оборотов воздушного винта. Для дирижабля ее нужно уменьшить, по крайней мере, в 2 раза. Число дисков будет 20 . Но можно посредством цепи и зубчатых колес сделать вращение винта достаточно медленным.

Все эти расчеты и соображения только приближительны, как и вообще все первые соображения. Опыт и углубление дадут более точные выводы и, вероятно, более скромные.

Снаряды, приобретающие космические скорости на суше или воде*

1. Такие снаряды имеют большие преимущества перед теми, которые должны приобретать эту скорость на высоте, без связи с земными сооружениями. Именно:

А. Они могут пользоваться громадной электрической энергией, идущей извне (т. е. с земных неподвижных сооружений), как трамвай.

Б. В лежачих пушках можно пользоваться еще и упругостью подогреваемых электричеством газов.

В. Эти сооружения могут служить непрерывно для отправки множества снарядов за атмосферу.

Г. Для движения снаряда в трубе можно устроить в ней пустоту. Длинный путь снаряда, конечно, горизонтален или слегка наклонен и прилегает к почве, а не вздымается на высоту, как башня.

Д. Снаряды отправляются без большого запаса элементов взрывания.

Е. Во время пути они могут собирать понемногу с боков какие-нибудь полезные для них материалы.

Главная выгода — в получении любой энергии и большой космической скорости. Как использовать эту энергию — вопрос очень сложный.

2. Кроме того, такие приборы имеют и много недостатков сравнительно с реактивными. Последние представляют первую стадию, а другие — дальнейшую.

Вот каковы эти недостатки:

А. Особый путь (полотно, труба) до 1000 км длины и, понятно, очень дорогой.

Б. Побочные неподвижные источники энергии, как, например, генераторы электрического тока, компрессоры и другие.

* Впервые опубликовано в кн.: К. Э. Циолковский «Труды по ракетной технике». Оборонгиз, 1947. Рукопись статьи датирована декабрем 1933 г. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 93) (Ред.).

В. Длина снаряда от 40 до 400 м и более (при хорошей форме, разумеется), иначе получение космических скоростей невозможно.

Г. Снаряд еще в плотных слоях воздуха приобретает космическую скорость и потому испытывает большое сопротивление среды.

В общем, препятствие — в сложности, величине и дороговизне этих сооружений. Они возможны, когда люди более убедятся в осуществимости космических скоростей и несравнимых выгодах существования за атмосферой, вне Земли.

3. Большие скорости возможны только при условии удлиненности летящего илидвигающегося по земле снаряда. Пользуемся моим трудом «Давление на плоскость», стр. 27*. Приводим часть таблицы:

Секундные скорости, км						
1,2		1,5		1,8		2,4 3 4,5 6
Минимальные продолговатости снарядов:						
4		5		6		8 10 15 20

Можем принять для четырехкратной продолговатости скорость только 1 км/сек. Тогда получим таблицу:

Ск[орость]	...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Прод[олговатость]	...	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48

Если мы продолговатость еще увеличим, примерно вдвое, то будем иметь почти одно трение, и сопротивление от инерции тогда можно откинуть, как сравнительно малое.

4. В таком случае сопротивление от трения (Q_q) на единицу объема снаряда выразится

$$\frac{Q_q}{V} = \frac{15K_\eta \delta_1 F}{4K_V g x D^2} d \cdot v^2.$$

(См. мое [сочинение] «Сопротивление воздуха», формула 56)**. Не будем повторять разъяснение входящих сюда величин; заметим только, что: $K_\eta = 0,7$; $\delta_1 = 0,0084$; $K_V = 1$; $g = 9,8$; x есть продолговатость снаряда, D — диаметр наибольшего поперечного сечения, далее видим — плотность воздуха d и скорость снаряда v .

5. F есть переменное и выражается

$$F = 1 : \left\{ 1 + \ln \left(\frac{v}{l} \right) \right\},$$

где l есть длина снаряда, или $D \cdot x$ (см. формулу 19 «Сопротивления»).

* Имеется в виду работа Циолковского «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Калуга, 1930. (Ред.).

** Здесь и далее имеется в виду работа «Сопротивление воздуха и скорый поезд», 1927; K_η означает коэффициент сужения; K_V — коэффициент объема; δ_1 — толщина поверхностного слоя. (Ред.).

6. Теперь формулу (4) короче напишем так:

$$\frac{Q_q}{V} = A \cdot F \frac{d \cdot v^2}{x D^2}.$$

7. Тут

$$A = \frac{15K_{\eta} \cdot \delta_1}{4K_V \cdot g}.$$

По условию (4) $A = 0,00225$.

8. Положим еще: $v = 1000$, $D = 4$, $d = 0,0013$, $x = 100$, $l = x \cdot D = 400$, $F = \delta/\delta_1 = 0,5211$ (см. «Сопrotивление», стр. 12).
Теперь вычислим:

$$\frac{Q_q}{V} = 0,000001521 \cdot \frac{v^2}{x D^2} = 0,000095 \text{ тонны.}$$

Следоват[ельно], при скорости в 1 км/сек в самых плотных слоях атмосферы сопротивление на 1 м³ снаряда будет менее 0,1 кг*.

9. На основании предыдущих формул составим таблицу удельных сопротивлений, т. е. на 1 м³, в кг при разных скоростях (в км/сек).

$\frac{v}{F}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{Q_q}{V}$	0,521	0,383	0,331	0,303	0,283	0,270	0,254	0,250	0,243	0,237	0,231	0,227
	0,1	0,296	0,576	0,928	1,35	1,87	2,45	3,07	3,77	4,56	5,37	6,42

10. Чтобы получить секундную работу, надо это небольшое удельное сопротивление помножить на скорость:

$$L_s = \frac{Q_q}{V} \cdot v.$$

Получим удельную работу в метрич. лошади[иных] силах**.

$$L_{s_1} | 1,0 | 5,95 | 17,28 | 37,12 | 67,5 | 112,2 | 171,5 | 245,6 | 339,3 | 456,0 | 590,7 | 770,4$$

Если даже вместить источник энергии и мотор в самом снаряде, то в 1 м³ она найдет место до скорости в 8 км/сек (245,6).

11. Но полная мощность снаряда громадна, потому что пропорциональна объему.

$$N = \left(\frac{Q_q}{V} \right) \cdot v \cdot V = Q_q \cdot v.$$

* Расчет не учитывает важных явлений при больших скоростях полета и является лишь грубым приближением к сути процесса. (Ред.).

** Метрической лошадиной силой Циолковский обозначал величину, равную 100 кгм/сек. (Ред.).

12. По формуле (33) «Сопrotивления» получим

$$N = \frac{2K_{\eta}}{g} \cdot \delta_1 d F D v^3 = A_1 F D v^3.$$

13. Тут

$$A_1 = \frac{2K_{\eta}}{g} \cdot \delta_1 d.$$

14. При условиях (4) найдем $A_1 = 0,00000156$.

15. Таким образом, по формуле (12) и таблице (10) определим полную секундную мощность снаряда (при условиях 8).

16. Соединим все в одну таблицу, т. е. секундную скорость, в км; сопротивление среды, приходящееся на 1 м³ объема снаряда ($Q_q : V$), в кг; секундную работу в метрических силах, приходящуюся на 1 м³ ($\frac{Q_q}{V} \cdot v$). Сопротивление всего снаряда (Q_q) в тоннах и полную секундную мощность всего снаряда ($Q_q \cdot v$) в метр[ических] силах. $D = 4$, $x = 100$, $l = 400$, $V = D^2 \cdot l \cdot 0,5 = = 3200$.

Секундная скорость, км	1	2	3	4	5	6
$Q_q : V$	0,1	0,296	0,576	0,928	1,35	1,87
$[L_s] = (Q_q : V) \cdot v$	1	5,95	17,28	37,12	67,5	112,2
Q_q	0,251	0,753	1,422	2,322	3,414	4,685
$[N] = Q_q \cdot v$. . .	2512	15 060	42 670	92 870	170 680	281 100
Секундная скорость, км	7	8	9	10	11	12
$Q_q : V$	2,45	3,07	3,77	4,56	5,37	6,42
$[L_s] = (Q_q : V) \cdot v$	171,5	245,6	339,3	456,0	590,7	770,4
Q_q	6,14	7,69	9,42	11,40	13,44	16,04
$[N] = Q_q \cdot v$. . .	430 · [10 ³]	615 · [10 ³]	848 · [10 ³]	1140 · [10 ³]	1478 · [10 ³]	1925 · [10 ³]

Мощность выражена в метрич[еских] силах, но при скорости, большей 6 км/сек, — в тысячах метрических сил. Так, при скорости в 12 км/сек мощность доходит почти до двух миллионов метрических сил, а сопротивление — до 16 т.

17. Эту мощность можно сократить, если уменьшить размеры (D) снаряда по формуле (12). Сопротивление среды весьма незначительно в сравнении с силой, необходимой для ускорения снаряда. Положим, что средняя плотность снаряда равна 0,2. Объем вычислим по формуле (55) «Сопrotивления» в 2680 м³. Значит, масса снаряда будет 521,6 т. При ускорении в 100 м/сек² давление будет 52 167. Значит, даже при скорости в 12 км/сек сопротивление среды в 326 раз меньше.

18. Интересно вычислить, сколько же мы затрачиваем всего тоннометров работы на сопротивление воздуха. Работу на одоление инерции и приобретение скорости, конечно, считать не будем.

19. По формуле (33) «Сопротивления» имеем (считая одно трение): $Q_q = A_1 F D v^2$ (см. 11 и 12).

20. Или $Q_q = A_2 v^2$, где $A_2 = A_1 F D$.

21. Дифференциал затраченной на трение работы (L) будет: $dL = A_2 v^2 dS$, где S длина пути.

22. Но $dS = v dt$, где t есть время от начала движения, а $v = jt$. Полагаем ускорение (j) движения снаряда постоянным.

23. Тогда $dL = A_2 v^3 dt = A_2 j^3 t^3 dt$.

24. Интегрируя, получим

$$L = \frac{A_2}{4} \cdot j^3 t^4.$$

Или, на основании 22,

$$L = \frac{A_2 v^4}{4j}.$$

25. Отсюда видно, что при достижении одной и той же скорости выгодно большее ускорение j .

Но ускорение имеет пределы, так как при большом ускорении не только летчики, но и предметы могут пострадать. И малое ускорение не годится, так как путь будет чересчур длинен и дорог. При лежачем положении человека в воде можно принять ускорение во 100 м/сек^2 . Оно даст удесятеренную силу тяжести.

26. Примем старые условия (см. 4 и 8) и скорость в 12 км/сек . Для облегчения расчета формулу 24 представим в виде

$$L = A_2 v^3 \cdot \frac{v}{4j}.$$

Или, на основании формул (12) и (20), найдем

$$L = N \cdot \frac{v}{4j}.$$

27. Но N известно из табл. 16.

Взяв ее для скорости 12 км/сек и ускорения (j) в 100 м/сек^2 , вычислим

$$L = 192\,500 \text{ тм} \cdot \frac{12000}{400} = 5\,775\,000 \text{ тм}.$$

28. Одна метрич[еская] сила в сутки выделяет $86\,400$ метрич. сил, или 8640 тм .

Значит, наша работа выделяется одной метрич[еской] силой в течение 670 суток, или машиной в 670 сил в течение одних суток, или машиной в 1000 сил в течение 16 час .

29. Лучше всего сравнить эту работу с работой инерции снаряда. Она равна

$$L_i = \frac{v^2}{2g} \cdot M.$$

30. Масса * же зависит от объема снаряда и средней его плотности (d_c). По формуле (55) «Сопrotивления» имеем

$$V = \frac{2\pi}{15} \cdot K_V D^3 x.$$

31. Из этого и (29) найдем

$$L_i = \frac{\pi K_V}{15g} \cdot D^3 x d_c v^2.$$

32. Сравним эту работу инерции с работой сопротивления среды (см. 12). Получим

$$\frac{L_i}{N} = \frac{\pi K_V}{30K_n} \cdot \frac{D^3}{\delta_1} \cdot \frac{x}{d} \cdot \frac{d_c}{Fv}.$$

33. Даем таблицу для F при разных скоростях и при длине снаряда в 400 м (см. 5):

v	1	2	3	4	5	6
F	0,521	0,383	0,331	0,303	0,283	0,270
v	7	8	9	10	11	12
F	0,259	0,250	0,243	0,237	0,231	0,227

34. Вычислим, при условиях (4) и (8), при скорости в 1 км/сек и при $d_c = 0,2$, $L_i/N = 8440$, т. е. работа сопротивления совершенно ничтожна. Даже при скорости в 12 км/сек она будет в 703 раза меньше инерции. При больших D , x и d_c она будет еще меньше.

Зачем же мы боимся сопротивления атмосферы! Оно опасно и невозможно только для малопродолговатых тел, каковы аэропланы и дирижабли и, конечно, еще более автомобили и обычные поезда...

34 **. Но это еще не все. Мы выпускаем длинное тело плавной формы с секундной скоростью в 8—12 км. Не поглотит ли эту скорость дальнейшее сопротивление воздуха при полете снаряда через атмосферу? Этим мы сейчас займемся. Докажем истину (теорему): *работа прорезывания всей атмосферы, при отвесном движении снаряда, с постоянной скоростью такова, как*

* В данном случае, как видно из формулы (29), M обозначает не массу, а вес. (Ред.).

** Здесь Циолковским № 34 ошибочно повторен два раза. (Ред.).

будто вся атмосфера, при той же ее массе, имеет постоянную плотность, какая имеется, например, при уровне океана.

Эта плотность равна 0,00129. При такой постоянной плотности и известной массе атмосферы высота ее будет около 7800 м ($P_1 : d_1 = 7800$).

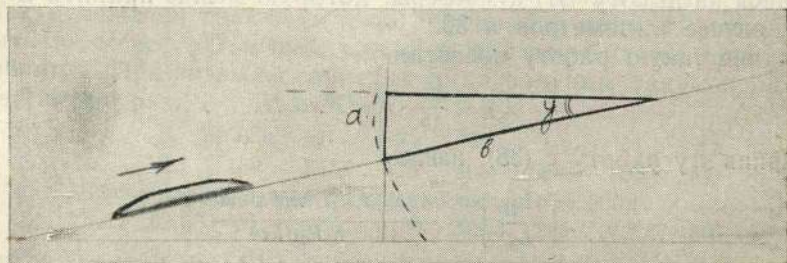
Действительно, будет ли какая-нибудь часть атмосферы разрежена или сгущена — работа прохождения ее снарядом останется та же. Пусть, например, где-нибудь атмосфера станет в 100 раз реже. Сопротивление будет в 100 раз слабее и работа от этого уменьшится в 100 раз, но она в то же время увеличится в 100 раз, потому что разреженный путь будет в 100 раз длиннее. Таким образом, она останется неизменной.

35. Можно допустить на практике постоянную скорость полета в атмосфере, потому что сопротивление среды, как увидим, совершенно ничтожно в сравнении с запасом живой силы ракеты (или кинетической ее энергией).

Гораздо более ослабляет скорость сила земной тяжести. Но и эта на незначительном протяжении плотной атмосферы (20—40 км) незаметна ввиду начальной космической скорости снаряда*.

36. В силу малого наклона движения ракеты к горизонту по твердой дороге путь ее не может быть отвесным: ведь он лежит на горах, общий наклон которых невелик. Значит, ракета имеет и далее наклонное движение. При этом, считая на небольшом протяжении ракетного пути Землю горизонтальной, дадим вторую истину (теорему): *работа рассечения атмосферы при наклонном движении снаряда обратна синусу наклона пути к горизонту.*

Так, при отвесном движении угол с горизонтом прямой и синус равен единице. Если же путь наклонный и синус равен, например, 0,1, то он в 10 раз меньше, а работа сопротивления будет в 10 раз больше. Это видно из следующего рисунка.



* Влияние атмосферы, как показывают современные исследования и опыты, оказывается более существенным. (Ред.)

Пусть отвесный (a) во столько раз меньше наклонного (b), во сколько a меньше b . Но это отношение равно синусу угла наклона (α).

37. По этим двум теоремам (34, 36) уже легко определить работу, поглощаемую атмосферой. Получим даже большую величину в силу ослабления скорости с поднятием: истинная работа одоления атмосферы меньше.

Для этого довольно сопротивление, по таблице 16 (Q_q), умножить на 7800 м. Например, при секундной скорости в 12 км получим $16 \cdot 7800 = 124800$ тм. 7800 есть частное от деления давления атмосферы у уровня океана на единицу площади (P_1) на плотность воздуха у того же уровня (d_1).

38. Так найдем общую формулу сопротивления всей атмосферы (см. формулу (33) «Сопротивления»), именно

$$L_a = \frac{\pi K_\gamma \delta_1 P_1 F d}{2g \cdot \sin \alpha d_1} \cdot v^2 D.$$

39. Сравним ее с работой сопротивления воздуха по твердой дороге (см. 24, 20 и 13). Получим

$$\left[\frac{L_a}{L} \right] = \frac{\pi P_1 j}{v^2 d_1 \sin \alpha}.$$

Значит, сравнительное сопротивление всей атмосферы тем меньше, чем больше начальная скорость выхода снаряда с дороги (v) и чем больше наклон к горизонту (α). Это отношение возрастает с ускорением снаряда по дороге (j).

40. Положим, например: $j = 100$; $v = 12000$; $\sin \alpha = 0,1$; $P_1 : d_1 = 7800$. Тогда вычислим для отношения: $0,1717 = 1 : 5,8$. Значит, работа рассеяния атмосферы почти в 6 раз будет меньше работы трения при движении по дороге.

41. Нечего говорить, что эта работа еще ничтожнее не только по отношению к кинетической энергии ракеты, но и по отношению к работе поднятия ракеты. Она равна массе ракеты (см. 30), умноженной на высоту (H) атмосферы, которую можно принять в данном случае километров в 30.

Получим такую работу поднятия

$$L_H = \frac{2\pi}{15} \cdot K_V D^3 x d_c H.$$

Сравнив эту работу с (38), найдем

$$\left[\frac{L_H}{L_a} \right] = \frac{4g K_V d_c d_1 D^2 x H \sin \alpha}{15 K_\gamma \delta_1 P_1 d F v^2}.$$

42. Но $P_1 : d_1 = H$. Положим еще, что $K_V = 1$. Тогда получим

$$\left[\frac{L_H}{L_a} \right] = \frac{4g d_c D^2 x \sin \alpha}{15 K_\gamma \delta_1 d F v^2}.$$

Значит, относительная величина работы тяжести увеличивается с уменьшением скорости, увеличением наклона и размеров корабля.

43. Примем условия (4), (8) и воспользуемся таблицей (33). Положим еще: $d_c = 0,2$; $\sin \alpha = 0,1$ и $v = 12\ 000$. Тогда по формуле увидим, что работа тяжести, несмотря на малый наклон и большую скорость, в 45,16 раза больше работы рассеяния атмосферы — при свободном в ней движении.

44. Ввиду сравнительно малого сопротивления воздуха и соответственно малой работы, можно продолговатость (x) снаряда уменьшить раза в два. Возможно уменьшить во столько же раз и его размеры. Тогда $D = 2\ м$; $x = 50$ и $l = 100\ м$.

Это уже гораздо осуществимее в отношении энергии и денежных расходов. Еще все будет возможнее при получении наибольшей скорости в 8 км/сек. Тогда продолговатость и размеры можно еще уменьшить вдвое. Найдем: $D = 1$; $x = 25$; $l = 50$. Такой диаметр маловат, но ведь главное в перемещении массы и перелет через атмосферу. За ней же можно развернуть свободные просторные жилища желаемых размеров. Там размеры в отношении сопротивления среды ничего не значат, так как этой среды нет.

45. Теперь обсудим длину твердого пути. Большое ускорение снаряда невозможно, потому что человек будет раздавлен. Малое — также, потому что твердый путь будет длинен и не хватит этого места на суше, да и дорого обойдется путь (S).

46. Принимая постоянное ускорение (j) снаряда, найдем: $S = v^2 : 2j$. Отсюда видно, что длина пути будет тем меньше, чем меньше скорость и больше ускорение. На основании предыдущего сопротивление воздуха можем не считать, работа же получения определенной скорости одна и та же, несмотря на ускорение, т. е. $\frac{M}{2g} \cdot v^2$. Тут и масса постоянна и ускорение от земной тяжести.

Неизвестно, какое наибольшее ускорение может выдержать человек в лежачем положении, погруженный в воду. Но можно принять не менее 100 м/сек², или в десять раз больше земного ускорения*. При разных скоростях тогда получим такую длину пути в километрах:

v	...	5	6	7	8	9	10	11	12
S	...	125	180	245	320	405	500	605	720
При ускорении вдвое большем вычислим ($j = 200$):									
S	...	62,5	90	122,5	160	202,5	225	302,5	360

При секундной скорости в 8 км путь будет от 320 до 160 км. При поднятии на 5 км по ровной горе наклон будет от 1:64 до

* Современные опыты показывают, что такие ускорения человек может переносить при погружении в жидкость в течение десятков секунд. (Ред.)

1 : 32. Синус угла будет от 0,0156 до 0,0313, а самый угол от одного до 2°.

47. Считаться с сопротивлением среды не приходится, но большая относительная тяжесть поезда требует его особой крепости, пропорциональной ускорению j . Так что с этой точки зрения выгодно было бы путь удлинить.

Лучшая передача энергии — с помощью электрического тока. Но как ее использовать, т. е. превратить в механическую работу. Никакие известные электродвигатели по своей тяжести сейчас не пригодны. С помощью эл[ектрического] тока легко получить высокую температуру и химическое разложение вещества. В тепловых двигателях это можно использовать, но самые эти моторы тяжелы. Возможно применение реактивных двигателей ракетного типа и использование электричества в качестве подогревателя охлажденных от расширения газов. Но и тут выгода не очень большая, так как температура подогревания не может быть очень велика, так как могут расплавиться проводящие газ трубы. Надо прежде этого искать тугоплавкие материалы и способы их обработки.

Наибольшая скорость ракеты*

Зависимость между скоростью ракеты и массой элементов взрыва

1. Мы подразумеваем простейшие формулы моего «Исследования» 1926 г., независимые от тяжести и сопротивления среды. Значение их приблизительное и имеет применение в следующих случаях:

- а) когда действие производится вне тяжести и в пустоте;
- б) когда прибор движется на горизонтальном пути и форма его удлиненная и очень хорошая;
- в) когда полет совершается в атмосфере почти горизонтально. Прибор мало уклоняется от горизонта благодаря быстроте движения и плоским крыльям.

Мы будем применять эти формулы и при движении снаряда с небольшим наклоном к горизонту — при его полете в воздухе.

2. Имеем

$$v = W \ln \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 + M} \right),$$

где даем скорость ракеты (v), ее массу со всем содержимым [M_1], кроме взрывчатых веществ, относительную скорость их отброса (W — она постоянная), полную его массу (M_2) и массу его оставшуюся (M), еще не сгоревшую, не выброшенную. Понятно, что v и M суть величины переменные, \ln означает натуральный логарифм.

3. Если положим во 2-й формуле $M = 0$, т. е. что весь запас вз[рывчатых] вещ[еств] сгорел, то получим наибольшую скорость ракеты

$$v_{\max} = W \ln \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right).$$

* Данная статья является X главой из неоконченной рукописи Циолковского «Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов». Написана она была в январе 1935 г. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 105). Впервые опубликована в кн. К. Э. Циолковский. «Труды по ракетной технике». М., Оборонгиз, 1947. (Ред.).

4. На основании этой формулы составим табл. 4 наибольших секундных скоростей ракеты (в м) в зависимости от полного сгоревшего запаса взрывчатого вещества и относительной скорости отброса.

Первый столбец показывает всю израсходованную массу взрывчатого вещества по отношению к массе ракеты (без взрывчатого вещества), последующие шесть — скорость ракеты в метрах при относительной скорости отброса в 1, 2, 3, 4, 5 и 6 км/сек. Теория показывает, что энергия взрывчатых веществ, имеющих сейчас в распоряжении человека, не может дать скорости продуктов взрыва большей 6 км/сек. Наконец, последний столбец указывает (в %) на то, какая часть полной энергии взрыва идет на движение ракеты. Как видно, процент этот сначала очень мал, потом, по мере увеличения относительного количества взрывчатых веществ, он возрастает, достигает максимума при запасе, близком к 4, достигая почти 65%, затем начинает падать до нуля, как с нуля начался. Между запасом 0,7 и 30 он очень приличен и больше 40%.

Абсолютные скорости ракеты достигают космических, достаточных не только для удаления от Земли, но и для вечного удаления от нашего Солнца и скитания среди солнц Млечного Пути.

5. Однако, на практике, и скорость отброса далеко пока не достигает 5—6 км/сек, да и запасов взрывания нельзя брать таких, какие требуются для получения космических скоростей — по крайней мере для одоления тяготения Солнца и блуждания среди звезд Млечного Пути.

Какие же скорости достижимы при самых скромных условиях и как, имея такие скорости, отыскать приемы для получения космических?

6. Нельзя целиком (100%) использовать тепловую энергию взрыва: вылетающие продукты не могут охладиться (через расширение) до абсолютного нуля и таким образом все тепло обратить в кинетическое движение газов. Беспредельному расширению газов и паров препятствует внешнее давление среды (например, атмосферное), а также ожидение и отверждение продуктов горения. Идеальному использованию химической энергии мешают еще ограниченные размеры трубы. От этого скорость отброса будет меньше, чем вычислено в табл. 4.

7. Последующая таблица это выразит:

50%	60%	70%	80%	90%	100%
0,707	0,775	0,837	0,894	0,949	1,000

Первая строка показывает использование теплоты горения в процентах или величину относительного превращения ее в кинетическую энергию (движение отброса), вторая — уменьшение скорости ракеты, пропорциональное уменьшению скорости отбро-

Скорости ракеты (в м/сек)

Это скорости — при полном использовании тепловой энергии химического соединения для кинетического движения отброса и ракеты (см. 1).

Отноше- ние массы отброса к массе ракеты	Относительная секундная скорость отброса, км/сек						Процент использо- вания
	1	2	3	4	5	6	
0,1	94,5	189	283,5	378	472,5	567	8,9
0,2	182,0	364	546	728	910	1092	16,5
0,3	262	524	786	1048	1310	1572	22,9
0,4	336	672	1008	1344	1680	2016	28,2
0,5	405	810	1215	1620	2025	2430	32,8
0,6	469	938	1407	1876	2345	2814	36,7
0,7	529	1058	1587	2116	2645	3174	40,0
0,8	586	1172	1758	2344	2930	3516	42,9
0,9	642	1284	1926	2508	3210	3852	45,8
1,0	693	1386	2079	2772	3465	4158	48,0
1,2	788	1576	2364	3152	3940	4728	51,8
1,5	915	1830	2745	3660	4575	5490	55,8
2,0	1098	2186	3294	4392	5490	6588	60,3
2,5	1253	2506	3759	5012	6265	7518	62,0
3	1380	2760	4140	5520	6900	8280	63,5
4	1609	3218	4827	6436	8045	9654	64,7
5	1792	3584	5376	7168	8960	10752	64,1
6	1946	3892	5838	7784	9730	11676	63,0
7	2079	4158	6237	8316	10395	12474	61,7
8	2197	4394	6591	8788	10985	13182	60,5
9	2303	4606	6909	9212	11515	13818	58,9
10	2398	4796	7194	9592	11990	14388	57,6
15	2773	5546	8319	11092	13865	16638	51,2
20	3044	6088	9132	12176	15220	18264	46,3
30	3434	6848	10302	13736	17170	20604	39,3
40	3714	7428	11142	15856	18570	22284	34,4
50	4480	8960	13440	17920	22400	26880	31,6
100	5256	10512	15768	21040	26280	31536	21,0
193	6007,6	12015,2	18022,8	24032	30038	36045,6	14,4
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

са. Если тепловая или механическая работа уменьшается, например, в 9 раз, то скорость уменьшается в 3 раза. На этом основании и составлена табл. 4. Надо числа табл. 4 умножить на одну из дробей второй строки, чтобы получить истинную наибольшую скорость ракеты, сообразную проценту использования теплоты взрыва.

8. Применим это к составлению новой таблицы, предполагая 70% использования тепла и относительную скорость продуктов в 4 км/сек. Последняя, конечно, зависит и от рода взрывчатых материалов. Найдем

0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1356	2320	3063	3677	4620	5387	6000	6515	6960	7356	7710	8028

Первая строка есть относительное количество взрывчатых веществ, вторая — соответствующая максимальная скорость ракеты. Как видно, при десятикратном запасе она достаточна для образования спутника поблизости Земли за ее атмосферой.

9. Еще более подробную таблицу даем на ту же тему.

Таблица 9

Табл[ица] скоростей при разном использовании теплоты горения и полном расходе взр[ывчатых] вещ[еств]

Относительный запас взрывчатых веществ	Скор[ость] продукт[ов] = = 2000 м/сек			Скор[ость] продукт[ов] = = 3000 м/сек			Скор[ость] продукт[ов] = = 4000 м/сек		
	Процент утил[изации] тепла]			Процент утил[изации] тепла]			Процент утил[изации] тепла]		
	50	60	70	50	60	70	50	60	70
	Окончательная скорость ракеты, м/сек								
0,3	370	406	439	556	609	658	741	812	872
0,5	573	628	678	859	942	1017	1145	1255	1356
0,7	748	820	885	1122	1230	1328	1496	1640	1771
1	980	1074	1160	1450	1611	1740	1946	2151	2320
2	1545	1694	1830	2329	2553	2744	3105	3404	3676
3	1951	2139	2310	2927	3208	3465	3903	4278	4620
4	2275	2494	2693	3414	3741	4040	4550	4988	5387
5	2534	2778	3000	3801	4166	4500	5068	5555	6000
6	2752	3016	3258	4127	4524	4886	5503	6033	6524
7	2940	3222	3480	4410	4834	5220	5879	6445	6960
8	3107	3405	3678	4660	5108	5517	6213	6811	7355
9	3256	3570	3855	4885	5354	5783	6513	7139	7710
10	3391	3717	4014	5086	5575	6021	6781	7434	8028

Первая строка показывает на скорость продуктов взрыва (от 2 до 4 км/сек), вторая — утилизацию тепла в процентах, последующие — окончательную скорость ракеты после уничтожения всего запаса взрывчатого вещества, первый столбец — запас их по отношению к весу ракеты. Как видно, практическая скорость едва достаточна для роли близкого земного спутника.

Но мы сейчас укажем на иные приемы получения гораздо больших скоростей ракеты. Они состоят в том, чтобы отправляться в путь несколькими одинаковым и скромным (по скорости) ракетами. Они, кроме последней, расходуют только половину взятого запаса взрывчатого вещества, а остальной половиной снабжают друг друга. Только последняя ракета приобретает наибольшую скорость. Остальные освободившиеся от запаса снаряды планированием спускаются на землю.

Скорость ракеты при неполном сгорании запаса

10. Положим в формуле (2) $M = M_2 - M'$, т. е. мы выражаем, что масса оставшегося взрывчатого вещества равна его полному количеству без сгоревшего или выброшенного.

11. Тогда получим

$$v = W \cdot \ln \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 + M_2 - M'} \right).$$

12. Преобразовывая, найдем

$$v = W \cdot \ln \left(\frac{1 + \frac{M_2}{M_1}}{1 + \frac{M_2}{M_1} - \frac{M'}{M_2} \cdot \frac{M_2}{M_1}} \right).$$

13. Положив $\frac{M_2}{M_1} = x$ и $\frac{M'}{M_2} = y$, получим

$$v = W \cdot \ln \left\{ \frac{1 + x}{1 + x(1 - y)} \right\}.$$

14. Положим, что сгоревшая часть $y = 0,5$. Тогда найдем

$$v = W \cdot \ln \left(\frac{1 + x}{1 + 0,5x} \right).$$

Из формулы видно, что скорость ракеты не возрастает безгранично при бесконечно большом запасе (x) взрывчатых веществ, а имеет предел. Действительно, положим, что $x = \infty$, тогда $v = W \cdot \ln 2 = W \cdot 0,693$. Если, например, $W = 3000$, то скорость ракеты = 2079 м/сек, несмотря на бесконечный запас отброса (x). Отсюда видно, что нет большой выгоды при половинном сжигании запаса в большой его величине.

15. По этой формуле составим табл. 15, которая это еще подтверждает.

В ней узнаем скорость ракеты (в м/сек), когда истребляется только 0,5 всего взрывчатого материала; x есть полный запас.

Таблица 15

W/скорость отброса, м/сек	x [запас]					
	0,1	0,3	0,5	1	2	3
1000	46	122	182	287	405	470
2000	93	245	365	575	810	940
3000	139	368	547	863	1215	1410
4000	186	490	729	1150	1620	1880
5000	232	613	911	1438	2024	2350
6000	279	736	1094	1726	2429	2820

W/скорость отброса, м/сек	x [запас]						
	4	5	6	7	8	9	10
1000	511	539	567	573	588	598	606
2000	1023	1078	1134	1146	1176	1196	1212
3000	1534	1617	1701	1719	1764	1794	1818
4000	2046	2156	2268	2292	2352	2392	2424
5000	2557	2695	2835	2865	2940	2990	3030
6000	3068	3234	3402	3438	3528	3588	3636

[Имеем в виду] идеальное обращение теплоты в движение отброса и ракеты.

Первая строка означает полный относительный запас взрывчатых веществ, первый столбец — относительную скорость отброса. Приняв ее даже в 2000 м/сек, видим из таблицы, что скорость ракеты, при полном запасе в 4 и половинном его израсходовании (2), достигает 1023 м/сек. При полном запасе в 2 и израсходовании половины его (1) получается скорость ракеты в 1215 м/сек, если относительная скорость отброса составляет 3000 м/сек.

**Скорость,
достигаемая одной ракетой
при помощи вспомогательных**

16. Сейчас увидим, какой смысл имеет ограниченное расходование взрывчатых веществ в деле достижения космических скоростей.

17. Пусть имеем много совершенно одинаковых ракет с запасом каждая в 1. Пусть каждая расходует половину этого запаса. Скорость отброса пусть равна у всех ракет 4000 м/сек.

С помощью эскадры этих ракет, путем переливания запасов взрыва, мы можем получить высшие скорости, которых одна ракета получить не может. Переливание, например, бензина из одного аэроплана в другой вещь не только возможная, но и бывающая, как один из трюков самолетного летания.

18. Положим, что летит одна ракета. По табл. 4 (формула 3) ее наибольшая скорость будет 2772 м/сек.

19. Пусть теперь летят одновременно и рядом (близко) две таких ракеты. Пусть обе расходуют сначала половину своих взрывчатых веществ. Тогда они приобретут скорость в 1150 м/сек (см. 15).

Одна из ракет переливает несгоревший еще запас (0,5) в другую, а сама планирует на землю. Вторая, теперь уже при полном запасе (1), получает прибавочную скорость в 2772 м/сек, а всего 3922 (1150 + 2772) м/сек.

20. Теперь, положим, летят 4 ракеты. Когда все израсходуют половину запаса, то они все, летя рядом, получают одинаковую скорость в 1150 м/сек. Но две из этих ракет пополняют запас остальных двух, а сами, без запаса, планируют на землю. Тогда две оставшиеся в воздухе летят дальше и расходуют опять половину запаса. Благодаря этому они будут иметь скорость в 2300 м/сек (1150 + 1150). Одна из них после этого пополняет запас другой и приземляется. Последняя, с полным запасом, израсходуя его весь, получает еще прибавочную скорость в 2772, а всего 5072 м/сек (1150 + 1150 + 2772). После этого ей придется приземлиться планированием.

21. Так, составим таблицу скоростей последней из оставшихся в воздухе ракет в зависимости от числа их. Полагаем: $W = 4000$ и запас = 1.

Число ракет	1	2	4	8
Ск[орость] последней	2772	3922	5072	6222
Число ракет	16	32	64	128
Ск[орость] последней	7372	8522	9672	10822
Число ракет	256	512	1024	2048
Ск[орость] последней	11 972	13 122	14 272	15 422
Число ракет	4096	8192	16 384	
Ск[орость] последней	16 572	17 722	18 872	

22. В первой строке этой таблицы показано число одинаковых ракет, участвующих в достижении высшей скорости одной ракеты, во второй — скорость этой последней (в м/сек).

23. Первая космическая скорость достигается уже при 32 ракетах. Для удаления на орбиту Земли надо уже 256 ракет, а для удаления от планет и Солнца требуется уже 4096 ракет.

24. Главное — залететь за атмосферу Земли и «укрепиться» там в качестве ее спутника. Дальнейшее увеличение скорости можно достигнуть другими способами и гораздо легче, чем на Земле. Все же число ракет чрезмерно велико.

25. Но у нас есть возможность взять больший запас взрывчатых веществ, например в 4. Тогда, при скромной скорости отброса в 3000 м/сек, скорость ракеты при половинном расходе составит 1534 м/сек (см. табл. 15). Полная же скорость — 4827 м/сек (табл. 4). Этого достаточно, чтобы предложить новую таблицу:

Число ракет	1	2	4	8	16
Скор[ость] последней . . .	4827	6361	7895	9429	10 962
Число ракет	32	64	128	256	512
Скор[ость] последней . . .	12 497	14 031	15 565	17 099	18 633

Тут для блуждания среди солнц Млечного Пути довольно 256 ракет. Положение спутника Земли достигается при 4 ракетах, а спутника Солнца — при 16 ракетах.

26. Скорость отброса может быть больше 3 км/сек, и тогда для достижения космических скоростей нужно будет меньшее число ракет.

27. Можем вывести общую формулу скорости последней ракеты в зависимости от числа их, скорости отброса (W) и относительного запаса взрывчатых веществ. Число ракет означим через 2^n . Тогда скорость одной ракеты будет (см. 3):

$$v = W \ln(1 + x),$$

где x есть полный относительный запас взрывчатых веществ. При числе же ракет 2^n скорость последней составит (см. формулу 14):

$$W \ln(1 + x) + n \cdot W \cdot \ln\left(\frac{1 + x}{1 + 0,5x}\right) = W \{(n + 1) \cdot \ln(1 + x) - n \cdot \ln(1 + 0,5x)\}.$$

28. Второй член первой части имеет предел, как бы ни было велико x , или относительный запас взрывчатых веществ (см. 14). Он равен $n \cdot W \cdot 0,693$. Но все же он способен беспредельно возрастать при увеличении n или числа ракет 2^n . Но первый член возрастает неограниченно по мере увеличения x , или относительного запаса взр[ывчатых] веществ. Таким образом надо, по возможности, увеличивать и x и n .

29. Если и нельзя много увеличивать запас (x) взрывчатых веществ и относительную скорость продуктов горения (W), то число ракет (2^n) в нашем распоряжении, а потому и величина скорости последней из групп участвующих ракет.

30. Практика показала, что вещественное сообщение между двумя аэропланами, движущимися с одинаковой скоростью, вполне возможно. Производилась передача горючего из одного самолета в другой. Надо только выработать наиболее для того ловкий прием. В нашем деле работа сложнее, так как приходится передавать особо два отдельных элемента: углеводороды (горючее) и кислородное соединение. Это можно делать разными способами, например:

А. Переливанием через трубку, соединяющую два летательных прибора.

Б. Передачею баков с элементами взрывания.

В. Стрелянием струи элемента в заднюю часть впереди летящего прибора (спринцовка, пожарный насос).

Какой из этих или других приемов окажется лучше, покажет упражнение и опыт.

Практический путь

31. Начать дело придется с самых несовершенных и слабых реактивных аэропланов. Сначала выучимся летать на одном. Скорость отброса надо положить самую малую, например, в 2000 м/сек, запас взр[ывчатых] веществ в единицу. Таблица 4 укажет нам наибольшую секундную скорость в 1386 м. Такой ракетоплан может лететь горизонтально или наклонно. Не считая сопротивления воздуха, он мог бы при этой скорости подняться на высоту 96 км. Но, в силу сопротивления среды и некоторой оставшейся скорости, такой высоты он не достигнет, а подыметя, примерно, на 50 км. Оттуда, лишившись элементов взрыва, он спускается уже планированием на твердую или жидкую поверхность планеты.

Так как наибольшая достижимая этим скромным ракетопланом скорость не превысит 1 км/сек, то продолговатость может быть не очень большой.

32. Даем тут необходимую продолговатость ракетоплана в зависимости от наибольшей достигнутой им скорости (см. мое [сочинение] «Давление», 1930 г.)*.

v	1	2	3	4	5	6	7	8	
λ	4	8	12	16	20	24	28	32	
v	9	10	11	12	13	14	15	16	17
λ	36	40	44	48	52	56	60	64	68

Первая строка указывает на секундную скорость прибора (в км), а вторая — необходимую наименьшую его продолговатость

* Циолковский имеет в виду работу «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Калуга, 1930. (Ред.).

при хорошей, конечно, форме. Из таблицы видно, что первая скромная ракета может ограничиться продолговатостью в 4. Если продолговатость будет меньше указанной в таблице, то как бы ни был разрежен окружающий воздух, он сгущается перед кормой прибора до такой степени, что представляет как бы стальную стену.

33. Так как скорость большая, примерно 5 км/сек , достигается уже за атмосферой, то продолговатость и вообще не будет, по таблице, превышать 20.

34. Научившись хорошо управлять одним ракетопланом с продолговатостью в 4, приступим к постройке двух одинаковых ракет, с большой продолговатостью. Тут уж начнем упражняться в переливании элементов взрыва из одного ракетоплана в другой. Затем перейдем к группе из четырех ракет с еще более увеличенной продолговатостью, далее — к группе из восьми ракет и т. д. Вместе с тем приборы будут совершенствоваться, например, будет увеличиваться и относительный запас взрывчатых элементов и скорость сгоревшего отброса.

35. Пока мы предложим скромную таблицу скоростей ракетопланов, в зависимости от числа их, предполагая, что скорость отброса 2000 м/сек , а запас взрывчатого вещества равен единице.

Прибавим к таблице и требуемую наименьшую продолговатость группы равных ракетопланов.

Пользуемся таблицами 4 и 15.

Число ракет . .	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
v	1386	1961	2536	3111	3686	4271	4846	5421	5996	6571
λ	5	8	10	12	14	16	20	22	24	26
Выс[ота подня- тия]	95	192	320	484	680	910	1170	1470	1800	2160

Первая строка указывает на число ракет в группе, вторая — на максимальную скорость, третья — на продолговатость каждого члена группы, четвертая — на максимальную высоту поднятия в кило[етрах] при израсходовании всей скорости.

На практике, конечно, достигнем этого лишь в половину. При группе в 8 или 16 ракетопланов, возможно, зайдём за пределы атмосферы, где продолговатость уже не имеет значения. Так что она не будет превышать 12—14. Значит, снаряд, имеющий в наибольшем поперечнике 2 м , будет иметь в длину не более 24—28 м .

36. Но мы надеемся на получение во время этих упражнений или ранее скорости отброса, большей 2 км/сек , так как крайний предел ее 6 км/сек . Запас также может перейти от единицы к 5 и более. Тогда и при небольших эскадрах одинаковых и не очень продолговатых ракетопланов получим космические скорости.

37. Как предел успехов представим себе, что скорость отброса равна 6 км/сек, а запас взрывчатого вещества — 10. Получим на тех же основаниях (4 и 15) следующую таблицу:

Число [ракет] .	1	2	4	8	16
v	14 388	18 024	21 660	25 296	28 932

Тут не приходится даже говорить ни о высоте, ни о продолговатости. И одна ракета и группа быстро залетают за атмосферу, не имея в ней и 2 км/сек скорости. Так что продолговатость в 8 вполне достаточна для всех ракет предельного успеха.

38. Но надеяться на такой успех мы пока не можем. Это — ограниченный множеством побочных условий теоретический вывод.

Цель нового приема

Цель этой главы — указать на приемы, посредством которых и при крайнем несовершенстве одного ракетоплана можно с помощью нескольких таких же получить космические скорости, достаточные не только для завоевания солнечной энергии, но и для путешествия между другими солнцами в пределах нашего Млечного Пути. Прием этот состоит в использовании группы ракетопланов, в переливании элементов взрыва для подкрепления в силах одного последнего ракетоплана, который и получает высшую космическую скорость.

39. Мы ранее предлагали для той же цели земные искусственные дороги и ракетные поезда. Это возможно и правильно, но в настоящее время неприменимо по своей дороговизне и другим причинам.

40. Еще менее применимы — лежащие на земле «пушки», т. е. те же особенным образом устроенные пути, но еще более дорогие. Все эти поезда, дороги и «пушки» найдут применение в отдаленном будущем, когда значение межпланетных путешествий возрастет, более обратит на себя внимание человечества, более возбудит доверия и реальных надежд и тем вызовет расходы и жертвы даже большие, чем какие идут на все остальные потребности людей.

41. Прием же группы первых слабых машин и переливание взрывчатых веществ гораздо доступнее для состояния умов современного человечества. Уже один ракетоплан побудит к последующему опыту с двумя одинаковыми и несовершенными приборами.

Сами по себе они ценны, т. е. и в одиночку могут служить народам. Опыты с несколькими ракетопланами будут производиться, между прочим, как интересные трюки. Но эти трюки приведут неизбежно к получению космических скоростей.

Итак, основа этого успеха — получение первого, хотя бы и плохого ракетоплана. Построение таких же одинаковых снарядов двинет дело увеличения скоростей, которому как бы нет предела.

42. В предыдущих главах* мы дали основания для создания отдельных ракетопланов. Конечно, чем полученный ракетоплан будет совершеннее, тем и результаты опытов с их группами будут выше при том же числе употребленных летательных приборов в группе.

Скорость вылета продуктов взрыва

43. Обратимся же еще к отдельному одинокому ракетоплану. Огромное значение имеет скорость вылета продуктов взрыва. От чего же она зависит? В ранее написанной главе «Выбор взрывчатых элементов» мы дали таблицы идеальных наибольших скоростей вылета продуктов взрывания. Они осуществляются почти целиком при следующих совместных условиях.

А. Когда продукты горения газообразны или очень летучи.

Б. Когда не имеется внешнего давления, препятствующего расширению газообразных продуктов.

В. Когда труба для течения отбросов весьма длинна.

Г. Когда она не очень расширяется к выходу, т. е. не очень уклоняется от цилиндрической.

Д. Когда нет потери тепла от теплопроводности и лучеиспускания.

Е. Когда диаметр трубы настолько велик, что можно пренебречь трением газов о внутренние стенки трубы.

44. Все эти условия не могут соблюдаться в полной мере на практике. Укажем на некоторые уклонения.

А. Снаряд обыкновенно небольших размеров. Поэтому труба коротка. Чтобы лучше использовать расширение газов и переход тепла в их движение, нужно делать трубу конической. От этого отдача ослабится, ибо [поток] будет расходиться в стороны.

Б. Внешнее давление устраняется только в пустоте, при поднятии за атмосферу, или при скорости, большей 300—500 м/сек, когда у тупой кормовой части ракеты образуется пустота от быстроты движения. Корма ракеты вообще суживается. Но часть ее, где выходит взрывная труба (раструб), поневоле тупа. Тут и образовалось бы разреженное воздушное пространство. (Но оно, конечно, заполняется вылетающими продуктами взрыва.)

В. Вследствие ограниченных размеров взрывной трубы и некоторого внешнего давления вытекающие газы не успеют охладиться до абсолютного нуля и сохраняют еще некоторое количество энергии в зависимости от степени их расширения. Таким

* Имеются в виду главы рукописной работы «Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов» (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 101—104, 107—109, 111, 117). (Ред.).

образом, не вся энергия тепла горения превращается в движение газовых струй. От этого неполного использования тепла скорость продуктов, показанная в таблицах, на практике будет меньше. Если, например, по роду взрывчатых веществ, мы видим в таблице [скорость] 5000 м/сек, то при потере тепла она окажется меньше.

45. Предлагаемая последующая таблица принимает это во внимание.

Скорость ракеты по израсходованию 0,5 запаса взр[ывчатых] вещ[еств] и при использовании теплоты горения в 50, 60 и 70%

Полный запас взрыв. веществ	Запас израсходованный	Скорость продуктов взрывания (идеальная)								
		2 км/сек			3 км/сек			4 км/сек		
		50	60	70	50	60	70	50	60	70
Процент утилиза-ции] тепла	Скор[ость] продук-т[ов взрывания]	141,4	155,0	167,4	212,1	232,5	251,1	282,8	310,0	334,8
0,3	0,15	173	190	205	260	285	308	347	380	410
0,5	0,25	258	290	305	387	424	458	515	565	610
0,7	0,35	326	357	386	489	536	579	652	715	772
1	0,5	407	446	481	610	669	722	813	892	963
2	1,0	571	620	678	850	942	1017	1145	1255	1355
3	1,5	665	729	787	996	1093	1180	1329	1457	1574
4	2,0	723	733	856	1084	1189	1284	1446	1585	1712
5	2,5	762	835	902	1143	1253	1353	1525	1671	1805
6	3,0	800	877	947	1199	1315	1420	1600	1753	1894
7	3,5	815	892	963	1225	1338	1446	1627	1783	1926
8	4,0	831	911	984	1246	1367	1476	1663	1822	1968
9	4,5	846	927	1001	1268	1390	1497	1691	1853	2002
10	5,0	858	940	1015	1285	1409	1522	1714	1879	2029

Первая горизонтальная строка показывает идеальную скорость продуктов, зависящую только от химической энергии соединения их составных частей. Здесь мы даем скорость от двух до 4 км/сек, хотя она может достигать и 6 км/сек. Вторая — указывает (в %) на использование теплоты горения, в зависимости, конечно, от температуры вылетающих из устья трубы газов.

Первый столбец содержит полный относительный запас элементов взрыва: от 0,3 до 10.

Второй — половинный его расход для получения скорости. Наконец, на пересечении строк видим величину скоростей (в м/сек) при половинном расходе основного взрыва.

Все это очень умеренные и осуществимые условия.

Из таблиц видно, что скорость ракетоплана достигает 2029 м/сек при истреблении только половины запаса взрывчатых веществ.

Применение реактивных приборов к исследованию стратосферы*

От стратостатов трудно ожидать много более того, что они дали. Может быть высота их полета достигнет 25—30 км, но никак не более. Их дороговизна, редкая возможность использования и риск для людей и целостности аппарата заставят скоро от них отказаться, по крайней мере, для изучения высот более 30 км. Дороговизна их — от громадных размеров, риск — от поразительно тонкой оболочки и нежности устройства, редкость использования — вследствие необходимости подходящей тихой погоды и полного штиля. Такая погода бывает 3—4 раза в году.

Реактивный прибор совсем не имеет этих недостатков. Кроме того, высота их подъема теоретически неограничена.

Ракетные машины могут быть двух главных сортов: пороховые, с готовыми взрывчатыми веществами, и реактивные самолеты с жидким горючим и отделенным от него жидким кислородным соединением, заменяющим газообразный кислород воздуха. Последним неудобно воспользоваться, вследствие крайнего разрежения атмосферы на высотах. Запасенный же жидкий кислород делает реактивный прибор независимым от высоты поднятия; это поднятие может заходить даже за пределы атмосферы. Реактивное действие или отдача также освобождает нас от атмосферной зависимости: отдача будет даже сильнее в разреженном воздухе и особенно в пустоте.

Пороховые машины (ракеты) более применимы к изучению стратосферы небольшими приборами без людей: они несут с собою самописцы или автографы, которые регистрируют давление воздуха, его температуру, влажность, состав, силу космических лучей и проч. Когда весь пороховой заряд израсходуется, то автоматически разворачивается парашют и прибор спускается на землю. Во время этого опускания довольно медленного и следует работать самописцам. Преимущество тут — большая высота подъема, недостаток же — риск полома при падении и ветряной погоде. Впрочем, последнему подвергаются и баллоны — зонды.

* Публикуется впервые по неоконченной рукописи, датированной 27 февр. 1935 г. (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 106). (Ред.).

Применение пороховых машин к подъему человека или к аэроплану чрезвычайно рискованно, так как возможен одновременный взрыв всего запаса взрывчатого вещества и гибель от того пилота. Не только в полете ракеты, но и в движении реактивным путем автомобилей, глиссеров и дрезин подтвердилась возможность взрыва. Было уже несколько смертей и много несчастных случаев.

Перейдем к ракетоплану с отдельными элементами взрыва. Этот прибор имеет следующие недостатки.

1. Он обременяется кислородным соединением, заменяющим атмосферный кислород, причем вес его раза в 3—4 превышает вес горючего.

2. Он хорошо использует энергию горючего только при скоростях ракетоплана, близких к одному или нескольким километрам в секунду. Поэтому в начале движения энергия взрыва используется слабо и ему нужно быстро подняться на высоту и здесь приобрести большую скорость, чтобы прилично использовать оставшуюся энергию горения. Все это пока в зачаточном состоянии или составляет военную тайну.

Мы можем еще прибавить, что все эти реактивные летательные машины, как и стратостат, для охраны исследователей, имеют замкнутую камеру, предохраняющую их от разреженного воздуха, с искусственной внутри атмосферой. Тогда кругом может быть 1 мм давления, даже пустота, а мы — нуль внимания, т. е. чувствуем себя так же хорошо, как и в своем кабинете.

Закрытые или изолированные помещения могут быть заменены предохраняющей одеждой. Но пока эта одежда не доведена до ее практической годности. Однако это скоро будет.

Что же касается будущности реактивных приборов, то относительно ее можно привести слова знаменитого математика, изобретателя логарифмов, который сказал: ракету ждут великие применения. А величайшему из мудрецов, Ньютону, приписывают даже изобретение реактивного парового автомобиля. Он же писал, что нет ничего невозможного в путешествии среди небесных тел, за земной атмосферой.

Невозможно перечислить множество лиц, которые теперь теоретически и экспериментально занимаются реактивными машинами и приложением их к изучению стратосферы и межпланетным полетам.

Таковы: Циолковский (с 1903 года), Годдард, Оберт, Энопельтри, Гоманн, Вебер, Валье (жертва), Лорен, Ладеман, Макс Валье, Цандер (умер), Королев, Клейменов, Тихомиров, Рынин, Шершевский, Ветчинкин и другие, им же нет числа....

**Аннотированная библиография
рукописных и печатных трудов К. Э. Циолковского,
опубликованных при его жизни,
по вопросам реактивных летательных аппаратов
и межпланетных сообщений**

(Составил Б. Н. Воробьев)

1. [Отрывки вычислений и чертежи по астрономии] (Архив АН СССР, ф. 555, оп. 1, д. 28) *. Автограф. 1878 г., 17 л.

Наиболее ранние записи Циолковского по вопросам межпланетных сообщений, сделанные им в июле 1878 г. на девяти отдельных листах. На одном из них вычерчена весьма тщательно планета Сатурн с ее кольцами и тут же нарисована небольшая планета или астероид. На ней изображен человек, очутившийся в «мире без тяжести», вокруг него висящие в пространстве предметы обстановки — стулья, столы и надпись: «Рязань, 1878 г. 8 июля, Воскресенье. Чертил К. Циолковский». И далее: «С этого времени начал составлять астрономические чертежи».

2. Юношеские работы. (Некоторая иллюстрация к «Грезам») (оп. 1, д. 29). Чертежи с пояснениями к ним. Автограф, 1879 г., февраль 1923 г., 22 л.

Живя в Рязани с лета 1878 г. до января 1880 г., Циолковский продолжал разрабатывать вопросы межпланетных сообщений.

Для изучения действия ускорения силы тяжести он делал опыты на мелких подопытных животных и насекомых. Для этих опытов он построил колесную машину. Эскизы ее колеса сохранились на одном из девяти описанных выше листков 1878 г. Тетрадка (датирована на предпоследней странице «30 апреля 1879 г. Понедельник») служила ему для набросков устройств и схем дальнейших опытов, вычислений и кратких записей. Она сохранялась у него в течение почти 43 лет до февраля 1923 г., когда он послал ее в Ленинград Я. И. Перельману. На ее обложке он сделал надпись:

«Относится к 1879 году (автору было 21 год). К. Циолковский».

Ниже: «Юношеские работы (некоторая иллюстрация к «Грезам»)» **.

Послано Я. И. Перельману от К. Циолковского в 1923 г. 31 янв.».

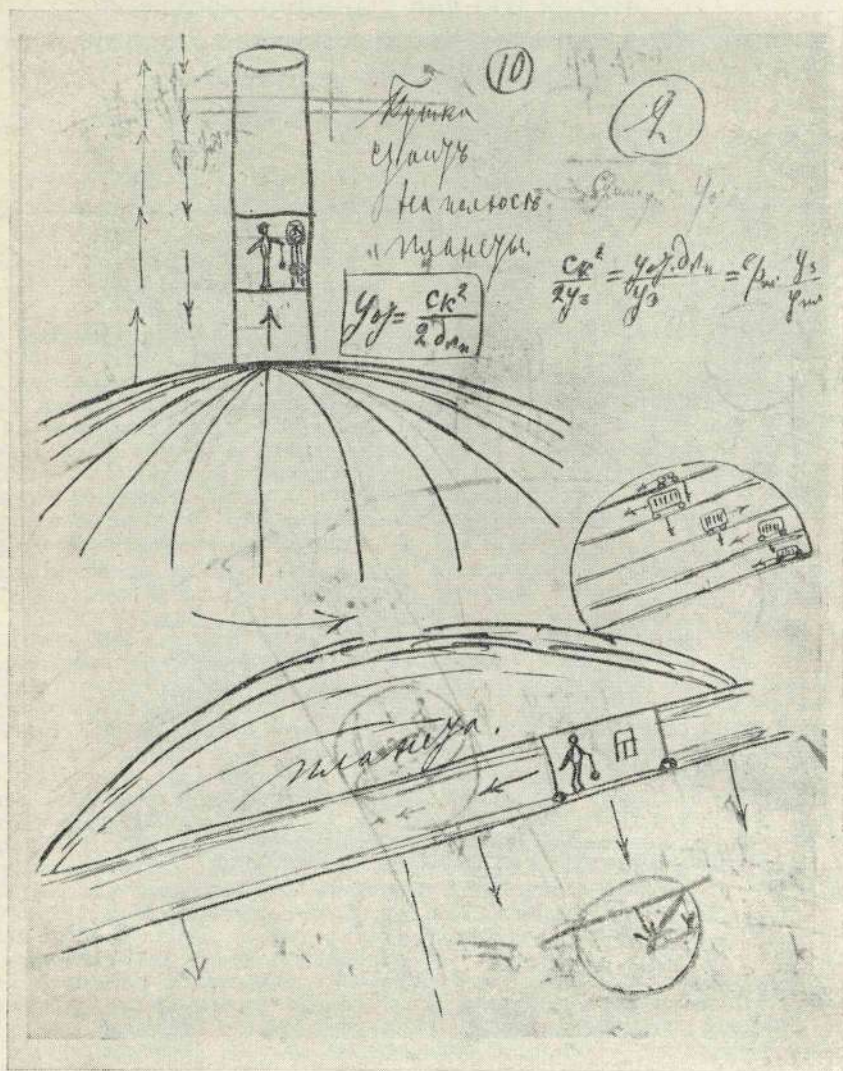
На обороте первого листка обложки написано: «(Очень грязны, потому что были в воде при наводнении 1908 г.)».

К рукописи был приложен специально написанный на 3 листах краткий комментарий, озаглавленный: «Пояснение к „Юношеским чертежам“ К. Э. Циолковского, составленное в феврале 1923 г. (зачатки теперешних мыслей)».

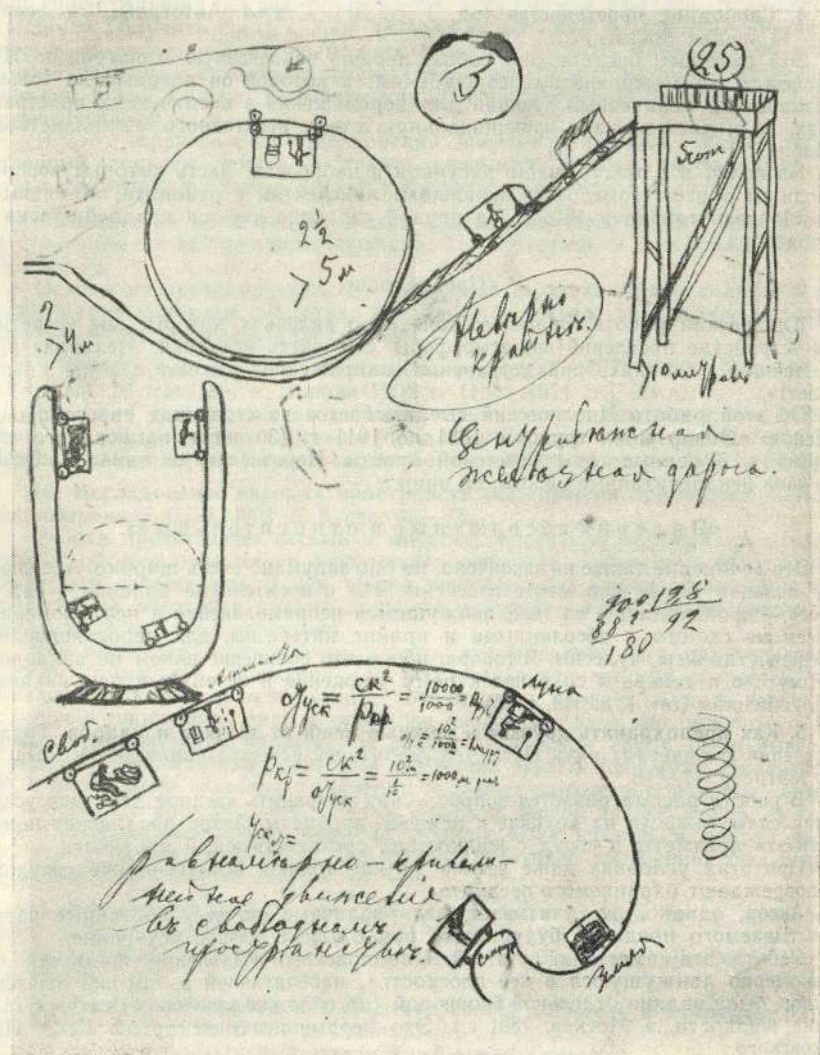
Приводимые здесь рисунки представляют факсимиле трех страниц этой рукописи, поступившей в 1950 г. в Архив Академии наук СССР.

* В дальнейшем будут указываться только опись и номер дела. Все рукописные труды К. Э. Циолковского находятся в Московском отделении архива АН СССР фонд 555.

** Подразумевается сочинение К. Э. Циолковского «Грезы о земле и небе и эффекты всемирного тяготения». М., 1895.



Страница 14 из тетради К. Э. Циолковского 1879 г.



Страница 31 из тетради К. Э. Циолковского 1879 г.

3. [Вычисления и формулы, относящиеся к вопросу о межпланетных сообщениях]. («Вопрос о вечном блаженстве») (оп. 1, д. 30). Автограф, 14—19 марта 1879 г., 5 л.

4. Свободное пространство (оп. 1, д. 31). Статья. Автограф, 20 февраля — 13 апреля 1883 г., 72 л.

Эта рукопись представляет собою первую законченную монографию Циолковского по межпланетным сообщениям, в которой он впервые не только указывает на реактивный принцип для перемещения в космических пространствах, но и дает эскиз и принципиальную схему реактивного межпланетного корабля.

На полях и в тексте много рисунков и набросков, часть которых воспроизводится в этом томе. Первоначальным конспектом к рукописи, по-видимому, являлась тетрадка 1878 г. На первой странице имеется позднейшая надпись автора.

«Предисловие.

Юношеская работа. Значение: понятие о явлениях, которые мы встретим при устройстве поселений вне атмосферы. Это часть механики. Механика при простейших условиях, при устранении напряженной тяжести. (Мне было 25 лет)».

Об этой работе Циолковский высказывается на страницах своего произведения: «Обзор моих трудов с 1881 до 1911 г. (30 лет)», написанного, по-видимому, в первые годы Советской власти. Перечисляя в начале «Обзора» свои ненапечатанные работы, он пишет:

«Явления абсолютные и относительные».

Это сочинение также не закончено, но оно задумано очень широко. Абсолютные явления более или менее известны. Но относительные явления, — кажущиеся, — происходящие на теле, движущемся неравномерно и неравномерно, совсем не сходны с абсолютными и крайне интересны, для непосвященного они непостижимы, чудесны. Я говорю и про это сочинение никем не виданное, потому что и теперь я сохранил к нему уважение и не вижу в нем никаких заблуждений» (оп. 1, д. 540, л. 23).

5. Как предохранить хрупкие и нежные вещи от толчков и ударов. Труды отделения физических наук Общества любителей естествознания, т. IV, вып. 2, М., 1891, стр. 17—18.

В работе рассматривается вопрос — как устранить вредное действие ускорения силы тяжести на хрупкие и нежные предметы. Автор предлагает помещать эти предметы в сосуд с жидкостью, соответствующей плотности.

При этих условиях даже весьма резкие толчки, испытываемые сосудом, не повреждают охраняемого предмета.

Автор, однако, не учитывает, что различные по весу составные части испытываемого предмета будут иметь при опыте и разное ускорение.

Работа эта вместе со статьей Циолковского «Давление жидкости на равномерно движущуюся в ней плоскость», напечатанной в том же выпуске трудов, была издана отдельной брошюрой (на обложке заголовок статьи «Давление жидкости...» Москва, 1891 г.). Это первые печатные труды К. Э. Циолковского.

6. На Луне. Фантастическая повесть. М., изд. Сытина, 1893, 48 стр., 4 рис.

Описывается сновидение юноши, который видит себя путешествующим по Луне вместе со своим товарищем. Рисуются картина поверхности Луны и описываются различные явления природы, наблюдаемые путниками, а также их приключения в непривычной обстановке.

7. Грезы о Земле и небе и эффекты всемирного тяготения. М., изд. А. Н. Гончарова, 1895, 143 стр., без рисунков.

Научно-фантастическое произведение, включающее следующие главы: Наружное строение Вселенной. Всемирное притяжение. Описание разных явлений, происходящих без участия тяжести. Ненавистник тяжести. Возможно ли на Земле получить среду с иной тяжестью, отличной от земной? Мысли чудака о вреде воздуха и о возможности жить в пустоте; мечты его об особой породе разумных существ, живущих без атмосферы. В поясе астероидов Энергия лучей Солнца. Тяготение как причина скоростей небесных тел и их лучеиспускания.

В этом произведении Циолковский впервые применяет термин «искусственный спутник Земли», а также указывает данные, необходимые для отрыва спутника от Земли: первая космическая скорость — 8 км/сек.

8. Может ли когда-нибудь Земля заявить жителям других планет о существовании на ней разумных существ. Газ. «Калужский вестник», 26 ноября 1896, № 68.

Исходя из предположения, что на других планетах нашей солнечной системы живут разумные существа, предлагается посредством зеркал, отражая солнечный свет, передавать им сигналы.

9. Ракета (оп. 1, д. 32). Фрагменты рукописей 1897, 1902, 1903, 1911 гг. Автограф, 10 мая 1897 г., 2 июля 1902 г. [1903, 1911 гг.], 30 л.

Рукопись представляет вычисления, относящиеся к межпланетным сообщениям. По ряду признаков можно предполагать, что это наброски к работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (1903 г., 1911 г.).

10. Исследование мировых пространств реактивными приборами. «Научное обозрение», СПб., 1903, № 5, стр. 45—75.

Работа представляет первый в мировой литературе научный труд, посвященный обоснованию теории реактивного движения — ракетодинамике и межпланетным сообщениям. В нем также впервые даны форма и основные конструктивные очертания ракеты дальнего действия — космической ракеты — в том числе и хвостового оперения.

Впервые доказывалась возможность использования для ракетоплавания энергии химических соединений для достижения космических скоростей, указывалось горючее, соответствующее современному уровню науки и техники — водород в ожигенном виде и такой же кислород в качестве окислителя. Намечались перспективы развития. В этом классическом труде было выведено и подробно исследовано уравнение движения ракеты (формула Циолковского) и определено взаимное отношение основных параметров ракеты — ее массы и относительной скорости. Статья являлась первой частью труда, за которой в следующей книжке журнала должна была появиться вторая часть. Но она не вышла в свет, так как журнал «Научное обозрение» был закрыт органами Министерства внутренних дел.

11. Реактивный прибор, как средство полета в пустоте и в атмосфере (оп. 1, д. 33). Статья. Автограф (копия) [1905 г.], 11 л.

Статья была опубликована в журнале «Воздухоплаватель», № 2, 1910 г. (см. № 12).

12. Реактивный прибор, как средство полета в пустоте и атмосфере. «Воздухоплаватель», 1910, № 2, стр. 110—113.

Описывается реактивный летательный аппарат-ракета.

13. Исследования небесных пространств реактивными приборами (оп. 1, д. 34). Статья. Автограф [1911 г.], 92 л.

Первоначально на рукописи стоял заголовок: «Начало теории реактивных приборов для исследования пространств (статья вторая)», но затем он был зачеркнут и карандашом написано заглавие, указанное выше.

Таким образом, мы, очевидно, имеем заготовленную Циолковским для редакции «Научного обозрения», но не посланную туда вторую часть статьи «Исследование мировых пространств реактивными приборами» или ее вариант.

14. Реактивный прибор — ракета (оп. 1, д. 35). Статья, автограф (копия), [1911 г.], 110 л.

Это рукопись статьи, напечатанной в журнале «Вестник воздухоплавания» за 1911—1912 г. (см. № 15) под тем же заглавием, что и ее первая часть, опубликованная в 1903 г. в журнале «Научное обозрение» (см. № 10) — «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Ввиду того, что первая часть работы появилась за 8 лет до этого, во вторую часть автор включил резюме первой части. В экземпляр, посланный в редакцию названного журнала, автором были внесены незначительные изменения стилистического характера.

15. Исследование мировых пространств реактивными приборами. «Вестник воздухоплавания», 1911, № 19—22; 1912, № 2, 3, 5, 6, 7 и 9.

Опубликование этой работы положило начало широкой популяризации идей Циолковского в области межпланетных сообщений и реактивной техники, которая стала увеличиваться с каждым годом и привлекать к этой теме все возрастающее число изобретателей, последователей и популяризаторов. С 1913 г. первые печатные труды на эту тему начали появляться за границей.

От этого времени у Циолковского сохранился ряд отрывочных набросков и черновиков, показывающих, что он тогда замыслил написать работу, которой был дан заголовок «Реактивный прибор — ракета». Но все эти попытки привели лишь в 1926 г. к выпуску труда под старым заглавием «Исследование мировых пространств реактивными приборами», в котором на основе написанных за истекшие годы работ и новейших научных данных он развил эту тему дальше.

16. В двухтысячном году. (К ракете) (оп. 1, д. 36). Начало научно-популярной повести. Впоследствии развернуто в книгу «Вне Земли». Автограф, 26 сентября 1913 г., 12 л.

Автор излагает как в 2000 г. несколько ученых и богатых людей, уверовав в теоретическую возможность совершать с помощью реактивных приборов полеты в межпланетное пространство, решили добиться практического осуществления этой цели. Рассказывается, как они приступили к этой работе, в частности, описываются опыты сжигания углеводородов с кислородом в жидком виде в толстостенных стальных трубах. Рукопись не окончена. Как видно из пометки автора первоначально он полагал сделать ее частью задуманного труда «Ракеты», но в дальнейшем (1917—1920) он развил ее в научно-фантастическую повесть «Вне земли», полностью напечатанную им в 1920 г. в Калуге (см. № 21).

17. Ракета (оп. 1, д. 37). Отрывки вычислений. Автограф, 28 декабря 1913 г., 12—14 августа 1916 г., 21 л.

Вычисления и записи касаются, главным образом, химического состава разных горючих, их теплотворной способности и тепловых процессов.

18. Без тяжести. Научно-фантастический рассказ. «Природа и люди», 1914, № 36, стр. 577—579.

Перепечатка с некоторыми сокращениями и небольшими изменениями произведения «Грезы о земле и небе...», изданного в 1895 г. (см. № 7).

19. Исследование мировых пространств реактивными приборами (дополнение к I и II части труда того же названия). Калуга, изд. автора, 1914, 16 стр., 1 рис.

В брошюре кратко излагается история данной работы автора, а затем даются новые пояснения и дополнения к двум ранее напечатанным ее частям. На обложке и в тексте приведена схема ракеты с узлообразным расположением трубы для отходящих газов.

20. Материал для предисловия (от меня или редакции) (оп. 1, д. 38). Предисловие к повести «Вне земли». Автограф (копия). Март — апрель 1917 г., 4 л.

О времени написания этой повести Циолковским свидетельствует надпись

Ручкопись не возвращена
Издано ужалено. Корректура
не была. Формулы и начертания
не выносятся и переписаны
и начертаны сличить
по всеяким и благоуспешно
Финляндии, и во всеобщее
ручии и издательство
работу. К. Циолковский.

Вашимся духом от формулам
10 мая 1897 г.

Все исправлено, согласно
моей рукописи, оставив все
дома. И не вайно складно.
Все поминутно в науку и в науку
Циолковский

Эта рукопись (не полная) отправлена
в редакцию Вестника. 1897 г.

Исследование мировых пространств реактивными приборами.

1. Небольшие аэростаты с автоматически наблюдающими приборами, без людей, до сих пор поднимались только до высоты, не больше 20 верст.

Трудность поднятия в высоту с помощью воздушных шаров возрастает чрезвычайно быстро с увеличением этой высоты.

Положим, мы хотим, чтобы аэростат поднялся на высоту 27 километров и поднял груз в 1 килограмм (2.4 фунта). Воздух на высоте 27 килом. имеет плотность около $\frac{1}{10}$ плотности воздуха при обыкновенных условиях (760 мм. давления и 0° Цельсия). Значит шар на такой высоте должен занять объем в 50 раз больший, чем внизу. У уровня же океана следуетпустить в него не менее 2 кубич. метров водорода, которые на высоте займут 100 куб. метров. При этом шар поднимет груз в 1 килограмм, т. е. подвезет автоматический прибор, а сам шар будет везти килограмм или около того.

Поверхность его оболочки, при диаметре в 5.8 метра, составит не менее 109 кв. метров. Следовательно каждый квадратный метр материи, считая и пришитую к ней стрку, должен везти 10 граммов, или квадрат аршина будет везти около 1-го золотника.

Ка. метр этой писчей бумаги везти 100 граммов: весь же кв. метра широкой бумаги составляет граммов 50. Так что даже широкая бумага будет в 5 раз тяжелее той материи, которая должна быть употреблена на наш аэростат. Такая материя, в приложении к аэростату, невозможна, потому что оболочка, сшитая из нее, будет рваться и сильно пропускать газ.

Шары больших размеров могут иметь более толстую оболочку. Так шар с необычно большим диаметром в 53 метра

Меморандум и начертания
перестали делаться. 1897 г.

ИЗВЕЩАНИЕ КОМПЕТЕНТНОМУ УЧРЕЖДЕНИЮ
ПО ВОПРОСУ

О результатах проверки документов
и сведений, представленных
кандидатом на должность
руководителя организации
г. [название города]

на конверте письма Я. И. Перельмана, написанного 16 марта 1917 г. от имени редакции журнала «Природа и люди» (в котором печаталась повесть) с просьбой написать и прислать предисловие:

«22 марта. Обещаю окончить через месяц, а продолжение (50 л.) и предисловие через 10 дней. Отвечено 23 марта 1917 г.» (оп. 4, д. 482, л. 8).

Это предисловие редакцией журнала было изменено так, как будто оно исходит от редакции, а не от автора. В калужском издании данной повести в 1920 г. (см. № 21) это предисловие было Циолковским значительно расширено. В журнале «Природа и люди», 1918 г., №№ 2—11 была напечатана только половина повести «Вне Земли», так как журнал перестал издаваться.

21. Вне Земли. (Повесть). Калуга, Изд-во Калужского общества изучения природы и местного края, 1920, 118 стр.

Предисловие «От издателя» написано самим К. Э. Циолковским.

На стр. 1 автор указывает, что часть предлагаемой повести до главы «Вечная весна» написана им еще в 1896 г. Эта часть рукописи в его архиве, к сожалению, не сохранилась.

22. План «Ракеты» (оп. 1, д. 39). Набросок статьи. Автограф. 23 октября 1921 г., 2 л.

23. Космическая ракета. Завоевание Солнечной системы (оп. 1, д. 40). Статья, автограф. 29 окт.—1 ноябрь 1923 г., 9 л.

Начало задуманной популярной статьи.

24. Ракета (оп. 1, д. 41). Формулы. Дополнение к статье «Реактивный прибор-ракета» (см. № 14). Автограф. 22 ноября 1923 г., 17 л.

25. Атмосфера — ракета — труба (оп. 1, д. 42). Формулы. Автограф. 2 декабря 1923 г., 3 л.

26. Ракета. (Реактивный прибор пушечного типа или ракетного типа) (оп. 1, д. 43). Статья, автограф. 21 апреля — 22 мая 1924 г., 18 л.

Вычисления, наброски приборов для испытания действия руля на ракете и т. д.

27. Аэроплан-крыло-ракета (оп. 1, д. 44). Статья. Расчеты и формулы к ней, автограф. 5 мая — 23 июля 1924 г., 40 л.

28. Исследование мировых пространств реактивными приборами (оп. 1, д. 45). Статья (таблицы, формулы и материалы к ней), автограф. 26 мая 1924 г.—11 августа 1926 г., 65 л.

Рукой Циолковского написано около заглавия: «Сбор вычислений, касающихся космических путешествий. Много гипотез, но заслуживающих внимания немного».

Этот манускрипт предшествовал написанию и выпуску в свет в 1926 г. труда «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (см. № 39).

29. Космический корабль (оп. 1, д. 46). Статья (первый вариант), автограф и копия с правкой автора, июль 1924 г.—8 июня 1926 г., 95 л.

Популярная статья, написанная для журнала «Техника и жизнь» (Ленинград) по просьбе издательства Транспечати высказаться на страницах журнала «относительно конструкции межпланетного корабля». Статья написана с использованием имевшихся уже у Циолковского набросков (см. № 23 и № 24). 24 июня 1924 г. редакция подтвердила ее получение, но ввиду большого размера решила напечатать ее отдельной брошюрой. Однако и это не было сделано, и, продержав статью у себя более 1½ лет, в январе 1926 г. редакция вернула автору рукопись, с которой она воспроизведена в настоящей книге.

30. Ракета в космическое пространство. Изд. 2. Калуга, 1924, 32 стр., 1 рис.

Перепечатка, но с измененным заглавием, работы Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами», напечатанной в журнале «Научное обозрение», № 5, за 1903 г. (см. № 10). Очевидно, поэтому на титульном листе значится: «Второе издание».

Работе предшествует предисловие А. Чижевского на немецком языке и статья К. Э. Циолковского «Судьба мыслителей или двадцать лет под спудом». Поводом для написания этой статьи послужила заметка под рубрикой «Новости науки и техники» («Известия», № 223, 2 октября 1923 г.), в которой сообщалось о выходе книги немецкого ученого Г. Оберта «Ракета к планетам».

31. Космический корабль (оп. 1, д. 47). Статья (второй вариант). Автограф [июнь 1925 г.], 43 л.

32. Ракета. Взрывная труба (оп. 1, д. 48). Конспективные записи расчетов и формул, автограф, 18 сентября — 31 декабря 1925 г., 5 л.

33. Ракета (оп. 1, д. 49). набросок письма и статья для журнала «Огонек» (первоначальный вариант), автограф, 7—17 ноября 1925 г., 13 л.

34. Заатмосферные путешествия. (Ракета) (оп. 1, д. 50). Статья для журнала «Огонек» (окончательный вариант), автограф, 7 ноября 1925 г.—июнь 1926 г., 62 л.

35. Аэроплан-ракета. (Новый самолет для больших высот и скоростей) (оп. 1, д. 50).

Статья и материалы к книге «Новый аэроплан», выпущенной автором в Калуге в 1929 г. (см. № 52), автограф, декабрь 1925 г.—февраль 1926 г., 88 л.

36. Космическая ракета или снаряд для вселенских путешествий и иных целей (оп. 1, д. 52). Программа лекций, автограф [1925 г.], 2 л.

37. [Письмо в редакцию]. Журнал «Связь», 1925, № 18, стр. 14 приложен портрет автора.

В письме Циолковский сообщает, что только в последнее время, менее месяца тому назад, проблема распределения в трубе взрывающихся газов, их плотность, температура и скорость движения в различных участках трубы им разрешена в окончательном виде.

38. [О приоритете К. Э. Циолковского в вопросе о возвращении ракеты на Землю без затраты взрывчатого вещества] (оп. 1, д. 53). Письмо, автограф, 16 апреля 1926 г., 2 л.

Письмо Циолковского Перельману по поводу того, что им раньше чем инженером В. Гомоном доказана возможность возвращения ракеты на свою планету без затраты взрывчатого вещества. Это письмо было вызвано сообщением Перельмана об открытии Гомона, помещенном в № 64 «Красной газеты» за 1926 г.

39. Исследование мировых пространств реактивными приборами (переиздание работ 1903 и 1911 г. с некоторыми изменениями и дополнениями). Калуга, 1926, 127 стр., 3 рис.

В брошюре «Изданные труды К. Э. Циолковского» (Калуга, 1927 г.) автор назвал эту работу четвертой более полной работой на эту тему и указал, что предполагает в этом издании только перепечатку прежних работ с некоторыми дополнениями. Но ему пришлось ограничиться почти одним новым.

40. Для книги проф. Рынина (оп. 1, д. 54). Авторизованная машинопись, 5 л., 14 мая 1927 г. Предисловие К. Э. Циолковского к третьей главе книги Н. А. Рынина «К. Э. Циолковский, его жизнь, работы и ракеты», вышедшей в свет в 1931 г. (см. № 68).

41. Скорый поезд (оп. 1, д. 55). Черновой набросок к работе «Труды о космической ракете». Автограф, 16 октября — 26 ноября 1927 г., 3 л. Неоконченные наброски статьи.

42. Изданные труды К. Э. Циолковского. Калуга, 1927, 24 стр.

В этой брошюре Циолковским даны аннотации и комментарии к своим печатным работам, опубликованным с 1891 г. по 1927 г., в том числе и к трудам по реактивным летательным аппаратам и межпланетным сообщениям. О своих трудах Циолковский пишет в третьем лице.

43. Космическая ракета. Опытная подготовка. Калуга, 1927, 24 стр., 1 рис.

В обзоре своих трудов (см. 42) Циолковский говорит, что данная работа была попыткой «указать на подготовительные опыты к построению космического корабля». На стр. 1 работы он делает следующую ремарку: «Понимать и оценить эту статью можно только освоившись с моим исследованием 26 г.».

В виде приложения в конце брошюры напечатано (стр. 22—24) «Возражение инж. Ладеману», который в журнале ZFM от 28 апреля 1927 г. поместил рецензию на работу Циолковского «Исследование мировых пространств...» 1926 г., в которой, между прочим, решительно возражал против его предложений снабжать реактивный летательный аппарат в хвостовой части рулями. Теперь это «соображение» выглядит как курьез, но в те годы — всего лишь 26 лет назад — смелые, новаторские технические идеи передового русского ученого настолько опережали свою эпоху, что даже люди с высшим техническим образованием, авторы трудов в данной области, еще не в состоянии были их освоить и даже выступали против.

44. Сопrotивление воздуха и скорый поезд. Калуга, 1927, 72 стр., 3 рис.

В этой книге Циолковский в виде приложения перепечатал предисловие к своей работе «Вне Земли» (см. № 21).

45. Завоевание солнечной системы (научная фантазия) (оп. 1, д. 56). Статья (не окончена). Авторизованная машинопись, ноябрь 1928 г., 24 л.

Описывается организация в некоторых странах коллективного сооружения космических кораблей, их устройство и начало опытов. Рассматривается скорость, наклон снаряда и путь его в атмосфере. Описывается двойная ракета.

46. Завоевание солнечной системы (оп. 1, д. 57). Вставки к работе (см. № 45). Автограф, машинописная копия. 22 июня 1929 г., 15 л.

47. Реактивный аэроплан (оп. 1, д. 58). Статья. Машинопись с правкой автора. Декабрь 1929 г., 35 л.

48. Главные выводы из моего сочинения «Новый аэроплан» (оп. 1, д. 59). Статья. Авторизованная машинопись. Дек. 1929 г. 19 л.

49. Труды о космической ракете (1903—1929 гг.) (оп. 1, д. 60). Статья. Авторизованная машинопись. 1929 г., 47 л.

50. Космические ракетные поезда. (С биографией К. Э. Циолковского, С. В. Бессонова). Реактивный двигатель. Калуга, изд. коллектива Секции научных работников, 1929, 38 стр., портрет автора на вкладном листе.

Автор предлагает для достижения космических скоростей «соединение нескольких одинаковых реактивных приборов, двигающихся сначала по дороге, потом в воздухе, потом в пустоте, вне атмосферы, наконец, где-нибудь между планетами или солнцами» (стр. 9). Идея Циолковского о применении многоступенчатых ракет получила успешное развитие в современной ракетной технике.

51. На Луне. Фантастическая повесть. (Предисловие Я. И. Перельмана). М.—Л., Госиздат, 1929, 75 стр., 8 рис.

Переиздание научно-фантастического произведения К. Э. Циолковского (см. № 6).

52. Новый аэроплан. За атмосферой Земли. Реактивный двигатель. Калуга, 1929, 38 стр., 4 рис.

В первой статье (24 стр.) речь идет об аэроплане новой конструкции, своего рода «летающем крыле», которое составляет группу веретенообразных полых тел, как бы фюзеляжей самолета. В переднем конце каждого из них

расположена однопропеллерная винтомоторная группа. На приведенном в книге чертеже крыло состоит из 10 таких тел. Работа посвящена приблизительным расчетам этого аэроплана. Статья «Реактивный двигатель» (3 стр.) — перепечатка статьи того же названия из брошюры «Космические ракетные поезда», выпущенной в том же году (см. № 50).

53. Цели звездоплавания. Калуга, 1929, 40 стр.

В этой работе Циолковский останавливается, главным образом, на описании картины будущего звездоплавания и поведения человека в межпланетном пространстве.

54. Возможно ли посещение планет. Доступны ли планеты. Достижимы ли иные планеты. Ответ подписчику «Вестника знания» (оп. 1, д. 61). Статья. Машинопись с правкой автора. 5 января 1930 г., 3 л.

55. Формулы движения снаряда (оп. 1, д. 62). Фрагмент, автограф, 25 июля 1930 г., 2 л.

Рассматриваются силы, ускоряющие движение снаряда (реактивная тяга).

56. Восходящее ускоренное движение ракетоплана (оп. 1, д. 63). Формулы. Автограф. 13 октября 1930 г., 14 л.

57. Восходящее ускоренное движение ракетоплана (оп. 1, д. 64). Статья. Машинопись с правкой автора. Октябрь 1930 г., 130 л.

Впервые напечатана под заглавием «Ракетоплан» в кн.: К. Э. Циолковский. Труды по ракетной технике. М., Оборонгиз, 1947 г.

58. От самолета к звездолету (оп. 1, д. 65). Статья. Машинопись с правкой автора. 25 ноября 1930 г., 48 л.

59. Стратоплан полуреактивный (оп. 1, д. 66). Статья. Машинопись с правкой автора. 1930 г., 171 л.

60. Звездоплавателям (оп. 1, д. 68). Статья. Машинопись с правкой автора. [Не позднее 1930 г.], 8 л. При сравнении с брошюрой (см. № 61) обнаружено отсутствие начала и конца статьи.

61. Звездоплавателям. Калуга, 1930, 32 стр.

Приводится ряд соображений автора об использовании для будущих межпланетных кораблей энергии давления солнечного света и реактивного принципа. На стр. 14—32 приведены отзывы о трудах Циолковского.

62. Реактивный аэроплан. Калуга, Изд. автора, 1930, 24 стр.

Автор доказывает возможность построения реактивного самолета при условии применения наиболее высококалорийного горючего («особенно выгоден водород»), которое даст возможность получения в высших слоях атмосферы больших скоростей, недоступных для самолетов с пропеллерами.

63. На місяці. Фантастична повість. Передмова Я. І. Перельмана. Харків. 1930, 48 стр., 7 рис.

Перевод на украинский язык научно-фантастической повести Циолковского «На Луне» (см. № 51).

64. Стратоплан [полуреактивный] (оп. 1, д. 67). Таблицы, формулы, рисунки. Автограф и машинопись с правкой автора. 1930—1931 гг., 60 л. Материал к работе, напечатанной автором в Калуге в 1932 г. (см. № 83).

65. [Черновые чертежи и таблицы к работе «Стратоплан»] (оп. 1, д. 69). Автограф и машинопись с правкой автора. 1930—1932 гг., 64 л. (см. № 64).

66. Формулы стратоплана (оп. 1, д. 70). Автограф. 20 января 1931 г., 17 л.

Рабочий материал для труда «Стратоплан полуреактивный», изданного в Калуге в 1932 г. (см. № 83).

67. Ускорение аэроплана высот от пропеллера (оп. 1, д. 71). Статья (окончание труда «Стратоплан полуреактивный»). Машинопись с правкой автора. Август 1931 г., 11 л.

68. Вводная статья К. Э. Циолковского к третьей главе «Ракеты К. Э. Циолковского и проект полета на них» в кн. Н. А. Рынина «К. Э. Циолковский, его жизнь, работы и ракеты». Л., 1931, стр. 30—34.

Статья была написана Циолковским по просьбе автора книги.

69. От самолета к звездолету. «Искры науки», 1931, № 2, стр. 55—57.

Краткий исторический очерк развития идеи реактивных летательных аппаратов. Во второй половине статьи автор описывает принцип устройства своего полуреактивного стратоплана.

70. За атмосферу (оп. 1, д. 72). Статья. Машинопись с правкой автора. Март 1932 г., 34 л.

71. Реактивное движение и его успехи (оп. 1, д. 73). Статья. Машинопись с правкой автора. Март 1932 г., 16 л.

72. Реактивное движение (оп. 1, д. 74). Статья (ответ редакции газеты «Гудок» на письмо от 28 апреля 1932 г.) Машинопись, с правкой автора. Май, 1932, 14 л., 3 рис. Опубликовано под заглавием «Теория реактивного движения» в журнале «В бой за технику», №№ 15—16, май 1932 г. (см. № 82).

73. Достижение стратосферы (оп. 1, д. 75). Статья. Машинопись с правкой автора. 29 июня 1932 г., 56 л.

74. Звездоплавание (оп. 1, д. 76). Лекция. Машинопись с правкой автора. 29 июля 1932 г., 18 л.

75. Скорый трамвайный вагон (для целей звездоплавания) (оп. 1, д. 77). Рисунки. Автограф. 18 июля 1932 г., 2 л.

76. Скорый вагон (оп. 1, д. 78). Статья. Автограф. 26 июля 1932 г., 9 л.

77. Полет в стратосфере (оп. 1, д. 79). Статья. Машинопись с правкой автора. 11 сентября 1932 г., 12 л.

78. Быстроходный аэроплан высот. (Суперавиация) (оп. 1, д. 80). Статья. Машинопись. 4 октября 1932 г., 10 л.

79. Высотный самолет или стратоплан (оп. 1, д. 81). Статья. Машинопись с правкой и дополнением автора. 1932 г., 7 л.

Опубликована в журнале «Хочу все знать» под заглавием «Полуреактивный стратоплан» (см. № 84).

80. Реактивное движение и его успехи. «Самолет», 1932, № 6, стр. 17.

Краткий критический обзор достижений ракетной техники за границей и соображения о дальнейшем усовершенствовании реактивных двигателей.

81. Плотность разных слоев атмосферы. «Самолет», 1932, № 8—9, стр. 36—37.

82. Теория реактивного движения. «В бой за технику», 1932, № 15—16, стр. 19—21, 3 рис.

83. Стратоплан полуреактивный. Калуга, 1932, 32 стр., 4 рис.

Описание схемы и приблизительные расчеты оригинального стратосферного аэроплана, который «движется силою воздушного винта и отдачей продуктов горения» (стр. 2). Приводится расчет сжимателя газов и пропеллера особого устройства.

84. Полуреактивный стратоплан. «Хочу все знать» (Жургазобъединение), 1932, № 29, стр. 6—7, 4 рис. и портрет автора.

Сокращенная перепечатка содержания брошюры того же названия, вышедшей в этом же году (см. № 83).

В 1932 году пресса широко отмечала 75-летие К. Э. Циолковского как особенно популярного советского ученого. Редакции газет и журналов поэто-

му перепечатавали последние изданные им научные и популярные работы по главнейшим темам его творчества, не будучи в состоянии получить от него самого статей, ибо в эти годы Циолковский был особенно погружен в свои научные работы по реактивным летательным аппаратам и экспериментальной работе по дирижаблям.

85. Полет в стратосферу. Газ. «Техника», 18 сентября 1932 г., № 87, 4 рис. Перепечатка в сокращенном виде работы «Стратоплан полуреактивный», вышедшей в том же году (см. № 83).

86. Мой дирижабль и стратоплан. Газ. «Красная звезда», 18 октября 1932 г., № 242.

В первой части статьи Циолковский останавливается на преимуществах своего цельнометаллического дирижабля перед другими системами, во второй — говорит об основных принципах устройства своего стратоплана. В газете помещен портрет автора в связи с его 75-летием.

87. Звездолет. «Знание — сила», 1932, № 23—24, стр. 15, 1 рис.

Весь номер журнала посвящен популяризации идей реактивного движения и содержит ряд соответственно подобранных статей.

88. Вращение тел, наибольшая скорость и запас механической энергии (оп. 1, д. 82). Статья. Машинопись с правкой автора, 1 января 1933 г., 11 л. Надпись рукой К. Э. Циолковского на обложке: «Послано 11 января 1935 г. Меркулову».

89. Взрывчатые вещества для реактивного прибора (звездолета) (оп. 1, д. 83). Статья. Машинопись с правкой автора, 1 марта 1933 г., 7 л.

Рукою автора к заглавию добавлено: «Прибавл[ение] о спиртах и эфире». На копии машинописи измененный заголовок: «Выбор элементов взрыва для стратоплана».

90. Альбом космических путешествий (оп. 1, д. 84). Статья. Машинопись с правкой автора. 21 июня 1933 г., 139 л.

91. Парогазовый турбинный мотор для дирижаблей, аэропланов, стратопланов, автомобилей и др. целей (оп. 1, д. 85). Статья. Машинопись с правкой автора. 29 августа 1933 г., 43 л.

92. Звездолет с предшествующими ему машинами (оп. 1, д. 86). Статья. Машинопись с правкой автора. Август 1933 г., 177 л.

93. Межпланетные путешествия (оп. 1, д. 87). Рисунки и объяснения для кинофильма. Автограф. 12 сентября 1933 г., 22 л.

94. В Совкино. Надписи к картинам и замечания (оп. 1, д. 83). Перечень картин, иллюстрирующих межпланетные путешествия с помощью ракеты и жизнь вне Земли. Машинопись и автограф. 26 октября 1933 г., 6 л.

95. Явления на астероидах (оп. 1, д. 89). Таблицы. Материал для кинофильма. Автограф. 8—9 ноября 1933 г., 6 л.

96. Явления на планетах и больших спутниках (оп. 1, д. 90). Таблицы. Материал для кинофильма. Автограф. 8—9 ноября 1933 г., 6 л.

97. [Схематические изображения планет солнечной системы, расстояний между ними, силы притяжения и др.] (оп. 1, д. 91). Схемы, материал для кинофильма. Автограф. [Октябрь — ноябрь 1933 г.], 11 л.

98. Тело (Куклы) (оп. 1, д. 92). Масштабные таблицы размеров и схематические рисунки человеческого тела. Материал для кинофильма. Автограф. [Октябрь — ноябрь 1933 г.], 10 л.

99. Снаряды, приобретающие космические скорости на суше или воде (оп. 1, д. 94). Автограф. [1933 г.], 3 л.

100. План к описанию путешествия на ракете вне Земли. Для кинофильма (оп. 1, д. 94). Автограф. [1933 г.], 3 л.

101. Дирижабль, стратоплан и звездолет как три ступени величайших достижений СССР. «Гражданская авиация», 1933, № 9, 11, 12; 10 рис.

Автор кратко описывает принцип устройства цельнометаллического дирижабля, изменяющегося в полете объема, полуреактивного стратоплана своей системы и ракеты с крыльями.

102. На Луне. (Примечание и послесловие Я. И. Перельмана). М.—Л., Госавиаавтоиздат, 1933, 40 стр., 6 рис.

Переиздание научно-фантастической повести 1893 г. (см. № 51).

103. Тяжесть исчезла. Фантастический очерк. М.—Л., Госмашметиздат, 1933, 119 стр., 21 рис.

Под этим заглавием переиздана в сокращенном виде книга Циолковского «Грезы о земле и небе...», 1895 г. (см. № 7).

104. Полеты в атмосфере и вне ее (оп. 1, д. 95). Конспект статьи. Автограф и машинопись с правкой автора. 12 февраля 1934 г., 14 л.

105. Программа работ РНИИ [Реактивного научно-исследовательского института] (оп. 1, д. 96). Набросок. Автограф, 15 февраля 1934 г., 1 л.

106. Небольшая колония кругом Земли (оп. 1, д. 97). Отрывок. Автограф. 17 марта 1934 г., 7 л.

107. Аэропланы и стратопланы (оп. 1, д. 98). Статья (не окончена). Автограф. 22 октября 1934 г., 5 л.

108. Формулы газовых машин. (К работе «Основы построения») (оп. 1, д. 99). Автограф. 2 ноября 1934 г., 6 л.

109. Мощные моторы наименьшего веса и объема (оп. 1, д. 100). Статья (часть работы «Основы построения»). Автограф. 5 ноября 1934 г., 21 л.

110. За атмосферу. «Вокруг света», 1934, № 1, стр. 10—24, 2 рис. и портрет автора.

В статье излагается ряд мыслей по технике будущих полетов в мировое пространство, за пределы земной атмосферы.

111. Грандиозные замыслы. Газ. «Кино», 16 февраля 1934 г., № 8.

Письмо Циолковского в редакцию газеты «Кино» по поводу постановки фильма «Космический рейс», в котором он принимал участие в качестве главного научного консультанта.

112. Принцип реактивного движения. «В бой за технику», 1934, № 6, стр. 25. Небольшая заметка по поводу статьи «Реактивный двигатель» (см. «В бой за технику», 1934 г., № 4).

113. Изучение и исследование стратосферы. Газ. «Комсомолец Украины», 18 августа 1934 г.

Написана ко дню авиации по просьбе редакции, желавшей отметить традиционный всенародный праздник статьей К. Э. Циолковского.

114. Избранные труды К. Э. Циолковского. (С биографическим очерком проф. Н. Д. Моисеева). Кн. II. Реактивное движение. Под ред. инж. Ф. А. Цандера. Госмашметиздат, [Л.], 1934, 216 стр.

Содержание: Ракета в космическое пространство. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Условие жизни в эфире. Космическая ракета. Ракетные космические поезда. Новый аэроплан. Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе. Реактивный аэроплан. Стратоплан полуреактивный.

115. На Луне. Изд. 2. Примечание и послесловие Я. И. Перельмана. М.—Л., Госмашметиздат, 1934, 38 стр., 6 рис. (см. № 102).

116. Тяжесть исчезла. Фантастический очерк. Изд. 2, М.—Л., Госмашметиздат, 1934, 111 стр. 21 рис. (см. № 103).

117. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава I. Сжатие и расширение газов (оп. 1, д. 101). Автограф и машинопись с правкой автора. 12 августа 1934 г., 257 л.

«Основы построения газовых машин» — самая большая за последние

годы жизни и важная по значимости работа Циолковского по теории реактивных летательных аппаратов.

Автор так определял цель написания этой работы: «Цель тут практическая: дать в сжатом виде материалы для строителей и изобретателей газовых машин. Общий и главный уклон к построению почвенных, водных, атмосферных и заатмосферных средств передвижения» (д. 101, стр. 1).

Тут же он перечисляет 7 своих печатных работ [от 1927 до 1931 г.], на которые он опирается при составлении этой работы: «Кроме известных всем законов, буду опираться на собственные свои печатные труды: 1) «Давление на плоскость», 1930 г.; 2) «Реактивный аэроплан», 30 г.; 3) «Сжиматель газов», 31 г.; 4) «Стратоплан», 30 г.; 5) «Сопrotивление воздуха», 27 г.; 6) «Новый аэроплан», 29 г.; 7) «Как увеличить энергию взрывных двигателей», 31 г.».

Всего Циолковским в этой работе намечено 11 глав: 1. Сжатие и расширение газов. 2. Давление нормального воздушного потока на плоскость. 3. Трение газов. 4. Сопrotивление воздуха движению плавных тел. 5. Плотность атмосферы. 6. Энергия химического соединения веществ. 7. Вращение твердых тел. 8. Три типа моторов. Первый тип при участии воды. Второй тип, пользующийся непосредственно газообразным воздухом. 9. Третий тип мотора с запасными кислородными соединениями. 10. Наибольшая скорость ракеты. 11. Грубый расчет полета ракеты.

Некоторые главы представляют статьи, написанные ранее. Так, гл. III — «Трение в газах» — была написана в 1932 г., но не опубликована. Сохранилась часть аналогичной статьи того же названия: «Трение в газах», датированной 18 июня 1932 г. (оп. 1, д. 18), посылавшейся Циолковским в редакцию журн. «Техника воздушного флота» и возвращенной ему зам. ред. Шпановым, «как неподходящая».

Глава V — «Плотность атмосферы» была написана также в 1932 г. и напечатана в том же году в журн. «Самолет» № 8—9 (см. № 81).

Автором было намечено три варианта расположения глав в работе. В одном из них имеются следующие главы:

Гл. 10. Грубый расчет наклонного полета ракеты до высоты в 40 км и более.

Гл. 11. Особый коллективный прием для достижения космических скоростей с помощью многих одинаковых и несовершенных ракетопланов.

Гл. 12. Охлаждение камеры взрывания.

Однако, от главы 12 не сохранилось даже черновика или его отрывков. Написать ее автор, по-видимому, не успел.

118. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава II. Давление нормального потока на плоскость (оп. 1, д. 102). Автограф и машинопись с правкой автора. [1934—1935 гг.], 103 л.

119. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава III. Трение в газах (оп. 1, д. 103). Машинопись с правкой автора [1934—1935], 51 л.

120. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава VII. Наибольшая скорость вращения тел и запас их механической энергии (оп. 1, д. 104). Фрагменты работы. Автограф и машинопись с правкой автора. [1934—1935], 43 л.

121. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава X. Наибольшая скорость ракеты (оп. 1, д. 105). Автограф и машинопись с правкой автора. 28 января 1935 г., 97 л.

122. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава IV. Сопrotивление газовой среды движению плавных птицеподобных тел (оп. 1, д. 107). Автограф и машинопись с правкой автора. 12 марта — 10 августа 1935 г., 87 л.

Примечание. Статья по материалам этой главы находится в разделе «Аэродинамика» (оп. 1, д. 26).

123. Основы построения газовых машин и летательных приборов. Глава VI. Энергия химического соединения веществ и выбор составных частей взрыва (оп. 1, д. 108). Автограф и машинопись с правкой автора. 21 марта 1935 г., 33 л.

124. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава XI. Грубый расчет полета ракетоплана (оп. 1, д. 109). Машинопись с правкой автора. 21 марта 1935 г., 40 л.

125. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Главы VIII—IX. Новые двигатели двух типов (Два типа моторов) (оп. 1, д. 111). Черновые материалы. Автограф. 29 марта 1935 г., 113 л.

126. Новые двигатели двух типов (оп. 1, д. 112). Статья (по материалам главы VIII работы «Основы построения»). Машинопись с правкой автора. 29 марта 1935 г., 98 л.

127. Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов. Глава V. Плотность, температура и давление разных слоев атмосферы (оп. 1, д. 117). Автограф и машинопись с правкой автора. [1935 г.], 43 л.

128. Применение реактивных приборов к исследованию стратосферы (оп. 1, д. 106). Статья (не окончена). Автограф и машинопись. 27 февраля 1935 г., 12 л.

129. Вообще о двигателях, пригодных к полетам (оп. 1, д. 110). Статья. Машинопись с правкой автора. 25 марта 1935 г., 6 л.

130. Второй тип моторов — с запасным кислородным соединением и без воды (оп. 1, д. 113). Статья. Машинопись. 17 апреля 1935 г., 4 л.

131. Особый прием достижения высших скоростей реактивными летательными машинами (оп. 1, д. 114). Статья. Автограф и машинопись с правкой автора. 23 апреля 1935 г., 15 л.

132. Изобретателям реактивных машин (оп. 1, д. 115). Статья. Автограф и машинопись. 28 апреля 1935 г., 13 л.

133. Фантазия ли заатмосферные полеты? (оп. 1, д. 116). Статья. Автограф и машинопись с правкой автора. 28 июля 1935 г., 26 л.

134. Авиация, воздухоплавание и ракетоплавание в 20-м веке (оп. 1, д. 118). Статья. Автограф и машинопись с правкой автора. Б/д., 8 л.

135. Фрагменты статьи, посвященной космическим полетам (оп. 1, д. 119). Автограф и машинопись. Б/д., 9 л.

136. Таблицы, относящиеся к движению ракеты (оп. 1, д. 120). Автограф. Б/д., 3 л.

137. Предисловие автора (оп. 1, д. 121). Фрагмент статьи. Автограф. Б/д., 1 л.

138. Фрагменты статей, относящихся к вопросу о реактивных летательных аппаратах (оп. 1, д. 122). Автограф. Б/д., 34 л.

139. Ракетные приборы в исследовании стратосферы. Газ. «Рабочая Москва», 3 марта 1935 г., № 51.

Статья написана в связи с проходившей в Москве I Всесоюзной конференцией по применению реактивных летательных аппаратов к изучению стратосферы.

140. Только ли фантазия? Газ. «Комсомольская правда», 23 июля 1935 г., № 168.

141. Полет в будущее. Газ. «Коммуна» (Калуга), 18 августа 1935 г., № 184 (с портретом автора).

Эта статья является одной из последних, напечатанных при жизни Циолковского.

Он еще сам послал ее в редакцию. Замечателен ее конец: «Все, о чем я говорю,—слабая попытка предвидеть будущее авиации, воздухоплавания

и ракетоплавания. В одном я твердо уверен — первенство будет принадлежать Советскому Союзу».

142. Фантазия ли заатмосферные полеты? Газ. «Комсомольская правда», 18 сентября 1935 г., № 216, 1 рис. и портрет автора.

143. От аэростата к звездолету. Газ. «За пищевую индустрию», 20 сентября 1935 г., № 127.

144. [Письмо в ЦК ВКП(б)]. Газ. «Правда», 17 сентября 1935 г., № 257. Историческое письмо Циолковского от 13 сентября 1935 г. в ЦК ВКП(б), являющееся его общественным завещанием: «Все свои труды по авиации, ракетоплаванию и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды», — писал Циолковский.

СОДЕРЖАНИЕ

К. Э. Циолковский — основоположник современной ракетодинамики.— А. А. Космодемьянский	5— 29
Свободное пространство	29
Исследование мировых пространств реактивными приборами (1903 г.). Реактивный прибор как средство полета в пустоте и в атмосфере . . .	77 108
Исследование мировых пространств реактивными приборами. (1911 — 1912 гг.)	111
Исследование мировых пространств реактивными приборами (допол- нение к I и II части труда того же названия) (1914 г.)	153
Космический корабль	165
Исследование мировых пространств реактивными приборами (1926 г.) . .	188
Космическая ракета. Опытная подготовка	274
Труды о космической ракете (1903—1929 гг.)	289
Новый аэроплан	296
Космические ракетные поезда	313
Цели звездоплавания	341
Реактивный аэроплан	369
Звездоплавателям	379
Стратоплан полуреактивный	386
Достижение стратосферы	397
Теория реактивного движения	406
Звездолет	416
Звездолет с предшествующими ему машинами	418
Парогазовый турбинный мотор для дирижаблей, аэропланов, страто- планов, автомобилей и других целей	427
Снаряды, приобретающие космические скорости на суше или воде	433
Наибольшая скорость ракеты	443
Применение реактивных приборов к исследованию стратосферы	456
<i>Аннотированная библиография рукописных и печатных трудов К. Э. Циолковского, опубликованных при его жизни, по вопросам реактивных летательных аппаратов и межпланетных сообщений — Б. Н. Воробьев</i>	458

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение 1

2. Развитие реактивных двигателей 2

3. Реактивные двигатели 3

4. Реактивные двигатели 4

5. Реактивные двигатели 5

6. Реактивные двигатели 6

7. Реактивные двигатели 7

8. Реактивные двигатели 8

9. Реактивные двигатели 9

10. Реактивные двигатели 10

11. Реактивные двигатели 11

12. Реактивные двигатели 12

13. Реактивные двигатели 13

14. Реактивные двигатели 14

15. Реактивные двигатели 15

16. Реактивные двигатели 16

17. Реактивные двигатели 17

18. Реактивные двигатели 18

19. Реактивные двигатели 19

20. Реактивные двигатели 20

21. Реактивные двигатели 21

22. Реактивные двигатели 22

23. Реактивные двигатели 23

24. Реактивные двигатели 24

25. Реактивные двигатели 25

26. Реактивные двигатели 26

27. Реактивные двигатели 27

28. Реактивные двигатели 28

29. Реактивные двигатели 29

30. Реактивные двигатели 30

31. Реактивные двигатели 31

32. Реактивные двигатели 32

33. Реактивные двигатели 33

34. Реактивные двигатели 34

35. Реактивные двигатели 35

36. Реактивные двигатели 36

37. Реактивные двигатели 37

38. Реактивные двигатели 38

39. Реактивные двигатели 39

40. Реактивные двигатели 40

41. Реактивные двигатели 41

42. Реактивные двигатели 42

43. Реактивные двигатели 43

44. Реактивные двигатели 44

45. Реактивные двигатели 45

46. Реактивные двигатели 46

47. Реактивные двигатели 47

48. Реактивные двигатели 48

49. Реактивные двигатели 49

50. Реактивные двигатели 50

51. Реактивные двигатели 51

52. Реактивные двигатели 52

53. Реактивные двигатели 53

54. Реактивные двигатели 54

55. Реактивные двигатели 55

56. Реактивные двигатели 56

57. Реактивные двигатели 57

58. Реактивные двигатели 58

59. Реактивные двигатели 59

60. Реактивные двигатели 60

61. Реактивные двигатели 61

62. Реактивные двигатели 62

63. Реактивные двигатели 63

64. Реактивные двигатели 64

65. Реактивные двигатели 65

66. Реактивные двигатели 66

67. Реактивные двигатели 67

68. Реактивные двигатели 68

69. Реактивные двигатели 69

70. Реактивные двигатели 70

71. Реактивные двигатели 71

72. Реактивные двигатели 72

73. Реактивные двигатели 73

74. Реактивные двигатели 74

75. Реактивные двигатели 75

76. Реактивные двигатели 76

77. Реактивные двигатели 77

78. Реактивные двигатели 78

79. Реактивные двигатели 79

80. Реактивные двигатели 80

81. Реактивные двигатели 81

82. Реактивные двигатели 82

83. Реактивные двигатели 83

84. Реактивные двигатели 84

85. Реактивные двигатели 85

86. Реактивные двигатели 86

87. Реактивные двигатели 87

88. Реактивные двигатели 88

89. Реактивные двигатели 89

90. Реактивные двигатели 90

91. Реактивные двигатели 91

92. Реактивные двигатели 92

93. Реактивные двигатели 93

94. Реактивные двигатели 94

95. Реактивные двигатели 95

96. Реактивные двигатели 96

97. Реактивные двигатели 97

98. Реактивные двигатели 98

99. Реактивные двигатели 99

100. Реактивные двигатели 100

К. Э. Циолковский

Реактивные летательные аппараты

Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники АН СССР

Редактор Издательства Л. В. Кудряцева. Художник Ю. К. Бажанов. Технический редактор Т. В. Полякова

Сдано в набор 27/VIII 1963 г. Подписано к печати 9 XII—1963 г. Формат 60x90^{1/16}
Печ. л. 29,75 + 2 гкл. Уч.-изд. л. 29,3 (29,2+2 гкл.) Тираж 2200. Изд. № 1971
Тип. зак. № 2655

Цена 2 р. 26 к.

Издательство «Наука». Москва, К-62. Подсосенский пер., 21
2-я типография Издательства «Наука». Москва, Г-99. Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
50	2 св.	$1/1000$	$1/100$
50	3 сн.	$v = F \cdot t$	$\frac{P}{g} \cdot v = F \cdot t$
124	9 сн.	$M = 424 \text{ тм}^2$	$M = 424 \text{ тм}$
470	5 сн.	д. 94... 3 л.	д. 93... 28 л.

К. Э. Цимлковский. «Реактивные летательные аппараты.»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение — 1

2. Основные понятия — 2

3. Основные понятия — 3

4. Основные понятия — 4

5. Основные понятия — 5

6. Основные понятия — 6

7. Основные понятия — 7

8. Основные понятия — 8

9. Основные понятия — 9

10. Основные понятия — 10

11. Основные понятия — 11

12. Основные понятия — 12

13. Основные понятия — 13

14. Основные понятия — 14

15. Основные понятия — 15

16. Основные понятия — 16

17. Основные понятия — 17

18. Основные понятия — 18

19. Основные понятия — 19

20. Основные понятия — 20

Учреждение

Редактор

Сла

Пе

Цена 2 р. 26 к.

Издательство «Наука». Москва, К-62. Подсосенский пер., 21
2-я типография Издательства «Наука». Москва, Г-99. Шубинский пер., 10

