

Ирр  
Б-326986

К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

СОБРАНИЕ  
СОЧИНЕНИЙ

B-326986

629.3

49/63  
Kp 2

2

18

01

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ  
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ  
указанного здесь срока

Кол. пред. выдач. \_\_\_\_\_  
г. Сокол бум. комбинат







К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ  
1910 г.

К. Э. Циолковский

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

кРЯ  
629.3  
9-663  
2

# К.Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ

\*

*Том второй*

## РЕАКТИВНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

*Москва 1954*

6-326986

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

НАУКА

КОМПЬЮТЕР

Издание подготовлено Комиссией  
Отделения технических наук АН СССР  
по разработке научного наследия и подготовке к изданию  
трудов К. Э. Циолковского:

академик *А. А. Благонравов* (председатель), академик  
*Б. Н. Юрьев*, доктор техн. наук *В. А. Семенов*, док-  
тор физ.-мат. наук *А. А. Космодемьянский*, кандидат  
техн. наук *М. К. Тихонравов*, инженер *Б. Н. Воробьев*  
(ученый секретарь)

\*

Ответственный редактор академик *А. А. Благонравов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО

АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1951

Рос. Акад. Наук



Мировочески не ограничу  
воинно на землѣ, но, въ  
погонѣ за святими и  
просураиствами, станама  
ривко проширени за  
предели амосора,  
а зашомъ забавоучь  
себѣ все камо самоснае  
просураиство.

К. Цолковски

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



---

## К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ — ОСНОВОПОЛОЖНИК СОВРЕМЕННОЙ РАКЕТОДИНАМИКИ

### I

Ракетная техника — одна из наиболее важных областей научно-технического прогресса в 20-м столетии.

В годы второй мировой войны развитие реактивных аппаратов стало особенно интенсивным. На полях сражений появились реактивные минометы, ракеты дальнего действия, реактивные воздушные торпеды и самолеты с реактивными двигателями.

В послевоенные годы реактивные самолеты-истребители почти вытеснили истребителей с воздушным винтом. Новые скоростные самолеты, как правило, разрабатываются с реактивными двигателями. При помощи ракет изучают состав, температуру и скорость ветра верхних слоев атмосферы, а также законы распространения коротких радиоволн и спектры солнечного излучения на больших высотах. Научно-технические журналы уже всерьез обсуждают проблему создания ракеты — спутника Земли.

Для решения задач ракетной техники пробуждены и организованы такие силы науки и промышленности, о которых даже не могли мечтать в предыдущие эпохи технического развития человеческого общества. Изучение законов движения реактивных аппаратов становится актуальной проблемой современной механики.

Основоположителем теории реактивного движения, создателем принципов, на которых зиждется развитие этого нового раздела науки, вдохновенным пропагандистом реактивных двигателей был знаменитый деятель науки, изобретатель и мыслитель Константин Эдуардович Циолковский.

Движение реактивных аппаратов гораздо более сложно для изучения, чем движение винтовых самолетов и артиллерийских снарядов. Наиболее важным фактором, усложняющим изучение движения, является значительное изменение массы реактивного аппарата во время полета\*.

Изменение массы реактивных аппаратов в процессе движения не позволяет использовать для расчета формулы классической механики,

---

\* Достаточно указать, что у немецкой ракеты дальнего действия Фау-2 за первые 60—65 сек. полета масса уменьшается в 3 раза.

являющейся теоретической базой расчета движения тел, масса которых постоянна во время движения.

Известно также, что в тех задачах техники, где приходится иметь дело с движением тел переменной массы (например, у самолетов с большими запасами горючего), предполагается для упрощения анализа, что траекторию движения можно разделить на участки и считать на каждом отдельном участке массу движущегося тела постоянной.

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

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 — девяти 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 тонкой папиросной бумаги воздушные шары, делает маленький токарный станок и конструирует коляску, которая движется при помощи ветра. Циолковскому было 16 лет, когда отец направил его в Москву для знакомства с промышленностью и продолжения самообразования.

В эти годы у Циолковского зарождается мысль о завоевании 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» \*.

В 1879 г. К. Э. сдал экстерном экзамен на звание учителя народного училища и в 1880 г. был назначен на должность учителя арифметики и геометрии в Боровское уездное училище Калужской губернии.

Работая учителем уездного училища, К. Э. начал свои первые научные исследования. Можно утверждать, что основные научные работы Циолковского были связаны с тремя большими комплексными техническими проблемами, которые выдвигались им как изобретательские

---

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

предложения. 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 1929 по 1935 г., Циолковский много и плодотворно работал над созданием теории полета 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 в задачах исследования 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 теории 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. За вторую работу, названную «Механика животного организма»\*, К. Э. Циолковского единогласно избрали членом Физико-химического общества.

С 1885 г. К. Э. Циолковский начал усердно заниматься вопросами воздухоплавания. Он поставил своей задачей создать маталлический 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, —

\* Работа не была опубликована. (Ред.)

писал К. Э. 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» \*.

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 предвосхищает конструкции самолетов, к которым авиационная техника пришла через 15 лет.

В аэроплане Циолковского 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. Конструктивные очертания аэроплана Циолковского были несравненно более совершенными, 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 своей 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 экспериментом, но когда же это будет. Тяжело рабо-

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

\*\* К. Э. Циолковский. Защита аэронавта. 1911.

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

тать 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 этом томе работ по ракетодинамике впервые 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 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 работы «Свободное пространство».

«...28 марта 1883 года. Утро.

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

«...Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее 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»\*\*.

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 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.

## II

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 этом томе, отметим самые важные достижения ученого в данной области.

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

\*\* «Свободное пространство», наст. том, стр. 52.

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 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 все авторы теоретических работ по ракетодинамике. Это предположение называют гипотезой Циолковского.

Вот как обосновывает эту гипотезу Константин Эдуардович в своей книге «Исследование мировых пространств реактивными приборами»: «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

$$dMV_r + Mdv = 0,$$

или

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

Приняв гипотезу Циолковского, мы можем проинтегрировать (1). Будем иметь

$$v = -V_r \ln M + C.$$

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами», ч. 1, наст. том, стр. 197.



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 пустой ракеты 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  $z = \frac{m}{M_s}$  (отношение веса топлива к весу 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 (4) следует, что:

а) скорость движения 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 в реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость ракеты увеличивается в прогрессии арифметической» \*. Этот закон можно выразить двумя рядами чисел:

Относительная масса ракеты	2	4=2 <sup>2</sup>	8=2 <sup>3</sup>	16=2 <sup>4</sup>	32=2 <sup>5</sup>	64=2 <sup>6</sup>	128=2 <sup>7</sup>
Относительная скорость ракеты	1	2	3	4	5	6	7

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами. Дополнение 1914 г.», наст. том, стр. 142.

«Положим, например, — пишет Циолковский, — что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8 единиц. Я отбрасываю четыре единицы и получаю скорость, которую 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 теоремы и пояснения Циолковского видно, что «скорость ракеты далеко не пропорциональна массе взрывчатого вещества, она растет медленно, но беспрестанно»\*.

Из формулы Циолковского следует весьма важный практический результат: для получения возможно больших скоростей ракеты в конце процесса горения гораздо выгоднее идти по пути увеличения относительных скоростей отбрасываемых частиц, чем по пути увеличения относительно запаса горючего.

Так, например, если бы захотели в два раза увеличить скорость в конце активного участка для ракеты, 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.

### III

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 притяжения как бы цепью, приковывающей человека к нашей планете. Область действия сил тяготения он назвал

---

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами. Дополнение 1914 г.», наст. том, стр. 142.

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 килограммам, то на высоте, равной радиусу земли (около 6400 километров), вес человека будет только 20 килограмм. 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 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 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 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 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 меньше собственного веса ракеты. Эта идея Циолковского послужила темой 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 оценки запасов топлива, нужных ракете для того, чтобы пробить слой земной атмосферы. Так как сила сопротивления воздуха препятствует увеличению скорости ракеты, то Циолковский назвал область действия сил сопротивления воздуха панцырем атмосферы.

Панцырь тяготения и панцырь атмосферы держат ракету вблизи земли. Преодолейте их, и вы будете жителем космического пространства, вы можете направить вашу ракету к любой планете или астероиду!

Циолковский сделал впервые вычисления наиболее выгодного 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. Еще в первых своих работах он отмечает один случай, когда коэффициент полезного действия ракеты будет равен единице. Этот случай имеет место, когда 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 в современных реактивных двигателях имеют величину от 1800 до 2200 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, очертанию сопла; разбирается вопрос о создании устойчивого полета 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 горючими веществами, которые при своем смешении образуют взрывчатую массу. Взрывчатая масса зажигается в определенном месте, вблизи центра ракеты, а продукты горения, горючие 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 ракетоплательями 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.

## IV

Константин Эдуардович много занимался исследованием 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 реактивного движения должны обладать следующими свойствами:

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

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

3. Должны при горении развивать возможно низкую температуру, чтобы не сжечь или не расплавить камеры сгорания.

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

5. Должны быть жидкими 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 употреблять 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».

Детальные исследования прямолинейных движений ракет и изучение скоростей отброса, получаемых при употреблении различных топлив, убедили Циолковского, что достижение больших космических скоростей —

\* «Достижение стратосферы. Топливо для ракеты», наст. том, стр. 374.

очень трудная техническая проблема. Для того чтобы достигнуть космических скоростей при уже известных в то время топливах, Циолковский в 1919 г. выдвинул новое, оригинальное решение. Он предложил составные (или многокамерные) ракеты или ракетные поезда и дал их подробную математическую теорию \*. «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. Но только часть поезда уносится в небесное пространство, остальные части, не имея достаточной скорости, возвращаются на землю. Одиночной ракете, чтобы достичь 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 содержанием. Это затрудняет устройство реактивных приборов. Поезд же дает возможность или достигать больших космических скоростей или ограничиться сравнительно небольшим запасом 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  $1/3$ , получается следующая таблица:

Число камер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окончательная скорость последней камеры в долях относительной скорости отброса . .	1,386	1,856	2,118	2,325	2,491	1,622	1,725	1,835	2,924	3,005

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.

## V

В последние годы 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 самолетом, снабженным воздушным винтом. Ука-

\* «Космические ракетные поезда», наст. том, стр. 298.

зывая 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 К. Э за 10 лет до того, как первый реактивный самолет, построенный в СССР, 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.

«Ракетоплан подобен обыкновенному аэроплану, — пишет Циолковский, — но он имеет по сравнению с аэропланом небольшие крылья и у него нет совсем воздушного винта. Ракетоплан обладает очень сильным мотором, который выбрасывает продукты горения через особые конические трубы назад, к кормовой части снаряда. Получается отдача, отталкивание, реакция, силой которой и совершает свое ускоренное восходящее движение ракетоплан».

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 до-революционной 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 котором излагались некоторые формулы ракетодинамики. В этой статье фамилия Циолковского даже не упоминалась. В 1919 г. профессор Годдар 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. Годдар 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 в результате настойчивости многих русских инженеров и ученых и большого числа статей в советской прессе Оберт в частных письмах к Циолковскому вынужден был признать его приоритет в разработке ракет для космических полетов. Такое замалчивание трудов выдающегося русского ученого, создателя новой научной дисциплины — ракетодинамики — продолжается до наших дней. Основоположниками теории ракет дальнего действия называют Годдара, Оберта, фон Брауна и других, сознательно замалчивая имя Циолковского, который более полвека назад получил основные расчетные формулы и указал ряд выдающихся конструкторских предложений для ракет этого типа.

Приоритет Циолковского в разработке основ динамики полета ракет доказывается чрезвычайно просто сравнением соответствующих опубликованных работ. Как мы указали, работа Э. Пельтри по теории движения ракет была опубликована за рубежом только в 1913 г., т. е. спустя десять лет после первой работы Циолковского.

Работы Циолковского неизмеримо богаче идеями, методами, фактическим материалом.

В работах Константина Эдуардовича виден подлинный новатор, создатель новых путей исследования, смелый и оригинальный творец прогрессивного направления в науке.

Хотя в современных книгах, издаваемых в Англии и Америке, формулы Циолковского пишутся без всяких ссылок на работы подлинного автора, еще никто из иностранных ученых не опроверг и не сможет опровергнуть приоритета Циолковского в теории реактивного движения.

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

## VI

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

\* Социалистическая академия была организована в июне 1918 г. В 1923 г. она была переименована в Коммунистическую академию. В 1936 г. основные институты Комкадемии были переданы в Академию Наук СССР.



назначена персональная пенсия. Комиссия по улучшению быта ученых взяла на себя заботу о Циолковском, обеспечив ему нормальные условия жизни в 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 самолетостроения), 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 часто рукой последнего писались первые планы 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 промышленности.

Полеты ракет наблюдали многие и до Циолковского. История говорит нам, что первые ракеты были построены в Китае 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.

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.

Уменье 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 исследований и дать результаты классической ясности и простоты мог только человек выдающегося дарования.

Характерная черта крупного исследователя — это уверенность в новых, едва заметных и уловимых для современников направлениях технического развития общества. Правильное предвидение путей прогресса, полное понимание устремлений общественного развития дают уверенность в победе тех новых идей, которые высказывают впервые — часто в логически несовершенной форме. «Карлейль в своем известном сочинении о героях называет великих людей начинателями. Это очень удачное название. Великий человек является именно начинателем, потому что он видит дальше других и хочет быть 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.

В работах Циолковского математические формулы и расчеты не загромаждают ясных технических идей, сформулированных оригинально и четко. Как во всяком бессмертном произведении, для которого проверка временем 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 русским классическим сочинениям.

В своем известном письме И. В. Сталину Циолковский писал: «Все свои труды по авиации, ракетоплаванью и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды».

Мы можем смело сказать, что научное наследство К. Э. Циолковского, переданное большевистской партии и советской власти, не хранится так, как «архивариусы хранят старую бумагу». Советская наука умножает 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.

\* \* \*

Во втором томе собрания сочинений К. Э. Циолковского публикуются все основные работы ученого по ракетодинамике. Работы расположены

\* Г. В. Плеханов. К вопросу о роли личности в истории. Соч., т. VIII, стр. 305.

в хронологическом порядке. Впервые публикуется юношеская работа Константина Эдуардовича «Свободное пространство», написанная в 1883 г. Эта юношеская работа К. Э. Циолковского позволяет установить правильное развитие его идей по изучению принципа реактивного движения. Краткие исторические справки по всем работам с указанием публикации, взятой за основу научного текста, составлены инж. Б. Н. Воробьевым. Он же составил краткое описание содержания статей по ракетодинамике, не вошедших в данный том. Сюда относятся статьи в газетах и журналах, повторяющих почти дословно текст основных работ, полностью публикуемых в данном томе. Мы стремились максимально бережно относиться к оригинальному тексту статей Циолковского, сохраняя его своеобразную манеру выражений, нумерацию формул, полемические замечания. Целый ряд научных результатов, приводимых в статьях Константина Эдуардовича, устарел (например, данные о верхних слоях атмосферы, сопротивлении при больших звуковых скоростях полета, внутриатомной энергии и др.), на что редактор тома обращает внимание читателей краткими примечаниями. Некоторые из утверждений Циолковского, относящиеся к жизни человека на межпланетном корабле, его суждения об общественном устройстве межпланетных поселений и ряд высказываний по биологии являются или опровергнутыми современной наукой, или спорными. Во всех таких случаях мы даем или соответствующие примечания, или допускаем незначительные купюры текста.

Все математические выкладки тщательно проверены и обозначения приведены к современному виду. Терминология в небольшом числе случаев уточнена.

Большую помощь в работе над этим томом оказал мне ученый секретарь Комиссии ОТИ АН СССР по разработке научного наследия и подготовке к изданию трудов К. Э. Циолковского инженер Б. Н. Воробьев, которому приношу искреннюю благодарность.

*Проф. Ар. А. Космодемьянский.*

---



# РЕАКТИВНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

---



## СВОБОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО \*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОБ[ОДНОГО] ПРОСТРАНСТВА]

1883 год. 20 февраля.  
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 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] ПРОСТРАНСТВА]

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.

Представим себе мировое пространство, усеянное звездами и планетами.

Наблюдения астрономов показывают (последующие числа взяты из популярной астрономии Араго), что скорость, с которой движется центр

\* Печатается впервые по рукописи. См. «Приложение», п. 3. (Ред.).

\*\* У автора подчеркнуто. В дальнейшем все выделения в авторском тексте даются в разрядку. (Ред.).

\*\*\* Написание названий планет (земля, солнце, луна) в настоящем томе сохранено таким, как это было написано самим К. Э. Циолковским, т. е. в одних статьях эти названия начинались со строчной буквы, а в других с прописной. (Ред.).

тяжести солнечной системы, составляет около 8 километров в секунду. Движения других звезд также не очень многим отличаются от движения нашего Солнца. Так, наибольшая из замеченных скоростей — скорость Арктура составляет приблизительно 80 километров (в секунду).

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 километров. 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 километров в секунду.

Предполагая это ускорение постоянным, нетрудно его вычислить и сравнить с ускорением тел и у земной поверхности.

Ускорение Арктура в секунду равно  $\frac{80.1000}{3000.365.24.60.60}$ , (т. е.) около  $\frac{1}{1\ 000\ 000} = 0,000001$  метра.

Ускорение же тела у земной поверхности составляет около 10 метров. Последнее больше первого в  $10 : \frac{1}{1\ 000\ 000} = 10\ 000\ 000$ .

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 биллионы раз меньше земной тяжести у поверхности.



21 февраля

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 километров [в секунду].

Итак, большинство небесных тел (звезды) помещено 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.

Междוזвездные 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 СВОЕ[ОДНОГО] ПРОСТ[РАНСТВА]

Вообразим, что одна из звезд, например 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 подале

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, может быть, трудны?

Даже у нас, близ земного пути, вокруг Солнца вращается множество таких групп, что доказывается частным 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.

22 февраля

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ ВАЖНОСТЬ ЯВЛЕНИЙ] СВОБОДНОГО] ПРОСТРАНСТВА]

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

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

свободном пространстве в продолжение полсекунды. Хотя многие из этих испытавших не имеют ни малейшего понятия о явлениях свободного пространства.

### КАРТИНА МЕСТА

Мы в межзвездном 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 своею армией на Европу.

Взгляните кругом — вы не увидите наше прелестное голубое или темносинее 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 выбрать, то мы могли бы выбрать даже такую точку мира, из которой вид еще мрачнее.

Сейчас мы глядим из точки, взятой внутри нашего Млечного 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.

\* Надо сознаться, что это только гипотеза.

23 февраля

## ВЫБОР ПОЧВЕННИКА

Заметим, что некоторые туманные пятнышки могут быть действительными туманностями вроде кометных, потому что сильнейшие телескопы не открывают в них отдельных звезд.

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 несколько подается от берега.

Подпрыгните над Землю 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 биллионы биллионов раз меньше той, которую приобрели вы сами упругостью ваших ножных мускулов.

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

Если мы возьмем для почвенника чугунный шар, имеющий в поперечнике 100 метров, 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 бóльшая 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 ньютоновском 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 разуметь 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.

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 одинаковою силою 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 это на Земле 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, имеет 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, то без влияния силы вечно останется неподвижным. Напр[имер], 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 свобод[ном] 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 простр[анстве] тысяча пудов нисколько не утяготит мою руку или мой мизинец.

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

Так как в свободном простр[анстве] 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 превосходною 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 верха, ни низа; нет, напр[имер], низа, потому что низ есть та сторона, в которую тела ускоренно двигаются. Но при начальной неподвижности не лежащего и не висящего ни на чем тела никогда в свободном простр[анстве] не может быть.

Поэтому там нет также вертикальных и горизонтальных линий и плоскостей. Гирька отвеса или плотничьего ватерпаса не натягивает нить ни в каком направлении. 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 ужасною, 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 черепили 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 руку или опустил.

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

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

Но кровь моя не притечет с особенною силою к моей голове, лицо мое не сделается багровым, жилы (вены) мои не растянутся, не наполнятся 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 неограниченной 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 средою 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, возбудив 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].

### ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ И РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ В Св[ОБОДНОМ] ПР[ОСТРАНСТВЕ]

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 прямолинейным и равномерным.

Свободное тело, т. е. тело, помещенное в свободном пространстве, имея в какой-нибудь момент времени такое прямолинейное и 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 прямые и параллельны, т. е. поезд движется 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 (10 верст) километров в секунду, то наш поезд, сорвавшись в пропасть, опишет большей или меньшей величины эллипс, что заставит его (неразборчиво.— *Ред.*) и, ударившись о Землю, может расшибиться 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 не потеряет, он вечно будет носиться в свободном пространстве с одною и тою 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. Вот почему скорость передвижения земных тел так ограничена.

Трение о твердое тело, 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 теряет весь запас своей работы, всю свою скорость и остановится.

Чтобы оно не останавливалось, необходим постоянный расход сил. Напр[имер], пароход и паровоз при своем движении постоянно поглощают силу, или, точнее, работу, заключенную в дровах или угле.

На Земле путешествие кругом земного шара для желающего не только, даже теперь, очень продолжительно (три месяца), но и сопровождается [большими расходами] 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 большего 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 прекращении 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 перепендикулярно, и наклонно к его поверхности. Это не так, как на Земле, где пропасти и горы, непроходимые тропические леса и болота, море, покрытое движущимися горами льда, составляют, пока до развития воздухоплавания, непреодолимые препятствия; где движение совершается большею частью по горизонтальной или мало-наклонной к горизонту поверхности; где пространство движения ограничено, несносно, душно: сверху — небом, снизу — Землей. Кверху не пускает тяжесть, а пустит, — так немножко и погрозит сломать шею; снизу — не пускает Земля, которая от тяжести обваливается в прорытых дырах. Много и других проказ тяжести.

Пятница.

Вечер

26 февраля

#### КАРТИНА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

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

Представим себе в свободном пространстве несколько неподвижных почвенников, которые, положим, составляют селение обитателей космоса (так я назову существующих или несуществующих жителей свободного пространства) и которые (почвенники), 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, напр[имер] жилище-дворец.

Тогда обитатель космоса вместе с его товаром и дворцом сообщает каким-нибудь образом (об этом буду говорить дальше) 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

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 прямолинейное и равномерное движение.

Итак, вот способ сообщить прямолинейное и равномерное движение телам, находящимся в свободном пространстве.

Известно, что такое центр тяжести тела: тело, будучи закреплено в этой точке 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 прекращению действия сил получило равномерное прямолинейное движение.

27 февраля

Центр инерции большинства известных нам тел лежит внутри веществ данного тела; в таком случае нужно, чтобы сила действовала по направлению линии, проходящей через центр тела.

Например, чтобы шар приобрел прямолинейное 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 прямолинейного равномерного 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, например, без прибавки материального диаметра сообщить кольцу прямолинейного равн[омерное] движение, перпендикулярное к его плоскости? Как сообщить, напр[имер], движение бочке с выбитыми днищами по направлению ее оси симметрии? 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.

Сила притяжения, упругости (стальная пружина), мускулов (животное), магнетизм, электричество, — все они, как всякому известно из физики, обусловлены действием небесных или земных тел; планет и солнца; электромагнита действием намагниченного или наэлектризованного тела и пр.

То, из чего исходит сила, можно назвать опорюю. Впрочем, и то, на что действует сила, также можно назвать опорюю 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 опорюю. Вообще на практике чаще бóльшую из взаимодействующих масс называют опорюю.

Так, прилично Солнце назвать опорюю для планет, ружье — для пули, хотя и ружье отскакивает (отдает) от пули. В теории же между опорюю 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. Но движение телу, в свободном пространстве, можно сообщить также и посредством подвижной опоры, имеющей незначительную массу.

28 февраля

### ДВИЖЕНИЕ ОПОРЫ И НАБЛЮДАЕМОГО ТЕЛА

Представим себе в свободном пространстве 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, например, сжатую, легкую стальную пружину, концы которой упрутся в свободные центры [инерции] тел, то по расжатию пружины оба тела, очевидно, получают прямолинейные и равномерные движения [фиг. 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 тела, 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.

### 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 [инерция] в какое-нибудь данное время. Пусть в это время все тела мгновенно остановятся. Скрепим их все в одно целое крепким твердым, но безинертным веществом, не изменяя нисколько их положения. Законы инерции, о проявлении которых в свободном пространстве я уже говорил, состоят в том, что тело не может само собой начать двигаться или изменить свое движение, например, ускорить его или повернуть в сторону. Я скрепил данную систему тел безинертным веществом, т. е. таким, которое не подчинено законам инерции — оно не представляет никакого сопротивления при сообщении ему движения. Такое безинертное 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 безинертной массе найдем точку, действие произвольной силы на которую всегда приводит скрепленную систему в прямолинейное и 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. Я нахожусь от почвенника на расстоянии 60 метров. Кругом, ближе почвенника ничего нет. Только в руках моих камень, масса которого килограмм. Мне нужно быть у почвенника. Насколько сил хватило, я отбросил камень по направлению, противоположному тому, куда я хочу двигаться. Камень получил скорость в 10 метров. Масса моего тела 100 килограммов, следовательно, мое тело оттолкнулось к почвеннику со скоростью, в 100 раз меньшею скорости камня, т. е. со скоростью  $\frac{1}{10}$  метра, или дециметра. 60 метров расстояния, отделяющего меня от почвенника, я пролечу в  $(60 : \frac{1}{10}) = 600$  секунд, или 10 минут. 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 силою мускулов оттолкнуть камень так, чтобы отталкивающий не получил вращательного движения.

1 марта

Нас двое, мы находимся на одной линии с двумя почвенниками. Наше положение вы видите из чертежа [фиг. 2]. 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 одинаковою силою пятками друг в друга. Теперь наши ноги одновременно распрямляются, и мы несемся с одинаковою скоростью в противоположные стороны. Если бы отталкивались два человека с такими силами, как я, а я могу прыгнуть на Земле в высоту  $\frac{1}{3}$  метра, то каждый бы из нас начал двигаться со скоростью 12 километров в час. До почвенника, находящегося на расстоянии 120 километров, я бы долетел в 10 часов. 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 владельцу, теряется для последнего бесследно.

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 владельца.

Во втором примере два человека, находившиеся вместе, пропадают друг для друга, потому что без влияния сил не могут никогда сойтись. В обоих примерах движения и опоры, и отталкиваемого 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 деле [фиг. 3].

Мне пить хочется; на расстоянии 10 метров от меня, ничем не поддерживаемый 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. 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 метров; они пролетели 10 000 метров, или 10 километров.

Я стал тянуть часы назад — к себе и свивать нить на клубок. Когда я свил нить длиною, очевидно, в 10 100 метров и схватил часы, то увидел опять себя на прежнем месте на расстоянии 10 метров от графина с водою. Возвратив себе часы и нить, я снова могу уже в другом желаемом направлении совершить маленькое путешествие. Итак, 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 метров) нужна была бы нить только в 20 метров. 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 [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 километров в секунду; тогда скорость отталкиваемого тела в 100 раз меньше и равна (10 км. 1000 = 10 000 м : 100 = 100) 100 метров.

За опору можно принять пушечное ядро, за отталкиваемое тело — пушку. Для взятых чисел пушка получит скорость в 100 метров.

После того как я сказал о способе сообщения телу при посредстве неподвижного почвенника (или опоры) прямолинейного и равномерного движения, мне нужно было нарисовать картину о влиянии мускулов животного и других [неразборчиво. — *Ред.*] сил на передвижение больших и малых тел в свободном пространстве. Я это сделаю теперь. Силу давления руки измеряют на Земле тем грузом, который она в состоянии поднять на земле. Говорят: сила руки в 10, 100 килограммов. Так же на Земле измеряют и другие силы: упругость пружины, упругость газов, твердых тел и жидких, магнетизм и пр. Но в свободном пространстве тяжести нет. Как же судить о силе?

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

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

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.

\* На основании теоремы о количестве движения для точки, движущейся прямолинейно, имеем:  $mv - mv_0 = \int_{t_0}^t F dt$ . Если  $F = \cos nt$ ,  $v_0 = 0$ , 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.*)



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 секунду скорость увеличивается в 10 раз (100 метров). Наоборот, если массовая единица приобрела в одну секунду скорость в сто метров, 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.

Тут одна силовая единица дарится 100 массовым единицам, следовательно, одной массовой единице приходится 1 сотая силовой единицы. От этой одной сотой силовой единицы каждая массовая единица приобретает скорость, в 10 раз меньшую, чем от целой единицы, т. е. в 1 метр ( $10 : 10 = 1$ ).

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 секунду, 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 одну секунду. 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

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

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

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

10 м/сек<sup>2</sup> называют ускорением Земли (g). Поэтому формулы можно написать иначе:

$$\text{Ск[орость]} = \frac{\text{ускорение} \times \text{сила} \times \text{время}}{\text{масса}}. \quad (1)$$

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

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

$$\text{Масса} = \frac{\text{уск[орение]} \times \text{сила} \times \text{вр[емя]}}{\text{Ск[орость]}}. \quad (3)^*$$

В свободном пространстве по объему только легко определить массу воды. Эта формула и служит для определения массы всякого тела. Впрочем, на Земле измеряют разные силы, в том числе и тяжесть, не только приборами, основанными на явлении тяготения, например 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 килограммов, т. е. как раз равное весу моего тела на Земле. Можно придумать для свободного пространства силомер, основанный на упругости какого-нибудь газа. Наконец, центроб[ежные] машины.

Рассмотрим теперь влияние человеческого усилия в 10 килограммов (65 килограммов — 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 килограммов. В конце первой секунды под действием силы масса, соответствующая весу в 100 кг, приобретает скорость в 1 метр.

Если теперь сила перестанет действовать, то масса начнет двигаться равномерно со скоростью 1 метра в секунду. Вот таблица, показывающая результат действия непрерывной силы в 10 силовых единиц на 100 массовых единицы:

---

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

Время в сек. . . . .	$\frac{1}{100}$ $\frac{2}{100}$ $\frac{3}{100}$ $\frac{99}{100}$	1, 2, 3, 3 $\frac{1}{2}$ , 4, 10, 1000, 3600, 86 400
Скорость в 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, 86 400
Пространство в м . . . .		

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

#### ОСТАНОВКА ИЛИ ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ

Если тело, которое назовем наблюдаемым, уже имело прямолинейное и 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 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 прямолинейном равномерном движении.

Последующие примеры объяснят сказанное.

4 марта

Я мчусь со скоростью 10 метров в секунду. На моем пути лежит масса огня или, лучше сказать, масса накаленного 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 мною 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 метров.

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

Для этого я располагаю пружину так, как показано на рисунках, т. е. 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 метров; от действия пружины я приобрел обратную скорость в 10 метров ( $-10$ ). 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 метров

$$10 + 10 = 20.$$

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

Напр[имер], если бы пружина могла сообщить мне при моей неподвижности обратную скорость в 11 метров, то после действия пружины и при моем прямом (поступательном) движении в 10 метров я приобрел бы обратную скорость в 1 метр

$$(10 + (-11)) = -1 \text{ метр.}$$

Свинец же двигался бы в раскаленной массе со скоростью 21 метра ( $10 + 11 = 21$ ).

Будь пружина чуть-чуть послабее, пусть, например, она в состоянии сообщить неподвижному вначале телу скорость только 9 метров и 999 миллиметров

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

Тогда не вся моя поступательная скорость отнимется у меня — останется еще один миллиметр скорости к огню.

Если в момент действия пружины расстояние до огня составляет один километр, то я коснусь раскаленной массы чрез 1 000 000 секунд ( $1\ 000 : 0,001 = 1\ 000\ 000$ ), или через 11 с лишком суток.

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

7 марта.

Вечер

Чтобы от огня уклониться в сторону, нужно центры расположить так, чтобы линия центров должна быть перпендикулярна или, по крайней мере, наклонна к направлению первоначального движения. После разжатия пружины скорости и направления обоих тел изменяются, 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 попрежнему 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 прямолинейное и равномерное движение; это значит, что оно, при своем поступательном движении, не имеет ни малейшей примеси движения вращательного, потому что все его точки двигаются с одинаковою 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 многоугольника.

### ОБЩИЙ ЦЕНТР ИНЕРЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТЕЛ

Я дал понятие о свободном центре инерции 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 останется неподвижным, несмотря на движения составляющих тел.

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

Поэтому, хотя численное или бесчисленное множество опор и главное — путешествующее тело, для которого служат эти опоры, и движутся по самым разнообразным направлениям, с самыми разнообразными скоростями, однако же есть точка, называемая свободным центром инерции 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 членов силою мускулов.

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

28 марта.  
Утро**КРИВОЕ 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 или возрастать, или уменьшаться.

Положим, что дана бочка, наполненная сильно сжатым газом. Если отвернуть один из ее [неразборчиво.— *Ред.*] 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.

Если, напр[имер], бочка была неподвижна, а отталкивание газа происходит по линии, соединяющей свободный центр инерции тела с отверстием крана, или если бочка имела прямолинейное движение, совпадающее с направлением отталкивания газа, то бочка будет иметь от действия газа прямолинейное ускоренное или замедленное движение. А если бочка имела движение, не совпадающее с направлением отлетающих частиц газа, то движение ее будет параболическое, предполагая, что газ отталкивается с постоянною силою и в постоянном количестве. Посредством достаточного количества кранов (шести) можно так управлять [отбрасыванием] газа, что движение бочки или полого 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 — минуты, часы, день, а затем оно делается прямолинейным и равномерным. Вообще, равномерное движение по кривой или прямолинейное неравномерное движение сопряжено в свободном пространстве с непрерывною потерю вещества (опоры). Также ломаное движение сопряжено с периодическою потерю вещества.

29 марта.  
Утро

Впрочем, если главное тело и опоры соединены между собою тонкими и длинными нитями, то хотя движение тел и будет более или менее ограни-

чено, смотря по длине нитей, но все же опоры и главное тело вновь могут быть соединены в одну кучу.

При этом свободные центры тел останвятся и окажутся на прежнем месте, или же все будут иметь прежнее равномерное и прямолинейное движение, какое они имели для своего взаимодействия.

**Т е о р е м а.** 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.

30 марта.

Утро

### ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

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 одною скоростью.

Вращательное движение называется равномерным, если точки, равностоящие 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 совершиться и вокруг неукрепленной оси, свободно висящей в пространстве. Такую ось проще всего назвать *с в о б о д н о ю*. О таком-то вращательном движении *т в е р д о г о* 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 и 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 центр инерции 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, для однородного шара 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. Например, 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.

1 апреля.

Утро

### СПОСОБ С ПОМОЩЬЮ НЕПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ СООБЩИТЬ 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 приобретает 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 плоскость через прямую и ось.

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

По прекращению их действия тело приобретает равномерное вращательное движение вокруг свободной неукрепленной оси. Этот метод применяется для тел, которые не имеют вещественной оси.

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

2 апреля

### 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 приобретает противоположное вращение. Оси свободные могут принять произвольные (желаемые) положения, но должны быть параллельны.

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

Отношение угловых скоростей равняется обратному отношению моментов инерции

$$\frac{Ск_2}{Ск_1} = \frac{\text{момент инерции первого тела}}{\text{момент инерции второго тела}} .$$

Я сказал, что момент инерции зависит от расположения масс; 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 (прямолинейном) сопротивление (инерция прямолинейного параллельного движения) зависит только от массы, которой оно пропорционально, и нисколько не зависит от формы вещества. Во вращательном движении инерция зависит от расположения масс относительно оси.

3 апреля.  
Утро

### 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. 4 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 движения двух смежных зубчатых колес какой-нибудь машины. Точно так же сообщается устойчивое вращательное движение телам и тогда, когда оси 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, как вокруг одной из двух поперечных. В двух последних рисунках вращение совершается в плоскости рисунка.

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 больше угловой скорости человека. И обратно. Так, если волчок делает сто оборотов в секунду, то человек сделает в секунду только  $\left(\frac{100}{10\ 000}\right) = \frac{1}{100}$  оборотов, т. е. целый оборот он сделает в 100 секунд, или в  $1\frac{2}{3}$  минуты.

Такое, повидимому, медленное вращение, однако, гораздо быстрее вращения Земли, которая оборачивается в продолжение 1 440 минут.

Можно рукой сообщить вращение опоры 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 силою 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 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

## 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 заметят тотчас же 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 повернется 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  $\frac{1}{360}$  оборота и также остановится. При 90 оборотах колеса здание сделает  $\frac{90}{360}$  окружности, или повернется на 90 градусов.

В здании может быть не одно колесо.

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

При некоторой ловкости два человека, вначале неподвижных, могут сообщить друг другу силою 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 вращение другого, и обратно.

9 апреля

**ОПИСАНИЕ СНАРЯДА. УСТОЙЧИВОСТЬ СНАРЯДА.  
УСТОЙЧИВОЕ ЦИКЛОИДАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ (ПРЯМОЕ).  
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 [фиг. 4].

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 выдержать 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 ( $\Pi$ ,  $\Pi_1$ ) 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 поворотить 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).

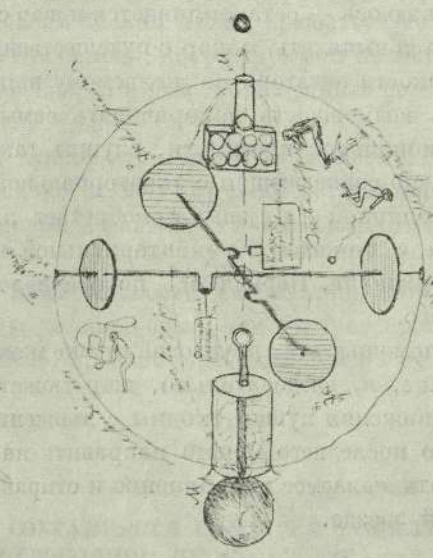
На том и другом конце меридиональной оси (в плоскости экватора) укреплены два прибора. Один ( $M$ ), вроде пушки, служит для того, чтобы отбрасывать ядро по направлению меридиональной оси.

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, напр [имер],



Сфера с центром в центре  
 и вращающаяся вокруг  
 центра, которая и составляет  
 сферу. Сфера с центром в центре  
 и вращающаяся вокруг центра  
 и вращающаяся вокруг центра  
 и вращающаяся вокруг центра



Сфера с центром в центре  
 и вращающаяся вокруг  
 центра, которая и составляет  
 сферу. Сфера с центром в центре  
 и вращающаяся вокруг центра  
 и вращающаяся вокруг центра

Вопросом является ли  
 свободное пространство, которое  
 существует в природе, и если  
 да, то в какой мере?  
 Вопросом является ли  
 свободное пространство, которое  
 существует в природе, и если  
 да, то в какой мере?  
 Вопросом является ли  
 свободное пространство, которое  
 существует в природе, и если  
 да, то в какой мере?

Фиг. 4.

(Стр. 104 и 105 рукописи «Свободное пространство»)

пружиной или силою руки, причем к ядру этому прикреплена нить большой длины, которая не позволяет ему удалиться в бесконечность, между тем как каждое выброшенное ядро первой пушки пропадает для путешественника на-веки, 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.

Силою руки или какой-[нибудь] машинки я заставлю поворачиваться ось с кругами, вследствие этого поворачивается и шар, но в противоположную сторону и до тех пор, пока силою 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. Ненужное поворачивание шара, вследствие этой причины, влечет

за собою 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.

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, дав 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 своего направления, но получит вместе с шаром тем большую устойчивость, чем быстрее вращение кружков, скорость которых, конечно, произвольна, лишь бы их не разорвала центробежная сила.

11 апреля.

Утро

#### УСЛОВИЯ СОХРАННОСТИ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

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

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

человека в свободном пространстве, достижение которого для человека, я докажу в своем месте, не абсолютно невозможно.

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

Ньютоново тяготение одною своею силою 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 некоторые летучие тела в твердом виде (лед), необходимо заключать их в закрытый со всех сторон сосуд, сделанный из твердого вещества достаточной крепости.

Если при этом внутренний объем сосуда больше объема вмещаемой им жидкости, то оставшаяся пустота наполняется парами жидкости, плотность и упругость которых будут 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, как и 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, 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 обнаруживаются явления волосности потому что в свободном пространстве эти явления не подавляются тяжестью, как на Земле.

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 собою 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 спиртомеры, солемеры, ареометры, гидростатические весы, также и рычажные, нивелиры. Хотя в свободном пространстве и возможна более или менее значительная упругость газов, но эта упругость может измеряться только упругостью же, а не весом, которого в свободном пространстве нет. Поэтому для этой цели пригодны барометры, анероиды 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 ни в метр, а в километр. Вообще, все приборы, основанные не на законах тяжести, с успехом, даже большим, чем на Земле, применяются и к свободному пространству. 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 метр. На глубине 10 километров давление  $10^6$  кг на кв. метр.

Действительно, давление морской воды на километр ниже уровня морей составляет уже более чем 1 000 000 силовых килограммов на каждый квадратный метр 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 весах также равна нулю. В пустоте свободного пространства оно весило нуль да при погружении в жидкость потеряло нуль весу, следовательно, и в жидкости вес его остается равным нулю.

Итак, хотя закон Архимеда 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, находящиеся на поверхности или внутри жидкости, не тонут и не всплывают, но остаются 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 своею массою (окружить) при соприкосновении с водою. 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, напр[имер], 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 надымат 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 благадеяниями (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 двигается сообразно отбросившей силе подобно лодке, оттолкнутой от берега в стоячей воде. Всякое тело, имеющее ось симметрии и брошенное по ее направлению, двигается в газообразной среде свободного пространства по прямой линии со скоростью меньшею и меньшею, 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, двигается 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, что газы и жидкости, не говоря уже о твердых телах, могут сохраняться при известных условиях в свободном пространстве без изменения самого состояния. Мало того впоследствии я докажу, что создание относительной тяжести произвольного напряжения в свободном пространстве нисколько 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 (воздуха).

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.

#### 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. совпадающему с направлением земной силы; а изменение направления относительно тяжести в опыте изменяет также 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 пространстве 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 образом, 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 необходимою или даже благотворною причиною 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 силою.

Действительно, теория показывает, что если в какой-нибудь данной стеклянной трубке на Земле вода силою волосности поднимается на один сантиметр, то на Луне вода в той же самой трубке поднимется на высоту в шесть сантиметров, на Весте — на высоту в 30 см, на Аталанте — в 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 держания 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 отыскивания скорейшим образом пищи и нанесения соперникам чувствительных ударов.

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 свободному 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 достижимо для человечества, как кажется, то тогда свободные явления заслужат у читателя более серьезного внимания и интереса.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИРОВЫХ ПРОСТРАНСТВ РЕАКТИВНЫМИ ПРИБОРАМИ \*

### ВЫСОТА ПОДЪЕМА НА ВОЗДУШНЫХ ШАРАХ; РАЗМЕРЫ, ВЕС ИХ. ТЕМПЕРАТУРА И ПЛОТНОСТЬ АТМОСФЕРЫ

1. Небольшие аэростаты с автоматически наблюдающими приборами, без людей, до сих пор поднимались до высоты, не большей 22 км.

Трудности подъема на большую высоту с помощью воздушных шаров возрастают с увеличением этой высоты чрезвычайно быстро.

Положим, мы хотим, чтобы аэростат поднялся на высоту 27 км и поднял груз в 1 кг. Воздух на высоте 27 км имеет плотность около  $\frac{1}{50}$  плотности воздуха у земной поверхности (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 м<sup>3</sup> водорода, которые на высоте займут 100 м<sup>3</sup>. При этом шар поднимает 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 м<sup>2</sup>. Следовательно, каждый 1 м<sup>2</sup> материи, считая и пришитую к ней сетку, должен весить 10 г.

Квадратный метр обыкновенной писчей бумаги весит 100 г; вес же 1 м<sup>2</sup> папиросной бумаги составляет 50 г. Так что даже папиросная бумага будет в пять раз тяжелее той материи, которая должна быть употреблена на наш аэростат. Таковую материю применить в аэростате невозможно, 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 м<sup>2</sup> которой весит около 100 г, т. е. чуть тяжелее обыкновенной писчей бумаги. Поднимет он 1000 кг груза, что чересчур много для самопишущего прибора.

\* Напечатано впервые в журнале «Научное обозрение», № 5, 1903 г., под заголовком «Исследование мировых пространств реактивными приборами». В 1924 г. статья издана отдельной брошюрой в Калуге. Вошла в «Избранные труды», кн. II, 1934 г. Изд. ОНТИ. Продолжением этой статьи К. Э. Циолковский считал свою работу «Исследование мировых пространств реактивными приборами», часть II (Исследование 1911—1912 гг.). См. также «Приложение», п. 11. (Ред.).

Если ограничиться при тех же громадных размерах аэростата подъемною силою в 1 кг, то оболочку можно сделать раза в два тяжелее. Вообще, в таком случае аэростат хотя и обойдется весьма дорого, построение его нельзя считать делом невозможным. Объем его на высоте 27 км составит 100 000 м<sup>3</sup>, поверхность оболочки 10 300 м<sup>2</sup>.

А между тем, какие жалкие результаты! Подъем на каких-то 27 км высоты.

Что же сказать о поднятии приборов на ббльшую 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.

Поднятие приборов за пределы атмосферы с помощью воздушного шара, разумеется, совсем немислимо; 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° Ц на каждый километр подъема, что довольно близко к действительности, по крайней мере, для доступных слоев атмосферы\*.

Высота атмосферы ** в км	Температура в °Ц	Плотность воздуха
0	0	1
6	— 30	1 : 2
12	— 60	1 : 4,32
18	— 90	1 : 10,6
24	—120	1 : 30,5
30	—150	1 : 116
36	—180	1 : 584
42	—210	1 : 3900
48	—240	1 : 28 000
54,5	—272	0

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

\* Теперь известно, что понижение температуры идет только до пределов тропосферы, т. е. до 11 км.

\*\* По современным данным, в стратосфере от 11 до 35 км температура постоянна и равна —56,5° Ц. В области от 35 до 50 км наблюдается повышение температуры до 30—35° Ц. (Ред.).

Делитель последнего столбца показывает трудность, которую может встретить постройка воздушного шара.

2. Перейдем к другой идее полета в высоту — с помощью пушечных снарядов.

На практике начальная скорость движения снарядов не превышает 1200 м/сек. Такой снаряд, пущенный вертикально, поднимется на высоту в 73 км, если полет совершается в безвоздушном пространстве. В воздухе же высота подъема будет много меньше в зависимости от формы и массы снаряда.

При хорошей форме снаряда высота подъема может достигать значительной величины; но помещать наблюдающие приборы внутри снаряда невозможно потому, что они будут разбиты вдребезги или при возвращении снаряда на Землю, или при самом движении его в пушечном стволе. Опасность при движении снаряда в канале меньше, но и эта опасность для целости аппаратов громадна. Положим, для простоты, что давление газов на снаряд равномерно, вследствие чего ускорение его движения составляет  $W$  м/сек<sup>2</sup>. Тогда то же ускорение получают и все предметы в снаряде, принужденные совершать с ним одно движение. От этого внутри снаряда должна развиться относительная, кажущаяся тяжесть\*, равная  $\frac{W}{g}$ , где  $g$  есть ускорение земной тяжести у поверхности Земли.

Длина пушки  $L$  выразится формулой

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

откуда

$$W = \frac{V^2}{2L} + g,$$

где  $V$  — скорость, приобретаемая снарядом по выходе из жерла.

Из формулы видно, что  $W$ , следовательно, и приращение относительной тяжести в снаряде, уменьшается с увеличением длины пушки при постоянном  $V$ , т. е. чем длиннее пушка, тем приборы безопаснее во время выталкивания снаряда. Но и при очень длинной, не осуществимой на деле пушке кажущаяся в снаряде 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 снаряде что-нибудь живое, если бы в этом случилась надобность.

3. Итак, допустим, что построена пушка примерно в 300 м высоты. Пусть она расположена вдоль башни Эйфеля, которая, как известно, имеет такую же высоту, и пусть снаряд равномерным давлением газов получает при выходе из жерла скорость, достаточную для поднятия за пределы атмосферы, например для поднятия на 300 км от земной поверхности.

\* Перегрузка. (Ред.).

Тогда потребную для этого скорость  $V$  вычисляем по формуле

$$V = \sqrt{2g \cdot h}^* ,$$

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

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

тут  $\frac{W}{g}$  выражает относительную или кажущуюся тяжесть в ядре. По формуле найдем, что она равна 1001.

Следовательно, тяжесть всех приборов в снаряде должна увеличиться в 1000 раз с лишком, т. е. предмет весом в 1 кг испытывает от кажущейся тяжести давление в 1000 кг. Едва ли какой физический прибор выдержит подобное давление. Какой же толчок должны испытывать тела в короткой пушке и при полете на высоту, бóльшую 300 км!

Чтобы не ввести кого-нибудь в заблуждение словами «относительная или кажущаяся тяжесть», скажу, что я тут подразумеваю силу, зависящую от ускоряющегося движения тела (например, снаряда); 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 снаряде; происходит это потому, что кажущаяся тяжесть зависит от инерции, которой одинаково подвержены все материальные части тела. Итак, приборы внутри снаряда 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 снаряда; действительно, в нижних густых слоях атмосферы скорость снаряда много потеряет вследствие сопротивления воздуха; потеря же скорости сильно сократит и высоту полета снаряда; затем трудно достигнуть равномерного давления газов на снаряд

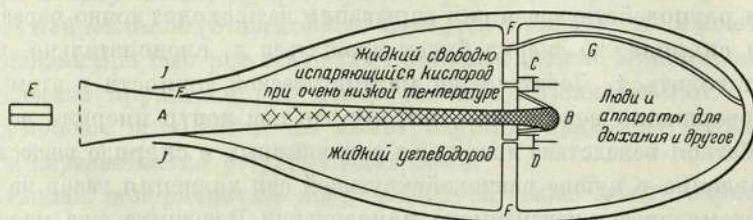
\* В этих расчетах сопротивление воздуха не учтено. (Ред.)

во время его движения в стволе, отчего усиление тяжести будет много более, чем мы вычислили (1001); наконец, безопасность возвращения снаряда на Землю более чем сомнительна.

### РАКЕТА И ПУШКА

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

Вместо них 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 было бы недопустимо.



Фиг. 1.

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: металлическая продолговатая камера (формы наименьшего сопротивления), снабженная светом, кислородом, поглотителями углекислоты, миазмов и других животных выделений, предназначенная не только для хранения разных физических приборов, но и для человека, управляющего камерой (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 [фиг. 1], 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 сгущенные и пламенные газы. В другом расширенном ее конце они, сильно разредившись и охладившись от этого, вырываются наружу через

раструбы с громадной относительной 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.

### Схематический вид ракеты

Оба жидких газа разделены перегородкой. Видно место смешения газов и взрывания их. Видим раструб для вылета сильно разреженных и охлажденных паров. Труба окружена кожухом с быстро циркулирующей в нем металлической жидкостью. Видим руль, служащий для управления движением ракеты.

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 математически неизменного направления. 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 будут.

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

Притяжение Земли не может быть тут основной силой для регулирования, потому что в снаряде 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 снаряда 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 снаряд с пушкой поворачивается, маленькое и яркое изображение солнца меняет свое относительное положение в снаряде, что может возбуждать расширение газа, давление, электрический ток и движение массы, восстанавливающей определенное направление пушки, при котором светлое пятно падает в нейтральное, так сказать, нечувствительное место механизма.

Автоматически подвигаемых масс должно быть две.

Основой для регулятора направления снаряда 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. Проще всего для управления ракетой может служить двойной руль, помещенный вне ракеты, поблизости от выходного конца трубы. Избежать же вращения ракеты вокруг продольной оси можно кручением пластинки, расположенной по направлению движения газов и среди них\*.

### Преимущества ракеты

5. Прежде чем излагать теорию ракеты или подобного ей реактивного прибора, попытаюсь заинтересовать читателя преимуществами ракеты перед пушечным снарядом:

а) аппарат наш сравнительно с гигантской пушкой легок, как перышко; он относительно дешев и сравнительно легко осуществим; б) 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 уменьшается пропорционально массе снаряда, сложенной с массою оставшихся невзорванными взрывчатых

\* Замечательная идея газовых рулей, получивших полное признание в современной ракетной технике. (Ред.).

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 снаряде, даже при огромной пушке, величиною с башню Эйфеля, относительная тяжесть увеличивается в 1001 раз при подъеме на 300 км; с) еще немалое 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; d) при начале поднятия, пока атмосфера густа и сопротивление воздуха при большой скорости огромно, ракета движется сравнительно небыстро и потому мало теряет от сопротивления среды и мало нагревается.

Скорость ракеты лишь медленно возрастает; но затем, по мере поднятия в высоту и разрежения атмосферы, она может искусственно возрастать быстрее; наконец, в безвоздушном пространстве эта возрастающая скорость может быть еще увеличена. Таким путем мы потратим минимум работы на преодоление сопротивления воздуха.

#### РАКЕТА В СРЕДЕ, СВОБОДНОЙ ОТ ТЯГОТЕНИЯ И АТМОСФЕРЫ

##### Соотношение масс в ракете

6. Сначала рассмотрим действие в среде, свободной от тяготения 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 взрывающиеся вещества имеют в окружающей материальной среде некоторую опору, которую они увлекают при своем движении 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 не взорванными 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 величиной  $(M_1 + M)$ ; наконец, по окончании взрывания — постоянной величиной  $M_1$ .

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 равнодействующая взрывчатых 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 наивыгоднейшее 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 постоянной относительно ракеты скоростью  $V_1$ .

10. Я хочу сказать, что относительная скорость вырывающихся элементов при одинаковых условиях взрыва одна и та же во все время взрывания на основании закона относительных движений:  $dV$  есть приращение скорости 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

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

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

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

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 снаряда.

[17]. 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. если 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 разрежается и охлаждается (при достаточной длине трубы), даже обращается в твердое состояние — в пыль, которая мчится со страшною быстротою, 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 явную и отчасти скрытую энергию, которая превратится в конце-концов в быстрое движение кристалликов, направленное во все стороны, так как газ расширился 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.

Казалось бы, что 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. В этом случае при какой бы температуре ни 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.

И еще некоторая незначительная часть указанной нами энергии пропадет для нас, т. е. не превратится в кинетическую энергию благодаря трению о трубу и лучеиспусканию теплоты нагретыми частями трубы. Впрочем, труба может быть окружена кожухом, в котором циркулирует какой-нибудь жидкий металл; он передаст жар сильно 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 одной и той же невысокой температуры трубы, т. е. для сохранения ее крепости. 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, вольфрамом или чем-нибудь иным. Хотя часть углерода при этом и сгорит, но крепость металлической трубы, мало нагретой, пострадать от этого не может.

Газообразный же продукт горения углерода—углекислота — только усилит поднятие ракеты. Может быть применен род тигельного материала—какая-нибудь смесь веществ. Во всяком случае не я решу эти вопросы, как и другие, относящиеся к реактивным приборам.

Во многих случаях я принужден лишь гадать или предполагать. Я несколько не обманываюсь и отлично знаю, что не только не решаю вопроса во всей полноте, но что остается поработать над ним в 1000 раз больше, чем я работал. Моя цель возбудить к нему интерес, указав на великое значение его в будущем и на возможность его решения...

В настоящее время превращение водорода и кислорода в жидкость не представляет особых затруднений. Можно водород заменить жидкими или сгущенными в жидкость углеводородами, например ацетиленом, нефтью. Жидкости эти должны быть разделены перегородкой. Температура их весьма низкая; поэтому ими полезно окружать или кожухи с циркулирующим металлом или непосредственно самые трубы.

Опыт покажет, как сделать лучше. Некоторые металлы делаются крепче от охлаждения; вот такие-то металлы и нужно употребить, например

медь. Не помню хорошо, но какие-то опыты над сопротивлением, кажется, железа в жидком воздухе, указали на то, 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 и подаваемые в известном соотношении в узкое начало трубы, 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 такой степени, что обратится в жидкость, несущуюся в виде тончайшего тумана по направлению длины трубы к ее выходу (раструбу).

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  $1^{\circ}$  Ц 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 надо, во-первых, 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 уменьшения (этот вопрос не совсем выяснен наукой, но мы водород и кислород берем только для примера).

Принимая механический эквивалент теплоты в 427 кгм, найдем, что 3825 соответствуют работе в 1633 кгм; этого достаточно для поднятия продуктов взрыва, т. е. 1 кг вещества, на высоту 1633 км от поверхности земного шара, предполагая силу тяжести постоянной. Эта работа, превращен-

---

\* Автор указал здесь на металл — железо, которое, однако, при низких температурах, как уже указывал в журнале ZFM от 28/IV 1927 г. Ладеман (R. Lademann, Zum Raketenproblem), 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 ожженным 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» (Примечание редактора к *Избранным трудам К. Э. Циолковского*, кн. II. *Реактивное движение*. М., ОНТИ, 1934).

ная в движение, соответствует кинетической энергии 1 кг массы, движущейся со скоростью 5700 м/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 ( $\text{SiO}_2$ ), 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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ), 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 нелишним 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 еще недостаточно разработанные мысли. В самом деле, рассматривая количество энергии, получаемой от химических процессов разнообразных веществ, замечаем в общем, не без исключений, конечно, что количество энергии, приходящейся на единицу массы продуктов соединения, зависит от атомных весов соединяющихся простых тел: чем меньше атомные веса тел, тем больше выделяется тепла при соединении их. Так, при образовании сернистого газа  $\text{SO}_2$  образуется только 1250 кал, а при образовании окиси меди  $\text{CuO}$  — только 546 кал; между тем как уголь при образовании углекислоты  $\text{CO}_2$  выделяет на единицу ее массы 2204 кал. Водород с кислородом, как мы видим, выделяют еще больше (3825).

Для оценки этих данных в применении к высказанной мною идее напомним тут величину атомных весов приводимых элементов: водород—1; кислород — 15; 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, что и доказывает 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.

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

20. Как бы то ни было, но пока для  $V_1$  (см. 15 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  $\frac{M_2}{M_1}$ .

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 быстрейшим возрастанием массы взрывчатых веществ. Поэтому, насколько легко и возможно увеличение массы поднимающегося в небесное пространство снаряда, настолько затруднительно увеличение его скорости.

#### СКОРОСТИ ПОЛЕТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ГОРЮЧЕГО

22. Из уравнения (16) получим следующую таблицу:

$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{V}{V_1}$	Секундная скорость в м/сек	$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{V}{V_1}$	Секундная скорость в 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	0,326	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 таблицы 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 взрыва и израсходования всего 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 и когда самые газы под влиянием окружающих сравнительно теплых тел нагреваются. У нас же эти ожигенные газы должны иметь свободный выход в трубу (помимо постоянного притока их туда в жидком виде), где они, соединяясь химически, взрываются.

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 на сосуды не требуется большой массы вещества.

24. Когда запас взрывчатого вещества равен массе ракеты ( $\frac{M_2}{M_1} = 1$ ), то скорость последней чуть не вдвое более той, которая нужна, чтобы камню или пушечному снаряду, 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  $\frac{M_2}{M_1}$  масс будет равно трем, то уже получится по израсходовании всего запаса такая скорость снаряда, которой лишь немного недостает для того, чтобы он мог возвращаться за пределами атмосферы вокруг Земли, подобно ее спутнику.

При отношении  $\frac{M_2}{M_1}$ , равном шести, скорость ракеты почти достаточна для удаления ее от Земли и вечного вращения вокруг Солнца в качестве самостоятельной планеты. При большом 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 довольно 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  $\left(\frac{M_2}{M_1}\right) = 0,5$ , последняя залетит далеко за пределы атмосферы.

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (УТИЛИЗАЦИЯ) РАКЕТЫ ПРИ ПОДЪЕМЕ

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

Работа взрывчатых веществ выразится  $\frac{V^2}{2} M_2$ ; механическая работа ракеты, имеющей скорость  $V$ , выразится в тех же единицах:  $\frac{V^2}{2} M_1$ , или на основании формулы (16)

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

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 таблицу утилизации ракетой энергии взрывчатых веществ.

$\frac{M_2}{M_1}$	Утилизация	$\frac{M_2}{M_1}$	Утилизация
0,1	0,090	7	0,62
0,2	0,165	8	0,60
0,3	0,223	9	0,59
0,4	0,282	10	0,58
0,5	0,328	19	0,47
1	0,480	20	0,46
2	0,600	30	0,39
3	0,64	50	0,31
4	0,65	100	0,21
5	0,64	193	0,144
6	0,63	Бесконечно	Нуль

Из формулы и таблицы видно, что при очень малых количествах взрывчатого материала утилизация его равна  $\frac{M_2}{M_1}$ , т. е. тем меньше, чем меньше относительное количество взрывчатых веществ\*.

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

Далее, с увеличением относительного 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  $\frac{M_2}{M_1}$  от 2 до 10 утилизация более половины; это значит, что более половины потенциальной энергии взрывчатого материала в таком случае передается в виде кинетической энергии ракете. Вообще, от 1 до 20 она весьма велика и близка к 0,5.

### РАКЕТА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЯЖЕСТИ. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОДЪЕМ

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 видим, что без влияния тяжести ракетой приобретаются огромные скорости и утилизируется 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, ни 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.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТИГНУТОЙ СКОРОСТИ. РАЗБОР ПОЛУЧЕННЫХ ЧИСЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ. ВЫСОТА ПОДЪЕМА

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

$$t = \frac{V}{p}, \quad (28)$$

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

Сила взрывания, т. е. количество веществ, расходуемых при взрыве в единицу времени, в этом простейшем случае равномерно ускоряющегося движения снаряда, непостоянна, 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 равной  $\frac{P}{g}$ , 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 аппаратов и здоровье людей, пустившихся в путь для изучения неизвестных пространств.

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 известной нам формулой (28) или следующей:

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

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

32. Действие последней на снаряд нисколько не влияет на относительную тяжесть в нем, и она выражается без всякого изменения формулой (29):  $\frac{P}{g}$ . Например, если  $p = 0$ , т. е. если взрывания нет, то нет и временной тяжести, потому что  $\frac{P}{g} = 0$ . 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 сам не будет иметь, повидимому, ни малейшего веса и не обнаружит его при помощи самых чувствительных пружинных весов ни в одной из вещей, находящихся при нем или в ракете.

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

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, например, сопротивления атмосферы, воды или твердого грунта.

33. Если  $p = g$ , т. е. если давление взрывающихся газов равно тяжести снаряда ( $\frac{p}{g} = 1$ ), то относительная тяжесть будет равняться земной. При начальной неподвижности снаряд в этом случае 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 движется 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 снаряд по окончании взрыва, 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). Скорость  $V_2$  может быть даже равна нулю, несмотря на обилие взрывчатого запаса, если  $\left( \frac{p}{g} \right) = 1$ , т. е. если ускорение, сообщаемое снаряду взрывчатым материалом, равно ускорению земной тяжести, или давление газов равно и прямо-противоположно действию тяготения [см. формулы (34) и (35)].

В этом случае ракета стоит несколько минут неподвижно, несколько 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 [формула (35)].

Поэтому, желая подняться выше, надо сделать  $p$  как можно больше, т. е. производить взрывы как можно деятельнее. Однако при этом требуется, во-первых, 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

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

т. е. если  $p$  бесконечно велико, или взрыв мгновенен, 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  $\frac{M_2}{M_1}$  взрывчатого материала и быстроты его взрывания  $p$ .

39. Любопытно определить эту величину. Положим в формуле (28)  $V = 11\,100$  м/сек (22), а  $p = g = 9,8$  м/сек<sup>2</sup>, тогда  $t = 1133$  сек.

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

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

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

При  $\frac{M_2}{M_1} = 0,1$   $V = 543$  м/сек, а  $t = 55,4$  сек., т. е. менее минуты. 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, не свободной от силы тяжести, может быть совершенно безрезультатным, если происходит хотя и долгое время, но с недостаточной силой; 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 равномерной скоростью. Если это перемещение совершается вверх, то снаряд сделает 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, в особенности, если будет двигаться над атмосферой. Впрочем, практическое значение ракеты для летания в воздухе мы отрицаем.

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

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

Так, на Луне прибор простоял бы неподвижно без опоры при  $\frac{M_2}{M_1} = 6$  в течение 2 часов.

41. Положим в формуле (35) для среды с тяжестью  $\frac{g}{p} = 10$ ,  $\frac{M_2}{M_1} = 6$ ; 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 ббльшую, чем на Земле, и будет весить на пружинных весах 700 кг. 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, почти достаточную 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 (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 уменьшалась сравнительно с работой их в среде без тяжести.

44. Вопрос этот мы сейчас разберем.

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

На расстоянии от поверхности Земли, не превышающем несколько сотен верст, мы примем  $g$  постоянным, что не повлечет за собой большой погрешности, да и погрешность 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

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

Исключая отсюда  $t$ , по уравнению (31) получим

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

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

Теперь получим из (34) и (46), исключая  $V_2$ ,

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

где  $V$  есть скорость, приобретаемая ракетой в среде, свободной от тяготения.

## КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Полезная работа взрывчатых веществ в такой среде выразится \*

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

Работа же  $T_1$  в среде тяготения выразится в зависимости от высоты поднятия снаряда и его скорости по окончании взрыва

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

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 формул (46) и (34), найдем

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

т. е. работа в среде тяготения, получаемая от определенного количества взрывчатых веществ  $M_2$ , менее, чем в среде, свободной от тяготения: разница эта  $\frac{g}{p}$  тем меньше, чем быстрее вырываются газы или чем более  $p$ . Например, в случае (41) потеря составляет только  $\frac{1}{10}$ , а утилизация по (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. Применяя формулу (46) к случаю (41), найдем  $h = 565$  км; значит, в течение взрыва снаряд пойдет далеко за пределы атмосферы и приобретает 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 (22).

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

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

Найдем из (51):

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

\* Вычисления в формулах (48) и (49) сделаны для веса снаряда, равного единице. (Ред.).



где  $T_1$  есть работа, получаемая снарядом от взрывчатых веществ в среде тяготения, с ускорением, равным  $g$ .

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

Когда определим все эти работы, то с помощью формулы (56) вычислим  $T$ . Зная же  $T$ , вычислим и  $V$ , т. е. скорость в среде, свободной от тяготения, по формуле

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

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

Таким путем с помощью предыдущего найдем

$$M_2 = M_1 \left[ e \sqrt{\frac{T_1 p}{T_2 (p-g)}} - 1 \right].$$

Вычисляя, мы заменили для краткости  $\left( M_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$  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, ускорения от силы взрыва  $p$  и силы тяготения  $g$ , можем узнать и количество взрывчатых веществ  $M_2$ , необходимое для поднятия массы  $M_1$  снаряда.

Отношение  $\frac{T_1}{T_2}$  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 единицей массы снаряда, и механическую работу  $T_2$  — единицы взрывчатых веществ.

Под  $g$  можно подразумевать вообще сумму ускорений от сил тяготения и сил 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 весьма незначительным сравнительно с тяжестью снаряда, как увидим, уменьшает утилизацию энергии взрывчатых веществ.

Далее можно видеть, что последняя убыль, продолжаясь недолгое время полета через воздух, с избытком вознаграждается прибылью от уменьшения притяжения на расстояниях значительных (500 км), где кончается действие взрывчатых веществ.

Итак, формулу (20) можем смело применять к вертикальному полету снаряда, несмотря на осложнение от изменения тяжести и сопротивления атмосферы  $g = 9,8$ .

## ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ. ОТВЕСНОЕ ВОЗВРАЩЕНИЕ НА ЗЕМЛЮ

59. Рассмотрим сначала остановку в среде, свободной от тяготения, или моментальную остановку в среде тяготения.

Пусть, например, ракета силою взрыва некоторого (не всего) количества газов приобрела скорость 10 000 м/сек (22). Теперь для остановки следует приобрести такую же скорость, но в обратном направлении. Очевидно, количество оставшихся взрывчатых веществ, согласно (22), должно быть в пять 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 пять раз (22) превышать массу снаряда с массой запаса для остановки, т. е. мы должны  $6M_1$  увеличить в пять раз; получим  $30M_1$ , что вместе с запасом для остановки  $5M_1$  составит  $35M_1$ .

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

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

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

$$\frac{M_3}{M_1} = 1 + 2q + q^2 - 1 = (1 + q)^2 - 1. \quad (61)$$

Откуда найдем

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

Последнее выражение легко запомнить.

Когда  $q$  очень мало, то количество взрывчатого вещества приблизительно равно  $2q$  (потому что  $q^2$  будет ничтожно), т. е. оно вдвое больше, чем нужно только для одного приобретения скорости.

63. На основании полученных формул и таблицы (22) составим следующую таблицу (стр. 93).

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

Из (62) и (16) имеем

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

## В среде без тяготения

$V$ в м/сек	$M_2/M_1$	$M_3/M_1$	$V$ в м/сек	$M_2/M_1$	$M_3/M_1$
543	0,1	0,21	11 800	7	63
1 037	0,2	0,44	12 500	8	80
1 493	0,3	0,69	13 100	9	99
1 915	0,4	0,96	13 650	10	120
2 308	0,5	1,25	17 100	19	399
3 920	1	3	17 330	20	440
6 260	2	8	19 560	30	960
7 880	3	15	22 400	50	2 600
9 170	4	24	26 280	100	10 200
10 100	5	35	30 038	193	37 248
11 100	6	48	Бесконечно		Бесконечно

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

64. Если мы находимся в среде тяготения, 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 полете действие взрывчатых веществ, он снова подвергается действию остатка их в том же направлении и в том же порядке. Очевидно, к концу их действия и истощения всего запаса ракета останется в той точке у поверхности Земли, с которой был начат подъем. Способ подъема строго тождествен со способом спуска; вся разница лишь в том, что скорости обратны в каждой точке пути.

Остановка в поле тяготения требует больше работы и больше взрывчатых веществ, чем в среде, свободной от тяготения, поэтому  $q$  [в формулах (61) и (62)] должно быть больше.

Обозначив это большее отношение через  $q_1$ , найдем на основании предыдущего

$$\frac{q}{q_1} = \frac{T_1}{T} = 1 - \frac{g}{p}, \quad (65)$$

откуда

$$q_1 = q \left( \frac{p}{p-g} \right);$$

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.

Для поля тяготения

V в м/сек	$M_2/M_1$	$M_4/M_1$
543	0,1	0,235
1 497	0,3	0,778
2 308	0,5	1,420
3 920	1,0	4,457
6 260	2	9,383
7 880	3	17,78
9 170	4	28,64
10 100	5	41,98
11 100	6	57,78
11 800	7	76,05

#### ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ. НАКЛОННЫЙ ПОДЪЕМ

68. Хотя вертикальное движение ракеты как будто выгоднее, потому что при этом скорее рассекается атмосфера и снаряд поднимается на большую высоту, однако, с одной стороны, работа рассеечения атмосферы сравнительно с полной работой 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 большая часть энергии взрыва, чем при вертикальном движении.

Рассмотрим сначала частный случай — горизонтальный полет ракеты [фиг. 2].

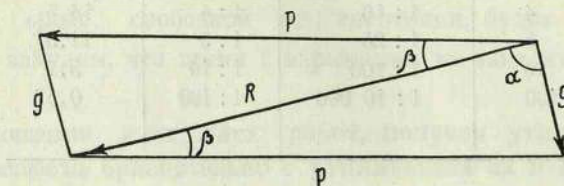
Если через  $R$  обозначим величину равнодействующей горизонтального ускорения ракеты, через  $p$  — ускорение от действия взрыва и через  $g$  — ускорение от силы тяжести, то имеем

$$R = \sqrt{p^2 - g^2}. \quad (70)$$

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 поднимается, если



Фиг. 2.

принять направление тяжести постоянным (что на практике верно только при небольшой траектории снаряда). Работа же взрывчатых веществ, приобретенная ракетой в среде, свободной от тяготения, равна\*\*

$$\frac{p}{2} t^2 \frac{p}{g} = \frac{p^2 t^2}{2g}. \quad (72)$$

Разделив полезную работу (71) на полную (72), получим утилизацию при горизонтальном полете ракеты

$$\left(\frac{p^2 - g^2}{2g} \cdot t\right) : \left(\frac{p^2}{2g} \cdot t\right) = 1 - \left(\frac{g}{p}\right)^2. \quad (73)$$

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  $\left(\frac{g}{p}\right)^2$ . Отсюда следует, что эта потеря гораздо меньше, чем при отвесном движении. Так, например, при  $\frac{g}{p} = \frac{1}{10}$  потеря составит  $\frac{1}{100}$ , т. е. 1%, между тем как при вертикальном движении она выражалась через  $\frac{g}{p}$ , или равнялась  $\frac{1}{10}$ , т. е. 10%.

74. Вот таблица, где  $\beta$  есть угол наклона силы  $p$  к горизонту:

\* Циолковский подсчитывает здесь работу равнодействующей силы, отнесенную к единице веса ракеты. (Ред.).

\*\* Подсчитана работа реактивной силы, отнесенная к единице веса ракеты. (Ред.).

## Горизонтальное движение ракеты

$\frac{p}{g}$	$\left(\frac{g}{p}\right)^2$	$\frac{g}{p}$	$\beta^\circ$
1	1	1	90
2	1:4	1:2	30
3	1:9	1:3	19,5
4	1:16	1:4	14,5
5	1:25	1:5	11,5
10	1:100	1:10	5,7
100	1:10 000	1:100	0,57

**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 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  $\alpha$  или угол наклонения равнодействующей к вертикали больше прямого угла; имеем

$$R = \sqrt{p^2 + g^2 + 2pg \cos \gamma}, \quad (76)$$

где  $\gamma = \alpha + \beta$  (тупой угол параллелограмма) по чертежу.

Далее

$$\gamma = \alpha + \beta; \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = p : g : R \quad (77)$$

и

$$\cos \alpha = \frac{R^2 + g^2 - p^2}{2Rg}. \quad (78)$$

Кинетическая энергия выражается формулой (71), где  $R$  определяется согласно уравнению (76). Вертикальное ускорение равнодействующей  $R$  равно

$$R_1 = \sin(\alpha - 90^\circ)R = -\cos \alpha R. \quad (79)$$

Следовательно, работа поднятия снаряда будет

$$\frac{R_1}{2} t^2 = \frac{-\cos \alpha}{2} R t^2, \quad (80)$$

где  $t$  есть время взрыва всего запаса взрывчатых веществ. Полная работа, приобретенная снарядом в среде тяготения [по (71) и (80)]

$$T_1 = \frac{R^2}{2g} t^2 - \frac{Rt^2 \cos \alpha}{2} = \frac{Rt^2}{2} \left( \frac{R}{g} - \cos \alpha \right). \quad (81)$$

Здесь за единицу работы принят подъем снаряда на единицу высоты в среде с ускорением  $g$ . Если  $\alpha > 90^\circ$ , например в случае поднятия снаряда, то  $(-\cos \alpha)$  есть величина положительная, и обратно.

Работа в среде, свободной от тяготения, будет равна по (72)  $\frac{P^2}{2g} t^2 = T$  (не забудем, что время  $t$  взрыва не зависит от сил тяготения).

Взяв отношение этих двух работ, получим утилизацию энергии взрывчатых веществ сравнительно с утилизацией их в среде, лишенной тяжести, именно:

$$\frac{T_1}{T} = \frac{Rt^2}{2} \left( \frac{R}{g} - \cos \alpha \right) : \left( \frac{P^2}{2g} t^2 \right) = \frac{R}{P} \left( \frac{R}{P} - \frac{g}{P} \cos \alpha \right). \quad (82)$$

Исключая отсюда  $R$  по формуле (76), найдем

$$\frac{T_1}{T} = 1 + \frac{g^2}{P^2} + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{P} - \cos \alpha \cdot \frac{g}{P} \sqrt{1 + \frac{g^2}{P^2} + 2 \cos \gamma \frac{g}{P}}.$$

Формулы (51) и (73), например, составляют только частный случай этой формулы, 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 четыре раза сравнительно с сопротивлением ее при отвесном движении снаряда, ибо сопротивление ее приблизительно 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  $\alpha$ , можем узнать и  $\beta$ . Действительно, из (77) найдем

$$\sin \beta = \sin \alpha \frac{g}{P};$$

так, если  $\frac{g}{P} = 0,1$ , то

$$\sin \beta = 0,0968; \quad \beta = 5\frac{1}{2}^\circ,$$

откуда

$$\gamma = 110^\circ, \quad \cos \gamma = 0,342.$$

Теперь вычисляем утилизацию в 0,966. Потеря составляет 0,034, или около  $\frac{1}{20}$ , вернее, 3,4%.

Эта потеря в три 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 1% работы удаления снаряда от Земли.

86. Для разных соображений предлагаем следующую таблицу; 1-й столбец показывает наклонение движения к горизонту, последний — потерю работы;  $\beta$  есть отклонение направления давления взрывчатых веществ от линии действительного движения (69).

Наклонное движение

Г р а д у с ы				Утилизация	Потеря
$\alpha - 90$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma = \alpha + \beta$		
0	90	5 3/4	95 2/3	0,9900	1 : 100
2	92	5 2/3	97 2/3	0,9860	1 : 72
5	95	5 2/3	100 2/3	0,9800	1 : 53
10	100	5 2/3	105 2/3	0,9731	1 : 37
15	105	5 1/2	110 1/2	0,9651	1 : 29
20	110	5 1/3	115 1/3	0,9573	1 : 23,4
30	120	5	125	0,9426	1 : 17,4
40	130	4 1/3	134 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 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  $\delta$  означает угол наклона движения ( $\alpha - 90^\circ$ ), выраженный длиной его дуги, радиус которой равен единице, а  $x$  — отношению  $\frac{g}{p}$ . Откидывая в последней формуле малые высших порядков, получим выражение для потери

$$x^2 + \delta x = \left(\frac{g}{p}\right)^2 + \delta \frac{g}{p}.$$

Можем положить:  $\delta = 0,02 N$ , где 0,02 есть часть окружности, соответствующая почти  $1^\circ$  ( $1\frac{1}{7}$ ), а  $N$  — число этих новых градусов. Таким образом, потеря работы приблизительно выразится

$$\frac{g^2}{p^2} + 0,02 \frac{g}{p} N.$$



По этой формуле легко составить следующую таблицу, положив

$$\frac{g}{p} = 0,1$$

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  $10^\circ$ ) 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, рисующегося нам пока еще в тумане. Наконец, мы могли бы начертать космические кривые движения ракеты в небесном пространстве.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИРОВЫХ ПРОСТРАНСТВ  
РЕАКТИВНЫМИ ПРИБОРАМИ \*.  
РЕАКТИВНЫЙ ПРИБОР «РАКЕТА» К. ЦИОЛКОВСКОГО**

**1. ПРЕДИСЛОВИЕ**

Долго на ракету я смотрел, как и все: с точки зрения увеселений и маленьких применений.

\* Работа впервые была опубликована в журнале «Вестник воздухоплавания» в 1911 г. В настоящем томе она печатается с небольшими сокращениями. См. также Приложения, п. 16. (Ред.). К первому изданию сделано примечание редакции журнала, которое мы приводим ниже:

*От редакции.* Ниже мы приводим интересную работу одного из крупных теоретиков воздухоплавания в России К. Э. Циолковского, посвященную вопросу о реактивных приборах и о полете в безатмосферной среде.

Автор ниже сам указывает на грандиозность развиваемой им идеи, не только далекой от осуществления, но еще не воплотившейся даже в более или менее конкретные формы.

Математические выкладки, на которых основывает автор свои дальнейшие выводы, дают ясную картину теоретической осуществимости идеи. Но трудности, которые неизбежны и огромны при той непривычной и неизвестной для нас обстановке, в которую стремится проникнуть автор в своем исследовании, позволяют нам лишь мысленно следовать за рассуждениями автора.

В сообщенном нам письме К. Э. Циолковского автор так смотрит на свою работу: «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 таких приборов подниматься в небесное пространство, и, может быть, — основывать поселения за пределами земной атмосферы.

Пройдут, вероятно, сотни лет, прежде чем высказанные мною взгляды найдут применение и люди воспользуются ими, чтобы расселяться не только по лицу Земли, но и по лицу всей вселенной. (Однако, применения к военному делу уже начались. См. «Вестник воздухоплавания», 1911, № 2, стр. 25).

Почти вся энергия Солнца пропадает в настоящее время бесполезно для человечества (Земля получает в два миллиарда раз меньше, чем испускает Солнце). Что странного в идее воспользоваться этой энергией! Что странного в мысли воспользоваться и окружающим земной шар беспредельным пространством! Во всяком случае, — неужели грешно высказывать подобные идеи, раз они являются плодом серьезного труда?...

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.

## 2. 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.

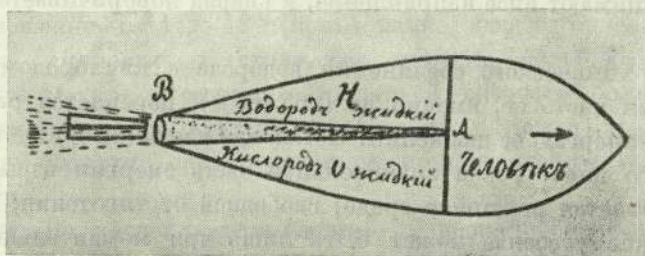


Схема реактивного прибора К. Э. Циолковского.

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 назвали мы наш реактивный прибор).

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.

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  $200\text{--}250^\circ\text{C}$  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 непригодном в практическом отношении. Чем медленнее взрыв, чем долее 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 взрывания.

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, утилиза-

ция 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 (4) количества взрывчатых веществ к весу снаряда (1) последний приобретает до 9 километров скорости в одну секунду. 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 километра в секунду. 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 километра в секунду. 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 разъединения 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 ожижением воздуха и дальнейшим испарением из него азота. Это так и делается теперь. Водород можно добывать ожижением светильного газа. Сначала ожижаются 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, следовательно, годные для ракеты. Итак, водород и кислород при фабричном производстве могут и не быть особенно дороги. Ожижение водорода затруднительно (пока), но вместо него можно взять с равным и даже лучшим успехом жидкие или ожиженные 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 минут).

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 см<sup>2</sup>, тогда давление взрывающихся газов в основании трубы будет менее 100 атмосфер. 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. Конечно, все знают, что железо плавится, как воск в пламени гремучего газа. Но ведь точка плавления железа всего 1300° Ц. Есть вещества, более тугоплавкие; так, металл вольфрам имеет температуру плавления в 3200° Ц. 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 0,89 (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 кис-

лородом. Итак, с помощью воображаемых вертикальных дорог расходуется по крайней мере в пять (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 минут!!!

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 преобразование этих явлений в грандиозные, почти непостижимые чувства.

Вот главные формулы, на основании которых сделаны все эти выводы:

$$V = + V_1 L_{\text{nat}} \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right)^* \quad (16)$$

Тут  $L_{\text{nat}}$  означает [натуральный логарифм;  $V$  есть скорость снаряда или ракеты по окончании взрывания массы взрывчатых веществ;  $M_1$  есть масса снаряда со всем содержимым, кроме взрывчатых веществ. Полная масса равна:  $M_1 + M_2$ ;  $V_1$  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

$$\frac{M_1}{M_2} \cdot \left\{ L_{\text{nat}} \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \right\}^2$$

Когда  $\frac{M_2}{M_1}$  мало, то утилизация равна  $\frac{M_2}{M_1}$ . Тогда формула (16) выразится следующим образом:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{M_2}{M_1}; \quad (26)$$

$$t = \frac{V}{P}. \quad (28)$$

\* Приведенные здесь формулы даны в конечном виде; нумерацию их берем из рукописи, на которую ссылается автор выше. (Ред.).

$t$  есть время взрывания в такой среде;  $p$  — постоянное ускорение снаряда от действия взрывания. Относительная или временная тяжесть, развившаяся в снаряде, выразится через отношение  $\frac{p}{g}$ , где  $g$  — ускорение земной тяжести у поверхности.

$$t = \frac{V_2}{p - g}, \quad (34)$$

где  $V_2$  есть окончательная скорость (по прекращении взрыва) вертикально поднимающейся от Земли ракеты.

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

$$V_2 = -V_1 \left( 1 - \frac{g}{p} \right) L_{\text{nat}} \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right); \quad (35)$$

$$p_1 = p - g, \quad (44)$$

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.

$$\frac{M_3}{M_1} = (1 + q)^2 - 1; \quad q = \frac{M_2}{M_1}. \quad (62)$$

Эта формула показывает относительное количество взрывчатых веществ  $\left( \frac{M_3}{M_1} \right)$ , потребное не только для приобретения скорости в среде без тяжести, но и для потери ее путем обратного взрывания. Если  $q$  мало, то  $\frac{M_3}{M_2} = 2q$ .

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  $\frac{M_2}{M_1}$  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  $\left(\frac{g}{p}\right)^2$ , между тем как при вертикальном движении потеря равна  $g/p$ .

Формула

$$1 + \left(\frac{g}{p}\right)^2 + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p} - \cos \alpha \cdot \frac{g}{p} \sqrt{1 + \frac{g^2}{p^2} + 2 \cos \gamma \cdot \frac{g}{p}} \quad (83)$$

определяет утилизацию при наклонном поднятии в среде тяжести по отношению к энергии, полученной ракетой в среде без тяжести. Тут  $\alpha$  есть угол между направлением ракетного пути и вертикалью, идущей вниз;

$\beta$  — угол того же ракетного пути с направлением взрывания или направлением взрывной трубы\*;  $\alpha$  больше прямого угла,  $\beta$  — меньше;  $\gamma = \alpha + \beta$ .

Легко показать, что формула (83) дает оба частных случая, т. е. (51) и (73).

Предыдущее выражение можно упростить, если наклон пути ракеты с горизонтом не превышает  $10^\circ$ ; тогда получим

$$1 - \frac{g^2}{p^2} - 0,02 \cdot \frac{g}{p} N,$$

где 0,02 есть часть окружности (радиус = 1), соответствующая почти одному градусу  $\left(\frac{1 \cdot 1^\circ}{7}\right)$ .

$N$  означает число таких градусов.

Тут  $N$  означает в градусах наклон траектории ракеты с горизонтом.

\*  $\beta$  — угол между направлением скорости полета ракеты и реактивной силой. См. фиг. 2 предыдущей статьи. (Ред.)

### 3. РАБОТА ТЯГОТЕНИЯ ПРИ УДАЛЕНИИ ОТ ПЛАНЕТЫ

Очень простым интегрированием можем получить следующее выражение для работы  $T$ , необходимой для удаления единицы веса от поверхности планеты радиуса  $r_1$  на высоту  $h$ :

$$T = \frac{g}{g_1} \cdot r_1 \left( 1 - \frac{r_1}{r_1 + h} \right).$$

Здесь  $g$  означает ускорение тяжести на поверхности данной планеты, а  $g_1$  — ускорение земной тяжести на поверхности Земли.

Положим в этой формуле  $h$  равным бесконечности. Тогда определим наибольшую работу при удалении единицы веса с поверхности планеты в бесконечность и получим

$$T_1 = \frac{g}{g_1} \cdot r_1.$$

Заметив, что  $\frac{g}{g_1}$  есть тяжесть на поверхности планеты по отношению к тяжести Земли, видим, что работа, потребная для удаления единицы веса от поверхности планеты на бесконечно большое расстояние, равна работе поднятия этого же веса 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, облекающую 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  $\left(\frac{g}{g_1}\right)$  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 ( $r_2$ ).

$$\text{Следовательно, } \frac{g}{g_1} = \frac{r_1}{r_2} \text{ и } T_1 = \frac{r_1}{r_2} \cdot r_1 = \frac{r_1^2}{r_2}.$$

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 ( $r_1 = r_2$ ) равна  $r_2$ , или 6 366 000 килограмм[ом]етров, то для планеты с диаметром, в 10 раз меньшим, она равна 63 660 килограммометров (единица веса — килограмм).

Но и для Земли, с некоторой точки зрения, она не очень велика. В самом деле, если считать теплопроизводительность нефти в 10 000 калорий, что довольно верно, то энергия этого горения выразится механической работой в 4 240 000 килограммометров на 1 килограмм горючего материала.

Выходит, что для предельного удаления единицы веса от поверхности нашей планеты требуется работа, которая содержится потенциально в полутора весовых единицах нефти.

Так, в применении к человеку, весящему 70 кило[граммов], получим количество нефти в 105 кило[граммов].

Недостает только умения воспользоваться этой могучей энергией химического средства.

Становится все-таки более понятным, почему увосьмеренное количество взрывчатого материала сравнительно с весом снаряда может помочь последнему вполне одолеть силу земного тяготения.

По Ланглюю, квадратный метр, освещенный нормальными лучами Солнца, дает в минуту 30 калорий, или 12 720 килограммометров.

Чтобы получить всю работу, потребную для победы одного килограмма над тяжестью Земли, нужно пользоваться квадратным метром, освещенным лучами в течение 501 минуты, или 8 и с лишком часов.

Все это очень немного; но при сравнении человеческой силы с силой притяжения последняя нам покажется огромной. Так, допустим, что человек каждую секунду подымается по прекрасно устроенной лестнице на высоту 20 см (около  $4\frac{1}{2}$  вершков). Тогда предельная работа будет им совершена только в течение 500 дней тяжкого труда, если на ежедневный отдых подарим 6 часов. При употреблении для поднятия лошадиной силы сократим работу в 5 раз. При 10 лошадиных силах 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 километров. Если принять для них земную плотность  $5\frac{1}{2}$ , то работа  $T_1$  составит не более 16 килограммометров, т. е. соответствует поднятию на березу в 8 сажень высотой. Если 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 пространством, окружающим эти небесные тела, была бы пустяками с помощью описанных мною реактивных приборов. Например, 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 15 000 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:

$$\frac{h}{r_1} = \frac{1}{10}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 9, 99, \text{Бескон.}$$

$$\frac{T}{T_1} = \frac{1}{11}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{9}{10}, \frac{99}{100} \quad 1$$

Первая строка показывает поднятие в радиусах планеты; вторая — 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.

#### 4. 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  $V_1$ , 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:  $V_1 = 11\,170$  метров в 1 секунду, или в 5 раз быстрее наиболее быстрого пушечного ядра при его вылете из жерла.

Для нашей Луны  $V_1 = 2373$  метра, 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 метра в 1 секунду; 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

$$V_1 = r_1 \sqrt{\frac{2g_1}{r_2}},$$

где  $g_1$  и  $r_2$  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 километрам, найдем, что  $V_1 = 324$  метра в секунду.

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 метров в секунду.

Вечное кружение вокруг планеты требует работы вдвое меньшей и скорости в  $\sqrt{2} = 1,41\dots$  раз меньше, чем для удаления в бесконечность.

## 5. 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 Солнца), сосредоточенную в одну точку (при той же массе), найдем

$$t = \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g}} \left\{ \frac{r}{r_2} \sqrt{\frac{r_2}{r} - 1} + \arcsin \sqrt{\frac{r}{r_2}} \right\}.$$

Тут  $r_2$  означает расстояние, с которого тело начинает падение;  $r$  есть величина этого падения;  $r_1$  — радиус планеты, а  $g$  — 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

$$t = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g}}.$$

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

$$t_1 = 2\pi \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{g}},$$

где  $r_1$  — радиус планеты с ускорением  $g$  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 на расстоянии Земли, употребила бы на свой полет около 64 суток, или 2 месяца с лишком.

## 6. СОПРОТИВЛЕНИЕ 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. «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 ( $f = 10,33$  тонны на 1 кв. метр);  $M$  — механический эквивалент тепла ( $M = 424$  тоннометра);  $T_1$  — температура абсолютного нуля ( $T_1 = 273$ );  $C$  — 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

$$a = 2A + 1 = 5,88, \quad (4)$$

а  $h_1 = 54\,540$  метров 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

$$h = \frac{2(A+1) \cdot f}{d_1}. \quad (5)$$

Обозначив эту высоту через  $h_1$ , получим формулу (3).

Хотя эта высота в  $54\frac{1}{2}$  километра и чрезмерно мала, как видно из наблюдений над падающими звездами, однако несомненно, что атмосфера выше 54 километров 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  $\frac{d}{d_1} = 0,001$ , т. е. на этой высоте воздух разрежен в 1000 раз, и, значит, выше 54 километров 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 Лангелю, 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; можно 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 секунду. 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:  $k = 1,4$ ;  $d = 0,0013$ ;  $S = 2$  кв. метра;  $\frac{p}{g} = 10$ ;  $g = 9,8$  метра;  $U = 100$ ; тогда  $b = 0,0003276$ ;  $a = 5,88$  и  $h_1 = 54,540$  метров. Теперь по (12) вычислим  $T_1 = 17,975$  тоннометров.



Работа одной тонны взрывчатых веществ, при получении из водорода и кислорода одной тонны воды, равна 1 600 000 тоннометров. Если бы снаряд со всеми приспособлениями и путешественниками весил тонну, а взрывчатый запас составлял ушестеренное количество, или 6 тонн, то ракета захватила бы с собою потенциальную энергию в 9 600 000 тоннометров. 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 мерах, плотность окружающего воздуха, приняв плотность у уровня океана за единицу и равномерное понижение с высотой температуры в  $5^{\circ}$  Ц.

$t$	$v$	$h$	$d$
0	0	0	1
1	90	45	—
2	180	180	—
3	270	405	—
5	450	1125	1 : 1,13
7	630	2205	—
10	900	4500	1 : 1,653
15	1350	10 125	—
20	1800	18 000	1 : 10,63
30	2700	40 500	1 : 10,63
40	3600	72 000	Близка к нулю
50	4500	112 500	»
70	6300	220 500	0
100	9000	450 000	0
113	9900	574 600	0

Все время взрывания, при ушестеренном количестве взрывчатого вещества, продолжается 113 секунд, причем в конце этого времени тело приобретет скорость в 9990 метров и подыметя на высоту 575 километров; 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  $\operatorname{cosec}^2(\alpha - 90^\circ)$ , где  $(\alpha - 90^\circ)$  есть угол наклона движения снаряда к горизонту.

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.

## 7. 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.

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 в дребезги, 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, повидимому, 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 слишком раза более частые), более быстрое па-

дение тел, уменьшение величины капель (диаметр их уменьшается в 10 раз), утяжеление всех вещей и много других явлений.

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 подымается, 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  $90^\circ$ ; 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 секунд, или около 2 минут, 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 километров. 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 верст — 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 касаясь; 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. Громкая масса, привешенная на крючок пружинных весов, не производит натяжения пружины, и они всегда показывают нуль. Рычажные весы тоже оказываются бесполезны: коромысло 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, расползается по стенам и смачивает их.

Ртутный барометр поднялся до верху, и ртуть наполнила всю трубку.

Двухколенный сифон не переливает воду.

Выпущенный осторожно из рук предмет не падает, а толкнутый — движется 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 пол неба. 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 бóльшую и бóльшую 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 секунды ракета уже поднялась на высоту в 45 метров; через 5 секунд уже на высоте версты, через 15 секунд — на 10 верст, ее уже едва мы замечаем в виде тонкой вертикальной черточки, быстро устремляющейся кверху. Через полминуты она уже на высоте 40 километров, но мы продолжаем ее свободно видеть невооруженными глазами, потому что, благодаря все возрастающей быстроте движения, она нагрелась до-бела (как аэролит), и ее предохранительная тугоплавкая и неокисляющаяся оболочка светит, как звезда. Более минуты продолжался этот звездonoсный 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 попрежнему. 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.

## 8. 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 повторятся 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 показывает 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, 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!..

### 9. 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 метрам в секунду, или более 10 верст в 1 секунду.

Слабое вращение планеты, какое видим у всех средних и малых 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 взрывания, которая, впрочем, тоже близка к прямой линии, если направление взрывания не меняется.

Сначала, в течение времени взрывания, 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 взрывания) 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 меньшей той наименьшей, которая нужна для удаления в бесконечность (11 170 м), 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.

На основании сказанного потребную для кругового движения скорость вычислим, приблизительно, в 8 километров в 1 секунду, или 7904 метра в секунду.

Если воспользоваться вращением Земли и пускать снаряд на экваторе по направлению движения экваториальных точек земного шара, то необходимая скорость уменьшится на 465 метра (такова наибольшая скорость вращения земных точек), т. е. будет равна 7441 метру. 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 метров в секунду).

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 неприемлем.

Мы видели, что самый выгодный путь снаряда — наклонный к горизонту на 20—30 градусов. При этом теряется от действия тяготения и сопротивления атмосферы только 7% 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 и достигнув наибольшего удаления, 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 километрам в секунду, 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 большим 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

---

\* См. предыдущую статью, стр. 94. (Ред.).

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 метров в секунду, т. е. раза в два 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 большим 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 делается спутником Луны, но, приблизившись, уйдет от нее снова, вращаясь вокруг Земли и описывая весьма сложную кривую, проходящую иногда поблизости от Земли и от Луны. Остается возможность и 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 дальней-

шего 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 образовать 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 увосмеренное (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 (Луну 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 километра (около 15 верст) в 1 секунду, что сопровождается тратой взрывчатых веществ, выражаемой, относительно массы снаряда, числом 20. При самом неблагоприятном бросании ракеты эта скорость достигает уже 76,3 километра в секунду, 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 километров в 1 секунду. 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, например, 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 делается 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. Может быть, роилось не раз и раньше, и теперешнее население меньше прежнего.

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.

## 10. 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 хватило 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 одного килограмма на квадратный сантиметр стенок камеры, когда последняя подымается в разреженные слои атмосферы и за ее пределы. Удлиненная рыбообразная или птичья форма ракеты, выгодная для легкости рассечения 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 мирке он может совершаться. С научной точки зрения возможность сказанного несомненна; теперь посмотрим, насколько оно осуществимо в будущем, может быть, и очень отдаленном.

По Ланглюю, один квадратный метр поверхности, нормальной к направлению солнечных лучей, получает в минуту количество солнечной энергии, выражаемой тридцатью (30) калориями. Это значит, что один килограмм воды, разлитый на один квадратный метр поверхности, освещенной перпендикулярными к ней солнечными лучами, нагревается в минуту на  $30^{\circ}$  Ц, если пренебречь потерей тепла от лучеиспускания, теплопроводности и пр.

Переводя эту тепловую энергию на механическую, получим 12 720 килограммометров. Таким образом, в сутки, на расстоянии Земли от Солнца, получим 18 316 800 килограммометров, или 43 200 калорий. (В секунду получим 0,5 калорий, или 212 килограммометров, т. е. непрерывную работу почти в 3 лошадиных силы.)

По Тимирязеву, в физиологических опытах с растениями утилизируется до 5% солнечной энергии, что составит 2160 калорий в сутки, запасенных в корнях, листьях и плодах растений.

С другой стороны, по Лебону, килограмм муки содержит почти вдвое более энергии; так что суточный запас потенциальной энергии растения соответствует 0,5 килограмма муки, или почти килограмму (2,4 фунта) хлебного мякиша.

Тот же дар Солнца, утилизируемый на одном квадратном метре поверхности, непрерывно освещаемой солнечными лучами, можно выразить одной из следующих величин: четырьмя килограммами моркови, пятью килограммами капусты,  $\frac{2}{3}$  кг сахару, 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 оказываются даже в 5 раз выгоднее.

Обратимся к непосредственному указанию практики. Десятина, или, приблизительно, гектар (10 000 м<sup>2</sup>) дает в год до 25 000 пудов бананов, что соответствует 0,11 кг в день на 1 м<sup>2</sup> 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 также, 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 одного квадратного метра в нашем искусственном огороде не менее как в 1,1 кг бананов. Хлебное дерево, по Гумбольту, почти так же производительно, как и банан.

Выходит из предыдущего, что одного квадратного метра 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 ( $\frac{1}{2000}$ ) 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 пассажира 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 тьмою, 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 грибов, 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; времен года не будет, если движение ракеты круговое; вредных бактерий и насекомых, при небольших оранжерейных отделениях, не будет, так как их можно уничтожить наполнением отделений убийственным для неподходящих существ и зародышей газов, повышением температуры или даже просто непрерывным солнечным светом, убивающим бактерий и злоторных 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 выдержать внешнее давление атмосферы, чтобы выдержать борьбу и 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.

#### 11. 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 бо́льшая, 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 меньше угловая скорость прибора, тем меньше будут подвержены головокружению испытываемые субъекты).

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 незаметна, 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 минут, 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 метров, при секундной скорости в 100 метров и при полном обороте в 6,3 секунды 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.

Делая 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, например 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 фигур-

ку 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 же 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 жидкости 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, повидимому, 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 те же хорошие результаты. Я говорю отчасти, потому что все сказанное относится к телам, 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 небеспрельдна 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 уничтожать 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.

## 12. БОРЬБА С ОТСУТСТВИЕМ ТЯЖЕСТИ

Но вот взрывание в ракете кончено, а с этим прекратилась и ужасающая тяжесть. Мы благополучно вылезаем 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 отягчает 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 неопределенное 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. Горизонтальное положение также во много раз уменьшает давление крови, что приближает это состояние к отсутствию тяжести. Лежачее же положение нельзя считать губительным. Для слабых и больных оно полезно, а здоровые должны умерить питание, чтобы лежанье не оказалось вредным.

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 центробежной 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, криволинейное движение дурно влияет на организм, если полный оборот протекает быстро.

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.

### 13. МЕЧТЫ

#### Будущее реактивных приборов

В первой напечатанной работе о реактивных снарядах мы мечтали о будущих, еще не открытых, более элементарных веществах, соединение которых должно сопровождаться, на основании общих данных химии, более громадным выделением энергии, чем соединение известных простых тел, например водорода с кислородом. При этом летучий продукт соединения должен бы приобретать и большую скорость ( $V_1$ ) при выходе из реактивной трубы.

По формуле (35)\* видно, что при той же относительной затрате взрывчатого материала  $\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$  с увеличением ( $V_1$ ) возрастает пропорционально и ( $V_2$ ), т. е. скорость ракеты.

\* См. предыдущую статью, стр. 87. (Ред.).

Думают, что радий, разлагаясь непрерывно на более элементарную материю, выделяет из себя частицы разных масс,двигающиеся с поразительной, невообразимой скоростью, недалекой от скорости света. Так, выделяющиеся при этом атомы гелия движутся со скоростью 30—100 тысяч километров в секунду; атомы гелия в четыре раза тяжелее атомов водорода; другие тельца, выделяемые радием, в 1000 раз легче водорода, но зато движутся со скоростью 150—250 тысяч километров в секунду; общая масса этих телец (отрицательных электронов) значительно меньше массы атомов гелия (положительных электронов). Эти скорости в 6—50 тысяч раз больше скорости (в километрах) 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 могло 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 щепотки радия [см. формулу (16) на стр. 77].

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 тысяч километров в 1 секунду, т. е. она в 6—20 тысяч раз больше скорости обыкновенных продуктов горения, вылетающих из нашей реактивной трубы.

#### 14. 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, повидимому, 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 в 1 секунду, не кажется нам изумительным. Почему же снаряд, летящий со скоростью 16 км в 1 секунду 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 вперед 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 час, т. е. в 20 раз быстрее, чем ездили при Ньютоне. 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 создаст 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, по-немногу сойдет на-нет. Не так ли водные животные некогда выползали на сушу и мало-помалу превратились в земноводных, а потом и в сухопутных; последние же 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.

#### 15. ОЖИДАЮЩИЕ ЗЕМЛЮ БЕДСТВИЯ УСТРАНИТ РЕАКТИВНЫЙ ПРИБОР

Что представляет собой 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. Причиной может быть и распад тяжелых [элементов], сопровождаемый накоплением упругих газов (гелия и других) и электронов. 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. Уже было несколько случаев прохождения через атмосферу Земли масс с диаметром до 4 верст. 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 Солнце, постигла катастрофа или от падения гигантских болидов, или, скорее, от внутренних химических и радиоактивных процессов страшно накаливаемого 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?\*

\* Здесь Циолковский не учитывает увеличения плодородия почвы и общего прогресса земледелия за 1000-летний период. Его соображения односторонни и не могут считаться удовлетворительным решением проблемы. (Ред.).



Реактивные приборы завоюют людям беспредельные пространства и дадут солнечную энергию, в два миллиарда раз бóльшую, 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 километров в 1 секунду, т. е. в 10 000 раз медленнее света.

Такова скорость Земли вокруг Солнца; с такою 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 потухает! 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 тоннометров. Если снаряд, как у Эсно Пельтри, работает 24 минуты и весит тонну, то нетрудно рассчитать, что в секунду его двигатель должен давать «ракете» работу в 4420 тоннометров, или 58 800 лошадиных сил, а не 400 000, как рассчитывает Эсно Пельтри\*\*.

У меня взрывание быстрее и продолжается только 110 сек. Таким образом, в секунду снаряд весом в тонну должен выделить 57 870 тоннометров, что составляет 772 600 лошадиных сил. Все, конечно, скажут:

\* Впервые напечатана в виде отдельной брошюры. Калуга, 1914. Издание автора.

В настоящем томе опущена вводная часть статьи, в которой К. Э. Циолковский приводит ряд ссылок из печати, касающихся его прошлых работ. (Ред.).

\*\* См. статью К. Е. Вейгеля и а. «Природа и люди», № 4, 1914. Без сомнения, я тут исправляю опечатки, а не ошибки Эсно Пельтри.

возможно ли это?! Снаряд весом всего в тонну, или 61 пуд, выделяет чуть не миллион лошадиных сил!!

Самые легчайшие двигатели выделяют в настоящее время на тонну (1000 килограммов) своего веса [не] более 1000 лошадиных сил.

Но дело в том, что здесь речь идет не об обычных двигателях, а о снарядах, подобных пушке.

Представьте себе пушку длиною в 10 метров, выбрасывающую снаряд в тонну весом со скоростью 1 километра в секунду.

Это недалеко от действительности. Какова же работа, произведенная взрывчатым веществом и полученная ядром? Нет ничего легче, как рассчитать, что она составляет около 50 000 тоннометров — и это в течение малой доли секунды. Средняя скорость ядра в пушке не менее 500 м/сек. Следовательно, пространство в 10 метров ядро пробегает в  $\frac{1}{50}$  сек. Значит, работа пушки в секунду составит 2 500 000 тоннометров, или около 33 300 000 лошадиных сил.

Отсюда видно, что полезная работа артиллерийского орудия в 566 раз больше, чем 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, например, имеем ядро с трубой и вырывающуюся из нее такую же массу водорода при нулевой температуре, то скрывающаяся 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 километров скорости в секунду.

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 километров в секунду; следовательно, скорость, полученная

подвижной трубой такой же массы, более  $3^{1/2}$  км/сек. Действительно, если бы вся теплота горения передалась соединению, т. е. водяному пару, то температура его достигла бы  $10\,000^\circ\text{Ц}$  (если бы не было его расширения); при этом скорость частиц пара будет, приблизительно, в 6 раз больше, чем при нуле ( $+273^\circ$  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  $3^{1/2}$  километра весьма естественна, и число это очень скромное.

**Т е о р е м а 4.** *Когда масса ракеты плюс масса взрывчатых веществ, имеющих 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,	6,	6,	7 . . .

Положим, например, что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8. Я отбрасываю 4 единицы взрывчатых веществ и получаю скорость, которую мы примем за единицу. Затем я отбрасываю 2 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 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 километрах:

1,	3,	7,	15,	31,	63,	127,	256 . . .	(масса взрывч. материала)
$3^{1/2}$ ,	7,	$10^{1/2}$ ,	14,	$17^{1/2}$ ,	21,	$24^{1/2}$ ,	28 . . .	(скорости)

**Т е о р е м а 5.** *В среде тяжести, например на Земле, при вертикальном поднятии «ракеты» часть работы взрывчатых веществ пропадает — и тем большая часть, чем ближе давление вырывающихся газов на ракету к весу последней.*

Если, например, «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 одну тонну (61 пуд), на взрывчатые вещества отделяет одну треть, или 20 пудов. Если это радий, притом отделяющий свою энергию в миллионы раз быстрее, чем это есть на самом деле, то межпланетные полеты обеспечены.

Я сам мечтал о радии. 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 радии. 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. 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; но думаю, что бесполезно их исправлять.

Успешное построение реактивного прибора и в моих глазах 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 радии 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» длиною в 10 метров 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  $8000^{\circ}$  Ц.

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  $1000^{\circ}$  Ц. Девиль нашел температуру разложения водяного пара от  $900$  до  $2500^{\circ}$ . Поэтому можно думать, что наибольшая температура горящего гремучего газа не превышает  $2500^{\circ}$  Ц.

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  $3500^{\circ}$  Ц. С одной стороны, взрывная труба должна усиленно охлаждаться, с другой — исследователя 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

\* Если иметь в виду вес полезной нагрузки, вес приборов управления полетом, вес автоматики двигателя и другой «пассивный» вес ракет, то для малых ракет относительный вес топлива будет меньше, чем для больших ракет. (Ред.).

34 180, а при образовании пара 28 780, уголь при образовании углекислого газа 8080, углеводороды от 10 до 13 тысяч калорий. Но нам важны не эти числа, а те, которые приходится на единицу массы продуктов горения: только они дают нам представление о пригодности для «ракеты» горючих материалов. На единицу массы паров воды найдем калорий 3200, 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 мешают 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 метров, а только в 4350. А скорость «ракеты» будет только 3100 метров в 1 сек. Поэтому теперь получим такую таблицу масс взрывчатого материала и скоростей ракеты:

Масса:	1, 3, 7, 15, 31, 63, 127 . . .
Скорость в километрах:	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 . . .

Этих скоростей также достаточно и для межзвездных путешествий.

Углеводороды выгодны, потому что дают очень летучие продукты: водяной пар и углекислый газ; кроме того, жидкий углеводород 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  $2500^{\circ}$  температура мешает соединению прочих атомов. Предполагая плотность смеси газов в единицу, найдем, что упругость их, принимаемая в расчет высокую их температуру, не превысит 5 тысяч атмосфер, или около  $5000 \text{ кг/см}^2$  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  $2500^{\circ}$ . Итак, до некоторой степени расширения газов их температура остается постоянной, так как восстанавливается теплотой 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
Темп. абсолютная . . . . .	2800	1400	700	350	175	87
Темп. [по] Цельсию . . . . .	+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 одну тонну; вес взрывчатых веществ примем равным 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 лежачем 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 килограммов давления



на квадратный сантиметр, то площадь основания трубы составит 10 см<sup>2</sup>. 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 [одного] 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 тонну, взрывчатый материал — 9 т, ускорение «ракеты» — 50 м/сек, 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 см<sup>2</sup> 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 секунду 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 тоннометров в течение одной секунды, 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 лошадиных сил, 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 ответвление, по которому газы поворачивают опять к устью и, в силу своей быстроты, втягивают 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 тонн и более на тонну «ракеты», то вопрос об управлении ракетой не покажется легким. Сгибая 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 раструб (или руль в нем), ракета уже получила сильное отклонение или даже перевернулась. Ракетам и вообще снарядам, построенным для военных целей, ради устойчивости 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 «ракете» 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; одни обороты будут параллельны продольной оси «ракеты», а другие перпендикулярны. Хотя масса струи газов и ничтожна, но вознаградит ее поразительная скорость их, достигающая 5 километров в секунду.

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 «ракетe» при ее восхождении очень смутны. У писателей-фантазеров описания относительных явлений или отсутствуют, или неверны.

Кажущаяся тяжесть в «ракетe» зависит от ускорения, получаемого ею от давления газов. Так, если ускорение «ракеты» 50 м/сек, то относительная тяжесть в ней будет в 5 раз больше земной, так как ускорение последней составляет 10 м. Поэтому во время взрывания в ракетe будет усиленная тяжесть в течение 3—4 минут; после прекращения взрывания тяжесть как бы уничтожится, так как ускорение от взрывания будет нуль. 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

снаряда для космических путешествий. Теперь всего уместнее указать на схематический чертеж «ракеты» и привести соответствующее описание.

Левая, задняя, кормовая половина «ракеты» состоит из двух камер, разделенных не обозначенной на чертеже перегородкой.

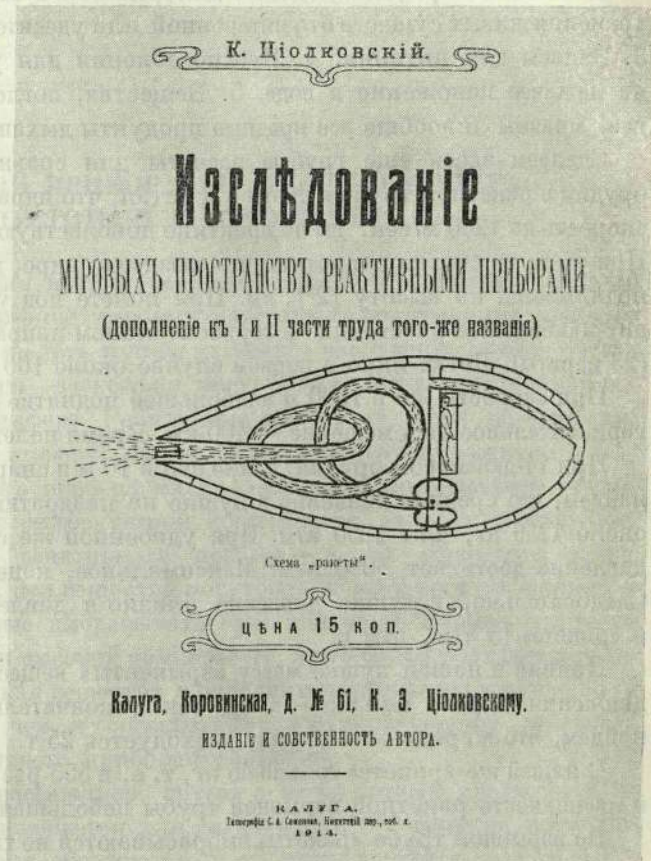
Первая камера содержит жидкий свободно испаряющийся кислород. Он имеет очень низкую температуру и окружает часть взрывной трубы и другие детали, подверженные высокой температуре.

Другое отделение содержит углеводороды в жидком виде. Две черные точки внизу (почти посредине) означают поперечное сечение труб, доставляющих взрывной трубе взрывчатые материалы. От устья взрывной трубы (см. кругом двух точек) отходят две ветки с быстро мча-

щимися 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 быстродвижущегося газа заменяют массивные



Обложка брошюры, изданной К. Э. Циолковским в 1914 г., на которой изображен разрез ракеты (уменьшен в 2 раза)

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. При этом, не считая сопротивления воздуха, ядро, двигаясь вертикально, поднимается на высоту  $12\frac{1}{2}$  км. При полете под углом в  $45^\circ$  оно проходит наибольшее расстояние в горизонтальном направлении, именно 25 км (23 версты). Летит ядро в первом случае около 100 сек., во втором — 70.

При скорости же в 1000 м 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 квадратный сантиметр составит около 1250 кг, или 1250 атм. При удвоенной же скорости ядра среднее давление достигает 5000 атм. Максимальное, конечно, гораздо больше. Следовательно, в пушке давление близко к давлению, принятому нами в «ракете» (5 тыс. атм.).

Приняв в нашей пушке массу взрывчатых веществ в 1 тонну, а время движения ядра в канале — в  $\frac{1}{25}$  сек. (окончательная скорость 500 м), найдем, что в среднем в секунду расходуется 25 т.

В нашей же «ракете» только 45 кг, т. е. в 555 раз меньше. Понятно, что и массивность ракетной взрывной трубы небольшая.

Во взрывной трубе «ракеты» выбрасываются не тяжелые ядра, а только молекулы газов. Естественно, что скорость их гораздо больше скорости ядер и достигает 5 километров в секунду. Такого же порядка и скорость, получаемая «ракетой». Горячие газы отдают свою работу пушечному ядру далеко не в полном виде, но только пока находятся в пушечном канале. Выходя из него, они еще имеют громадную упругость и высокую температуру, что доказывается громом и светом орудийного выстрела. Постепенно расширяющаяся взрывная труба «ракеты» настолько длинна, что температура и упругость выходящих из раструба газов совершенно ничтожны. Таким образом, в «ракете» энергия химической реакции используется почти без остатка.

---

\* В дальнейшем К. Э. Циолковский от данной конструкции отказался. (Ред.).

## 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 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.

\* Напечатано впервые в № 2 журнала «Воздухоплаватель». СПб., 1910. См. «Приложения», п. 14. (Ред.).

\*\* «Научное образование», 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.

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 и поверхности Земли (или на несколько сот верст выше) будет равно  $6\frac{2}{3}$  минуты. При ушестеренном количестве взрывчатых веществ сравнительно с массой прибора время стояния будет 19 минут. При относительном количестве взрывчатых материалов в 0,1 время стояния равно 55,4 сек., т. е. около минуты. 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, например, время стояния будет в 6 раз больше, потому что тяжесть там во столько же раз меньше. Именно, прибор бы стоял не 19 минут, а около 2 часов.

Во время равновесия прибора ему, конечно, можно сообщить поступательную скорость и он пройдет в 19 минут верст 100 и даже более.

Теперь обратимся к другому эффекту реактивного прибора: к приобретению поступательной скорости.

Вот таблица:

$M_2 : M_1$	0,1	0,5	1,0	2	3	4
$V$	543	2308	3920	6260	7880	9170
$M_2 : M_1$	5	6	8	10	50	193
$V$	10 100	11 100	12 500	13 650	22 400	30 038

$M_2 : M_1$  означает отношение количества взрывчатых веществ к массе реактивного прибора со всем остальным содержимым;  $V$  есть секундная скорость в метрах, получаемая прибором по окончании взрывания или по истощении всего взрывчатого материала.

Из нее видим, что скорости, получаемые реактивным путем, далеко не малы\*. Так, при относительном количестве взрывчатых веществ в 193 скорость снаряда равна скорости движения 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  $\frac{M_2}{M_1} = 6$  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  $\frac{1}{10}$  меньше, т. е. составит 0,9 первоначальной величины (см. таблицу).

---

\* Масса реактивного прибора может быть неограниченно велика.

## КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ \*

Если на предмет снизу будет производиться давление, большее его веса, то он не только будет подыматься, но и будет непрерывно ускорять свое движение. Через некоторое время тело получит скорость, которой может быть достаточно для вечного удаления его от Земли и даже Солнца.

Вот основание для межпланетных и межзвездных, т. е. межсолнечных путешествий.

Для удаления снаряда от Земли и блуждания его на годовом пути или орбите нашей планеты довольно относительной скорости (т. е. по отношению к Земле, считая ее неподвижной) в 11,2 километра (11 верст в секунду), а для вечного удаления от Солнца достаточно относительной секундной скорости в  $16 \frac{1}{2}$  километров, или 16 верст.

(Предупреждаю, что все приводимые тут числа и соображения основаны на вычислениях, содержащихся в моих изданных и неизданных трудах.)

В случае удаления от Солнца необходимо воспользоваться суточным и в особенности годовым движением Земли. Иначе требуемые скорости окажутся менее осуществимыми по своей громадной величине. Тут мы воспользуемся кинетической энергией земного шара: заставим его нам помогать, чтобы получить наибольшую скорость при наименьших затратах. Понятно, что для этого относительное движение, сообщаемое нами космическому кораблю, должно совпадать по направлению с движением тех мест Земли, на которых расположен снаряд.

Для вечного полета кругом Земли, за атмосферой, нужна секундная скорость, не меньшая 8 километров. Тогда наш снаряд будет подобен маленькой Луне.

Приводимые скорости не покажутся чрезмерными, если мы вспомним, что скорость снарядов при вылете из пушечного дула достигает 2 километров в секунду, а вылет продуктов сгорания самых энергичных взрывчатых веществ, в пустоте, — 5 километров.

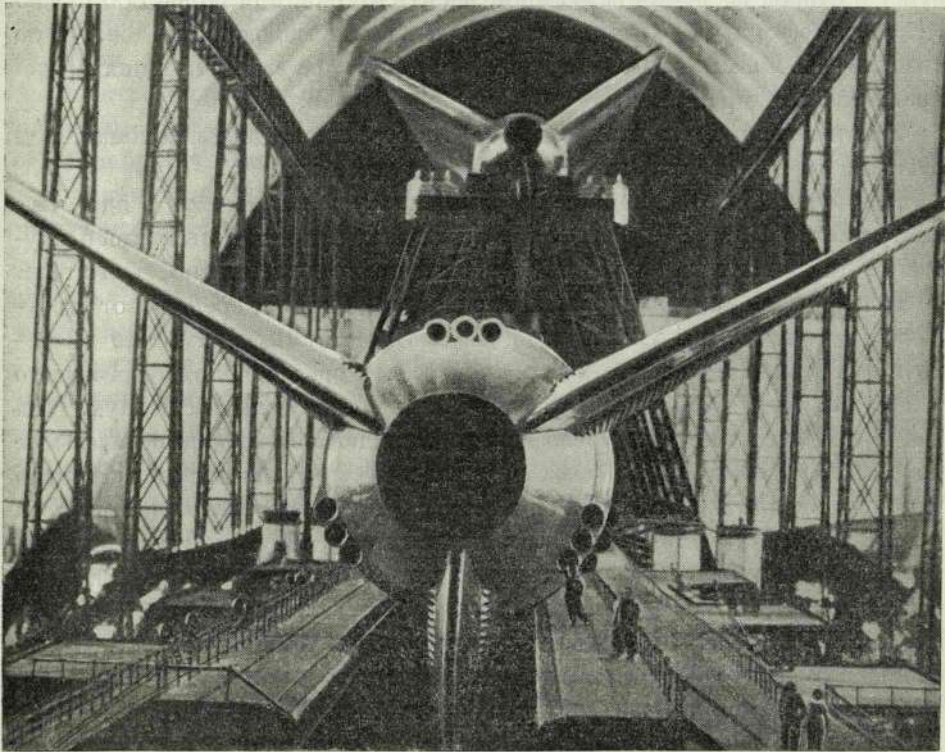
Итак, вопрос сводится к тому, чтобы производить на тело давление, в несколько раз большее веса этого тела. Например, на тонну прибора — две, три, десять тонн.

\* Печатается впервые по рукописи 1924 г. См. «Приложения», п. 26. (Ред.).



Какие же для этого имеют средства люди?

Прежде всего приходят в голову пушки: с взрывчатыми материалами, со сжатыми газом, с перегретыми летучими жидкостями, электромагнитные и другие. Но тут возникает немало неодолимых препятствий.



Кадр из фильма «Космический рейс» — ангар астропланов

Допустим для простоты, что давление газов в пушке одно и то же во все время взрыва. Пусть ядро весит тонну (61 пуд), а давление газов на нее две тонны. Секундное ускорение, или прибавка скорости в течение одной секунды, будет вдвое больше ускорения от земной тяжести, и потому в ядре, если в нем есть предметы, появится кажущаяся относительная тяжесть, вдвое бóльшая земной. Одним словом, во сколько раз будет давление газов на ядро больше его обыкновенного веса, во столько же раз и кажущаяся тяжесть ядра и находящихся в нем предметов будет больше земной тяжести. Тогда, чтобы получить достаточную для полного одоления земного тяготения скорость, надо пушку длиною в 3 тысячи километров.

Если же пушка будет коротка, например длиною в 60 километров (километр немного менее версты), то тогда давление, требуемое для приобретения секундной скорости в 11 километров, будет в 100 раз больше обычного веса ядра со всем содержимым. При этом вес тел в нем увеличится во сто раз. Путешественник, весящий 100 килограммов (6 пудов), будет в пушке, во время взрывания, весить 10 тонн, или более 600 пудов. Рука его, весом в 10 фунтов, будет тянуть вниз с силою 25 пудов. Такую тяжесть едва ли вынесет живое существо даже при самых лучших предохранительных средствах.

Мы уже не говорим, что пушка в 60 верст длиною, даже при наклонном лежании ее на земных горах, трудно осуществима.

При пушке в 600 километров средняя кажущаяся тяжесть в ядре увеличивается в 10 раз. И эта тяжесть терпима для человека только при погружении его в жидкость такой же плотности, как средняя плотность его тела.

Поясним значение жидкости как предохранительного средства от разрушительного действия увеличенной силы тяжести. Положим, что вы погружены в жидкость такой же плотности, как средняя плотность вашего тела. Вы дышите через трубочку, выходящую из воды на воздух. Ваш вес как бы исчезает, он уравнивается давлением жидкости, вы не поднимаетесь и не опускаетесь, вы находитесь в равновесии на всякой глубине. Неодинаковым сжатием жидкости и разных частей вашего тела пренебрегаем. Пусть теперь относительная или абсолютная тяжесть увеличилась в тысячу раз. Вы попрежнему будете находиться в равновесии и не почувствуете этой усиленной тяжести. Она попрежнему для вас не существует. В самом деле, хотя тяжесть вашего тела и увеличилась в 1000 раз, но и давление окружающей вас жидкости возросло во столько же раз. Значит, равновесие не должно нарушиться.

Повидимому, жидкость предохраняет человека от ужасных последствий при самом громадном увеличении силы тяжести. Недаром же природа первые нежнейшие организмы поместила в воде. Страшная тяжесть китов им не по чем, потому что уничтожается противодействием воды. Мозг высших животных, зародыши организмов окружены жидкостью. Это предохраняет от ударов и разрушения, от давления при скачках и падении.

Описанное средство было бы совершенным, несмотря на самую громадную тяжесть, если бы тело животного было вполне однородным по своей плотности. Но в том-то и штука, что этого, к сожалению, нет у человека и других высших животных. Кости гораздо плотнее мускулов, а мускулы плотнее жира. Кости, при возрастающей силе тяжести, будут тянуть к низу, а жир стремиться кверху. Эта разность давлений может разрушить любой организм при достаточно большой силе тяготения.

Только опыт может определить наибольшую относительную тяжесть, которую может безопасно для своего здоровья вынести человек при тех

или других условиях. Десятикратное усиление считаем возможным; но и тогда должна пушка иметь длину в 600 километров. При такой длине неизбежно ее располагать горизонтально, вернее, по окружности Земли. Стоимость ее неимоверна и осуществимость маловероятна. Притом сопротивление воздуха при горизонтальном или мало наклонном полете и громадной начальной скорости уничтожит большую часть движущейся энергии снаряда, и он при вылете из атмосферы не будет иметь достаточной скорости.

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. Сто метров секундной скорости аэроплана, или 360 километров часовой, составляют лишь одну стодвадцатую (менее 1%) необходимой для полного одоления земной тяжести. С такой скоростью даже не выскочишь 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 окружности, большую 200—400 метров в секунду. Таким образом, секундная скорость аэропланов должна ограничиться 100—200 метрами, т. е. 360—720 километрами в час.

Но они могут быть преобразованы, они могут приводиться в движение иным способом, без винтов, именно путем отбрасывания воздуха особенными сложными турбинами. Этот способ, повидимому, дает неограниченную скорость движения, неограниченно большой материал для отбрасывания, извлекаемый из атмосферы, а также и кислород для горючего. Впрочем, кислород на большой высоте почти исчезает и заменяется водородом\*. Может быть, возможно будет воспользоваться и им как горючим.

Еще проще аэропланы приводить в действие взрыванием заранее 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 8 раз больше самого легчайшего топлива—водорода. Такой прибор, сравнительно с предыдущим, девятикратно обременяется запасами потенциальной энергии в форме взрывчатых веществ.

Теоретически, на некоторой высоте, в атмосфере должна получиться взрывчатая смесь из кислорода, азота и водорода. Правда, эта смесь

---

\* По современным данным, состав атмосферы почти не меняется с высотой (проведено до высот порядка 120 км). (Ред.).

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, двигаясь параллельно земной поверхности.

Достигнув в чрезвычайно разреженной атмосфере восьми или более километров в секунду, она может оставить воздух и носиться вечно, как Луна, вокруг Земли.

Наконец, есть третий, самый завлекательный способ получения скорости. Он состоит в передаче энергии снаряду извне, с Земли.

Сам снаряд может не запасаться энергией «материальной», т. е. весомой, в виде взрывчатых веществ или горючего. 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 (например, солнечных) лучей и сам должен производить давление (в существовании 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. В самом деле, на Земле может быть построена силовая станция неограниченных почти размеров, с производством многомиллионной электрической энергии.

Станция отбрасывает ее и передает летящему аппарату, который и использует ее, не нуждаясь в весомых запасах энергии. Снаряд тогда держит только людей и необходимое для их жизни и продолжения ее во время пути или постоянного жительство в эфире. Этим очень бы облегчилась задача межпланетных сообщений и колонизации солнечной системы.

Но все это чересчур гипотетично (сомнительно) и даже мало доступно для расчетов. Кроме того, если мы найдем необходимым для снаряда запас «мертвого» отброса, то не разумнее ли заменить его взрывчатым материалом, который помимо опорной 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 первая космическая скорость (около 8 верст в час), то снаряд по спирали выйдет совсем из атмосферы, сделавшись маленькой, но постоянной луной Земли. Отсюда уже легко получить любое приращение скорости для дальнейших космических путешествий. Для этого даже не нужно энергии извне: достаточно одной окружающей снаряд солнечной энергии.

Если пользоваться только давлением пучка электрических или иных лучей, то возникает вопрос: довольно ли будет этого давления и не сожжет ли этот пучок лучей снаряд вместе с его содержимым? Или, может быть, он умертвит только одних людей?

Ребро квадратного параболического рефлектора должно иметь не менее 12 600 метров, или 12,6 километров 12 (верст) — нельзя считать это осуществимым в настоящее время. Притом поток лучей, имея в фокусе температуру в несколько тысяч градусов, мгновенно расплавит самый тугоплавкий материал небесного корабля. Да и как направлять поток энергии на непрерывно изменяющий свое положение снаряд! Такой способ получения скорости ставит ряд трудных вопросов, разрешение которых предоставим будущему.

Но давление солнечного света, электромагнитных волн и частиц гелия ( $\alpha$ -лучи) может быть и сейчас применяется в эфире к снарядам, успевшим уже победить тяготение Земли, выбраться из атмосферы и нуждающимся только в дальнейшем увеличении скорости. Дело в том, что тут, в пустоте, при имеющемся уже движении эта скорость может возрастать произвольно медленно. Так что тут не требуется чудовищной энергии, и можно воспользоваться ничтожным давлением света и положительных и отрицательных электронов (и  $\alpha$ -лучей).

Мы указывали на величину скоростей, необходимых для победы над тяжестью Земли, планет и Солнца, но мы не высчитали, какая для этого потребуется работа. Только определив работу тяготения, мы увидим ту мощность, которую должны выделять небесные экипажи. Простое интегрирование (особый математический прием) показывает, что она равна той, которая нужна аппарату или другому чему, чтобы подняться на радиус (полутолщина) Земли, предполагая тяжесть неизменной, не уменьшающейся.

На самом деле, при удалении от поверхности планеты на радиус тяжесть уменьшается в 4 раза, на 2 радиуса — в 9 раз. Короче, она так же быстро уменьшается с удалением от центра планеты, как притяжение магнита, которое становится незаметным даже на расстоянии нескольких шагов. После этого становится понятным, почему работа тяготения не бесконечна, а имеет, напротив, определенную и не очень значительную величину (как и работа удаления гвоздя из магнита).

Если тело имеет вес в одну тонну (61 пуд), то полная работа тяготения Земли при бесконечном удалении этой тонны составит 6 367 000 тонномеров, т. е. она выражается численно величиною [произведения веса тела на радиус планеты].

Сравним эту работу с той, которой в настоящее время располагает человек. Тонна водорода при его сгорании в кислороде выделяет 28 780 000 больших калорий, или 12 300 000 тонномеров работы, значит, если бы эта энергия вся могла превратиться в механическую работу, то ее оказалось

бы вдвое больше той, какая нужна, чтобы одной тонне топлива или другого вещества совершенно освободиться от силы земного притяжения или удалиться от Земли в бесконечность.

Нефть дает до 13 000 000 калорий, или до 5 560 000 единиц работы, т. е. энергии нефти немного недостает для полного удаления ее массы от Земли.

Правда, в эфирном пространстве нет кислорода, и потому, если дело идет о ракетном приборе, мы должны брать кислород с собою. Вообще, мы должны поднимать в ракете горючее, кислород и, конечно, самый корабль с его людьми и принадлежностями.

На тонну смеси, состоящей из кислорода и водорода, образующих при химическом соединении воду, выделяется 1 600 000 тоннометров работы. Эта энергия составляет лишь четвертую долю той, какая нужна для полного одоления тяжести только одних продуктов горения (воды). Бензин с кислородом дает на тонну 1 010 000 тоннометров. 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 килограмм радия дает около 130 больших калорий в час, или 55 640 килограммометров работы, что в секунду составит около 15,5 килограммометра. Следовательно, кило радия дает непрерывно работу рабочего при идеальном использовании этого вещества.

Тонна радия при тех же условиях даст около 155 лошадиных сил. Значит, по своему весу радий в 6 раз менее продуктивен, чем аэропланые двигатели, которые дают 1000 сил на тонну своего веса. Нечего и говорить, что потребного количества радия не найдется сейчас на всем земном шаре, т. е. добытого людьми, что стоимость его чудовищна, что не имеется еще и радиевого двигателя и что идеальное использование невозможно.

Но возможно применение отрицательных ( $\alpha$ ) и положительных ( $\beta$ ) электронов, т. е. катодных и анодных (или каналовых) лучей, в особенности последних, если удастся уменьшить их скорость во много раз (например, во 100 раз). Низшая степень их скорости доходит до нескольких сот километров в секунду. Такая скорость еще не может дать выгодного использования их энергии, потому что много превышает даже наибольшую необходимую космическую (16 верст в секунду), достаточную даже для удаления к иным солнцам.

Я говорю о применении электричества, действие которого всегда сопровождается выбрасыванием ядер гелия и электронов. Явление франклинова колеса показывает, что скорость их может быть сильно ослаблена

---

\* В те дни, когда писалась эта статья, представления о внутриатомной энергии были недостаточно разработаны и возможности ценных реакций были неизвестны. (Ред.).

окружающей средой, причем они дают заметное давление. Это давление может быть и сейчас использовано даже в очень разреженной среде. Труднее его использование в пустоте, так как оно тут становится незаметно малым. 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 веществам.

Выходит, что самые энергические из них 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. Пружина разжимается, и оба тела, бывшие до тех пор неподвижными, приобретают равные скорости. Будет приблизительно то же, если мы заменим одно из тел равной массой сжатого газа, направленного при своем движении трубой в одну сторону. В этом случае мы ограничимся одним полым шаром с раструбом и заключенным в нем сжатым газом или перегретою летучей жидкостью. 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 т. п.

Скорость вылетающих взрывчатых веществ может достигать при достаточно длинной трубе в пустоте 5 километров в секунду. Значит, и снаряд наш при равной массе с взрывающимся материалом может получить почти такую же скорость.

Но представим себе, что масса взрывчатых веществ в три раза 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 километров. После этого взрываем еще единицу. Получаем прибавки скорости снаряда в 5 километров. Теперь снаряд будет иметь скорость в 10 километров. Далее вообразим, что запас ракеты составляет  $7(2^3-1=7)$ . Мы взрываем из этого запаса сначала 4 единицы. Оставшиеся 4 получают 5 километров скорости. Затем взрываем две единицы. Оставшиеся две единицы массы получают еще 5 километров, всего 10 километров в секунду. Наконец, третий раз взрываем единицу. Пустая ракета той же

\* Эти соображения носят весьма приближенный характер. (Ред.).

массы получает прибавку 5 километров, а всего она имеет теперь 15 километров скорости в 1 секунду.

Далее запас взрывчатых веществ сравнительно с массой ракеты может быть последовательно такой:  $2^4 - 1 = 15$ ;  $2^5 - 1 = 31$ ;  $2^6 - 1 = 63$ ;  $2^n - 1$ . Соответствующие секундные скорости корабля по окончании взрывания 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 больше 17 километров в 1 секунду.

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 воображаемом, моментальном взрывании потеря энергии не будет. Также ее не будет при направлении взрывания, нормальном к действию тяжести (т. е. к ее направлению, или вектору), несмотря на любую слабость взрывания.

Но тут мы встречаем две горести. При моментальном взрывании, если бы оно и было возможно, относительная тяжесть в снаряде будет бесконечно велика и потому должна убить все живое и разломать все вещи, находящиеся в космическом корабле, и даже сам корабль.

При горизонтальном же направлении взрывания ракета падает на планету прежде приобретения необходимой скорости, уничтожающей тяготение. (При секундной скорости в 8 километров, по окружности и близ Земли центробежная сила становится равной силе тяготения. Так что снаряд, двигаясь вокруг Земли, вне атмосферы, становится как бы ее Луной). Кроме того, при горизонтальном взрывании и почти горизонтальном полете увеличивается во много раз слой проходимой атмосферы. От этого значительная часть работы взрывчатых веществ, буквально, растрачивается на воздух. Значит, обе крайности неприменимы.

Вычисления показывают, что наиболее выгодный угол направления полета к горизонту заключается между 20 и 30°. При этом и сопротивление атмосферы не очень велико, и относительная тяжесть в ракете небольшая, и потеря энергии взрывчатых веществ от силы тяготения незначительна.

Итак, повидимому, снаряд всякой массы может приобрести космическую скорость, забрав даже сравнительно не очень большой запас взрывчатых веществ.

Но и тут мы должны разочароваться в легкости этих достижений. Расчет показывает, что если взрывание происходит хотя и постепенно, но так

\* Если ракета управляема, то выгоднее пробивать слой атмосферы под углом 90°, а затем выходить на желаемое направление полета. Для реактивных самолетов наилучший угол зависит от отношения начальной тяги к начальному весу. (Ред.).



же, как в обыкновенной ракете или новейших, проектируемых Обертом и Годаром, то вес сосуда, содержащего взрывной материал, будет очень велик по отношению к массе взрывчатых веществ. В самом деле, давление газов при взрывании во всех известных мне системах ракет передается всей внутренней поверхности сосуда и заставляет делать его очень прочным и тяжелым. Может ли быть легка такая ракета!

Давление газов при взрывании самых энергичных взрывчатых веществ достигает 5000 атмосфер, или 5 тонн на  $1 \text{ см}^2$ . Допустим, что мы употребили один или несколько сосудов самой лучшей цилиндрико-шаровой формы, что возьмем самый крепкий и легкий материал (сопротивление 100 килограммов на  $1 \text{ мм}^2$ , плотность 8). Легкие сплавы магния и алюминия расплавляются и потому абсолютно не пригодны, что запас прочности умеренный (4) и что эта прочность не пострадает от повышения температуры. Тогда расчет нам покажет, что вес сосуда (или котла) будет в 30 (тридцать) раз более веса взрывчатых веществ, содержащихся в этом сосуде. Плотность взрывчатого материала принимается при этом за единицу (плотность воды). Если, например, взрывчатые вещества плотности воды весят тонну, то самый лучший котел, их содержащий, будет весить 30 тонн. При плотности вещества вдвое большей сосуд весит больше их в 15 раз. Напротив, если взрывчатые материалы в виде жидкого водорода и кислорода в среднем вдвое легче воды, то сосуд будет в 60 раз тяжелее их.

Примем давление только в 2500 атмосфер и плотность взрывчатых веществ в единицу. И тогда сосуд будет весить в 15 раз больше их. Тантал очень крепок и тугоплавок. Временное сопротивление его разрыву при плотности 10 (по Менделееву) достигает 250 килограммов на  $\text{мм}^2$ . Этот материал, употребленный на сосуды, дает возможность их относительный вес еще уменьшить в 2 раза. Таким образом, относительный вес сосуда в пределе, может быть, достигнет 8. Это значит, что даже пренебрегая весом ракеты со всем содержимым, кроме сосуда и взрывчатых веществ, т. е. считая ракету состоящей только из котлов со взрывным материалом, в пределе такая ракета не может поднять взрывчатых веществ более одной восьмой своего веса. Если же ракета кроме котла должна поднимать еще груз, равный половине веса котла, то вес взрывчатых веществ составит лишь  $\frac{1}{16}$  веса ракеты.

Для практических размеров ракеты мы можем принять массу взрывчатых веществ в 10% массы ракеты со всем содержимым.

Спрашивается, на какую же высоту может подняться снаряд с таким максимальным запасом энергии? Пренебрегая сопротивлением воздуха и влиянием тяжести, найдем по моей таблице\* скорость в 543 метра. Это соответствует поднятию на высоту около 15 километров.

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами», наст. том., стр. 82. (Ред.).

Давление, развиваемое порохом, пироксилином и другими взрывчатыми веществами, может быть меньше приведенного, но зато и действие их, или энергия их, слабее.

Во всяком случае, как увидим, возможен более значительный относительный запас взрывчатых веществ и большая скорость даже при простейшем устройстве ракеты.

Сложная ракета Годара несколько дела не изменяет. Теория показывает, что число сосудов, хотя бы и вложенных друг в друга, и порядок взрывания их содержимого никакого облегчения в весе не дают.

Сжатые «постоянные» газы, как бы они упруги ни были, дают тот же результат, т. е. вес сжатого газа по крайней мере в 8 раз меньше веса сосудов.

Но могут быть вещества, которые при большой плотности развивают малое давление. Например, нагретая вода и другие жидкости и сжиженные газы. Так, нагретая вода содержит значительную потенциальную энергию и может давать вместо 5000 атмосфер давления одну, десять, сто и более атмосфер.

Это сильно уменьшает вес сосудов, но беда в том, что запасенная энергия воды очень мала в сравнении с энергией взрывчатых веществ. Самые точные расчеты показывают, что при самых благоприятных условиях перегретая вода не может себя и свои котлы поднять выше 60 километров. Притом мы не принимаем во внимание, что применение перегретой воды (градусов до 200 Ц) еще не испытано, и потому эти вычисления могут не оправдаться по чисто практическим причинам. Хотя получаемые горячей водой скорости и далеки от космических, но для первых опытов вода, нагретая до 150—200° Ц, может оказаться пригодной.

Где же выход? Он, как будто, очень прост. Надо запастись самыми энергическими взрывчатыми веществами, но взрывать их в определенном очень крепком небольшом сосуде, который назовем взрывной камерой, или началом взрывной трубы. Давление газов будут 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.

Трубы и взрывная камера имеют очень небольшой объем. Поэтому масса их не может быть велика. Она определена и не возрастает с увеличением запаса взрывчатых веществ. Сосуды, содержащие эти запасы, не испытывают никакого давления, кроме того, которое происходит во время ускоряющегося движения ракеты от их усиленной относительной весомости. Такие сосуды или баки, особенно при многокамерном (с перегородками) устройстве снаряда и многих взрывных трубах, могут весить очень мало.

Но конструкция такой ракеты, в которой запас взрывчатых веществ может во много раз превосходить вес снаряда с остальным содержимым,

усложняется. Необходимо непрерывное накачивание взрывного материала во взрывную камеру. Взрывание в среде тяжести должно происходить очень быстро. Тут зевать нельзя. Количество взорванных в секунду материалов велико, давление составляет несколько тысяч атмосфер. Понятно, что и работа накачивания немала. Мы сейчас увидим, какова она и возможна ли.

Заметим, что для взрывания могут быть употреблены два средства: 1) готовый взрывной материал, например порох, динамит и т. п.; 2) два или несколько отделенных друг от друга веществ, например богатое кислородом вещество и нефть, смешиваясь в взрывной камере, дают сильную струю газов. Последний способ во всех отношениях практичнее. Первое же средство очень рискованно, так как может дать взрыв всего запаса одновременно. В дальнейшем изложении мы будем иметь в виду применение нескольких смешиваемых в камере жидкостей, дающих при обыкновенных условиях, до смешения, ничтожное давление.

Таким образом, небесная ракета, чтобы достигнуть космических скоростей, обязательно усложняется. Прибавляются к ней непрерывно действующие насосы или инжекторы и двигатели, приводящие их в движение.

Эта мысль об особой взрывной камере не может быть применена к перегретой воде, сжатым или сжиженным газам, так как они во всей своей массе развивают давление. Нагревать же их по мере накачивания в огневую камеру невозможно из-за чрезвычайной и неизбежной быстроты этого процесса. Я хочу сказать, что в холодном состоянии при небольшой упругости они не годятся, так как их во взрывной камере невозможно быстро нагревать, а в нагретом состоянии они потребуют тяжелых баков.

Значит, перегретая вода пригодна только для первых опытов и упражнений, учащих нас управлению, регулированию взрывания, изменению скорости, направления и т. д. Это обойдется сравнительно дешево и может осуществляться беспрепятственно, т. е. мы не видим тут пока технических затруднений.

Возвратимся к нашему реформированному небесному кораблю. Его устройство относится к старой конструкции ракет так же, как паровые котлы времени 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, употребляемыми еще и теперь.

Как показывают мои расчеты, при движении космической ракеты под углом в  $30^\circ$  к горизонту почти вся энергия взрывчатых веществ утилизируется, т. е. я хочу сказать, что тяжесть и сопротивление атмосферы поглощают небольшую часть этой энергии, и явление происходит почти с тем же успехом, как без притяжения. Для грубых расчетов этой статьи мы

Таблица 1

Время в секундах от начала движения	Тропосфера										Стратосфера						Вокород	
	0	1	2	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60	70	80			
	0	0,03	0,06	0,09	0,15	0,21	0,30	0,45	0,60	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4			
Секундная скорость в километрах	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			
Пройденный путь в километрах	0	0,023	0,91	0,26	0,57	1,12	2,3	5,1	9,1	20,6	36,7	57,5	82,5	112	147			
Плотность воздуха и замечания	1	Тропосфера. Нормальный состав воздуха. Водяные метеоры, облака																
Время . . . . .	90	400	420	450	470	200	220	250	260	270	280	290	300	320	350			
Скорость . . . . .	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			
Путь . . . . .	371	459	660	1030	1330	1830	2220	2870	3101	3340	3596	3858	4130	4700	5620			
Высота . . . . .	185	230	330	515	660	915	1410	1435	1550	1670	1798	1929	2065	2350	2810			
Плотность воздуха, сила тя- жести, заметки	0,00006 Черное небо. Геокоро- ний и водород*	0,000002 Черное небо										Пустота — эфир		0,66	Сила тя жести 0,61		0,5	
Время . . . . .	370	380	390	400	420	450	470	500	520	550	570	600	620	650	700			
Скорость . . . . .	11,1	11,4	11,7	12,0	12,6	13,5	14,0	15,0	15,6	16,5	17,1	18,0	18,6	19,3	21,00			
Путь . . . . .	6184	6235	6287	7339	7980	9290	10 140	11 470	12 460	13 880	14 900	16 510	17 600	19 380	21 480			
Высота . . . . .	3100	3117	3143	3669	3990	4645	5070	5735	6230	6940	7450	8275	8800	9690	11 240			
Сила тя жести . . . . .	0,45	0,41 0,38 0,31 0,26 0,21 0,18																

\* Преобладание в верхних слоях атмосферы современной метеорологией не подтверждается. (Ред.).

пренебрежем упомянутыми потерями и примем секундное ускорение ракеты в 30 метров. Относительная тяжесть в ней будет втрое более земной. В лежачем положении здоровый молодой человек, может быть, перенесет ее без погружения в воду. Но пренебрегать предохранительными средствами ни в каком случае не следует.

Приводимая ниже таблица показывает только приблизительно (как и все в этой статье) время в секундах от начала движения небесного корабля, соответствующую секундную скорость в километрах, пройденный путь и высоту поднятия, тоже в километрах. Пятая строка указывает кое-где плотность атмосферы, ее преобладающий газ и силу земной тяжести.

Рассматривая внимательно таблицу, мы получаем картину полета ракеты.

Движение ее под углом в  $30^\circ$  к горизонту непрерывно ускоряется. Через 15 секунд скорость достигает 0,45 километров (450 метров), но сопротивление атмосферы уже уменьшается вдвое, так как снаряд поднялся на 5 километров, где плотность почти вдвое меньше, чем у уровня океана. Еще через 5 сек. эта плотность уменьшается втрое, ракета достигает высоты в 9 километров при скорости в 600 метров. После этого состав атмосферы начинает изменяться: процент более легких газов несколько увеличивается (например, азота, водорода, аргона и др.), а более тяжелых уменьшается (например, углекислого газа). Мы пролетели все облака, все тучи, всю область водяных метеоров (тропосферу). Кругом сухость и ясное темносинее небо. Через 30 сек. от начала полета скорость доходит почти до километра (900 м), сопротивление воздуха очень слабо, так как снаряд забрался на высоту 20 километров, где плотность 0,06, т. е. воздух в 17 раз реже, чем внизу\*. Далее мы летим через стратосферу, где видим изредка лишь перистые облака. Это область падающих звезд (место их возгорания и разрушения) и светящихся облаков. Мы пролетаем ее примерно через минуту от начала полета, когда достигаем высоты 80 километров и воздуха, который разрежается уже в 50 000 раз. Он почти незаметен. По Вегенеру, тут прекращается синева неба. Скорость ракеты доходит до 1,8 километра в секунду (1800 м). Это сравнивается с высшей скоростью артиллерийских снарядов при выходе их 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

---

\*Более точные данные о плотности атмосферы на различных высотах можно получить из таблиц Международной стандартной атмосферы. (Ред.).

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, окруженные черным сводом с горящими светлыми точками звезд. Подымаемся выше 80 километров и вступаем в область геокорония с прибавкой некоторого процента водорода — в таинственную сферу северных сияний.

Через 150 сек., или  $2\frac{1}{2}$  минуты, проходим и эту газовую среду и вступаем в абсолютную пустоту — в область светящегося эфира, где приобретенное нами движение уже не умалится от сопротивления среды.

Скорость небесного экипажа достигает 4,5 километра в секунду (4500 м). Он находится теперь на расстоянии 500 километров от земной поверхности. Но этой скорости снаряда еще недостаточно, чтобы сделаться надежным спутником Земли. Ракета, склоняясь к окружности, должна еще при взрывании пролететь ускоренно 2 минуты, а всего от начала движения 270 сек. Тогда она получит секундную скорость в 8 километров и поднимется на высоту 1700 верст. Тут тяжесть Земли уменьшается процентов на 35, и ракета поднялась бы от этого значительно выше, если бы не склонялась к обычному пути планет и спутников и не тратила бы свою энергию не столько на одоление тяжести, сколько на получение скорости.

После этого можно прекратить взрывание. Скорость ракеты не ослабляется сопротивлением среды, и центробежная ее сила сравнивается с силой притяжения Земли. Расстояние ее от нашей планеты не изменяется, и положение становится настолько же постоянным, насколько постоянно положение небесных тел.

Если же предположить, что взрывание продолжается, то таблица покажет нам последующие результаты. В ней дан расчет на дальнейшее взрывание, причем при определении высоты снаряда не принималось во внимание уменьшение силы тяжести. Но важность имеет не высота поднятия, а приобретенная скорость. Она дает возможность после прекращения работы взрывчатых веществ через 370 секунд совсем удалиться от Земли и лететь по его годовой орбите в качестве ее собрата — планеты.

При дальнейшем взрывании в течение 550 сек., или 9 минут от начала полета, скорость будет не только достаточна для достижения любой планеты нашей солнечной системы (только направление скорости ракеты должно совпадать с направлением годового движения Земли), но и для полного одоления притяжения Солнца и блуждания среди иных солнц млечного пути. Такая ничтожная скорость снаряда одолевает могучее солнечное притяжение потому, что она подсчитана по отношению (к Земле). Скорость же по отношению к Солнцу весьма будет велика. Действительно, мы воспользовались движением Земли, и это она нам дала такое могущество (прибавку почти в 30 километров в секунду, всего около 47 километров в секунду), сама потеряв совершенно незаметную часть своей скорости.

Мы не коснулись еще субъективных ощущений полета. Это впереди.

Мы имеем сейчас другую цель и лишь невольно задела описание атмосферы.

Мы рассчитывали ранее в наших печатных трудах, что космический корабль для получения скорости в 8 километров в секунду и положения маленькой и близкой земной луны должен забрать запас самых энергичных взрывчатых веществ, в 4 раза превышающий вес ракеты со всем содержимым кроме этого запаса.

Если бы снаряд с людьми и прочим весил тонну, то расход взрывчатых материалов составил бы 4 тонны, или 4000 килограммов в течение 270 сек. Средний расход их в секунду составит 15 килограммов. Давление на аппарат, по условию, будет в 3 раза больше его веса со всем содержимым, включая сюда и взорванные еще вещества. Таким образом, если ускорение постоянно, то в начале полета, когда ракета весит 5 тонн ( $1 + 4$ ), давление составит 15 тонн ( $5 \times 3$ ). В конце же взрывания, когда материал израсходован и ракета с содержимым весит только одну тонну, давление окажется в 3 тонны. Значит, расход взрывчатых веществ будет в начале полета в 5 раз больше, чем в конце его.

Для простоты мы примем средний секундный расход в 15 килограммов, также и среднее давление в 9 тонн. 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. Только это сделает неравномерной кажущуюся тяжесть: в начале полета она будет менее двух, а потом будет непрерывно возрастать и дойдет до 9, что для человека, погруженного в жидкость, не имеет большого значения.

Примем наибольшее давление взрывающихся газов в 3000 атмосфер. Значит, давление на дно трубы будет равно 3 тоннам на  $1 \text{ см}^2$ . А нужно получить 9 тонн. Следоват[ельно], дно взрывной цилиндрической трубы должно иметь в основании  $3 \text{ см}^2$  площади. Скорость потока взрывчатого вещества для обеспечения расхода 15 килограммов в секунду, считая плотность смеси равной плотности воды, составит 50 метров. Работа вталкивания смеси будет 450 тоннометров ( $9 \text{ тонн} \times 50 \text{ м}$ ), или 4500 метрических лошадиных сил (метрическую силу принимаем в 100 килограммометров).

Значит, помимо прочего нам нужен двигатель в 4500 метрических сил для накачивания веществ в трубу взрывания\*. Это сейчас практически неосуществимо. В самом деле, если мы даже отделим на этот мотор половину всего веса ракеты, т. е. 500 килограммов, то и тогда наши двигатели должны быть в 9 раз легче самых легких из существующих.

Вот одно из многих затруднений для исполнения космического корабля.

Приходит в голову вкладывать готовые патроны во взрывную трубу, т. е. мы вкладываем в нее один патрон, взрываем его и дожидаемся, когда

\* Камеру сгорания реактивного двигателя. (Ред.)

труба освободится от газов и давления. Далее влагаем другой, и т. д. Тогда ракета будет двигаться толчками, неравномерно. Это терпимо. Но скорость вкладывания патронов окажется недостижимо велика. В секунду надо вложить цилиндр взрывного материала длиной в 50 метров, или 100 патронов длиной каждый в полметра! Если же расширить трубу в 10 раз, т. е. сделать основание ее в  $30 \text{ см}^2$  (поперечник будет 6,2 см), то вес взрывной трубы увеличится в 10 раз. Тогда нужно в 1 секунду втолкнуть 10 цилиндров взрывного материала длиной по полметра каждый.

Помимо всех этих препятствий толчки от взрывания усилятся в 10 раз и сделаются непереносимыми для пассажиров и самой ракеты. Результат будет тот же, если мы прибегнем к действию насосов, прерывисто накачивающих взрывные элементы. Работа их, конечно, будет посильней, т. е. небольшой, но толчки останутся, и быстрота их действий едва ли будет достижима.

Инджектор Жифара 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 взрывных материалов, т. е. 4 тонны вещества, предполагая энергию химического соединения водорода с кислородом, будет 5 600 000 тоннометров. Следоват[ельно], в одну секунду они выделяют 20 700 тоннометров, что соответствует 207 000 метрических 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 часть 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 метрических сил. Между тем вес взрывной трубы, которая совершает эту гигантскую работу, очень незначителен — всего только часть тонны (вся ракета весит тонну). Может ли это быть? Вполне может. Доказательство мы видим в работе артиллерийских орудий. Нетрудно рассчитать, что орудие, выбрасывающее тонну чугуна с начальной скоростью в 2000 метров, совершает работу в 200 000 тоннометров. И это в течение  $1/100$  секунды. Значит, в секунду она составит 20 000 000 тоннометров, или 200 миллионов метрических сил. Это больше работы взрывной трубы в 968 раз. Если пушка весит 40 тонн, то наша взрывная труба должна весить около 40 килограммов, что вполне достижимо, как показывают другие расчеты.

Но как же быть с накачиванием материалов? Изобретайте инжектор! До этого о космических путешествиях можно только мечтать или делать вычисления, незначительные опыты и полеты.

Осуществлению инжектора мешают чрезвычайно высокая температура соединяющихся начал взрыва и недостаток в тугоплавких и прочных веществах. Но все это одолеет время, человеческий труд и мысль.



Рули направления и поворота подобны аэропланным. Помещены они снаружи, против устья взрывной трубы. Они действуют в воздухе и в пустоте. Их уклонение, а вместе с тем и уклонение ракеты в атмосфере происходит от сопротивления воздуха и от давления стремительно мчащихся продуктов горения. В пустоте же — только от вылета взрывающихся веществ.

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 останавливать невольное вращение снаряда от неправильного взрывания и давления воздуха. Его действие зависит от винтообразного скашивания пластинки руля, расположенного вдоль потока газов в трубе. Назначение, конечно, в остановке всякого вращения ракеты, губительного для людей.

Опишем ощущения путешественников, отправляющихся в космическом снаряде для блуждания кругом Земли, подобно ее Луне. Также восприятия 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 небольшим количеством жидкости, как мозг в черепе. Руки расположены тоже в жидкости, но свободнее, так что они могут управлять рукоятками приборов, расположенными также в воде. Приборы регулируют направление движения ракеты, состав ее воздуха, температуру, влажность, взрывание, останавливают вращение и пр.

В таком залитом состоянии, дыша через трубку, выходящую из воды, путешественники в течение  $4\frac{1}{2}$  минут взрывания не много могут заметить. Тяжесть их сильно ослаблена водой. Она тепла. Холода нет. Окна закрыты плотно непрозрачными ставнями, и видеть, что делается вне ракеты, нельзя. Так бы должно быть. Но мы положим, что путешественники стоят или полулежат в креслах, смотрят в прозрачные окна и наблюдают спокойно окружающее. Тогда и в эти 270 секунд можно кое-что заметить.

Выбрана высокая местность в горах. Найдём там наклон почвы в  $20-30^\circ$  к горизонту. Место выравнено. По нему проложены особые рельсы. На них стоит ракета. Высота места 5—6 километров. Плотность воздуха равна половине плотности у поверхности Земли. Рельсовый путь проложен верст на 100. Ракета на рельсах находится в наклонном, почти горизонтальном положении. Пол с привинченными сидениями почти вертикален ( $60-70^\circ$  к горизонту). Путешественники взшли в ракету, герметически замкнулись. Положение крайне неудобное. Сидеть на креслах невозможно. Ходить можно только по нижней наклонной ( $20-30^\circ$ ) стенке и то с трудом, как по крутой горе. Но можно поместиться на легких веревочных сиденьях, вроде трапеций, что и сделали наши путешественники, изрядно повертевшись. Ракета пока стоит.

В окна видны: горы, здания, плывущие внизу и над головой в темном небе облака. Короче — обыкновенная картина высокой горной местности.

Началось взрывание. Оно оглушительно нехорошо действует на нервы. Но пусть наши герои будут ими крепки и не обратят на этот страшный вой никакого внимания.

Путешественники почувствовали толчок, ракета покатила по рельсам, и горизонт или поверхность Земли, как им показалось, повернулась на  $60^\circ$ . Она стала дыбом, почти отвесной стеной. Напротив, пол ракеты сделался горизонтальным. Всякие кресла наклонились и стали отвесны к полу. Тяжесть увеличилась чуть не вдвое, и люди с ужасом завалились в кресла, положение которых стало теперь правильным. Подняться с них они могли только при чрезвычайном напряжении сил. Но пока не было в этом надобности. В окна же было все отлично видно: кругом почти отвесная земная поверхность, усыпающие ее горы, озера, реки, леса, дома, — все это помещалось, казалось, на невиданно крутой плоскости и каким-то чудом там держалось. Воды не выливались из озер и башни не падали, несмотря на неестественное положение. Казалось, рельефную карту Земли поставили под углом в  $60-70^\circ$  к горизонту.

Солнце только что взошло, но уже казалось очень высоко над головой.

Давление взрывающихся веществ на ракету было неизменно—9 тонн, но так как количество их убывало, то ускорение снаряда росло. От этого кажущаяся в нем тяжесть непрерывно увеличивалась: от  $1\frac{4}{5}$  в начале, до 9 в конце пути, т. е. в конце взрывания. Это ясно было видно из наблюдения над пружинными весами. Кусок золота в один фунт, положенный на чашку пружинных весов, показывал с начала взрывания около двух фунтов, т. е. больше чем следует, так как не только золото, но самая чашка и пружина весили более прежнего. Этот вес золота непрерывно, на глазах людей, 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, если не считать дрожания и колебания. Но им казалось, что громадная опрокинутая земная поверхность проваливается со всеми горами, морями и городами куда-то вниз и вместе с тем удаляется.

Часы с обыкновенным маятником Гюйгенса стали страшно бежать вперед. Маятник торопился и вместо двух 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 aneroid, или круглый барометр с пустой коробкой, показывал то же давление газов внутри ракеты: оно не уменьшилось. Торговые (рычажные) весы не показывали увеличения веса в предметах, хотя все они стали вдвое грузнее. Оно понятно, так как и гири стали тяжелее.

Поучительно видеть это неуклонное возрастание веса, который мы привыкли считать чем-то постоянным. Центробежная машина могла показать, что масса тел всех вещей осталась без малейшего изменения.

Предметы, выпущенные из рук, стали падать стремительнее, капли сделались вдвое мельче по диаметру, объем же их уменьшился в 8 раз. Волны распространялись быстрее. Лица путников побледнели, и если бы не их молодость и здоровье, то дело могло бы кончиться плохо. Все же их сильно клонило расположиться на койках, как им казалось, горизонтальных. Пока они терпели, но кресла вдавливались тяжестью их тела все глубже и глубже. Закон Архимеда о плавании и потере веса в жидкостях не нарушался, но явления волосности ослаблялись: так, вода в тонких трубках подымалась вдвое ниже.

Небо темнело. Стали видны планеты и более крупные звезды, несмотря на полный блеск Солнца. Оно сияло вдвое сильнее хотя это не кидалось в глаза, и было синеватее, чем в атмосфере. Жгло невыносимо, непереносно для человека. Но толстые стекла оберегали путников, ослабляя дневное светило. Месяц, едва ранее заметный, стал серебриться и сиять словно вымытый и вновь посеребренный. Небо давно было совершенно безоблачно. Облака же наклонным положением покрывали местами такую же наклонную круто поверхность Земли. Между ними виднелись моря и страны.

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 казалось так близко — рукой подать. Свод стал шаровиднее, правильнее, но он был бы страшен, если бы не его игрушечный вид.

Звезды стали разноцветными, яркими, но не мерцающими.

Пролетели область геокорония и выбрались из атмосферы. Звезды еще ярче и отчетливей. Стал намечаться и Млечный путь.

Тени от предметов в ракете сделались заметнее, но полусвет остается, так как и самые темные уголки ракеты освещены отраженным светом Земли, ракетных вещей и ее стенок.

Земля все более и более представляется вогнутой чашей. Она сбоку: чаша почти отвесна. Она занимает полнеба, расширяется и все более и более захватывает озер, рек и морей.

Окружающее нас пространство кажется сферой, в центре которой мы находимся. Одна половина сферы — это видимая часть земного шара, другая — черное небо, покрытое множеством серебряных точек — звезд, с сияющим Солнцем и золотую Луну. Все вместе сливается в какой-то мячик из двух равных половин: светлой — Земля и черной — небо с ослепительным светилем. Мячик кажется гораздо меньше, т. е. внутренняя его поверхность гораздо, как будто, ближе, чем небесный свод на Земле.

\* См. примечание к таблице на стр. 166. (Ред.).

Земля представляется в виде громадной вогнутой Луны, занимающей половину всей сферы.

Тяжесть так усилилась, что один из путников 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 усилием поместили своего бесчувственного товарища, затем залезли сами, поддерживая голову слабого над водой.

Сразу они почувствовали себя, как в раю, а больной сейчас же очнулся, не замстив 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 можно было легко устранить — стояло только погрузить голову в воду. Они прежде надели особые очки с очень выпуклыми стеклами, которые не мешали видеть в воде и через воду, взяли в рот трубки, плотно прижнувшие к губам и носу, и преспокойно погрузились в ванну с головой. Со всем 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 ни бывало. Только поверхность жидкости морщилась от тряски, и все дрожало мелкой дрожью.

В конце взрывания предстояла удвоятеренная тяжесть, но они ее теперь не боялись.

Ракета управлялась почти автоматически, и путникам редко приходилось передвигать стрелки регуляторов и рукоятки приборов. Тонкие провода их или кнопки были в воде или поблизости. Но когда путники пытались вытащить из жидкости большую часть руки или ноги, то изнемогали от усилия, так как члены были, как будто, налиты свинцом.

Через 4—5 минут от начала путешествия наступила внезапная могильная тишина, ибо взрывание прекратилось.

После оглушительного воя, шума и трясения, которые мешают им сказать хоть одно слово обыкновенным путем, эта тишина их так же поразила, как чудовищный шум при отбытии с Земли. В ушах страшно шумело, они оцепенели, как бы погрузились в какой-то новый мир. Лица налились кровью, но это было не опасно, так как и при усиленной тяжести в воде было почти то же. Разрыва кровеносных сосудов произойти не могло. Был только небольшой контраст в давлении 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 путников очнуться. Они вскочили на ноги и полетели внутри ракеты. Удар головой и другими частями тела о потолок и стенки ракеты еще более заставил их прийти в себя. Их первые движения в ванне разбросали воду в разные стороны, и она теперь летала в камере в виде больших и малых шаров. Похоже было на полет миль-

ных 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 стеклом, шныряли взад и вперед вместе с путниками.

Вещи еще понемногу унимались, но люди делали движения и потому летали взад и вперед, как молекулы газов. Путешественники ничего сейчас не чувствовали кроме удивления, так как испытываемые явления поразили их более, чем их описание, прочитанное ими ранее на Земле.

Шум в ушах угомонился, ракета, как будто, стояла, но путники знали, что она мчится теперь вокруг Земли, как ее новая луночка, со скоростью 6—7 верст в секунду. Она вне атмосферы, за 3—4 тысячи верст от Земли. Остановиться сама собой она не может, она — спутник Земли.

Когда наши герои вполне опомнились, они начали приводить свое маленькое хозяйство в порядок. С помощью губок убрали воду и привязали сорвавшиеся со стен во время усиленной тяжести предметы.

Они испытывали блаженный покой и тишину. Положение и направление их тел в ракете было неопределенно. Оно было таким, какого они хотели. Но установить неподвижность было очень трудно; когда они этого достигали, то даже движение их крови, сердца, кишек, чиханье, дыханье и т. п. нарушали это достижение, и тело вращалось и ползло. Я уже не говорю хотя бы про самые легкие толчки или движения воздуха в камере.

Движение всех тел имело три главных устойчивых вида: прямолинейное, вращательное и соединение того и другого. Была еще часто примесь к этим идеальным движениям неправильного колебательного. Но оно скоро переходило в обыкновенное устойчивое вращение вокруг «свободной» оси. Их можно было найти не менее трех в самом неправильном теле, но в симметрических телах их было больше, а в шаре бесконечно много.

Барометр поднялся, и ртуть заняла все трубки. Пустоты в ней не было. Всякие весы были бесполезны, так как тяжести не было. О массе можно было только судить по усилию, которое нужно было приложить к вещи, чтобы сдвинуть ее с места и придать определенную скорость.

Человек и всякий предмет мог находиться в покое в любом положении. Движение, если не было препятствий, никогда не прекращалось. Верх казался там, где была голова, а низ — там, где ноги. Поэтому у каждого был свой верх, смотря по направлению длинной оси его тела.

Земля занимала немного менее половины всего неба и имела вид вогнутой полусферы, в центре которой находится ракета. Но одна часть Земли освещена, как месяц, и имеет форму изогнутого гигантского лунного серпа, другая — темная пепельного цвета. Этот серп растет, как луна, и через несколько минут превращается в вогнутую серебряную чашу. Быстро проходят все земные фазы: от красного яркого круга — кольца, внутри темного, до блестящего полунеба. Земля тогда хорошо видна: все ее материка,

моря, океаны, острова и даже города. Только часть земного лица всегда закрыта снежно-белыми облаками, да края неясны, скрытые толстым слоем воздуха и паров. Земля, как карта полушария, но невиданной странной проекции. Все края ее сплющены и неясны. Такие карты не употребляются. Вертикальное положение Земли, казавшееся таким во все время взрывания, конечно, исчезло. Теперь для одного путника она казалось вверху — сводчатым потолком, для другого — сбоку, а для третьего — внизу — горизонтальной чашей. Все зависело от направления тела по отношению к Земле.

Герои наши покоились во всяком месте ракеты и во всяком положении тела, не соприкасаясь с предметами, как рыбы в воде. Перемещение их совершалось при малейшем усилии и не стоило им никакого труда. Но все же само собой тело, без опоры и силы, никогда не сдвигалось с места, если было неподвижно, и не изменяло своего движения, если его имело.

Когда они вертелись по инерции, как велосипедное колесо, то им казалось, что вертятся ракета, Солнце, звезды и Земля; когда они имели поступательное движение, то не могли разубедиться, что двигается ракета. Поэтому одному казалось, что ракета неподвижна, другому — что она медленно вращается, третьему — что она быстро движется, четвертому — что она быстро вертится, пятому — что она не только вертится, но и удаляется и т. д., смотря по их собственному разнообразному движению.

Кресла, стулья, кровати, пуховики, подушки, коляски, рессоры, 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 и ненадежно в отношении покоя.

Без предосторожностей сумбур и беспорядок получается невообразимый.

Если бы не согревающая своим теплым лучеиспусканием Земля, то температуру можно бы менять в ракете по желанию: от 270° холода, до 150° тепла по Цельсию. Но Земля мешает получению крайних степеней холода. Ниже 100° холода, примерно, получить трудно.

Для изменения температуры ракеты служит меняющаяся снаружи ее раздвижная оболочка: то блестящая, то черная, то полосатая. Передвижением соответствующих рукояток можно заморозить всех путников или зажарить их, как поросят. Тут играет роль действие солнечных лучей и потеря теплоты лучеиспусканием в той или другой степени в зависимости от состояния поверхности ракеты. Понятно, что при таких условиях нет никакой надобности в одежде, обуви и печах для согревания.

Даже не нужны кухни и горны. Разные отделения ракеты могут иметь разную температуру, смотря по надобности. Присоединение нескольких зеркал и стекол может дать температуру кузнечного горна и более того.

Расширенная или раздвинутая ракета, в виде оранжереи, особенным образом устроенная, может дать кислород и пищу людям, как последние могут снабдить растения углекислым газом и удобрением. В самом деле, она дает приют самым плодовитым растениям. Вот вам пища и кислород. Но эта тема очень обширная, и тут ей не место.

Каждые 100 минут ракета вступает минут на 40 в тень Земли. Тогда особенно хорошо видно звездное небо. Но и Земля при этом ярко светит в объеме громадного красного венца, темного внутри. Он занимает почти полнеба. Солнца, конечно, не видно. Это солнечное затмение или ночь — назовите, как хотите. Луна совершает свои фазы в обычное время. Она только вдвое светлее благодаря отсутствию атмосферы.

Звездное небо, Солнце, Млечный путь, планеты — все это обычно в отношении формы, размера и положения, только очень отчетливо, без мерцания, без «лучей». Даже многие спиральные туманности видны в форме облачков или туманных точек. Звезды много обильнее, разноцветнее и расположены, как будто, очень близко на малой черной строго сферической поверхности. Тут рай для астрономов. Их главный враг — атмосфера — не существует. Увеличение можно иметь во всякое время до 10 000. Тут бы они сделали величественные и бесчисленные открытия со своими гигантскими телескопами, спектроскопами и фотографическими аппаратами.

Провожавшие наших героев друзья, оставшиеся на Земле, никаких описанных иллюзий, разумеется, не испытали. Они видели только, как ракета, через несколько секунд после того, как сорвалась со своего места, исчезла из глаз, предварительно завыв самым диким образом. Вой ослаблялся и затих. Но спустя минуту или две послышался ровный громовый 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.

Гром еще не затих, а ракета опять стала видна в виде звездочки. Это она стала светиться вследствие трения о воздух. Но и звезда скоро перестала быть заметной, потому что, вступив в пустоту, стала быстро охлаждаться и меркнуть. Вот и все, что провожавшие и зрители могли видеть с Земли.

Путники же, достигнув значительного удаления от нее, думали, что они носятся в абсолютной пустоте. Однако в этом они ошибались: следы атмосферы и тут еще оказались. Поэтому их экипаж, испытывая небольшое сопротивление, описывал спираль с очень малым шагом, которая приближалась 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. Они видели это из того, что их сутки сокращались и видимый размер Земли увеличивался.

Сначала скорость движения ракеты росла и центробежная сила уравновешивала тяготение Земли, несмотря на увеличение этого тяготения.

Потом и скорость снаряда стала уменьшаться вследствие уплотнения атмосферы и усилившегося от этого сопротивления воздуха. Тогда путники стали планировать, подняв нос ракеты с помощью руля, который работал, как аэропланнй. 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 потерей скорости в высоте и гибелью ракеты, превратившейся в бескрылый аэроплан. Они снижались, но не настолько медленно, чтобы потерять запас движения у поверхности Земли.

Путники только молили судьбу, чтобы падение произошло не на сушу, а в море.

В самом деле, спуск был гораздо опаснее, чем на аэроплане, так как 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, полдго задевая все более и более волны и теряя от этого скорость, влетели в море.

Движение все же не совсем иссякло, и они проплыли порядочное расстояние, прежде чем остановиться и быть взятыми на борт проходившим недалеко пароходом.



---

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИРОВЫХ ПРОСТРАНСТВ РЕАКТИВНЫМИ ПРИБОРАМИ \*

### 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.

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.). Центробежная сила уравнивает тяжесть и сводит ее к нулю. Быстрое движение 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, 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» (Петроград, 1896). 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.

---

\* Впервые издана отдельной книгой «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Изд. автора. Калуга, 1926 г. См. «Приложения», п. 31. (Ред.).

Очень возможно, что имеется и еще много более серьезных работ о ракетах, 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 датой 25 августа 1898 г. Но из предыдущего очевидно, что теорию 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 шествует 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 таких приборов подниматься в небесное пространство и, может быть, обосновывать 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 (точнее, в 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 раскроют 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.

Вся известная нам вселенная только нуль и все наши познания, настоя-

щие 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 со своими позднейшими достижениями.

### 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, например 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 нее есть запас для отталкивания: порох или другие взрывчатые вещества, содержащие одновременно и массу, и энергию.

Очевидно, прибор для движения в пустоте 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 км/сек), не встречая заметного сопротивления. Одним словом, эфир в отношении сопротивления движению тел может считаться пустотой. Также и его потоки в виде лучистой и электрической энергии оказывают лишь чрезвычайно малое давление на тела. Так что мы пока 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 удалиться от Земли, блуждать между планетами, между звездами, посещать планеты, их спутники, кольца и другие небесные тела, возвращаться на Землю. Лишь бы было довольно содержащего энергию взрывчатого материала. Впрочем, мы увидим, что есть возможность спускаться на планеты, имеющие атмосферы, без всяких затрат взрывчатого материала.

## ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСА

### 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  $h$ ,

$$T_1 = g_1 \frac{r_1}{\left(1 + \frac{r_1}{h}\right)}.$$

Здесь  $g_1$  означает ускорение тяжести на поверхности данной планеты, а  $r_1$  — радиус планеты.

Положим в этой формуле  $h$  равным бесконечности. Тогда определим наибольшую работу при удалении единицы массы с поверхности планеты в бесконечность и получим

$$T_1 = g_1 r_1.$$

Мы 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, облегающую 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 ускорению силы тяжести у поверхности планеты и величине ее радиуса.

Для равноплотных планет, т. е. для планет одной плотности, плотности, например, Земли (5,5), сила тяжести у поверхности, как известно, пропорциональна радиусу планеты и выражается отношением радиуса  $r_1$  планеты к радиусу Земли  $R$ .

Следовательно

$$\frac{g}{g_1} = \frac{R}{r_1} \quad \text{и} \quad T_1 = g \frac{r_1^2}{R}.$$

Значит, предельная работа  $T_1$  чрезвычайно быстро уменьшается с уменьшением радиуса  $r_1$  планеты, именно так, как уменьшается ее поверхность.

Так, если эта работа для земного шара ( $r_1 = R$ ,  $T_1 = gR$ ) равна 63 660 000 кгм, то для планеты с диаметром, в 10 раз меньшим, она равна 636 600 кгм.

Но 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 кгм на 1 кг горючего материала.

Выходит, что для предельного удаления единицы массы от поверхности нашей планеты требуется работа, которая содержится потенциально в 15 весовых единицах нефти. Так, в применении к человеку, весящему 70 кг, получим количество нефти в 105 кг.

Недостает только умения воспользоваться этой могучей энергией химического сродства.

Становится все-таки более понятным, почему увосьмеренное количество взрывчатого материала сравнительно с весом снаряда может помочь последнему вполне одолеть силу земного тяготения.

По Ланглею, 1 м<sup>2</sup> поверхности, освещенной нормальными лучами Солнца, дает в минуту 30 кал, или 12 720 кгм.

Чтобы получить всю работу, потребную для победы 1 кг над тяжестью Земли, нужно пользоваться 1 м<sup>2</sup> поверхности, освещенной лучами в течение 501 мин., или восьми с лишком часов.

Все это очень немного; но при сравнении человеческой силы с силой притяжения последняя нам покажется огромной.

Так, допустим, что человек каждую секунду поднимается по прекрасно устроенной лестнице на высоту 20 см. Тогда предельная работа будет им совершена только в течение 5000 дней тяжкого труда, если на ежедневный отдых подарим ему 6 час. При применении для поднятия 1 л. с. сократим работу в 5 раз. При 10 л. с. понадобится только 100 дней, а при непрерывной работе — около 10 недель.

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<sup>1/2</sup>, то работа  $T_1$  составит не более 40 кгм. Если бы на нашей Луне или на Марсе оказались разумные существа, то победа над тяжестью была бы для них 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 пустяком с помощью описанных мною реактивных приборов. Например, на Весте  $T_1$  в 1000 раз меньше, чем на Земле, потому что поперечник Весты равен 400 км. Поперечник Метиссы — около 107 км, а  $T_1$  — в 15 000 раз меньше.

Но это громаднейшие астероиды; большинство же 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	бесконечно
$\frac{T}{T_1} =$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{99}{100}$	1

Первая строка показывает поднятие в радиусах планеты; вторая — 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.

### НЕОБХОДИМЫЕ СКОРОСТИ

Интересно знать, каковы должны быть скорости, приобретаемые ракетой от действия взрывчатых веществ для того, чтобы одолеть сопротивление тяготения.

Мы не будем приводить 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, что в 5 раз быстрее наибоьстрейшего пушечного снаряда при его вылете из жерла.

Для нашей Луны  $V_1 = 2373$  м/сек, т. е. это близко к скорости снаряда и скорости молекул водорода. Для планеты Агаты, имеющей 65 км в диаметре и плотность, не ббльшую 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

$$V_1 = r_1 \sqrt{\frac{2g_1}{R}},$$

где  $g_1$  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  $V = 324$  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 равноплотных планетах разной величины. Так, Метисса, один из крупных астероидов, имеет диаметр, раза в 4 меньше, чем Веста, и скорости поэтому будут во столько же раз меньше, т. е. 81 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 приводить тут 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 одной точке (при той же массе), найдем

$$t = \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g}} \left\{ \left( \sqrt{\frac{r_2}{r_1} - 1} \right) \sqrt{\frac{r}{r_2}} + \arcsin \sqrt{\frac{r}{r_2}} \right\}.$$

Тут  $r_2$  означает расстояние, с которого тело начинает падение;  $r$  — величина этого падения;  $r_1$  — радиус планеты, а  $g$  — 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

$$t = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{2g}}.$$

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

$$t_1 = 2\pi \cdot \frac{r_2}{r_1} \sqrt{\frac{r_2}{g}},$$

где  $r_1$  — радиус планеты с ускорением  $g$  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 одной точке, приблизительно равно 5,66.

Итак, чтобы получить время падения какого-нибудь небесного тела (например, нашей ракеты) в 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 свыше 2 месяцев.

#### РАБОТА СОЛНЕЧНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Определим работу тяготения Солнца, когда ракета отправляется 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 — преодоление земной тяжести, вторая — преодоление сопротивления атмосферы. Для единицы веса, например тонны, первая работа выражается в 6 366 000 тм. 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/сек. 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 скорость 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 более чем достаточно для того, 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, в первом случае мы удаляемся от Земли, но не теряем опять своей головной 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  $\sqrt{71,2^2 - 11,2^2} = 72,1$ . Эта скорость в  $4\frac{1}{2}$  раза больше, а работа больше в 20 раз, количество же взрывчатых веществ невообразимо велико. Менее невыгодным будет бросание снаряда в нормальном направлении к годовому пути Земли.

#### СОПРОТИВЛЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ДВИЖЕНИЮ СНАРЯДА

Пока мы покажем, что сопротивление атмосферы есть работа, значительная по отношению к работе тяготения. Потом эти вопросы разберем основательно. Пусть снаряд имеет отвесное движение. Если секундное ускорение его 30 м/сек, то он пронизает 53 км, т. е. почти всю атмосферу, в течение 33 сек. При этом наибольшая скорость составит 1 км/сек. Но ведь это скорость на высоте, где воздуха почти нет. Мы можем принять среднюю скорость не более 0,5 км. Давление на 4 м<sup>2</sup> 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 в 100 раз. Значит, оно будет не более 1 т. Наша большая ракета весит не менее 10 т. Давление на нее будет 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 не должен оказывать заметного влияния на скорость движения ракеты.

#### ИМЕЮЩАЯСЯ ЭНЕРГИЯ

Приводим таблицу, содержащую данные о количестве энергии, выделяемой при сгорании различных веществ, отнесенные к 1 кг вещества.

\* 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.).

Таблица 1

Горение. Кислород свой	Большие калории	Работа, кгм	Скорость, м/сек	Отношение работ
H <sub>2</sub> и O <sub>2</sub> ; получаются пары воды . . .	3200	1,37·10 <sup>6</sup>	5180	1,455
То же, но получается вода . . . . .	3736	1,6·10 <sup>6</sup>	5600	1,702
То же, но получается лед . . . . .	3816	1,63·10 <sup>6</sup>	5650	1,730
С и O <sub>2</sub> ; получается CO <sub>2</sub> . . . . .	2200	0,94·10 <sup>6</sup>	4290	1,000
Бензин H <sub>6</sub> C <sub>6</sub> и O <sub>2</sub> ; получаются H <sub>2</sub> O и CO <sub>2</sub> . . . . .	2370	1,01·10 <sup>6</sup>	4450	1,078

Горение. Кислород извне	Большие калории	Работа, кгм	Скорость, м/сек	Отношение работ
Горит H <sub>2</sub> ; получается H <sub>2</sub> O . . . . .	28 780	12,3·10 <sup>6</sup>	15 520	13,08
Горит С; получается CO <sub>2</sub> . . . . .	8 080	3,46·10 <sup>6</sup>	8 240	3,673
Горит углеводород; получаются CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O . . . . .	10 000	4,28·10 <sup>6</sup>	9 160	4,545
Радий . . . . .	1,43·10 <sup>9</sup>	0,611·10 <sup>12</sup>	3,44·10 <sup>6</sup>	0,65·10 <sup>6</sup>

Мы видели, что работа тяготения Земли на 1 кг веса составляет  $6,37 \cdot 10^6$  кгм. С этой работой мы и будем сравнивать энергию, которой может распорядиться человек. Верхняя часть таблицы относится к тому случаю, когда мы летим в пустоте и потребляем собственный запасенный кислород. В этом случае энергия взрывчатых веществ по крайней мере в четыре раза меньше, чем нужно для освобождения их от пут тяготения, предполагая полную утилизацию горения. Соответствующая скорость раза в два 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 два больше, чем потребно, также и скорость значительней\*.

В общем выходит, что энергия взрывчатых веществ оказывается далеко недостаточной для того, чтобы эти вещества могли сами приобрести скорость, освобождающую их от земного тяготения\*\*.

Нетрудно элементарно доказать, что несмотря на это снаряд может получить любую скорость, стоит только запастись побольше взрывчатого материала. При единице запаса по отношению к весу пустого снаряда,

\* Последний столбец в табл. 1 представляет собой отношение работы, получаемой от 1 кг данного горючего, к работе, получаемой от 1 кг CO + O<sub>2</sub> при сгорании в CO<sub>2</sub>. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского». М., ОНТИ, 1934.*

\*\* Это относится к случаю, в котором вся масса взрывчатого вещества должна освободиться от земного тяготения. *То же.*

очевидно, и скорость будет близка к 5 км/сек\*, так как отталкивающиеся массы одинаковы (см. табл. 1). При относительном запасе в 3 единицы скорость ракеты будет уже 10 км/сек. Действительно, отбросив две единицы взрывчатых веществ, получим скорость ракеты (с остатком) в 5 км/сек. Взрывая остаток, прибавим снаряду еще скорость в 5 км/сек. Всего приобретем 10 км/сек 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 скорости в 16—17 км/сек.

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 в продолжение тысячи лет. Если бы даже добыли 1 кг радия (количество, еще не добытое в мире), то и тогда выделяемая им энергия дала бы только 15 кгм/сек, т. е. энергию рабочего. Значит, такой мотор при одном весе с авиационным будет по крайней мере в 7 раз слабее последнего. Притом мы не имеем еще радиового мотора, да и цена 1 кг радия не меньше миллиарда рублей\*\*. Но нельзя быть уверенным в том, что не найдутся со временем дешевые и быстро выделяющие источники энергии.

#### 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 будем иметь там 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 этой скорости колесо должно разорваться от центробежной силы. Кроме того, ни один организм не выдержит ее действия, даже при диаметре колеса в 1 км.

\* При этом предполагается, что взрывчатый материал остается на месте, а пустой снаряд летит с указанной скоростью. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского».* М., ОНТИ, 1934.

\*\* Эти данные не соответствуют современным. (Ред.).

2. Невозможна короткая пушка, так как относительная тяжесть в снаряде раздробит организм. Даже пушка длиной в 6 км мала. Приводится ли снаряд 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 снаряд при вылете быстро потеряет почти всю свою скорость в плотных слоях воздуха (табл. 2). Из восьмой строки таблицы видно, что ракета в 10 т весом, с площадью поперечного сечения в  $4 \text{ м}^2$ , при горизонтальном движении в 8 км/сек теряет 20% своей кинетической энергии. Это — при полете 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 скорости 16 км/сек она потеряет 80% своей энергии. Если же ракета имеет меньший вес, т. е. без запаса взрывчатых веществ, например при весе в 1 т, то уже при скорости в 4 км/сек она потеряет половину своей энергии. Массивность снаряда много облегчает его полет. Из десятой строки таблицы 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) непригодны.

Некоторую степень возможности имеют газовые и, в особенности, электромагнитные пушки длиной не менее 60 км, расположенные наклонно в горах, так что жерло выходит на высоте 8 км, где воздух уже втрое разреженнее.

О том, что пушки не могут быть коротки, много уже писалось. Повторим и мы несколько слов. Предположим, что человек, погруженный в воду, может выдержать относительную тяжесть, в 100 раз большую земной. Следовательно, ускорение движения снаряда в пушке не может быть более  $1000 \text{ м/сек}^2$  ( $10 \times 100$ ). Если надо избавиться от тяготения Земли, то придется в канале приобрести скорость в 12 км/сек. Это будет совершаться 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 должна быть 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 снарядов. И такие пушки долж-

ны быть по крайней мере в 100 раз длиннее обыкновенных артиллерийских орудий, иначе и снаряды, 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.

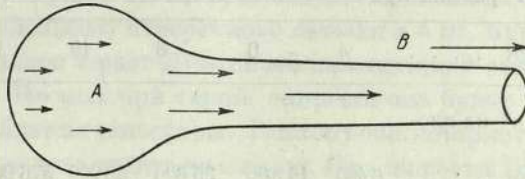
Таблица 2

Вес ракеты 10 т. Площадь поперечного сечения ракеты 4 м<sup>2</sup>. Утилизация формы 100%. Удельный вес воздуха 0,0013 удельного веса воды. Сопротивление воздуха и работа при постоянной скорости снаряда

1. Скорости в км/сек . . . . .	4	6	8	10	12	16	17
2. Давление воздуха* на плоскость в 4 м <sup>2</sup> в т P = 0,0001 см <sup>2</sup> × 4 . . . . .	6 400	14 400	25 600	40 000	576 000	102 400	115 600
3. Давление на ракету при утилизации на 100% в т	64	144	256	400	576	1 024	1 156*
4. Работа ракеты при продвижении на 10 км в тыс. тм	640	1 440	2 560	4 000	5 760	10 240	11 560
5. Если ракета весит 10 т, то для одоления земной тяжести нужна работа не менее 6 370 000 · 10 · 2 = 127 400 000 тм. Умножаем на 2, так как утилизируется не более 50% энергии взрыва							
6. Работа сопротивления 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 в % . . . . .	1,00	2,26	4,04	6,30	9,08	16,12	18,20
8. То же, при пробеге 50 км в % . . . . .	5,00	11,30	20,2	31,5	45,4	80,6	91,0
9. То же, если пустая ракета весит 1 т в % . . . . .	50	113	202	315	454	806	910
10. Пушка на высоте 8 км в 10 т, пробег 50 км, работа в % . . . . .	1,5	3,4	6,0	9,4	13,6	24,2	27,3

\* Необходимо заметить, что сопротивления, вычисленные в настоящей книге, требуют для скоростей, больших скорости звука, поправки в сторону увеличения. (Ред.).

Представьте себе большой резервуар  $A$  с водородом или другим газом и примыкающий к нему цилиндрический ствол  $B$  (фиг. 1). На снаряд производится давление, тем более постоянное, чем резервуар  $A$  больше сравнительно с объемом цилиндра  $B$ . Значит, в предельном случае работа, получаемая ядром, пропорциональна квадратному корню из этой длины. Следовательно, она неограниченно велика. Этот странный парадоксальный вывод объясняется тем, что работа совершается за счет всей газовой массы  $A$ . А так как она может быть велика, то и отдаваемая снаряду работа



Фиг. 1.

может быть громадной. Ведь большую скорость получает только незначительная масса газов в стволе и сам снаряд. Остальная масса в резервуаре  $A$  имеет малую скорость, но зато она охлаждается. За счет этой выделенной огромной теплоты и получается работа движения ядра и газа в стволе  $B$ . Ясно, что для приобретения наибольшей работы и скорости полезно подогреть газ струями пара или другими приемами, которых множество. Удобно подогреть электрическим током через протянутые в  $A$  проводники.

В последующих вычислениях будем считать давление на снаряды постоянным, т. е. резервуар  $A$  очень большим, наполненным водородом и подогреваемым. На водород тяжесть действует в  $14\frac{1}{2}$  раз слабее, чем на воздух (в отношении сгущения вниз), и поэтому мы примем, несмотря на большую высоту пушечного жерла, плотность газа во всей системе постоянной.

Получим уравнения:

$$P = p_a n F; \quad (1)$$

$$j : g_3 = P : G; \quad (2)$$

$$V = \sqrt{2j \cdot L}; \quad (3)$$

$$t = \sqrt{2L \cdot j}; \quad (4)$$

$$K = j : g_3. \quad (5)$$

Из этих формул найдем

$$j = g_3 K; \quad (6)$$

$$P = (G \cdot j) : g_3; \quad (7)$$

$$n = P : (F p_a). \tag{8}$$

$$L = V^2 : (2j). \tag{9}$$

Здесь

- $K$  — относительная тяжесть в ядре;
- $j$  — секундное ускорение ядра;
- $P$  — давление на ядро;
- $n$  — число атмосфер давления;
- $L$  — длина пушки в км;
- $t$  — время пребывания в канале;
- $F$  — площадь сечения пушечного канала;
- $V$  — наибольшая секундная скорость;
- $D$  — диаметр сечения снаряда и канала пушки;
- $p_a$  —  $10 \text{ т/м}^2$  — давление 1 ат;
- $G$  — вес снаряда, определенный на поверхности Земли;
- $g_3$  — ускорение тяжести Земли.

С помощью этих формул составим табл. 3.

Таблица 3

Ускорение земной тяжести  $g = 10 \text{ м/сек}^2$ . Вес снаряда\*  $G = 10 \text{ т}$ .  
 Давление атмосферы  $p_a = 10 \text{ т/м}^2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$K$ . . . . .	10	100	10	100	100	100	100	10	1000	1000	1000	1000	10 000	40
$j$ , м/сек <sup>2</sup> . . . . .	$10^2$	$10^3$	$10^2$	$10^3$	$10^3$	$10^3$	$10^3$	$10^2$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^5$	400
$P$ , т . . . . .	$10^2$	$10^3$	$10^2$	$10^3$	$10^3$	$10^3$	$10^3$	$10^2$	$10^2$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^5$	400
$n$ . . . . .	10	100	1	10	100	100	100	10	$10^3$	$10^3$	$10^2$	$10^2$	$10^3$	10
$L$ , км . . . . .	720	72	730	72	32	144,5	8	80	7,2	72	72	720	720	80
$t$ , сек . . . . .	120	12	120	12	8	17	4	40	1,2	3,8	3,8	12	3,8	20
$F$ , м <sup>2</sup> . . . . .	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	2,26

\* Как видно из формул (2) или (7),  $G$  представляет собой вес ядра на поверхности Земли, а не массу  $M$ , которую ошибочно ввел Циолковский на этом месте. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского» М., ОНТИ, 1934.*

Из таблицы видно, что при сгущении газов 1000 ат и при длине пушки в 720 км можно получить скорость в 380 км/сек, между тем как для одоления притяжения Солнца и блуждания в Млечном пути надо лишь 17 км/сек скорости. Из шестого столбца таблицы видно, что такая скорость получается при относительной тяжести в 100 при стократном сжатии газа при длине пушки в 145 км. Из восьмого столбца видно, что скорость 4 км полу-

чается 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 (столбец 14) скорость той же массы увеличится вдвое, т. е. достигнет первой космической скорости (чтобы сделаться поблизости Земли ее спутником). Длина пушки и сжатия 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 побочной 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 снаряд возвращается обратно на Землю и разбивается благодаря тому, что его скорость не параллельна экватору (или меридиану). Для первых важных достижений, т. е. для поселений поблизости Земли, но вне атмосферы, необходимо соединение пушечного метода с ракетным: снаряд приобретает скорость, меньшую 8 км/сек, но потом добавляет ее взрыванием, как ракета. Так как направление взрывания переменное и зависит от нас, то снаряд может приобрести достаточную скорость по окружности и сделаться маленькой луной Земли.

Без ракетного приспособления можно обойтись, когда снаряд, выброшенный из пушки, должен стать на орбиту Земли или пролететь поблизости планет нашей системы. Так же и в том случае, 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.

## ДЕЙСТВИЕ РАКЕТЫ

Ракета в сравнении с пушкой то же, что бактерия в сравнении со слонем. Ракетой 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 состоит в том, что последние отталкивают вещество, вне их находящееся.



**КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ РАКЕТЫ**

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

$$MW + M_2c = 0. \tag{12}$$

Если скорость ракеты  $c$  примем положительной, то скорость отброса  $W$  будет отрицательна, так как количество движения было нуль и не может изменяться внутренними силами.  $M_1$  и  $M_2$  означают массы отброса ракеты, Работа, полученная ракетой, будет

$$E_2 = \frac{M_2c^2}{2}. \tag{13}$$

Работа оттолкнутой массы будет

$$E_1 = \frac{M_1W^2}{2}. \tag{14}$$

К. п. д. ракеты или использование ею энергии будет

$$\eta = \frac{E_2}{E_1 + E_2} = 1 : \left(1 + \frac{E_1}{E_2}\right) = 1 : \left(1 + \frac{M_1W^2}{M_2c^2}\right). \tag{15}$$

Но из уравнения (12) видно, что

$$M_1 : M_2 = -c : W. \tag{16}$$

Значит, к. п. д. ракеты

$$\eta = 1 : \left(1 - \frac{W}{c}\right) = 1 : \left(1 + \frac{M_2}{M_1}\right). \tag{17}$$

Отсюда ясно, что чем меньше масса ракеты по отношению к массе отброса, тем к. п. д. значительнее. По последней формуле вычислена табл. 4.

Таблица 4

Масса ракеты $M_2$ . . .	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Масса отброса $M_1$ . . .	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К. п. д. . . . .	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
То же, в % . . . . .	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Из таблицы видно, что к. п. д. на практике не может быть равным единице, 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, например, полученную посредством электромагнитной пушки, взрыванием или другим способом. Тут может быть интересный случай, когда использование энергии независимо от массы отброса может быть 100%. Действительно, если ракета имеет, например, 1 м/сек скорости, то, откидывая элемент отброса в противоположную сторону с относительной скоростью в 1 м/сек, 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

$$M_1(W + V) + M_2(c + V) = (M_1 + M_2)V. \quad (18)$$

При сокращении получим формулу (12) и все вытекающие из нее выводы. Тут  $V$  есть общая первоначальная скорость системы до отбрасывания. Далее имеем

$$E_2 = \frac{M_2}{2}(c + V)^2; \quad (19)$$

$$E_1 = \frac{M_1}{2}(W + V)^2; \quad (20)$$

$$\eta = 1 : \left\{ 1 + \frac{M_1(W + V)^2}{M_2(c + V)^2} \right\}. \quad (21)$$

По формулам (18) или (12) вместо этого найдем

$$\eta = 1 : \left\{ 1 - \frac{c \cdot (W + V)^2}{W(c + V)^2} \right\}. \quad (22)$$

Если ракета имеет прибавку скорости (по тому же направлению, конечно), то отброс имеет скорость отрицательную. Если еще скорость отброса равна общей скорости ракеты\*  $V = W$ , то числитель в формуле (22) равен нулю, и потому  $\eta = 1$ , т. е. 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 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 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.

\* По абсолютным величинам. (Ред.).

Во втором случае, при одной массе запаса, энергия на единицу массы запаса будет больше, и потому получится бóльшая 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 должна иметь места: она невозможна и невыгодна. Другими 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.

#### СКОРОСТЬ РАКЕТЫ ПРИ ПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИЕЙ ИЗВНЕ

Может быть и 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 той или другой длиной волн, также в форме  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, также получаться и от Солнца.

Земной приток энергии заманчив, но мало данных для его обсуждения. Солнечный же приток энергии имеет место, когда ракета уже вне атмосферы. В обоих случаях запасный отброс не нужен, так как энергия, притекающая извне, сама содержит отброс в виде  $\alpha$ - и  $\beta$ -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

$$\frac{dW}{W} = \frac{dM_1}{M_2}, \quad (23)$$

где  $W$  есть относительная скорость частиц отброса, например частиц альфа. Интегрируя, получим, предполагая постоянное направление отбрасывания,

$$c = \frac{W}{M_2} \cdot M_1 + c_0, \quad (24)$$

где  $c_0$  есть начальная скорость ракеты до отбрасывания или взрывания. Если она равна нулю, то

$$c = \frac{M_1}{M_2} \cdot W. \quad (25)$$

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,  $\alpha$ -частиц). Если

$$W = 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек}; \quad M_1 = M_2,$$

то

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек.}$$

Эта скорость в 18 000 раз больше той, которая нужна для преодоления притяжения Солнца. Энергия же этого движения в 324 млн. 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  $M_1 : M_2$  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 него приток частиц 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 вещество мало исследованы. Он может дать еще много неожиданного.

Положим в формуле (25)

$$W = 30 \cdot 10^6 \text{ м/сек}, \quad \text{а } c = 17 \cdot 10^3 \text{ м/сек},$$

т. е. такую скорость снаряда, которая только немного больше требуемой для вечного удаления от Солнца.

Опуская знак, который встречается в формуле (16), т. е. беря для  $c$  и  $W$  одинаковый знак, получим

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{c}{W} = 0,00057. \quad (26)$$

Значит, относительная масса отброса или радиоактивного вещества составляет в этом случае около  $1/2000$  массы снаряда. Если, например, снаряд весит 1 т, то масса отброса составит только 568 г, или меньше полутора фунтов. Масса отброса так мала, что масса ракеты может считаться постоянной, и формулы применимы почти без погрешности при употреблении будущих годных радиоактивных веществ, если только скорости их частиц такого же порядка, как скорости  $\alpha$ -частиц (электричество или радий).

Каково же будет использование энергии? Имеем

$$E_2 = \frac{M_2}{2} c^2; \quad (27)$$

$$E_1 = \frac{M_1}{2} W^2. \quad (28)$$

к. п. д. будет [см. (23)]

$$\eta = 1 : \left( 1 + \frac{M_1 \cdot W^2}{M_2 \cdot c^2} \right). \quad (29)$$

С помощью (26) получим

$$\eta = 1 : \left( 1 + \frac{W}{c} \right) = 1 : \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right). \quad (30)$$

Когда имеем дело с радиоактивными веществами или с энергией, притекающей извне, то отношения в последней формуле очень велики, и потому имеем

$$\eta = \frac{c}{W} = \frac{M_1}{M_2}. \quad (31)$$

Так, в разобранным случае, когда  $M_2 : M_1 = 1765$ , к. п. д. составляет около  $1/2000$ . Хотя использование невыгодно, 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 энергии 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, направленное 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 исчезает 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 направлять в одну сторону беспорядочное (в разные стороны колеблющееся) тепловое, или химическое движение (незаметное, ощущаемое, как теплота), превращать его в поток, подобный речному. Но необходимо, чтобы продукты горения были газообразны или парообразны (летучи), с возможно низкой температурой сжижения.

Если это так, то газ, расширяясь в трубе, все более и более охлаждается, теплота исчезает, заменяясь газовой струей. Если труба коротка, то газ вырывается из нее, имея высокую температуру, и энергия ее не будет исполь-

\* Это утверждение ошибочно. (Ред.).

зована (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 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 паробразные 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 всего сжижаются 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  $10\,000^\circ$ , 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  $3000^\circ$ .

Таблица 5

## Использование теплоты в трубе

Расширение газов . . . . .	1	6	36	216	1 300	7 800	46 800
Температура абсолютная или энергия . . . . .	10 000	5 000	2 500	1 250	625	312	156
Температура по $^\circ\text{C}$ . . . . .	9 727	4 727	2 227	977	352	39	-147
Термический к. п. д. в % . . . . .	0	50	75	87	95	97	98,4
Потеря в % . . . . .	100	50	25	13	5	3	1,6
Примерная плотность газов по отношению к воздуху . . . . .	100	167	28	4,6	0,77	0,13	0,12

Как видно, даже при использовании в 95% температура еще составляет  $352^{\circ}\text{C}$ . При ней пары в сжижение прийти не могут, и потому не используется при таком расширении даже скрытая теплота сжижения. 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 давлении много большем 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% (табл. 5).

В пустоте — другое дело. Там упругость взрывающихся газов может быть 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 движется в пустоте. И так, выходит, что в начале полета снаряда давление в трубе должно быть очень высокое в сравнении с атмосферным; затем по мере поднятия это давление может быть как угодно слабо. На практике это мало применимо, так как труба должна быть для этого то узкой с толстыми стенками, то широкой с тонкими стенками.

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 ат 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.

---

\*Автор здесь пренебрегает трением в трубе; вследствие трения кинетическая энергия превращается в теплоту, и при очень больших скоростях газов и малых давлениях скорость газов опять уменьшится в трубе. Весьма низкие температуры получатся только при известных условиях. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

Она неизбежно высока, именно 3000—4000° Ц. 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 принять в  $0,3 \text{ кг/см}^2$ . Это составляет около трети давления на уровне океана. Значит, при вылете из трубы газы не должны иметь меньше  $0,3 \text{ кг/см}^2$ . В начале же трубы давление должно быть по крайней мере в 36 раз большее (использование 75%). Итак, максимальное давление газов не должно быть менее 10 ат. В нижних же слоях — не менее 30 ат. Во всяком случае, можно ограничиться 100 ат.

Рассчитаем величину площади основания взрывной цилиндрической трубы при этом давлении. Если ракета весит 1 т, а со взрывным материалом 5 т, если давление на нее от взрывания в два раза превышает ее вес, то надо получить давление на дно трубы в 10 т. Площадь основания трубы будет равна  $100 \text{ см}^2$ . Диаметр круглой площади основания составит  $11,3 \text{ см}^2$ . Мы уже говорили, как получить низкое давление: чем крупнее элементы взрыва, т. е. чем хуже они размешаны, тем взрыв слабее. Все же в замкнутом пространстве, в конце концов, давление достигнет огромной величины. Но, во-первых, труба широка и открыта, во-вторых, размещение 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 знают. 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 дает экономию веса. В пустоте, увеличивая длину трубы, мы можем довести использование энергии 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 ат. Оно будет волнообразно\*. 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 отразятся вредно на человеке.

\* Здесь Циолковский формулирует идею пульсирующего реактивного двигателя. (Ред.).



### Движение ракеты от взрывания в пустоте и в среде, свободной от тяжести

Хотя и невыгодно давать отбросу относительную скорость, ббльшую или меньшую абсолютной скорости снаряда, но при употреблении взрывчатых веществ относительная их скорость поневоле постоянна. Чем она, вообще, больше, тем ббльшую 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 получается неполным. 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 видим, 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 потребляет на свое движение около 37% ( $0,75 \times 0,5$ ) всей потенциальной энергии взрывчатых веществ.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАКЕТЫ

Имеем в пустоте и в среде, свободной от земного тяготения,

$$WdM_1 + M_2dc = 0. \quad (32)$$

Но  $M_1$  состоит из постоянной массы  $M_0$  (т. е. из снаряда, людей, запасов и разных принадлежностей) и переменной массы взрывчатых веществ  $M_1$  (которые, сгорая, выбрасываются из ракеты). Значит,  $M_2 = M_0 + M_1$ . Теперь вместо (32) имеем

$$WdM_1 + (M_0 + M_1)dc = 0. \quad (33)$$

Отсюда

$$-W \cdot \frac{dM_1}{M_0 + M_1} = dc. \quad (34)$$

Интегрируя, найдем

$$c = -W \ln(M_0 + M_1) + \text{const.} \quad (35)$$

( $\ln$  означает натуральный логарифм). Допустим, что при начале взрывания ракета не двигалась, т. е.  $c = 0$  и  $M_1 = M_1'$ .

$$c = W \ln(M_0 + M_1'). \quad (36)$$

Следовательно,

$$c = W \cdot \ln \left( \frac{M_0 + M_1'}{M_0 + M_1} \right). \quad (37)$$

Наибольшую скорость получает ракета, когда израсходует весь запас взрывчатых веществ или когда  $M_1 = 0$ .

В таком случае

$$c_1 = W \ln \left( 1 + \frac{M_1'}{M_0} \right). \quad (38)$$

Из последней формулы видно: 1) максимальная скорость снаряда  $c_1$  тем больше, чем большую скорость имеет отброс  $W$ ; 2)  $c_1$  может бесконечно возрастать с увеличением относительного количества  $\frac{M_1'}{M_0}$  отброса. Но возрастание это, сначала довольно быстрое, потом делается все более и более медленным. Если отношение  $\frac{M_1'}{M_0}$  очень мало, то математики легко докажут, что  $c_1 = W \frac{M_1'}{M_0}$ . Значит, в этом случае  $c_1$  пропорционально запасу  $M_1'$ . Напротив, в пределе, когда отношение [см. (38)] очень велико,

$$c_1 = W \cdot \ln \left( \frac{M_1'}{M_0} \right),$$

т. е. возрастание скорости будет чрезвычайно медленное; 3) скорость ракеты не изменяется, если отношение  $\frac{M_1'}{M_0}$  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 скорость не зависит от порядка взрыва. Проходит ли оно равномерно или нет, секунды или тысячелетия, — это все равно. Даже перерывы ничего не значат.

Пусть  $dt$  означает элемент времени.

Из (34) найдем

$$\frac{dc}{dt} = \frac{W}{M_0 + M_1} \cdot \frac{(-dM_1)}{dt}. \quad (39)$$

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 из (39), она пропорциональна интенсивности в расходе материала ( $-dM_1:dt$ ). Кроме того, по мере израсходования  $M_1$  кажущаяся тяжесть увеличивается, так как  $M_1$  уменьшается и  $dM_1 < 0$ .

Чтобы относительная тяжесть оставалась неизменной, необходимо постепенное ослабление интенсивности взрыва. Тогда из (39) получим

$$\frac{-W}{M_0 + M_1} \cdot \frac{dM_1}{dt} = K, \quad (39_1)$$

где  $K$  есть постоянная относительная тяжесть.

Отсюда

$$\frac{-W dM_1}{M_0 + M_1} = K \cdot dt. \quad (39_2)$$

Интегрируя, получим

$$-W \cdot \ln(M_0 + M_1) = K \cdot t + \text{const.} \quad (39_3)$$

#### ВРЕМЯ ВЗРЫВАНИЯ

Если  $M_1 = M'_1$ , то  $t = 0$ ; следовательно,

$$t = \frac{W}{K} \cdot \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right). \quad (39_4)$$

Если  $M_1 = 0$ , т. е. весь взрывчатый материал исчерпан, то

$$t_1 = \frac{W}{K} \cdot \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right). \quad (39_5)$$

Значит, время всего взрываения обратно пропорционально получаемой относительной тяжести и увеличивается с массой отброса.

Из (39<sub>1</sub>) найдем

$$-\frac{dM_1}{dt} = \frac{K}{W} \cdot (M_0 + M_1). \quad (39_6)$$

Отсюда видно, что наименьшая интенсивность взрываения или наименьший расход бывает при конце взрываения, когда  $M_1$  оставалось мало, а наибольшая — в начале, когда  $M_1 = M'_1$ .

В первом случае

$$-\frac{dM_1}{dt} = \frac{M_0 K}{W}, \quad (39_7)$$

а во втором

$$-\frac{dM_1}{dt} = \frac{(M_0 + M'_1) \cdot K}{W}. \quad (39_8)$$

Отношение наибольшего расхода (в начале) к наименьшему (в конце) будет

$$1 + \frac{M'_1}{M_0}. \quad (39_9)$$

Чем больше отношение  $M'_1 : M_0$ , тем сильнее изменяется расход взрывчатого материала, и, обратно, он почти постоянен при малом отношении. На практике силу взрываения изменять неудобно, проще дать возможность выдержать действие непостоянной тяжести, погрузив людей и другие нежные предметы в жидкость.

Время взрывания (равномерного) всего запаса, когда ускорение ракеты и относительная тяжесть возрастают, но расход взрывчатых веществ один и тот же, можно выразить еще так:

$$t_1 = M'_1 \cdot \frac{dt}{dM_1}. \quad (39_{10})$$

Тут производную можно заменить секундным расходом взрывчатого вещества. То же время при равномерном ускорении ракеты и постоянной относительной тяжести в снаряде (39<sub>1</sub>), но неравномерном расходе отброса будет равно

$$t_1 = c_1 : j = c_1 : \frac{dc}{dt}. \quad (39_{11})$$

Производная  $j = \frac{dc}{dt}$  выражает постоянное возрастание скорости снаряда в секунду.

#### МЕХАНИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Интересно знать, [какая часть полной работы движущихся частиц отброса передается ракете. Имеем

$$E_1 = 0,5 M'_1 \cdot W^2; \quad (40)$$

$$E_2 = 0,5 \cdot M_0 c_1^2. \quad (41)$$

Отсюда

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{M_0}{M'_1} \cdot \left(\frac{c_1}{W}\right)^2, \quad (42)$$

или на основании (38)

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{M_0}{M'_1} \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2. \quad (43)^*$$

Отсюда можно вычислить, что к. п. д. не может быть больше 65%, а для получения космических скоростей он может быть принят в 50%. Если запас взрывчатого вещества сравнительно невелик, то приблизительно получим вместо (43)

$$\frac{E_2}{E_1} = M'_1 M_0, \quad (45)$$

или точнее,

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{M'_1}{M_0} \cdot \left( 1 - \frac{M'_1}{M_0} \right); \quad (46)$$

можно получить еще более точную формулу, раскрывая выражение

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} \dots \quad (47)$$

\* Здесь и дальше имеются пропуски в нумерации формул в тексте автора. (Ред.).

Из формул видно, что сначала, когда запас мал, к. п. д. возрастает пропорционально запасу, затем растет медленнее, достигает наибольшей величины, потом медленно уменьшается и в пределе достигает нуля.

Отношение  $M_1' : M_0 = x$ , соответствующее наибольшему к. п. д., определяется уравнением

$$\ln(1+x) = \frac{2x}{1-x} \cdot x$$

и по величине близко к 4 (т. е. запас превышает вес ракеты в 4 раза), а использование составляет 65%. В табл. 6 даны значения интересующих нас величин для различных случаев.

Таблица 6

Отношение массы отброса к массе ракеты $M_1' : M_0$	Если скорость отброса 5000 м/сек, формула (38)	Если скорость отброса 4000 м/сек, формула (38)	Средний к. п. д. $E_2 : E_1$ , в %, формула (40)	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	6456	64,7	3300
5	8960	7168	64,1	
6	9730	7784	63,0	
7	10395	8316	61,7	
8	10985	8788	60,5	
9	11515	9212	58,9	
10	11990	9592	57,6	
15	13865	11092	51,2	
20	15220	12176	46,3	
30	17170	13756	39,3	
50	22400	17920	31,0	
100	26280	21040	21,0	
193	30038	24032	14,4	
∞	∞	∞		

На деле поднятие выше, ибо  
тяжесть ослабляется

Кроме того, что мы вывели аналитически, из таблицы видим, что наибольшее использование (до 65%) энергии отброса бывает тогда, когда вес его в 4 раза больше веса ракеты. Но процент использования вообще немал

(около 50%), когда относительное количество отброса колеблется от 1 до 20, а соответствующие скорости — от 3 до 15 км/сек. Это вполне достаточные 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, потребная для этого, может быть заимствована от энергии Солнца. Опорный материал дадут частицы  $\alpha$  и  $\beta$ , повсюду рассеянные, или болиды, или космическая пыль.

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

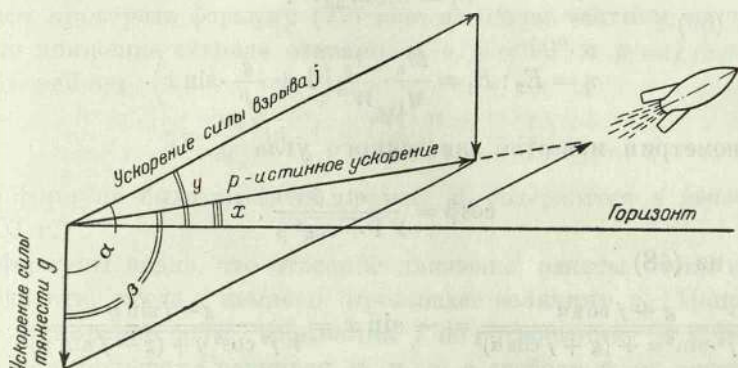
Устраним мысленно атмосферу или вообразим себя на Луне или другой планете, имеющей сушу и не окруженную газами или парами. Медленным вращением планеты пренебрегаем. Полет снаряда может быть: 1) отвесным, 2) горизонтальным и 3) наклонным.

Разберем вопрос вообще (фиг. 2).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО УСКОРЕНИЯ

На ракету действует сила тяжести  $g$ , выражаемая секундным ускорением, затем сила взрывания по направлению длинной оси снаряда, сообщаящая ему секундное ускорение  $j$ . Между направлениями этих сил образуется данный угол  $\alpha$ , больший  $90^\circ$ . Угол силы взрывания с горизонтом будет  $\alpha - 90^\circ = \gamma$ . Это будут три данных величины. Незвестны:

направление движения ракеты, определяемое углом  $\beta$  или углом  $x = \beta - 90^\circ$ , и величина равнодействующей  $\rho$ , т. е. секундное истинное ускорение снаряда.



Фиг. 2.

Тригонометрия нам даст (см. чертеж)

$$\alpha = y + 90; \sin \alpha = \cos y; \cos \alpha = -\sin y;$$

$$\cos \beta = -\sin x; x = \beta - 90; \operatorname{tg} \beta = \operatorname{ctg} x;$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{ctg} x = \frac{j \cdot \sin \alpha}{g + j \cos \alpha} = \frac{j \cdot \cos y}{g - j \sin y}; \quad (48)$$

$$\rho = \sqrt{j^2 + g^2 + 2j \cdot g \cos \alpha} = \sqrt{y^2 + g^2 + 2j \cdot g \cdot \sin y}. \quad (49)$$

Известный угол  $y$  и неизвестный  $x$  проще  $\alpha$  и  $\beta$ , потому что они меньше прямого и определяют наклоны к горизонту силы взрыва (также оси ракеты) и равнодействующей.

#### РАБОТА РАКЕТЫ И ОТБРОСА; МЕХАНИЧЕСКИЙ К. П. Д.

Каково же будет использование в среде тяготения, в пустоте?

$$E_2 = 0,5 M_0 c_1^2 + A. \quad (65)$$

$A$  есть работа поднятия ракеты, а  $E_2$  — работа ракеты.

$$A = -l \cos \beta \cdot M_0 \cdot g = l \sin x \cdot M_0 g. \quad (66)$$

$l$  означает величину пролета или длину пути снаряда.

Если  $\rho$  и  $j$  будут постоянны, то

$$l = \frac{c_1^2}{2\rho}, \quad (67)$$

и из (65)—(67)

$$E_2 = 0,5 \cdot M_0 c_1^2 \left(1 + \sin x \cdot \frac{g}{p}\right). \quad (68)$$

Далее

$$E_1 = 0,5 M_1' W^2. \quad (69)$$

Из (68) и (69)

$$\eta = E_2 : E_1 = \frac{M_0}{M_1'} \cdot \frac{c_1^2}{W^2} \left(1 + \frac{g}{p} \cdot \sin x\right). \quad (70)$$

Из тригонометрии известно для всякого угла

$$\cos \beta = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}}. \quad (71)$$

Отсюда и из (48)

$$\cos \beta = \frac{g + j \cos \alpha}{\sqrt{j^2 \cdot \sin^2 \alpha + (g + j \cos \alpha)^2}} = -\sin x = \frac{g - j \sin y}{\sqrt{j^2 \cos^2 y + (g - j \sin y)^2}}. \quad (72)$$

Из (70) теперь можем исключить неизвестный  $\sin x$ .

Но надо еще исключить и  $c_1$ . Имеем

$$t_1 = \frac{W}{K} \cdot \ln \left(1 + \frac{M_1'}{M_0}\right). \quad (73)$$

Это есть полное время взрывания при постоянной относительной тяжести  $K$ .

Но

$$K = j \text{ и } c_1 = p \cdot t_1. \quad (74)$$

Следовательно, из (39<sub>5</sub>) и (74)

$$c_1^2 = p^2 \cdot \frac{W^2}{j^2} \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{M_1'}{M_0}\right)\right]^2. \quad (75)$$

Теперь из (70), (72) и (75) найдем

$$\eta = \frac{p^2 \cdot M'}{j^2 \cdot M_1'} \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{M_1'}{M_0}\right)\right]^2 \times \\ \times \left[1 - \frac{g \cdot (g \cdot j \cdot \sin y)}{\sqrt{j^2 \cdot \cos^2 y + (g - j \sin y)^2} \sqrt{j^2 + g^2 - 2j \cdot g \cdot \sin y}}\right]. \quad (77)$$

Когда тяжести нет,  $g = 0$  и  $p = j$ . В этом случае последняя формула дает формулу (43). Определим по (77) к. п. д. 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 неприменимо, так как ракета, понижаясь, заденет за почву. Но на некоторой высоте, даже в воздухе, оно возможно, а также тогда, когда ракета в силу приобретенной кос-



мической скорости уже не может задеть за атмосферу и носится, как небесное тело. Оно еще применимо к планетам без атмосферы 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

$$\eta = \frac{M_0}{M_1} \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2 \cdot \left( 1 - \frac{g}{j} \right). \quad (80)$$

(Эта формула была выведена ранее и содержится в печатных трудах 1903 г.)

Из формулы видно, что отвесное движение ракеты очень невыгодно, в особенности, когда  $j$  немного превышает величину  $g$ . Напротив, чем больше ускорение силы взрыва  $j$  по отношению к  $g$ , тем потеря меньше и  $\eta$  больше. Сравнивая к. п. д. в свободной от тяготения среде (43) с к. п. д. в среде тяготения при отвесном движении (80), видим, что последний к. п. д. меньше первого в  $1 : \left( 1 - \frac{g}{j} \right)$ .

Относительная потеря выражается дробью  $\frac{g}{j}$ . Если, например, сила взрыва в десять 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 взрыва к. п. д. такой же, как в среде без тяготения. Но сильное взрывание все убивает и разрушает внутри снаряда. Его можно применить только при снарядах без людей и сложных аппаратов.

Таблица 7

Среда тяготения. Отвесное движение ракеты

$j : g$ . . . . .	1	2	3	4	5	10	
К. п. д. в % . . . . .	0	50	66,7	75	80	90	100
Скорость в % . . . . .	0	70,7	81,7	86,6	89,4	94,9	100

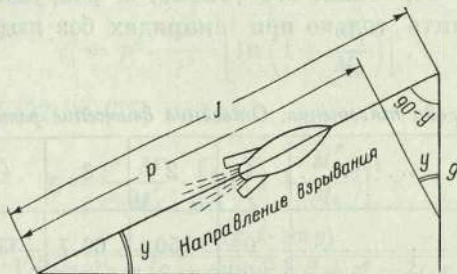
Как видно, отвесное движение сопровождается большой потерей энергии, в особенности, когда сила взрыва  $j$  невелика. Тут  $j$  должно быть больше  $g$ , в противном случае никакого движения не получится. Последняя строка выражает в процентах наибольшую соответствующую скорость. На самом деле, скорость выражается второй строкой, потому что часть энергии пойдет на поднятие во время взрыва (доказано в 1903 г.).

## ПОЛЕТ РАКЕТЫ В СРЕДЕ ТЯГОТЕНИЯ, В АТМОСФЕРЕ

Положим, что горизонтально расположенная ракета в среде тяготения движется еще под влиянием горизонтальной силы. Сначала сила тяжести заставит ее падать под углом от  $90^\circ$  и меньше. Точнее,  $\operatorname{tg}$  этого угла равен  $g:j^*$ . Но через несколько секунд горизонтальная составляющая скорости ракеты будет такой громадной, что отвесное движение снаряда при его 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 и все более и более медленным по мере увеличения скорости ракеты. Так же будет обстоять дело и при наклонном движении снаряда, если наклон не превышает  $20-40^\circ$ . Тогда снаряд, спустя несколько секунд от начала движения, движется, как по наклонным рельсам. Примерно падение хорошо устроенной ракеты при отсутствии горизонтального движения составит только  $20-30$  м/сек. При огромной скорости оно должно дойти до  $1$  м/сек и менее. Что же это в сравнении с космической скоростью? \*\*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ, УСКОРЕНИЯ, ВРЕМЕНИ ПОЛЕТА, РАБОТЫ, СОВЕРШЕННОЙ РАКЕТОЙ И ОТБРОСОМ, И МЕХАНИЧЕСКОГО К. П. Д., ПРЕДПОЛАГАЯ ДВИЖЕНИЕ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Из фиг. 3 имеем приблизительно \*\*\*



Фиг. 3.

\* Предполагается, что начальная скорость ракеты  $v_0 = 0$ . (Ред.)

\*\* Повидимому, 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.)

\*\*\* Данное приближение допустимо при больших величинах  $j$  по сравнению с  $g$ .  
Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского» М., ОНТИ, 1934.

$$c_1 = p \cdot t; \quad (83)$$

$$p = j - g \cdot \sin y; \quad (84)$$

$$K = j : g; \quad (85)$$

$$c_1 = (j - g \cdot \sin y) \cdot \frac{W}{j} \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right); \quad (86)$$

$$t_1 = \frac{W}{j} \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right). \quad (39_s)$$

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 к. п. д.

$$E_2 = 0,5 M_0 c_1^2 + A; \quad (87)$$

$$A = M_0 g h = M_0 g l \cdot \sin y. \quad (88)$$

Тут  $h$  есть величина поднятия снаряда.

Отсюда

$$E_2 = \frac{M_0}{2} \cdot c_1^2 \cdot \left( 1 + \frac{g}{p} \sin y \right). \quad (89)$$

Далее

$$E_1 = \frac{M'_1}{2} \cdot W^2. \quad (90)$$

Следовательно,

$$\frac{E_2}{E_1} = \eta = \frac{M_0}{M'_1} \cdot \frac{c_1^2}{W^2} \left( 1 + \frac{g}{p} \sin y \right). \quad (91)$$

С помощью (86) и (84) из этого найдем

$$\eta = \frac{M_0}{M'_1} \cdot \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2 \left( 1 - \frac{g}{j} \sin y \right). \quad (92)$$

Упрощая формулу (77), при малых углах  $y$  получим приближенно и эту самую формулу (92) [см. еще формулу (49)].

Если ракета горизонтальна и  $y = 0$ , то к. п. д. из (92) получим согласно формуле (43). Также из (92), если  $y = 90^\circ$ , получим известную формулу (80).  $\eta$  представляет собою механический к. п. д., умножая который на термический к. п. д. (см. табл. 5), получаем полный к. п. д. Видим, что к. п. д. в пустоте (77) вообще не тот, что в атмосфере, или, вернее, в пустоте при движении снаряда по наклонной плоскости.

Потеря по сравнению со свободной от тяжести средою будет

$$\frac{g}{j} \sin y. \quad (93)$$

Если, например,

$$g : j = 0,3; \quad y = 20^\circ; \quad \sin y = 0,342,$$

то потеря — 5,7%. Прилагаем табл. 8.

Таблица 8

*Среда тяжести в атмосфере. Наклонное движение*

Угол наклона в градусах		1	2	5	10	15	20	25	30	35
Потеря энергии при разных $j : g$ в %	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. Также 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

$$h = \frac{f_1}{d_1} \cdot \ln \frac{d_1}{d}, \quad (95)$$

где  $\frac{f_1}{d_1}$  есть высота воображаемой атмосферы  $h_1$  при постоянной плотности  $d_1$ ;  $f_1$  — давление атмосферы, соответствующее  $d_1$ .

Значит,

$$\frac{h}{h_1} = \ln \frac{d_1}{d} \quad (96)$$

и

$$d = d_1 e^{-\frac{h}{h_1}}. \quad (97)$$

Сопротивление воздуха или давление  $W$  его на ракету от ее движения будет

$$W = \frac{F}{a} \cdot d \cdot \frac{c^2}{2g}. \quad (98)$$

Это давление (Понселе) не в абсолютных единицах, а в обыкновенных мерах, например в тоннах.  $F$  — площадь миделя поперечного сече-

ния ракеты;  $a$  — полезность формы ракеты, т. е. коэффициент, который тем больше, чем сопротивление  $W$  меньше. При наклонном движении ракеты длина  $l$  пути составит

$$l = h : \sin y. \quad (99)$$

Имеем

$$p = j - g \sin y; \quad (84)$$

$$c = \sqrt{2p \cdot l}. \quad (84_1)$$

Отсюда

$$c = \sqrt{2(j - g \sin y) l}. \quad (100)$$

Элемент работы сопротивления воздуха выразится

$$dT = Wdl. \quad (101)$$

Из (97), (98), (99) и (100) найдем

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} \cdot (j - g \sin y) l \cdot e^{-\frac{l \sin y}{h_1}} \cdot dl. \quad (102)$$

Положим тут

$$\frac{l \sin y}{h_1} = \frac{h}{h_1} = x; \quad (103)$$

$$dx = \frac{\sin y}{h_1} \cdot dl = \frac{dh}{h_1}; \quad dl = \frac{h_1 dx}{\sin y}.$$

Тогда найдем

$$dT = \frac{F(j - g \sin y) d_1}{a \cdot g \cdot \sin^2 y} \cdot h_1^2 \cdot x \cdot e^{-x} \cdot dx. \quad (104)$$

Полагаем

$$\frac{F(j - g \sin y) d_1 h_1^2}{a \cdot g \cdot \sin^2 y} = A. \quad (105)$$

Интегрируя и определяя постоянное, получим

$$T = A \left[ 1 - \left( 1 + \frac{h}{h_1} \right) e^{-\frac{h}{h_1}} \right] = A \left[ 1 - \left( 1 + \frac{l \sin y}{h_1} \right) e^{-\frac{l \sin y}{h_1}} \right]. \quad (106)$$

Принимая во внимание (103), получаем также:

$$T = A [1 - (1 + x) e^{-x}]. \quad (107)$$

Нам надо определить полную работу сопротивления атмосферы. Для этого надо положить

$$h = \infty \text{ или } x = \infty.$$

Имеем:

$$e^{-x} = 1; e^x = 1 \left( 1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{1 \cdot 2} + \frac{x^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots \right). \quad (108)$$

Следовательно,

$$(1 + x) e^{-x} = e^{-x} + x \cdot e^{-x} = e^{-x} + x \cdot \left( 1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{1 \cdot 2} + \dots \right) =$$

$$= \frac{1}{e^x} + 1 + \left( \frac{1}{x} + 1 + \frac{x}{1 \cdot 2} + \frac{x^2}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots \right). \quad (109)$$

Отсюда ясно, что если  $h$  или  $x$  равно бесконечности, то и выражение (109) обращается в нуль. Значит, работа сопротивления

$$T = A. \quad (110)$$

Полную работу отвесного движения получим из формулы (104), если положим  $y = 90^\circ$ . Тогда найдем

$$T = \frac{F(j-g)}{ag} d_1 h_1^2. \quad (111)$$

Сравнивая эту работу с полной работой наклонного движения, увидим, что последняя больше первой во столько раз:

$$\frac{j - g \sin y}{(j - g) \sin^2 y}. \quad (112)$$

Если  $j$  велико или  $y$  невелик, то приблизительно можем считать, что работа наклонного движения обратно пропорциональна квадрату синуса угла наклона. Значит, когда наклона нет и движение горизонтально, то полная работа сопротивления бесконечна. Но это неправильно, так как равноплотные слои атмосферы не могут считаться горизонтальными, как мы это приняли, вследствие сферичности Земли. Одним словом, для малых углов формулы неприменимы. 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 будет больше отвесного в 155 раз. Значит, горизонтальная работа не может быть бесконечной. По формуле (104) можем вычислить полную работу отвесного движения. Допустим  $F = 2 \text{ м}^2$ ;  $j = 100 \text{ м/сек}^2$ ;  $g = 10 \text{ м/сек}^2$ ;  $h_1 = 8000 \text{ м}$ ;  $d_1 = 0,0013 \text{ т/м}^3$ ;  $a = 100$ . Тогда  $T = 14\,976 \text{ тм}$ . Она совсем незначительна даже в сравнении с одной работой движения ракеты, имеющей массу в 10 т (без взрывчатых веществ) и освобождающейся от силы земного тяготения (11 км/сек скорости). Эта работа более 60 млн. 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 формуле (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  $g = 10$ .

Из второй строки табл. 9 видно, что при  $20^\circ$  наклона работа увеличивается в 11 раз. Потом, из сравнения второй и третьей 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.

Таблица 9

$v \dots$	10	20	30	40	50	90
$T$ при $j = 30 \dots\dots\dots$	46,7	11,3	5	2,85	1,92	1
$T$ при $j = 20 \dots\dots\dots$	60	14,2	6,0	3,3	2,1	1
$1 : \sin^2 y \dots\dots\dots$	33	8,55	4	2,42	1,70	1

Мы видели, что работа сопротивления при отвесном движении составляет 1 : 4000 часть работы движения ракеты, но и при наклонном движении она менее 1%.

Интересна зависимость работы сопротивления от пройденного пути или достигнутой высоты  $h$ . Полная работа выражается формулой (104), остающаяся — формулами (107) и (108). Она зависит от высоты подъема.

Табл. 10 и показывает эту зависимость.

Таблица 10

Относительная остающаяся работа сопротивления в процентах\*

$h \dots$	4	8	16	24
$h : h_1 \dots\dots\dots$	0,5	1	2	3
Относительная остающаяся работа в % . . .	91	74	41	20

\* Табл. 10 пришлось пересчитать ввиду того, что Циолковский в формуле (105) сделал ошибку: у него остающаяся относительная работа вышла зависящей от угла наклона, чего на деле нет. Из табл. 10 видим, что после пролета 4 км остается совершить еще 91% всей работы, а после пролета 24 км — 20%. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

### САМЫЙ ВЫГОДНЫЙ УГОЛ ПОЛЕТА

По формулам (77) или (93) можем вычислить потерю работы от наклона в среде тяготения. По формуле (104) определяем соответствующую потерю от сопротивления атмосферы. Составив таблицу и определив 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)]

$$\frac{g}{j} \sin y \text{ в абсолютных единицах.} \quad (113)$$

Потеря от сопротивления атмосферы в абсолютных единицах будет

$$Ag = \frac{F}{a} \cdot \frac{(j - g \sin y)}{\sin^2 y} \cdot d_1 h_1^2. \quad (114)$$

Работа ракеты равна [см. (104)]

$$E_2 = 0,5 \cdot M_0 \cdot c_1^2 = 0,5 M_0 \cdot W^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2 \quad [\text{см. (38)}]. \quad (115)$$

Поэтому обе потери в абсолютных единицах будут

$$E_2 \cdot \frac{g}{i} \sin y + Ag = E_2 \cdot \frac{g}{j} \sin y + \frac{F}{a} \cdot d_1 h_1^2 \cdot \left( \frac{j - g \sin y}{\sin^2 y} \right) = Z. \quad (116)$$

Взяв производную этого выражения и приравняв ее нулю, получим уравнение, неудобное для решения относительно  $\sin y$ .

Однако выгоднейший угол невелик. Поэтому можем у второго члена пренебречь выражением  $g \sin y$ .

Тогда уравнение (116) превратится

$$Z = E_2 \frac{g}{j} \cdot x + \frac{F}{a} \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot \frac{j}{x^2}.$$

Здесь  $\sin y = x$ . Дифференцируя это уравнение, приравнявая первую производную к нулю и определяя  $x$ , получим

$$x = \sin y = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot F \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot j^2}{a \cdot E_2 \cdot g}}. \quad (118)$$

С помощью (115)

$$\sin y = \sqrt[3]{\frac{4F \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot j^2}{a \cdot M_0 W^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2 \cdot g}}. \quad (119)$$

Отсюда видно, что выгодный угол  $y$  увеличивается с энергией взрыва  $j$  и поперечной площадью  $F$  ракеты и уменьшается с увеличением полезности формы  $a$  и отношения массы снаряда к массе отброса  $M'_1 : M_0$ . На планете с большой тяжестью  $g$  он тоже уменьшается, и обратно. Положим в (119):  $F = 2$ ;  $d = 0,0013$ ;  $h = 8000$ ;  $j : g = 10$ ;  $a = 100$ ;  $M_0 = 10$ ;  $W = 5000$ .

Тогда вычислим

$$\sin y = 0,167 \text{ и } y = 9^\circ 35'.$$

При  $j = 20$  получим  $\sin y = 0,057$  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

$$\frac{Z}{E_2} = \frac{g}{j} \cdot x + \frac{F d_1 j}{a E_2 x^2} h_1^2 = \frac{g}{j} x + \frac{2 F d_1 j \cdot h_1^2}{a M_0 W^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{M_1'}{M_0} \right) \right]^2 \cdot x^2} \quad (120)$$

Покажем более простую формулу для определения процентной потери.

Разделив второй член на третий (в 120), узнаем, во сколько раз потеря от влияния тяжести больше, чем потеря от сопротивления воздуха. Затем, исключив из этого отношения  $x$  с помощью (119), получим число 2. Из этого видно, что при невыгоднейшем наклоне потеря от тяготения вдвое больше потери от сопротивления воздуха. Следовательно,

$$Z : E_2 = \frac{g}{j} \cdot x + \frac{g}{2j} \cdot x = \frac{3}{2} \cdot \frac{g}{j} \cdot x. \quad (121)$$

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

$$L : E_2 = \sqrt[3]{\frac{27 \cdot F \cdot d_1 \cdot h_1^2 \cdot g^2}{2 \cdot a \cdot M_0 \cdot W^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{M_1'}{M_0} \right) \right]^2 \cdot j}} \quad (122)$$

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 взрыва, только очень медленно. Если, например,  $j$  увеличится в 8 раз, то потеря уменьшится только вдвое. Весьма выгодно лететь при малом  $j$ , отчего, как видно, проиграем немного. При  $j = 10$ ,  $x = \sin y = 0,036$ ;  $y = 20^\circ 10'$  и  $Z : E_2 = 0,054$ . Следовательно, угол очень мал, а потеря равна 5%. На деле она гораздо меньше от шарообразности Земли.

Положим в формулах  $a = 50$  и, как раньше:  $F = 2$ ;  $d_1 = 0,0013$ ;  $h_1 = 8000$ ;  $M_0 = 10$ ;  $W = 5000$ ;  $j$  будем давать различные значения. Составим табл. 11.

При малом наклоне, оказывается, бывает 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/сек<sup>2</sup>, что соответствует от 0,1 до 20 по отношению к ускорению земного тяготения

Ускорение ракеты без тяжести $j$	1	2	3	4	5	6	7
$\sin y = x$ . . . . .	0,0097	0,0154	0,0204	0,0246	0,0292	0,0326	0,0356
Угол $y$ в градусах . .	0,56	0,88	1,17	1,41	1,68	1,86	2,07
$Z: E_2 =$ потеря в % . .	14,6	11,6	10,2	9,23	8,57	8,07	7,66

(10 м/сек<sup>2</sup>). Если, например, ракета весит 10 т, то давление взрывчатых веществ изменяет наклон от 0,5 до 20°. Потеря энергии от тяжести и сопротивления атмосферы — от 15 до 2,5%. 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  $M_0$  будет в 8 раз меньше, то по формулам (119) и (122) видно, что синусы углов и потери (см. табл. 11) увеличатся вдвое. Так, при  $j=30$  угол будет около 11°, а потеря — около 9,5%.

По табл. 11 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 КРИВИЗНА ЗЕМЛИ

Из (101), (98), (97) и (100) получим в обыкновенных единицах:

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} (j - g \sin y) e^{-\frac{h}{h_1}} \cdot dl. \quad (122_1)$$

Для плоской Земли имеем еще в помощь формулу (99)

$$l = h : \sin y.$$

Но для истинной формы Земли она применима только при не очень острых углах  $y$ . Для всяких углов легко найдем более точную формулу

$$h = l \sin y + \frac{l^3}{2R} = l \left( \sin y + \frac{l^2}{2R} \right), \quad (123)$$

где  $R$  есть радиус Земли.

Отсюда можем вычислить

$$l = -R \sin y \cdot \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{2h}{R \sin^2 y}} \right). \quad (124)$$

Положим

$$\frac{2h}{R \sin^2 y} = X; \quad \sqrt{1+X} = 1 + \frac{X}{2} - \frac{X^2}{8} + \frac{X^3}{16} \dots \quad (125)$$

Таблица 11

8	9	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	200
0,0392	0,0422	0,0453	0,059	0,072	0,083	0,094	0,114	0,133	0,150	0,182	0,211	0,333
2,26	2,43	2,60	3,41	4,16	4,75	5,41	6,55	7,66	8,66	10,50	12,16	19,50
7,33	7,05	6,80	5,94	5,40	4,97	4,71	4,28	3,98	3,75	3,40	3,16	2,50

Ограничиваясь тремя членами, получим

$$l = -R \sin y \cdot \left( -\frac{X}{2} + \frac{X^2}{8} \right) = \frac{h}{\sin y} - \frac{h}{2R \sin y} = \\ = \frac{h}{\sin y} \left( 1 - \frac{h}{2R \sin^2 y} \right). \quad (126)$$

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)

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot e^{-\frac{h}{h_1}} \cdot dl = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot e^{-\frac{l}{2Rh_1}} \cdot dl. \quad (128)$$

Положим

$$\frac{l^2}{2Rh_1} = u.$$

Тогда

$$ldl = R \cdot h_1 \cdot du, \quad (129)$$

и вместо (128)

$$dT = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot R \cdot h_1 \cdot e^{-u} \cdot du = A \cdot e^{-u} du. \quad (130)$$

Интегрируя и определяя постоянное, найдем

$$T = A(1 - e^{-u}) = A \cdot \left( 1 - e^{-\frac{h}{h_1}} \right) = A \cdot \left( 1 - e^{-\frac{l^2}{2Rh_1}} \right). \quad (131)$$

Здесь

$$A = \frac{Fd_1}{ag} \cdot j \cdot R \cdot h_1. \quad (132)$$

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):

$$\frac{j}{j-g} \cdot \frac{R}{h_1}. \quad (133)$$

Положим тут

$$j = 100; \quad g = 10; \quad h_1 = 8000.$$

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. Это 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, которая не приобретет достаточной скорости. Мы видели, что работа отвесного сопротивления воздуха составляет примерно  $\frac{1}{4000}$  часть кинетической энергии снаряда (при  $M_0 = 10$  т). Значит, горизонтальное сопротивление поглотит около  $\frac{1}{5}$  доли (22,2%). По табл. 11 при наклоне в полградуса (0,56) потеря несколько меньше, именно около 15% (14,6%). Здесь только  $\frac{1}{3}$  приходится на сопротивление, т. е. 5%. Так мало потому, что ускорение по табл. 11 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 попрежнему

$$F = 2; \quad a = 50;$$

тогда [см. (132)]

$$T = 264\,800.$$

Работа ракеты будет из (41) и (38)

$$E_2 = 0,5 \cdot M_0 \cdot W^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right) \right]^2. \quad (135)$$

Работа ракеты для одоления земной тяжести (11 кг) при  $M_0 = 10$  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 в % . . .	0,42	0,83	2,1	4,2	8,3	12,5	20,8	41,7

Даже при ускорении  $j = 5$ , т. е. вполнину земного ускорения ( $g = 10$ ), потеря около 2%.

## ПОДЪЕМ, ПОСЕЩЕНИЕ ПЛАНЕТ И СПУСК НА ЗЕМЛЮ

Положим, что ракета поднялась на некоторую высоту, потеряв всю скорость при отвесном полете. Под влиянием тяготения она будет падать обратно, приобретет значительную скорость и разобьется 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 замедлить 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  $K_1$  раз вес ракеты со всем содержимым, то для благополучного спуска нужен запас, равный массе ракеты, умноженной на  $K_1$ . Для одного поднятия массы ракеты со взрывчатым веществом будем иметь

$$M_0 + M_0 \cdot K_1 = M_0(1 + K_1). \quad (136)$$

Для спокойного спуска требуется еще запас взрывчатых веществ, в  $K_1$  раз больший этой массы (136), т. е.

$$M_0(1 + K_1)K_1. \quad (136_1)$$

Вместе с ракетой и первым запасом (136) это составит

$$M_0(1 + K_1)K_1 + M_0(1 + K_1) = M_0(1 + K_1)^2. \quad (136_2)$$

Масса одного запаса будет

$$M_0(1 + K_1)^2 - M_0 = M_0[(1 + K_1)^2 - 1]. \quad (137)$$

Если, например,  $M_0 = 1$ ,  $K_1 = 9$ , то запас будет 99, т. е. вес его в 99 раз больше 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  $K_1$  есть малая дробь. Тогда запас, приблизительно, будет равен

$$M_0 \cdot 2 \cdot K_1$$

[см. (137)]. Значит, тогда запас только удваивается.

Но поднятие на незначительную высоту не имеет значения для космических полетов.

Поднятие с Земли и спуск на чуждую планету на земной орбите (такой нет: это допущение) требует запаса

$$M_0 \cdot [(1 + K_1) \cdot (1 + K_2) - 1]. \quad (138)$$

Здесь  $K_2$  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 мы с нее заранее должны взять запас

$$M_0 [(1 + K_1)^2 \cdot (1 + K_2)^2 - 1]. \quad (139)$$

Допуская, что планета по массе и объему аналогична Земле, найдем запас равным

$$M_0 [(1 + K_1)^4 - 1]. \quad (140)$$

Положим тут  $K_1 = 9$  и  $M_0 = 1$ . Тогда запас будет 9999, т. е. совершенно неосуществимый. Это примерно соответствует Венере. Еще менее осуществимо путешествие на Юпитер и другие массивные планеты, ибо для них  $K_2$  громадно. Напротив, путешествие на астероиды, особенно на маленькие, достижимее, так как  $K_2$  можно считать нулевым. Тогда путь на любой из них (опять предполагая их на орбите Земли) и возвращение на Землю требуют запаса по формуле (137).

Посещая разные планеты, не имея при этом возможности на них делать запасы, и возвращаясь на Землю, мы, вообще, должны делать такой запас:

$$M_0 [(1 + K_1)^2 \cdot (1 + K_2)^2 \cdot (1 + K_3)^2 \cdot (1 + K_n)^2 - 1]. \quad (141)$$

Если  $n$  есть число планет (считая и Землю), то при равенстве их с Землей получим запас

$$[(1 + K_1)^{2n} - 1] \cdot M_0. \quad (142)$$

Очевидно, такое последовательное посещение планет еще менее возможно.

#### 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 взрывающими силами и силой тяготения. Сейчас мы это подтвердим.

Положим, что ракета движется горизонтально с секундной скоростью  $s$ , причем длинная ось ее отклонена на некоторый угол  $\xi$  к

горизонту. Тогда отвесное давление на нее  $R_y$  будет, согласно известным законам сопротивления жидкой среды,

$$R_y = \frac{d}{g} F_h \cdot K_1 \sin \xi \cdot c^2. \quad (143)$$

Здесь  $F_h$  есть горизонтальная проекция ракеты, а  $K_1$  — коэффициент сопротивления.

Если ракета движется горизонтально, то, значит, она не падает, и давление на нее снизу  $R_y$  равно весу  $M_0$  ракеты. Тогда из (143) найдем

$$\sin \xi = \frac{M_0 g}{d F_h K_1 c^2}. \quad (144)$$

Положим, например:  $M_0 = 1$ ;  $g = 10$ ;  $d = 0,0013$ ;  $c = 100$ ;  $F_h = 20$   $K_1 = 1$ .

Теперь вычислим

$$\sin \xi = 0,0385 \text{ и } \xi = 2,2^\circ.$$

При  $M_0$ , в 10 раз большем, и  $\xi$  будет почти в 10 раз больше. При  $c$ , в 10 раз большем, 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

$$R_x = R_y \sin \xi = M_0 \sin \xi = \frac{M_0^2 g}{d F_h K_1 c^2}. \quad (145)$$

Следовательно, элемент работы составит

$$dT = R_x dl, \quad (146)$$

где  $l$  есть длина пройденного пути.

Можно считать  $d$  постоянной и только  $c$  — переменной.

$$c = \sqrt{2j \cdot l}. \quad (147)$$

$j$  есть секундное ускорение ракеты. Теперь из (147), (146) и (145) получим

$$dT = \frac{M_0^2 g dl}{2d \cdot F_h K_1 j l}. \quad (148)$$

Интегрируя и определяя постоянное, найдем

$$T = A \cdot \ln \left( \frac{l}{l_1} \right), \quad (149)$$

где

$$A = \frac{M_0^2 g}{2d \cdot F_h K_1 j}. \quad (150)$$

Если считать работу с начала пути, с нулевой скорости, то такая работа теоретически беспредельна. Она становится небольшой, когда ракета прошла по рельсам часть пути  $l$ , приобретя уже некоторую скорость. В равноплотной среде работа, хотя и медленно, но возрастает беспредельно. Положим, в (150)

$$[M_0 = 1; \quad g = 10; \quad F_h = 20; \quad K_1 = 1; \quad j = 10.]$$

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 км, то  $T = 132,5$ .

Значит, на удержание от падения работа идет сравнительно ничтожная.

Можно выразить эту работу в зависимости от приобретенной снарядом скорости  $c$ . Имеем из (147) и (149)

$$l = \frac{c^2}{2j} \quad \text{и} \quad T = A \cdot \ln\left(\frac{c^2}{c_1^2}\right). \quad (152)$$

Так, если ракета начала полет со скоростью 100 м/сек, а кончила со скоростью 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 скоростью 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:

$$l = \frac{c^2}{2j} = 5 \cdot 10^6 \text{ м}, \quad (147)$$

или 5000 м. (Надо помнить, что в этих вычислениях мы не принимаем в расчет лобовое сопротивление.) Но при таком длинном пути, хотя вначале и горизонтальном, ракета значительно 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. Но тут является другое затруднение. При движении в плотной среде работа лобового сопротивления атмосферы, даже и при острой форме снаряда, становится невыгодно велика. Кроме того, после приобретения скорости в 8 км/сек еще ведь нужно выбраться по касательной или восходящей кривой из атмосферы, что опять требует 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, ЕСЛИ НАКЛОНА ЕГО ДЛИННОЙ ОСИ НЕТ

Снаряд движется по направлению силы тяжести.

Падение, или, вернее, секундная скорость падения, будет

$$c_y = c \cdot \sin \xi = \frac{M_0 g}{d F_h K_1 c} \quad (165)$$

Опять предполагается полет ракеты горизонтальным. Под  $\xi$  тут нужно подразумевать малый угол отклонения снаряда от его горизонтального движения вследствие тяжести и сопротивления воздуха. Положим, например,  $M_0 = 1$ ;  $g = 10$ ;  $\sin \xi = 0,00037$  (на высоте 10 км);  $F_h = 20$ ;  $c = 1$ ;  $d = 2260$ ;  $K_1 = 10\,000$ . Тогда  $c_y = 0,6$ , 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  $c$  [см. (97), (127) и (147)], получим

$$c_y = \frac{M_0 g e^{\frac{h}{h_1}}}{d_1 F_h K_1 V \sqrt[4]{j} \cdot \sqrt{D h}} \quad (166)$$

Скорость же поднятия при движении по касательной вычислим следующим образом. Имеем:

$$l = \frac{j}{2} \cdot t^2, \quad (167)$$

где  $t$  — время, а  $D$  — диаметр Земли. Имеем еще:

$$h = l^2 : D.$$

Следовательно

$$h = \frac{j^2 \cdot t^4}{4D}.$$

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 табл. 13.

Таблица 13

Время полета ракеты в секундах . . . . .	10	20	50	100	200	400	1 000
Скорость в м/сек при $i = 10$ . . . . .	100	200	500	1 000	2 000	4 000	10 000
$l$ — длина пути в км . .	0,5	2	12,5	50	200	800	5 000
Высота $h = l^2 : D$ (приблизительно) в м . .	0,02	0,32	12,3	197	3150	50 400	1 970 000
$\frac{dh}{dt}$ — скорость поднятия в секундах . . .	0,008	0,064	0,554	4,43	35,5	283	4 430
Плотность воздуха $d$ . .	—	—	—	0,0013	0,000878	Близко к нулю	
Скорость падения от тяжести и сопротивления воздуха в м/сек	3,85	1,92	0,77	0,385	0,280	Очень велика	
$d_1 : d$ . . . . .	1	1	1	1	1,48	550	$10^{109}$

Полет приблизительно совершается по касательной к Земле. От этого происходит удаление от шаровой поверхности (4 графа). Сначала это удаление почти незаметно. Так, по истечении 10 сек., когда уже пройдено 0,5 км, оно составляет только 2 см. Скорость (5 графа) 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 удаления более 0,5 м/сек (55 см/сек). Она уже в этом случае немного не достигает скорости падения (7 графа). Примерно вскоре после 50 сек. последняя скорость становится незаметной в сравнении со скоростью удаления от шаровой поверхности. Так, по истечении 200 сек., когда снаряд поднялся уже на высоту 3 км и приобрел скорость в 2 км, пролетев по касательной 200 км, скорость поднятия превышает скорость падения (она ограничена сопротивлением воздуха) в 127 раз. Но далее скорость падения повышается, сравнивается со скоростью поднятия и, наконец, ее превышает, потому 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 к 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 скорость более 2 км/сек.

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 ракеты равным земному ( $10 \text{ м/сек}^2$ ). Увеличение давления  $j$  на снаряд сделает уклонение 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 состоит в том, что полет надо начинать с высоты: с башен или крутых гор, так как в первые секунды будет понижение ракеты. При  $j = 10$ , как видно из табл. 13, средняя скорость падения от тяжести и сопротивления воздуха не может превышать 4 м/сек, если начало полета считать от скорости в 100 м/сек. Таким образом, в 40—50 сек. полета снаряд спустится гораздо меньше чем на 200 м. Вернее — на 100 м. 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  $45^\circ$ . При большем  $j$  и требуемая высота будет меньше и уклон положе. Эта зависимость обратно пропорциональна. Если сначала двигаться по горизонтальной плоскости и при этом приобрести скорость, несколько большую 500 м/сек, то совсем не потребуются возвышения, так как падение не будет превышать удаления, происходящего от шаровидности Земли.

### ПОДЪЕМ В АТМОСФЕРЕ ПО ВОСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ

Касательный полет выгоден тем, что позволяет употреблять очень малую степень взрывающей силы  $j$ . В техническом отношении, особенно при первых опытах, это очень важное преимущество. Но в отношении экономии энергии, идущей на преодоление сопротивления воздуха, лучше полет, наклонный к горизонту. Хотя, чем больше наклон, тем, поневоле, приходится употреблять большую 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 равняется потере при восхождении 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 Земли, 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 ракету и все ее части не надо делать особенно массивными. Также и для безопасности человека не нужно предохранительных средств.

При наклонном восходящем движении ракеты удаление от шаровой поверхности Земли зависит от двух причин — от угла наклона и от сферичности планеты. Первое равно

$$h_1 = l \sin y, \quad (169)$$

а второе

$$h_2 = l^2 : D. \quad (170)$$

Отсюда

$$h_1 + h_2 = l \sin y + \frac{l^2}{D} = l \left( \sin y + \frac{l}{D} \right). \quad (171)$$

Падение выразится известными нам формулами (165) и (166). Но под углом  $\xi$  в них надо подразумевать другой угол, выражающий отклонение, зависящее исключительно от сопротивления атмосферы и поступательной скорости полета. Этот угол  $\xi$  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 наименьшие  $j$  в зависимости от угла наклона  $y$  и силы тяжести  $g$  (табл. 14).

Отсюда видно, что  $j$ , увеличенное в 10 раз, даже при  $10^\circ$  наклона только в 1,7 раза больше ускорения земной тяжести ( $10 \text{ м/сек}^2$ ). Но и при этом наклоне и меньшем, очевидно, можно ограничиться несравненно более сла-

Таблица 14

$y$ в градусах . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$j$ м/сек <sup>2</sup> . . . .	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

бой взрывающей силой, примерно до 0,1 силы тяжести. Это же имеет громадные технические выгоды, так как позволит начать полеты даже при современном состоянии техники.

Для поднятия при наклонном движении снаряда мы нашли формулу (171).

Скорость подъема (пренебрегаем пока шаровидностью Земли) будет  $c \sin \xi$ .

С другой стороны, скорость падения определяется формулой (165). Приравнявая падение подъему, найдем уравнение, из которого получим

$$\sin \xi = \frac{M_0 g}{dF_h K_1 c^2}. \quad (173)$$

При этом угле начальное движение будет горизонтальным. Если, например,  $M_0 = 1$ ;  $g = 10$ ;  $F_h = 20$ ;  $K_1 = 1$ ;  $c = 100$ , то  $\sin \xi = 0,0385$ , а угол  $\xi = 2^\circ,2$ . При скорости в 200 м угол будет близок к  $0,5^\circ$ .

Итак, вполне возможно избежать падения даже при очень малом угле наклона, лишь бы была достаточная начальная скорость. Но она может быть гораздо меньше, если угол наклона будет больше. Так, если угол дойдет до  $8^\circ$ , то скорости в 50 м/сек уже будет довольно.

## ДВИГАТЕЛЬ И ЕГО РАСХОД ГОРЮЧЕГО

### Мощность двигателя на 1 т веса ракеты

Даем в табл. 15 мощность двигателя на 1 т ракеты при различных скоростях и ускорениях; мощность приблизительно выражена в тысячах метрических сил (100 кгм/сек); скорость ракеты  $c_1$  — в км/сек в разные моменты движения.

Выходит, что мощность однотонной ракеты при наименьшем ускорении (и, конечно, малом угле наклона) изменяется от 100 до 11 000 метрических сил.

Если ракета дает 100 кг тяги на мотор, то вначале мощность будет близка к аэропланам двигателям (100 метрических сил), и только при достижении крайней космической скорости увеличивается в 110 раз.

С первого взгляда это устрашает, но не забудем, что имеем дело с реактивными (или ракетными) двигателями.

Таблица 15

$c_1$ в км/сек . . . . .	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	5	8	11	
Ускорение $j$ ракеты в м/сек <sup>2</sup> 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	65
	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

### Расход горючего при разной взрывной силе; окончательная скорость и время взрывания как функция запаса взрывчатых веществ

Задача состоит в том, чтобы взрывать в трубе ежесекундно определенное и неизменное количество взрывчатых веществ. Сейчас мы покажем на примере и в таблице, что оно совсем невелико. Например, для однотонной ракеты при достижении ею космической скорости 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 секунду придется в среднем взрывать 0,5 кг взрывчатого вещества. Что же здесь недостижимого? Если бы взрывающая сила была даже в десять раз больше (при большем наклоне), и то пришлось бы взрывать в секунду 5 кг. И это возможно.

Табл. 16 покажет нам приблизительно среднее количество взрывчатых материалов, употребляемых в секунду при разной взрывающей силе  $j$ . Вес ракеты составляет 1 т.

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. Последней скорости довольно для вечного удаления от нашей

Таблица 16

Запас взрывчатых веществ в т . . .	1	4	9	30
Окончательная скорость в м/сек . .	3465	8045	11 515	17 170
Время взрывания в секундах . . .	3465	8045	11 515	17 170
Время в часах . . . . .	0,96	2,23	3,2	4,8
Количество взрывающих веществ в 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

солнечной системы и блуждания в Млечном пути со скоростью, не меньшей скорости пушечного снаряда. Даже и тут секундный расход меньше 2 кг. Время взрывания продолжается от 1 до 5 час. Все это при силе взрывания  $j$ , в 10 раз меньшей 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) 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 при его потенциальной химической энергии.

### 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°. 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. При выходе же из атмосферы и некотором удалении 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. 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 экономит 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 запасный жидкий кислород или непрочное (по возможности, эндогенное) его соединение с другими газами (например, с азотом). Тогда полученная скорость доводится до космической.

### ЗЕМНАЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ РАКЕТА

Назначение ракеты. 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 пр. Известные существующие 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 поставлена на другую — земную,

\* В настоящее время в технике применяются значительно более высокие скорости. (Ред.).



или вложена в нее. Земная ракета, не отрываясь от почвы, сообщит ей желаемый разбег. Для земной ракеты нужен плоский прямолинейный, наклонно восходящий путь.

Воздушные винты невозможны и ненужны. Их тяга заменяется задним давлением взрывающихся в трубе газов. Колеса для облегчения трения негодны. Земная ракета движется, 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 силою, не меньшей 0,2 т, или 200 кг. Такова величина трения для давлений, не превышающих 8—10 кг/см<sup>2</sup> трущейся поверхности.

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 величиною трения при обильной смазке. Итак, если ракета движется по льду или ровному и обильно смазанному металлическому полотну, то нет неодолимых 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/сек<sup>2</sup> ( $j = 5$ ) 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 вытирающим 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 легко обтекаема воздухом. Чем она будет продолговатей, тем легче ракета будет рассекать среду, если не считать трения 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. Как увидим, ввиду очень длинного пути, необходимого для разбега снаряда, он и сам может быть очень длинен — места хватит.

\* См. книгу «Сопротивление воздуха и скорый поезд», Калуга, 1927 (Ред.).

Особые вычисления и соображения, которые мы тут не приводим, показывают, что величина трения не может превышать числа

$$\frac{dFV}{2g}, \quad (174)$$

какова бы ни была скорость трущейся поверхности. Из формулы видим, что это предельное трение пропорционально трущейся площади  $F$ , плотности газа  $d$  и скорости движения его молекул  $V$ . Такой вывод позволяет сравнивать газы при огромных скоростях с твердыми телами, так как и у последних трение не очень зависит от скорости трущегося тела. Преобразованием формулы (174) нетрудно доказать, что для «постоянных» газов и неизменного внешнего давления это предельное трение пропорционально квадратному корню из молекулярного веса газа и обратно пропорционально квадратному 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. Укажем о пределах.

По формуле (174) для обычного воздуха на  $1 \text{ м}^2$  найдем предельное трение близким к 0,011.

Другие соображения дают для величины трения формулу

$$R = \frac{slb}{2g} dc. \quad (175)$$

Значит, коэффициент трения пропорционален плотности газа  $d$ , скорости снаряда и толщине  $s$  воздуха, прилипшего к  $1 \text{ м}^2$  тела, движущегося со скоростью  $1 \text{ м/сек}$ . 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  $l = c$ . Тогда получим

$$R = \frac{s}{2g} l^2 bd = \frac{s}{2g} c^2 bd. \quad (176)$$

Положим тут:  $2g = 20$ ;  $b = 3$ ;  $d = 0,0013$ ; кроме того, мне из личных опытов известно, что  $s = 0,01$  (1 см). Тогда найдем

$$R = 195 \cdot 10^{-8} \cdot c^2 = 195 \cdot 10^{-8}. \quad (177)$$

Допустим еще, что вес всего снаряда в тоннах выражается числом  $l$ . Тогда составим табл. 17 для разных ускорений  $j$  и разных скоростей снаряда.

Видим, что даже при скорости в  $5 \text{ км/сек}$  и ускорении земной ракеты в  $0,1$  тяжести ( $j = 1$ ) потеря не превышает  $10\%$ . Но тут большое неудобство:

Таблица 17

Длина, вес и скорость земной ракеты в м, т и м/сек . . . . .	1	10	100	500	1000	1500	2000	3000	5000
Величина трения в кг	0,002	0,2	20	500	200	4500	8000	18 000	50 000
Сопротивление по отно- шению к давлению на снаряд в процен- тах при $j = 10$ . . . . .	0,0002	0,002	0,02	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	1
То же, при $j = 1$ . . . . .	0,002	0,02	0,2	1	2	3	4	6	10
То же, при $j = 4$ . . . . .	0,0005	0,005	0,05	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2,5

ракета должна иметь в длину до 5 км. При малых скоростях и малых длинах снаряда поглощается незаметный процент работы. Но 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 стоимость, 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, в  $\frac{c}{l}$  раз, то каждая частица воздуха будет подвергаться смещению более короткое время, чем в том случае, когда скорость снаряда численно равна длине его. Время уменьшится в  $\frac{c}{l}$  раз.

Толщина  $s$  увлекаемого слоя воздуха уменьшится не пропорционально, а примерно в  $\left[1 + \ln\left(\frac{c}{l}\right)\right]$  раз. Во столько же раз уменьшится и сопротивление воздуха. Таким образом, вместо формулы (176) получим более точную, пригодную для всяких длин земной ракеты, а именно:

$$R = \frac{s \cdot l}{2g} \cdot b \, dc: \left[1 + \ln\left(\frac{c}{l}\right)\right]. \quad (178)$$

Положим длину ракеты постоянной и равной 100 м. Скорости же различны. Тогда получим табл. 18.

Последняя графа показывает, во сколько раз уменьшается толщина прилипшего слоя газа и сопротивление от трения в зависимости от изменения длины (2-я строка).

Таблица 18

$c$ в м/сек . . . . .	100	200	300	400	500	700	1000	2000	3000	4000
$\frac{c}{l}$ . . . . .	1	2	3	4	5	7	10	20	30	40
$\ln\left(\frac{c}{l}\right)$ . . . . .	0	0,69	1,10	1,39	1,61	1,95	2,30	3,00	3,40	3,69
$\left[\ln\left(\frac{c}{l}\right) + 1\right]$ . . . . .	1	1,69	2,10	2,39	2,61	2,95	3,30	4,00	4,40	4,69

Пусть в формуле (178)  $s = 0,01$ ;  $l = 100$ ;  $b = 3$ . Тогда найдем

$$R = 1,95 \cdot 10^{-6} \cdot c: \left[1 + \ln\left(\frac{c}{l}\right)\right]. \quad (179)$$

Это дает возможность составить табл. 19 абсолютных и относительных сопротивлений при разной силе взрывания.

Таблица 19

$c$ в м/сек . . . . .	100	200	300	400	500	700	1000	2000	3000	4000
Давление в кг . . . . .	19,5	23,1	27,9	32,6	37,4	46,3	59,4	97,5	133,0	167,0
Вес 100 т, $j = 10$	0,02	0,023	0,028	0,033	0,037	0,046	0,059	0,098	0,133	0,167
Вес 100 т, $j = 1$	0,2	0,23	0,28	0,33	0,37	0,46	0,59	0,98	1,33	1,67
Вес 10 т, $j = 1$ . . . . .	2	2,3	2,8	3,3	3,7	4,6	5,9	9,8	13,3	16,7
Вес 10 т, $j = 4$ . . . . .	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,5	2,5	3,3	4,2

Отсюда видно, что даже при самом малом ускорении ( $j = 1$ ) и ничтожной массивности (10 т) ракеты трение поглощает не более 17%.

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 поставить [снаряд] перпендикуляр-

но к направлению движения планеты. Их воздушное сопротивление скоро уничтожит скорость земной ракеты. На торможение, особенно если космическая ракета уже улетела, нужна гораздо меньшая 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 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 (наружу), а корма спрячется в ракете земной. Когда движение последней будет замедляться, то космическая ракета вырвется из земной и оставит ее. В земной этим самым откроется широкая пасть (зев), которая представляет огромное сопротивление и будет сильно тормозить движение. Ракета без хлопот сама остановится. Земная ракета очень длинна, и космическая займет в ней своей кормой только малую часть. Остальная останется для наполнения ее взрывчатым материалом и органами управления.

Для составления табл. 20 (наибольших скоростей земной ракеты) имеем формулу

$$p = j - g \cdot \sin y. \quad (180)$$

Тут видим равнодействующую ускорения от взрывающей силы  $j$ , от тяжести Земли ( $10 \text{ м/сек}^2$ ) и угол наклона пути к горизонту. Далее

$$c = \sqrt{2p \cdot l} = \sqrt{2(j - g \sin y) \cdot l}. \quad (181)$$

Давление  $P$  взрывчатых веществ на ракету определяется уравнением

$$P = G_0 \cdot \frac{j}{g}, \quad (182)$$

где  $G_0$  есть вес ракеты; давление выражено в обыкновенных единицах.

Площадку считаем горизонтальной ( $y = 0$ ). Может понадобиться только очень малый наклон, который уменьшит немного приведенные скорости и сопротивление воздуха.

Время движения земной ракеты получим, если скорость разделим на ускорение  $j$ . Так, при 500 км пути оно, по таблице, будет от 100 до 1000 сек. При пути в 1 км время 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  $5^\circ$  окружности Земли), так что

Таблица 20\*

Длина рельсов в км	1	2	5	10	50	100	200	300	500
$j = 100$ . . . . .	447	632	1000	1420	3160	4470	6324	7746	10 000
$j = 50$ . . . . .	316	447	707	1000	2236	3162	4472	5477	7071
$j = 30$ . . . . .	244	346	547	774	1732	2449	3464	4242	5477
$j = 20$ . . . . .	200	282	447	632	1414	2000	2828	3468	4472
$j = 10$ . . . . .	141	200	316	447	1000	1414	2000	2449	3160
$j = 5$ . . . . .	100	141	223	316	707	1000	1414	1732	2236
$j = 3$ . . . . .	78	109	173	244	547	774	1095	1342	1732
$j = 1$ . . . . .	45	63	100	142	316	447	632	774	1000

\* Цифры таблицы исправлены. Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского» М., ОНТИ, 1934.

есть даже надежда на получение космических скоростей. Но бóльшая тяжесть заставляет повышать прочность ракет и тем увеличивать их массы. Наконец, увеличивается работа сопротивления воздуха. Одним словом, достаточно и ускорение  $j$ , равное земному, и тогда уже получим вполне достаточную предварительную скорость до 3160 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 и небесная ракета с зарядом столько же, то все вместе составит 20 т. Теперь по табл. 6 вычислим в тоннах запас взрывного материала для земной ракеты для получения разных скоростей. Скорость отброса  $W$  допустим в 4 км/сек.

Таблица 21

$M_1' : M_0$ . . . . .	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2
$M$ в т . . . . .	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40
$c_1$ в м/сек. . . . .	378	728	1048	1344	1620	1876	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 при торможении окажутся вне земной ракеты, от которой космическая ракета уже отделится.

Если космическая ракета таким путем получила начальную скорость без затраты своего собственного запаса, то она его может запастись меньше или при тех же запасах получать большую космическую скорость.

Мы имеем

$$dc = -W \cdot \frac{dM_1}{M_0 + M_1} \quad (34)$$

и

$$c = -W \cdot \ln(M_0 + M_1) + \text{const.} \quad (35)$$

Если начальная скорость ракеты равна  $c_0$ , то  $M_1 = M_1^*$ , т. е. масса отброса, будет наибольшая (начальная). Следовательно,

$$c_0 = -W \cdot \ln(M_0 + M_1^*) + \text{const.} \quad (183)$$

Вычитая из (35) (183), получим

$$c - c_0 = W \cdot \ln \left( \frac{M_0 + M_1^*}{M_0 + M_1} \right). \quad (184)$$

Если  $M_1 = 0$ , то получим наибольшую скорость  $c_1$ . Следовательно,

$$c_1 = c_0 + W \cdot \ln \left( 1 + \frac{M_1^*}{M_0} \right). \quad (185)$$

Положим, что подготовительная начальная скорость ракеты равна 3 км/сек, а надо иметь  $c = 8$  км/сек.  $W$  положим в 5 км/сек. Тогда по табл. 6 найдем относительный запас космической ракеты равным  $M_1'' : M_0 = 1,8$ , между тем как для получения скорости в 8 км/сек нужен относительный запас в 4 (табл. 6); из (185) можем получить

$$\frac{M_1''}{M_0} = 1 - e^{-\frac{c_1 - c_0}{W}}. \quad (186)$$

Воспользуемся этой формулой, чтобы составить сравнительную табл. 22.

Из таблицы видно, что космическая ракета, имеющая предварительную скорость, гораздо менее перегружается взрывчатыми веществами, чем не имеющая этой скорости. Так, для получения высшей космической скорости, одолевающей притяжение Солнца (17 км/сек), надо бы взрывчатых веществ в 30 раз больше веса ракеты. Если же ракета еще на земле получила уже 5 км/сек, то относительный запас составит только 10-кратный вес. Первая космическая скорость требует 4-кратного запаса; если же была подготовительная скорость в 3 км/сек, то вес взрывчатых веществ оставит только 0,8 веса ракеты.

Таблица 22

$c_1$ в км/сек . . . . .	8	11	17
$c_1 - 5$ . . . . .	3	6	12
$M_1'' : M_0$ (по 186) . . . . .	0,8	2,31	10,0
$M_1' : M_0$ (по табл. 6) . . . . .	4	8	30
$c_1 - 4$ . . . . .	4	7	13
$M_1'' : M_0$ . . . . .	1,24	3,08	12,0
$M_1' : M_0$ . . . . .	4	8	30
$c_1 - 3$ . . . . .	5	8	14
$M_1'' : M_0$ . . . . .	1,72	4	15
$M_1' : M_0$ . . . . .	4	8	30

### 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 самолета. В нем содержится помещение для взрывчатых веществ, которые нагнетаются насосами во взрывную трубу и выбрасываются силой 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).

### Космическая ракета

Космическая ракета должна иметь наименьшую массу и объем, что облегчит ее осуществление. Удлиненность 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 0,2 ат, если она 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, приспосаблиется 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 среды 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 превысит 0,2. Это, очевидно, пределы, пригодные для дыхания. Если увеличить посредством регулятора внешнее давление на клапан, например, до 1 ат, то пределы давлений будут 1 и 2 ат. 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 и от излишних внутренних скреплений 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 боковыми сторонами 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 материалы. Но мы видели, что наиболее выгоден мало наклонный полет, с небольшим ускоренным движением ( $j < 10$ ). При этом тяжесть так мало изменится, что все расчеты можно смело делать на обыкновенную силу тяжести.

Придется еще принять во внимание сгущение и разрежение среды, окружающей быстро движущуюся ракету. В носовой части воздух сжимается, 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 [значении] оно составляет величину, не превышающую силу обыкновенной тяжести. Ввиду большого запаса прочности ракеты этими силами, как и относительной тяжестью, можем пренебречь.

Принимаем за основу главное: разность внутреннего и внешнего давлений от 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 ат). Этот вес зависит главным образом от объема оболочки, а не от вида и продолговатости, предполагая веретенообразную плавную форму.

Таблица 23

Объем ракеты в м <sup>3</sup> . . . . .	5	10	15	20	30	40	50	100
Вес внутреннего газа плотности воздуха в кг	6,5	13	19,5	26	39	52	65	130
Вес оболочки в кг . . . . .	33	65	98	130	195	260	325	650

Выходит, что вес оболочки только в 5 раз больше веса заключенного в нем воздуха обыкновенной плотности (0,0013). При давлении в 0,2 ат прочность будет 20, а при 0,1 ат запас прочности достигнет 40. Для помещения одного человека вполне достаточно 10 м<sup>3</sup>. 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-я строка таблицы 23). Это 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 более, 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. В блестящем виде она 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

Обращенный в жидкость чистый водород содержит меньше потенциальной энергии, так как он холоден и поглощает энергию при обращении его 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 тершим 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 виде каких-либо его 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 запертые 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 — в 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 многочисленные мои расчеты показывают, что вес резервуаров, самой лучшей формы и материала, по крайней мере в пять 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 четыре раза. Хотя легкие газы и выгоднее, но они требуют и большего веса сосудов. То же скажем и про сильно накаленные 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 свыше 60 км.

Нет ничего пока более энергичного и в то же время подходящего среди 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 (или хранилища), что заставит делать его очень массивным. Давление взрывчатых веществ доходит до 5000 ат. В таком случае расчет нам покажет, что вес боков 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) смещения 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 состоит в том, что приходится, преодолевая давление взрыва, накачивать вещества во взрывную камеру. Но если давление не более 100 ат, то работа этого нагревания не очень велика.

Приводим табл. 24, определяющую эту работу при разных космических скоростях и разной силе взрывания. Вес ракеты принимаем в 1 т, давление в 100 ат.

Таблица 24

Скорость снаряда в км/сек . . . . .	8	11	17
Масса взрывчатых веществ в т . . . . .	4	8	30
Время взрывания в секундах при $j = 10$ . . . . .	800	1 100	1 700
Количество подаваемых взрывчатых веществ в кг/сек	5	11	17
Работа накачивания в кгм . . . . .	500	1 100	1 700
Время взрывания в секундах при $j = 1$ . . . . .	8 000	11 000	18 000
Количество взрывчатых веществ в кг/сек . . . . .	0,5	1,1	1,7
Работа в кгм . . . . .	50	110	170

Отсюда 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 половиной метрической силы. При самой же громадной космической 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.

#### ДЕТАЛИ РАКЕТЫ

##### 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. Табл. 24 показывает, что при запасе взрывчатых веществ в 4 т секундный расход их составляет 0,5 кг. Столько же в секунду 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 максимально и равномерно). 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 длинной. 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  $10^\circ$  потеря почти незаметна. Но и в таком большом угле 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 действует только на круглое основание цилиндра, куда нагнетаются взрывчатые вещества, в конической же трубе полезное давление происходит по всей внутренней поверхности конуса.

Поэтому основание конической трубы гораздо меньше, чем у цилиндрической.

Легко выведем формулу, показывающую отношение площадей оснований конуса:

$$F_{\max} : F_{\min} = \left(1 + \frac{l}{r} \operatorname{tg} \alpha\right)^2, \quad (187)$$

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 см<sup>2</sup>, 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 в градусах . . . . .	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 в 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 3—5°. Потеря энергии при этом будет совершенно ничтожна. Несмотря на коническую форму трубы, хорошее использование силы взрывания требует возможно более длинной трубы для того, чтобы газы почти все свое беспорядочное движение (теплоту) превратили в поступательное движение. С целью увеличения длины трубы она может делать изгибы.

### Двигатель для накачивания

Двигатель для накачивания ввиду его слабосильности может быть аэропланного типа, только в разреженных слоях и в пустоте он (поневоле) будет потреблять 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 табл. 24. Наименьшее потребление взрывчатых веществ,

потаблице,  $1/2$  кг/сек. Это количество содержит энергии (табл. 1)  $1,37 \cdot 10^6$  кгм. Если используются из этого 30%, то получим механическую энергию в 411 000 кгм/сек. Это соответствует непрерывной работе более чем 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 пустом. Но нам нет никакой надобности в такой громадной механической энергии. Для накачивания взрывчатых веществ надо очень немного работы (табл. 24) — от 1 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  $2000-3000^\circ$  Ц. Чем дальше от начала трубы, тем температура текущих и расширяющихся газов ниже. У самого выхода из трубы она может быть ниже нуля и даже, в идеальном случае, доходит до  $-273$ .

Труба должна быть сделана из крепкого, тугоплавкого и хорошо проводящего тепло материала. Тогда накалившая часть трубы будет отдавать свое тепло соседним холодным частям. Но этого недостаточно. Необходимо непрерывное во время взрыва охлаждение нагретых частей трубы. Они могут быть окружены жидким кислородом, который все равно необходим для дыхания, горения в моторах и охлаждения помещения экипажа в ракете. Поэтому образовавшийся от нагревания трубок газ должен быть направлен главным образом в нагревательный мотор. Все-таки некоторая начальная часть трубы будет испорчена во время взрывания, как оно ни кратковременно.

Поэтому накалившая часть трубы должна делаться толще, чем нужно, чтобы противодействовать давлению газов. Оно ослабляется по мере удаления газов от начала трубы, разрежения и охлаждения. Также и толщина стенок трубы тем меньше, 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 получено, 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)\*.

\* Считая вес мотора 1 кг на силу. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

### Органы управления ракеты

Органы управления 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. Ракета должна иметь: 1) горизонтальный руль высоты, 2) руль направления и, наконец, 3) руль боковой устойчивости. Первых два нечего описывать, так как они тождественны с рулями аэропланными. 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 большой скорости 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 в пустоте. Это есть небольшая пластинка перед выходным отверстием трубы, могущая вращаться вокруг оси, параллельной оси трубы или 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 поэтому кроме него придется прибегнуть и к обыкновенным элеронам. Извивы взрывной трубы, если они есть, также должны быть отнесены к органам управления.

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 действия 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. В течение короткого времени взрывания и пребывания в атмосфере они могут служить безукоризненно.

### ПЛАН ЗАВОЕВАНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПРОСТРАНСТВ

#### Общий план

Мы можем достигнуть завоевания солнечной системы очень доступной тактикой. Решим сначала легчайшую задачу: устроить эфирное поселе-



ние поблизости Земли, в качестве ее спутника, на расстоянии 1—2 тыс. 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).

Основательно устроившись тут и 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 и 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, заимствованные от солнечного излучения. Этой энергии сколько угодно, и ловить ее нетрудно в огромном количестве протянутыми далеко от ракеты проводниками или иными неизвестными еще средствами. Можно воспользоваться и давлением света, направив его отражателями по надобности. В самом деле, килограмм вещества, с поверхностью в 1 м<sup>2</sup>, в течение года получает от солнечного света приращение скорости больше 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, «бесплатно» путешествовать по всей 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 и менее км в диаметре), мы получим обилие опорного и строительного материала для космических путешествий и ведения эфирного хозяйства. Отсюда для нас откроется путь не только ко 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 поблизости 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 поблизости 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. Таким образом, 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 уравновешивать силу тяжести, то, наклонив продольную ось снаряда, начинают планировать. Можно еще увеличить скорость, увеличив наклон ракеты вниз, повышая ее при помощи падения. 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 чрезвычайно 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.

Ввиду того что выгоднее всего управляться 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. Притом оно продолжается несколько [десятков] минут, самое большое 2—3 часа. Продукты дыхания должны поглощаться щелочами и другими веществами, о чем знают хорошо химики. Также должны обезвреживаться и все твердые и жидкие выделения человека. О добывании в эфире кислорода и пищи много мною писалось. Дело это несомненной осуществимости.

### Условия жизни в эфире

1. В ракете долго существовать невозможно: запасы кислорода для дыхания и пищи 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 сооб-

щающихся 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 в виде черепицы или крупной чешуи. Если не освещенная Солнцем часть здания покрыта блестящими ставнями, а прозрачная открыта для солнечных лучей, то получается наивысшая температура, достигающая  $150^{\circ}$  Ц. Если же наоборот, непрозрачная покрыта выдвинутым черным слоем, а прозрачная — блестящей, как серебро, поверхностью, то получается низшая температура, достигающая вдали от Земли  $250^{\circ}$  холода. Поблизости же планеты температура не может понизиться более чем на  $100\text{--}150^{\circ}$  ниже нуля, так как Земля согревает. Комбинируя или сочетая в том или другом количественном отношении блестящую чешую (панцырь) с черной, получим любую степень тепла: для взрослых, детей, растений, бань, прачечных, для дезинфекции, промышленных целей и тому подобное.

Вот примерное устройство теплового приспособления, дающего разнообразную температуру, хотя и не крайние 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 же 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 теплоты.

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 своим дыханием 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, который так же изолирован от других небесных тел, как и наша ракета-жилище.

Человеку дает пища 3000 больших калорий в сутки. Столько же дает тепла полкилограмма угля или муки, или 3 кг картофеля, или 2 кг мяса. Квадратный метр поверхности, освещенной нормальными лучами Солнца, в пустоте, на расстоянии Земли (от светила), получает в сутки 43 000 калорий, что соответствует 10 кг муки, или 43 кг картофеля (также банана), или 30 кг мяса.

Значит, теоретически окно в  $1 \text{ м}^2$ , 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  $1 \text{ м}^2$  солнечных лучей при условии утилизации энергии Солнца в  $\frac{1}{14}$ , или 7%. Выходит, что для насущных потребностей одного сильного человека довольно жилища с окном в  $1 \text{ м}^2$  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 неоднобразны.

На первое время можно довольствоваться сожительством (симбиозом) 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. Но ее легко получить слабым вращением жилища или оранжерей. Как для растений, так и для людей она почти не будет заметна: стволы не будут гнуться, и люди будут попрежнему 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 в 1000 раз более земной. На вращение оранжереи 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 необходимой затраты 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 и 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 же может возратить 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 же 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, ураганом, тьмою, жарой и т. п. Нет борьбы с животными и растениями. Для работы вне искусственной среды, т. е. вне жилища, нельзя быть голым. 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 дают не растения, 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 достаточной 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 сдвигаемая, как в жилище. Тогда температуру можно менять по желанию.

Внутри жилищ работы производятся, как на Земле, только гораздо удобнее, так как не связывают 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 за счет своей планеты, тем более что и материалов поблизости Земли, вероятно, никаких нет (можно только захватить составные части разреженной атмосферы, но этого недостаточно). Хорошо, если колонии на первых порах не будут хотя бы 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 получают 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) до  $20^{\circ}\text{C}$  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 несовершенной природой человека и растений необходимо. Воевать за комфорт, знание, совершенствование людей и т. д. неизбежно.

## Развитие в эфире индустрии в самом широком смысле

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 ей 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 могли начаться у водных уже после развития мускулатуры. Борьба эта была трудна, но победа была в конце концов одержана. Также 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.

Эфирное пространство, свободное от разрушительной и ограничительной силы тяжести, особенно благоприятно для развития культуры. 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 во всех шести направлениях — даже до иных солнечных систем.

Здесь можно непосредственной силой Солнца с помощью зеркал и стекол получить огненные очаги любой величины, с температурой от  $273^{\circ}$  холода до  $6000^{\circ}$  тепла. Преобразованием солнечной энергии в механическую, а затем в электрическую можно получить до 20 тысяч градусов 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.

### План работ, начиная с ближайшего времени

Теперь мы поговорим о том, как можно начать работу по завоеванию космоса немедленно, сейчас же. Обыкновенно идут от известного к неизвестному: от швейной иголки к швейной машине, от ножа к мясорубке, от молотильных цепов к молотилке, от коляски 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, бóльшую 200 м/сек, или 720 км/час. Самолет 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 развития и преобразования аэропланного дела для достижения высших целей.

1. Устраивается ракетный самолет с крыльями и обыкновенными органами управления. Но бензиновый мотор заменен взрывной трубой, куда слабосильным двигателем накачиваются взрывчатые вещества. Воздушного винта нет. Есть запас взрывчатых материалов и остается помещение для пилота, закрытое чем-нибудь прозрачным для защиты от встречного ветра, так как скорость такого аппарата больше аэропланной. Этот прибор от реактивного действия взрывания покатится на полозьях по смазанным рельсам (ввиду небольшой скорости могут остаться и колеса). Затем поднимется на воздух, достигнет максимума скорости, потеряет весь запас взрывчатых веществ и, облегченный, начнет планировать, как обыкновенный или безмоторный аэроплан, чтобы безопасно спуститься на сушу.

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. 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 спуск, для безопасности его, можно делать на воду. Непроницаемость корпуса не даст ракете потонуть.

4. Применяются описанные мною рули, действующие отлично в пустоте и в очень разреженном воздухе, куда залетает ракета. Пускается в ход бескрылый аэроплан, сдвоенный или строенный, надутый кислородом, герметически закрытый, хорошо планирующий. Он требует для поднятия на воздух большой предварительной скорости и, стало быть, усовершенствования приспособлений для разбега. 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. Полетав там, насколько хватает кислорода и пищи, она спирально возвращается на Землю, тормозя себя 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, но все же 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 удобства 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 увеличивается число колоний.

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\*

### ОПИСАНИЕ ПОСТАНОВКИ ОПЫТА

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.

Фиг. 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. Справа бензиновый мотор для выкачивания и накачивания жидкого воздуха, кислорода или его эндогенных 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.

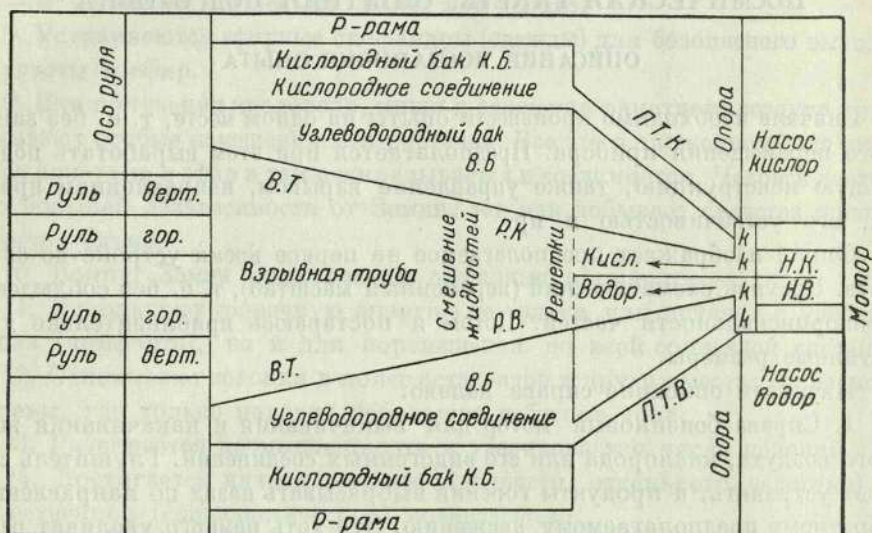
2. Н. К. и Н. В. — два насоса, приводимые в движение одним двигателем. Первый накачивает во взрывную трубу кислородные соединения, другой — водородные. Объемы их должны соответствовать полному соединению взрывчатых веществ. Объем кислородного цилиндра, вообще, больше водородного.

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 бензола  $C_6H_6$  и жидкого кислорода  $O_2$ . При сгорании получаются 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 раз. При одинаковых приблизительно плотностях

\* Впервые напечатана в виде брошюры «Космическая ракета. Опытная подготовка». Изд. автора, Калуга, 1927. См. «Приложение», п. 33. (Ред.).

и объем кислорода будет втрое больше, чем бензола. Если взять соединения, которые содержат больше водорода, например ожиженный этилен  $C_2H_4$  или скипидар  $C_{10}H_{16}$ , то отношение будет больше, но оно мало изменится. Так, для маслянистого 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 может увеличиться в 5 раз, и отношение объемов цилиндров дойдет до 15. Но часть азота обыкновенно удаляется



Фиг. 1.

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, последнее 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  $2^{3/4}$  раза больше, чем угля. Если же последний плотен, как алмаз, то кислорода по объему потребуется даже меньше, чем углерода.

3. кк, кк — 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 поэтому портиться от нагревания не могут. Кроме того, кислородная смесь очень холодна, а водородное соединение охлаждено сильно ею же, почему жар взрыва уже не вредит насосам и клапанам. Клапаны, ведущие во взрывную трубу, захлопываются с ужасною силою

в момент взрыва. Только тогда, когда уменьшится давление в трубе и продукты взрыва частью улетят, частью разредаются, клапаны смогут открыться, и поршни будут двигаться, 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 подачи. Если, например, придется число оборотов уменьшить в пять раз, чтобы мотор экономно работал, то передача должна этого достигнуть. Но того же можно достигнуть, уменьшив объем каждого насоса в пять раз или же ход поршней во столько же раз. Первое выгоднее. Тогда переменная передача или переменный ход поршней могут понадобиться только в будущем для изменения силы взрывания.

4. П. Т. К. и П. Т. В. — трубопроводы 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. — решетки с косыми дырами для лучшего смешения углеводорода с кислородной смесью. Начало взрывной трубы перегородено 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 приходит 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 перегородок — 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 изменяется 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 негоряемого; 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 тепло от страшного нагревания трубы вблизи решеток будет быстрее уноситься наружной трубой в обе стороны и будет полезно обеим сторонам трубы: справа будут подогреваться холодные, еще несмешанные жидкости, а слева — расширяющиеся и охлаждающиеся от этого потоки газов. Нагревание прибавит им скорости, что и нужно. Кроме того, труба охлаждается еще и жидкостями. Нефть (водородное соединение) охлаждает трубу и сама охлаждается смесью жидкого кислорода.

Результаты опыта заставят 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 с жидким кислородом, окружающий водородный бак и охлаждающий его. 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 ней возможно при волнистых стенках бака.

8. Руль верт., Руль гор.— рули; они находятся против выходного отверстия взрывной трубы. Так как будущий аппарат летит то в воздухе, то в пустоте и опускается на Землю планированием (после того как израсходует весь взрывной материал, или после того, как с намерением прекратит взрывы), то рули должны действовать одинаково хорошо как в воздухе, так и в пустоте, так же как и при неподвижности привязанного аппарата на время первых опытов. Перед опытами прибор должен висеть на тросе, прикрепленном 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 снаружи) 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 задний трос 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 плоскости 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, например, снаряду точное горизонтальное положение. Боковая устойчивость создается 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 как в пустоте при взрыве, так и при стремительном движении снаряда в воздухе по инерции, когда он возвращается на Землю планированием.

9,10. Рама Р и Опора — переключатель на раме. Взрывная труба в ее узком начале должна быть особенно массивна. Тут у нее есть выдающаяся часть, которая и опирается на переключатель рамы. Опора выдерживает на себе частый ряд могучих толчков, сливающихся в одно сильное давление, которое должны выдерживать переключатель и рама. Поэтому число свободных вибраций переключателя не должно быть кратным числу оборотов мотора, или числу взрывов. В противном случае раскочерится 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 многочисленных опытов мы можем добиться экономичности, крепости и легкости всего аппарата. Крепость достигается прочностью материала и другими его качествами, его формой (или устройством), хорошим охлаждением, обширностью взрывной части трубы (взрывная полость поблизости решеток) и уменьшением порции взрывных веществ и их силы. Взрывную полость нужно сокращать понемногу, понемногу же увеличивать и разовую порцию накачиваемых веществ.

#### РАЗМЕРЫ НАСОСОВ И ТРУБЫ СОПЛА. КОЛИЧЕСТВО ГОРЮЧЕГО, СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ И К. П. Д.

Полагая 1 т на весь снаряд, на запасы взрывчатых материалов и вес управителя, практические результаты, т. е. возможность полета, получим уже при расходовании в секунду 0,3 кг взрывчатых веществ\*.

Работа накачивания будет менее метрической силы. Отсюда видно, что на мотор выходит горючего в несколько сотен раз меньше, чем на взрывную трубу, и потому реактивное действие двигателя (выброска газов назад) почти незаметно по сравнению с трубой.

Расчеты сделаем не на 0,3 кг, а на 1 кг. Узнаем в таком случае объем двух насосных цилиндров (вместе), предполагая плотность взрывающихся веществ, равную единице, что не очень далеко от истины.

Если мотор делает 25 об/сек, то каждый оборот должен давать 40 см<sup>3</sup>. Значит, оба насоса вместе имеют объем куба с ребром в 3,4 см. Насосы, очевидно, крохотные. Но благоразумнее начать с меньшего количества

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами», 1926 г., наст. том, стр. 77 и 82. (Ред.).

взрывных веществ, например с 0,1 кг. Объем этого количества 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 смешении и малой 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 (кривошипина). Однако это настолько краткий момент, что на насос почти не оказывает влияния. В этот момент газы вырываются, давление в трубе и на клапаны ослабляется, и насос работает нормально.

Трудно теоретически определить наиболее выгодный диаметр начала взрывной трубы, но он не может быть меньше примерного размера насосов, т. е. диаметр трубы не будет менее 2—5 см. Значит, площадь — от 4 до 16 см<sup>2</sup>. 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 стенок трубы. 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 смешение 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 дает более равномерное давление. Тогда использование массивности трубы будет больше, так как среднее реактивное давление пропорционально увеличится. Работа же мотора возрастет не сильно, так как накачивание 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 к первым скромным числам. Скорость движения струи в насосах, при площади сечения от 2 до 8 см<sup>2</sup>, будет от 50 до 125 см/сек (объем насосов от 4 до 40 см<sup>3</sup>). Число оборотов мотора 25 в секунду.

При выходе из трубы газы не могут иметь менее 1 ат давления. Если положить разрежение в 1300, то абсолютная температура выходящих из взрывной трубы газов будут 625°, или 352° Ц\*. 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. 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 низка, 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. Из этого видно, что со временем, поднявшись в разреженные слои 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) 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 возможнее.

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.

\* См. статью «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

\*\* Там же. (Ред.).

Все же по мере увеличения ракетной скорости силу взрывания в пустоте можно ослаблять почти до нуля.

Давление газов (на  $1 \text{ см}^2$ ) с удалением от начала трубы быстро падает вследствие их разрежения и происходящего оттого охлаждения. Распределение плотностей и температур в трубе подобно такому же распределению их в отвесном столбе атмосферы, хотя полной тождественности и нет. Действительно, хотя газы в 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 ( $3000-4000^\circ \text{Ц}$ ). 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 неприменим, так как толщина стенок составляет значительную часть диаметра трубы. Зато при нашем расчете на достаточную поперечную прочность продольная прочность окажется избыточной (т. е. гораздо большей, чем нужно).

Произведем же расчеты.

$$\delta = R - r. \quad (1)$$

Здесь даны толщина стенок трубы и радиусы ее — наружный и внутренний.

Далее

$$q = 2(R - r) \frac{K_z}{S}. \quad (2)$$

Тут показаны: сопротивление материала трубы на протяжении единицы ее длины, коэффициент сопротивления металла и желаемый запас прочности. Давление газов на том же протяжении будет

$$q_1 = 10^3 p 2r, \quad (3)$$

где  $p$  есть давление в ат. Приравнивая это давление сопротивлению, из (1), (2) и (3) получим

$$\frac{R - r}{r} = \frac{\delta}{r} = 10^3 \cdot p \cdot \frac{S}{K_z}. \quad (4)$$

Положим тут  $p = 3000$ ;  $S = 6$ ;  $K_z = 60 \text{ кг/мм}^2 = 6 \cdot 10 \text{ гсм}^2$ . Теперь найдем  $\delta : r = 3$ . Значит, толщина стенок будет в три раза больше 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  $\frac{3}{4}$  радиуса или  $\frac{3}{8}$  диаметра.

Вес трубы будет

$$G = \pi(R^2 - r^2) \cdot \gamma \cdot 100. \quad (5)$$

Это на протяжении 100 см; тут  $\gamma$  есть плотность материала. Мы принимали  $2R$  от 2 до 4 см.

Из (5) и (4) найдем

$$G = \pi p \gamma r^2 \left( 10^3 \cdot p \cdot \frac{S}{K_z} + 2 \right) 10^5 \cdot \frac{S}{K_z}. \quad (6)$$

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 значения от 37,7 до 150,7 кг. А для очень крепкого материала и при 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 составляет  $\frac{3}{8}$  внутреннего радиуса.

Что же выходит? Наибольший вес трубы не превышает 151 кг — и это при трате 1 кг взрывчатых веществ в секунду. 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 прочее положим 140 кг; всего будет около 300 кг. На взрывчатые вещества останется 700 кг, т. е. [примерно] 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 ч. 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 явлений диссоциации. Холодная жидкость, входя в отделение взрывной трубы, весьма полезна для ее охлаждения. Жидкий воздух очень дешев и будет, вероятно, еще дешевле.

Плотность его близка к единице, теплота испарения ничтожна (65), температура —  $194^{\circ}$  Ц, теплоемкость невелика. Нагревая и испаряя воздух, мы теряем немного 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 подогревать, так как при обыкновенной температуре он тверд. Не рекомендуют ли нам известные 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 —  $182^{\circ}$  Ц. Жидкий кислород из воздуха почти чист.

### ВОДОРОДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Жидкий водород вообще неприменим, в особенности на первое время. Причины: дороговизна, низкая температура, теплота испарения, трудность хранения. Практичнее употребить углеводороды с возможно большим относительным количеством водорода. Энергия их горения почти такая же, как разделенных водорода и углерода. Продукты горения паробразны или газообразны. Только примесь углерода повышает температуру горения вследствие его большей трудности диссоциации.

Но углеводороды с наибольшим процентом содержания водорода газообразны, как, например, метан  $CH_4$ , или болотный газ. Обращается он в жидкость трудно и на первое время неприменим, хотя в нем водорода только в три раза (по весу) меньше, чем углерода. Лучше подходит 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  $C_nH_{2n+2}$  водород составляет не менее  $1/6$  доли (по весу) и не более  $1/3$ . Повторяем, что все углеводороды в отношении химической энергии могут считаться, приблизительно, за смесь водорода с углеродом. Плотность их большей 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 до 4 км/сек.\* Это — при кислороде, содержащем немного азота.

---

\* См. «Исследование мировых пространств реактивными приборами», прим. 48.—  
Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского». М., ОНТИ,  
1934.

## ТЕМПЕРАТУРА СГОРАНИЯ; ОХЛАЖДЕНИЕ РАСТРУБА РАКЕТЫ И ТЕМПЕРАТУРА ГАЗОВ В РАСТРУБЕ

Для начала чем ниже будет температура, тем лучше, так как легче найти материалы для взрывной трубы. Примесь азота к кислороду поэтому полезна. Низкая температура жидкого воздуха и охлажденной им нефти также полезна, хотя это охлаждение заставляет нас терять энергию. Но водород \* нефти температуру горения повышает. 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 1 г гремучего газа. Отсюда видно, что существуют практические источники энергии, в десятки раз более энергичные, чем самые могучие из известных (как гремучий газ, окислы кальция и другие).

В общем, если бы не было искусственного и естественного охлаждения трубы, высшая температура ее могла бы достигать  $3000^\circ$  Ц. Но газы после смешения, взрывания и достижения высшей температуры устремляются к выходу, все более и более расширяясь и оттого 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 температура понизится до  $300-600^\circ$  Ц. Средняя температура 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 перегороденную ее начальную часть проникают непривной 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.

\* Циолковский ошибочно принял, что температура горения углерода выше, чем водорода; также, что диссоциация углерода меньше, чем у водорода. Слово «углерод» мною заменено словом «водород» и выпущен абзац. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

соединению его с кислородом или другими веществами) в начале трубы мешают низкая температура жидкостей и холодные стенки трубы. Перегородка тут препятствует химическому процессу, а значит, и выделению (рождению) тепла. Уже за перегородкой происходят смешение и горение. Тут температура достигает максимума. Но кислород быстро поглощается водородом и углеродом, не имея возможности сильно действовать на охлажденный металл трубы и соединяться с ним химически. При избытке водорода смесь даже обладает восстанавливающей силой, т. е. раскисляет металл. Сравнительно низкая температура стенок трубы даже мешает их расплавлению. Не мешает применить перемешивание нефти.

Безопасность взрывной трубы можно видеть из техники сваривания железа ацетиленокислородным 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 хорошей теплопроводностью, также малым химическим сродством с кислородом и другими элементами, входящими в состав взрывчатых веществ.

Многие тела имеют высокую температуру плавления. Например, вольфрам плавится при  $3200^\circ C$ . Но такие металлы 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  $1700^\circ C$ , стали — меньше (около  $1200-1300^\circ$ ). А нам ее как раз и придется употребить ввиду ее крепости. Для повышения крепости можно сплавлять ее с вольфрамом, хромом, никелем, марганцем, кобальтом и т. д. Тут нужны указания специалистов.

Полезно было бы покрыть стальную трубу слоем хорошо проводящего тепло металла, вроде красной меди, алюминия и других (для лучшего охлаждения трубы). Но эти вещества обыкновенно или легкоплавки или непрочны. Поэтому такой прием неэкономичен в отношении веса. Разве металлурги укажут нам подходящий для того материал. До тех же 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 тогда беда была бы не очень значительна. Ведь толщина ее стенок тут как раз наибольшая.

## РАБОТА ВСЕЙ МАШИНЫ

Рассмотрим работу всей машины, чтобы лучше судить о необходимых качествах разных материалов, ее составляющих.

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 перегороденное начало трубы. Начнутся взрывы (соответственно, ряд холостых выстрелов). Часть трубы за перегородкой накалится, и тепло будет распространяться по трубе в обе стороны, значит, и на отгороженную 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. Смешение этим облегчится, так что, может быть, решетки и не понадобятся. Но начало взрывной трубы, клапаны и насосы будут иметь невысокую температуру и потому пострадать никак не могут. На них пойдут обыкновенные материалы.

Каждый ход 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° Ц. Во всяком случае ее легко вынесут металлические рули. В пустоте же температура окажется совсем низкой в зависимости от расширения трубы и длины ее. Частые взрывы (до 25 в секунду) сливаются в один и дают тягу (ряд отдач), или движение аппарата.

Успех опытов на месте (на станке) состоит 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 быстроте расходования продуктов взрыва и их качеству.

4. Для этого сгорание должно быть как можно совершеннее.

5. Также температура оставляющих трубу газов должна быть 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 возрасти. 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 отсутствии взрывания.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ

Все опыты надо производить продуманно и с крайней осторожностью. Запас элементов взрыва сначала должен быть очень небольшой: примерно для десятка ходов поршня, т. е. для десяти холостых выстрелов. Насосы можно взять наименьших размеров или ход их поршней сократить и приводить 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 утоньшением стенок к выходному отверстию; далее — конической, с быстрым утоньшением 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. 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, вроде дюаровских. Впрочем, взрывание так недолго в космической ракете, что эти предосторожности излишни, так как потери и при обыкновенных баках незначительны.

Учащая число взрывов и 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 — 1927 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 дает нам техническое решение вопроса. Длинный путь экспериментального труда неизбежен. Пока же могут быть даны только малозначущие схемы и приводимые тут указания, основанные на многочисленных формулах и вычислениях.

Самое название ракета уже показывает основу космического корабля. Сила непрерывного взрывания ракеты гораздо слабее орудийных выстрелов. Она производит сзади давление на прибор и дает ему ускорение. Последнее рождает прибавочную кажущуюся тяжесть. Как и ускорение, прибавочная тяжесть может быть невелика. Величина ее близка к земной. Так как полет почти горизонтален, то прибавочная тяжесть увеличивает нормальную не более чем раза в полтора (при опорном движении в воздухе).

Большое ускорение ракеты выгодно в отношении экономии взрывчатых веществ. Но, с другой стороны, это невыгодно, так как увеличивает давление на прибор и человека. Усиленная тяжесть требует большой прочности снаряда или большой 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 более 20 м, плотность 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 велик ни был. Поэтому в жидкой среде существо может выдержать огромное ускорение. Только неравномерность плотности

---

\* Напечатано впервые в Сборнике ЦС Осоавиахима. М., ОНТИ, 1936, стр. 7—12. Автором датировано 1908—1927 гг. См. «Приложение», п. 37. (Ред.).

разных частей его тела (кости, кровь) ограничивает безопасную величину ускорения ракеты и возбуждаемую им тяжесть\*.

Одним словом, если ускорение наиболее выгодное, то оно должно быть близко к земному, т. е. приблизительно  $10 \text{ м/сек}^2$ . 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 от этого 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 энергии на преодоление сопротивления воздуха уменьшается при малой 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 (сопла) газов: чем она больше, тем и окончательная скорость ракеты значительнее. Газы получают, 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, и мы имели бы бесконечной длины сопло, 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  $1\text{--}2 \text{ км}$ . Эта малая скорость зависит от четырех причин: орудие недостаточно длинно, атмосфера препятствует 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

\* По современным воззрениям, именно неравномерная плотность человеческого тела исключает применение указанного метода предохранения от влияния ускорений к живым существам. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

\*\* Это справедливо только для космической ракеты. В стратосферной ракете сопротивление атмосферы играет очень большую роль. — *То же*.

\*\*\* Здесь под ракетой следует понимать ракету с крыльями, совершающую полет в атмосфере, аналогично самолету. *То же*.

как тогда реактивное давление газов на ракету будет направлено в разные стороны, и движение ее не получится или будет очень слабо. Труба направляет потоки газов в одну сторону, и только при выходе из жерла газы расширяются во все стороны и потому бесполезны для ракеты. Ясно, что труба должна иметь огромную длину.

Однако длинная цилиндрическая труба может быть заменена очень короткой конической (соплом), с углом раствора не более  $30^\circ$ . Это сокращает длину трубы во много раз при отличном использовании тепла.

Большую часть времени взрывная ракета мчится в разреженном воздухе или пустоте. Взрывающиеся материалы смешиваются в трубе и могут быть выбраны с наибольшей теплотой горения. Наконец, ракета не нуждается в ядре: она выбрасывает только газы. Вот почему ракета выбрасывает их в пустоте со скоростью 4—5 км/сек. Движение ракеты может начаться с высоких гор, что сократит ее путь в полном еще слое атмосферы; внешней силой ей до начала взрывания можно дать на тех же горах значительную начальную скорость.

Докажем, что ракета может приобрести любую скорость.

Вообразим, для простоты выводов, что тяжесть отсутствует. Обозначим 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 две 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 скорость 10 км/сек. 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 и 25 км/сек, и т. д.; очевидно, величина скорости не ограничена. 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 горючего для 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 взрыва по мере надобности, т. е. понемногу, например по 100—200—1000 г/сек. Сами по себе элементы взрыва, изолированные друг от друга, взорваться не могут. 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.

Ракета входит в разреженные слои воздуха, затем попадает в безвоздушное пространство. При наклоне ее пути к горизонту в  $12^\circ$  и ускорении в  $10 \text{ м/сек}^2$  получим приблизительно, что уже через 200 сек ракета попадет в слой воздуха, в три раза менее плотный, чем внизу (между тем как истраченная энергия взрыва составляет примерно 20% полной). Через 300 сек. ракета почти избавляется от сопротивления атмосферы, ибо тут воздух разрежается раз в 14. 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 в пустоте, теряя скорость только от притяжения Земли или других небесных тел. Но они остановить ее уже не могут.

После прекращения взрыва ракета и все в ней находящееся как бы теряет 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 может повредить организму: или по своей малости, или благодаря предохранительным средствам — ванны. Но не может ли повредить отсутствие тяжести? Действие тяжести выражается в увеличенном давлении столба крови и отягчении внутренних органов. Очевидно, отсутствие этого отягчения и давления так же безопасно, как лежанье или купанье. Тут тоже тяжесть как бы унич-

---

\* В осуществленных конструкциях ракет отношение веса топлива к весу конструкции ракет меньше 10. (Ред.).

тожается. 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 так же вредно сказаться на человеке, 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 возратить 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. 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.

Человечество со временем заселит околосолнечное пространство. Но это произойдет не сразу, а путем труда и многих жертв. Полная солнечная энергия в 2 млрд. раз больше части ее, 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 (опыты фирмы Опшеля близ Франкфурта-на-Майне). Они научат нас выгодно взрыванию и управлению одним рулем. Только и всего. К автомобильному же делу реактивные приборы неприменимы, 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.

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 неэкономичен.

4. Такого же аэроплана с кабиной, не выпускающей кислорода, и со снарядами, дающими возможность человеку дышать в изолированной кабине.

5. Взлеты на высоту свыше 12 км и даже за пределы атмосферы с последующим планированием и спуском на Землю без применения 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  $10 \text{ м}^2$  на расстоянии Земли получает от действия света в течение года прибавку скорости  $2 \text{ км/сек}$ . Но где нет тяжести, там зеркала помогут еще больше при той же массе. Таким образом, 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 — предвидеть трудно.

## НОВЫЙ АЭРОПЛАН \*

### НОВЫЙ ТИП АЭРОПЛАНА

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. фиг. 1).

Площадь пластинки не менее  $400 \text{ м}^2$  ( $20 \times 20$ ). Спереди и сзади, на каждом остром конце, помещен воздушный (гребной) винт. Диаметр винта не менее 1 м, число их не менее 10—20.

По бокам, сзади, 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).

2. При взлете с воды аэроплан надо поставить 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 непроницаемости его оболочки может быть произведен и непосредственно на воду (т. е. без поплавок). Так же производится и взлет с аэродрома, но вместо поплавок будет уже колесное шасси, которое также оставляется на суше при поднятии аэроплана на воздух. Но для спуска и здесь требуется обширная водная поверхность. 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. Преимущества могут быть выяснены только путем вычислений. Однако уже теперь можно привести перечень наиболее очевидных выгод.

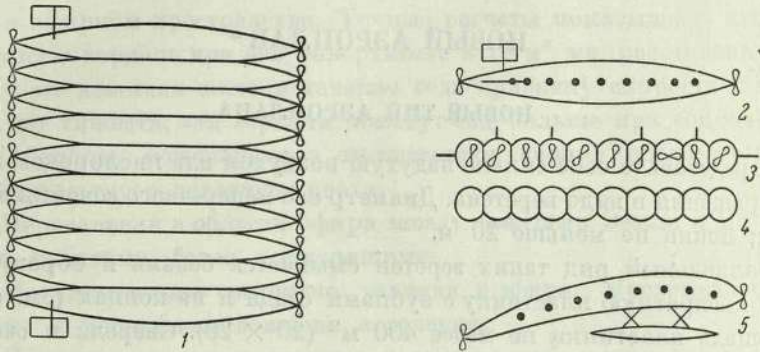
4. Вследствие непроницаемости для воздуха оболочки получается постоянное внутри самолета давление и, следовательно, безопасный полет в разреженных слоях атмосферы. В этом случае приходится накачивать

\*Впервые напечатано в Калуге в 1929 г. брошюрой 40 стр. Изд. автора. См. «Приложение», п. 40. (Ред.).

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 обуславливается внутренним сверхдавлением, а потому получается и наименьший его вес.

6. Наименьший вес и наибольшая прочность еще достигаются и от равномерного распределения людей и грузов.



Фиг. 1.

7. Малое сопротивление воздуха вследствие отсутствия корпуса, стоек колес, поплавков, крыльев, расчалок, подкосов и т. д., — а поэтому и большая скорость.

7<sub>1</sub>. По той же причине — экономия веса.

8. Простая конструкция, — а потому дешевизна всего сооружения.

9. Возможность строить большие грузоподъемные самолеты на 100 и более пассажиров.

10. Удобное распределение многих воздушных винтов и моторов, отчего является полная безопасность. Одновременная порча или остановка даже пяти моторов совершенно безопасна и почти не замедляет полет. Допустимость винтов небольшого диаметра и большого числа оборотов мотора с увеличением их энергии.

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.

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 неослабной работы двигателей в разреженном воздухе и сейчас употребляется, если самолет предназначен для высотных полетов.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА И ДРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК

17. Приступим к расчетам. Предупреждаю, что все они приближительны.

Основные единицы, где не сказано: секунда, метр и его производные — тонна, тоннометр и т. д., подразумеваются сами собой.

Вообразим себе отсек между двумя поперечными параллельными сечениями одного веретена на расстоянии 1 м. Мы примем его круглым цилиндрическим с диаметром  $D$  (среднее сечение).

18. Окружность  $U$  этого сечения, также и поверхность  $F$ , будет

$$U = F = \pi D.$$

19. Вес оболочки  $G_1$  выразится

$$G_1 = \pi D \delta \gamma,$$

где  $\delta$  и  $\gamma$  — толщина оболочки и удельный вес ее материала.

20. Площадь ее горизонтальной проекции  $F_h = D$ .

21. Нагрузку  $q_1$  одной оболочки на единицу площади проекции найдем из (19) и (20)

$$q_1 = G_1 : F_h = \pi \delta \gamma.$$

22. Но эта нагрузка неполная. Это только нагрузка от веса оболочки. Она еще увеличивается от веса моторов и органов управления  $q_2$ , горючего с баками  $q_3$ , людей и грузов  $q_4$  и запасная  $q_5$ . Таким образом, 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)

$$q = 5q_1 = 5\pi\delta\gamma.$$

24. Сопротивление разрыву оболочки  $Q$  должно равняться сверхдавлению  $P$  газа внутри оболочки. Поэтому напишем

$$Q = \delta \cdot 2K_2 : S = P \cdot F_h = PD,$$

где  $K_2$  — временное сопротивление разрыву;  $S$  — запас прочности и  $P$  — 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

$$\delta = PDS : 2K_2$$

и

$$q = 5q_1 = 5\pi\gamma P \frac{DS}{2K_2}.$$

Частные нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  проекции мы приняли в  $\frac{1}{5}$  полной (22).

26. 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, отчего поддерживающая сила (от встречного потока) возросла бы вдвое. Но мы расчет делаем на плоское крыло.

27. Также давление на плоскость  $P_n$  нормального потока мы принимаем по формуле

$$P_n = (c^2 : 2g)d,$$

где  $c$  — скорость потока;  $g$  — ускорение земной тяжести и  $d$  — плотность воздуха. Принятая формула дает давление, раза в полтора меньше, чем на деле. Это тоже невыгодно.

28. Относительно давления на наклонную к потоку плоскость принимаем формулу Лангley, так как она близка к моей и вполне оправдывается моими опытами. По Лангley, 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  $y$  очень мал, и потому мы можем нормальное давление просто помножить на удвоенный  $\sin$  того угла. Погрешность будет незначительна.

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 наклонной к горизонту плоскости в  $1 \text{ м}^2$  будет (26) и (28)

$$P_v = (c^2 : g)d \sin y.$$

Ошибка будет небольшая. Так, при угле в  $10^\circ$  она не более 3%. Она незначительна для плоскости 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

$$c = \sqrt{5\pi \cdot g \cdot \gamma PSD : 2d \sin \cdot y K_2}.$$

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 мала, и тогда вес аэроплана должен быть тоже мал, что практически неосуществимо, — и обратно: он может быть очень велик, что также неосуществимо. Поэтому скорость эта для нас мало интересна. Из формулы видим, что она должна возрастать 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 сопротивление 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  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной проекции.

Я пользуюсь своей работой «Сопротивление воздуха и скорый поезд», 1927 г. Там формула (31) определяет полное сопротивление поверхности эллипсоида вращения. Мы не будем разбирать значение постоянных в этой формуле, а только заменим их числами. Кроме того, полное сопротивление мы разделим на величину горизонтальной проекции. Ее площадь можем положить равной  $l \cdot D \cdot 0,75$ , где выражены диаметр и длина эллипсоида.

32. Тогда вместо формулы (31) этого труда, дающей полное сопротивление, получим сопротивление удельное, т. е. на  $1 \text{ м}^2$  проекции

$$P_{h_1} = d\xi c^2 (A : X^2 + B : XD), \quad (33)$$

где  $A = 0,0212$ ;  $B = 0,00134$ ;  $X$  — продолговатость формы, или отношение длины ее к высоте, а  $\xi$  — особый коэффициент трения [формула (20), «Сопротивление», 1927 г.], зависящий от отношения  $l : c$ . Он определяется вычислением формулы (20) и таблицами той же работы.

34. Определяя  $A$  и  $B$ , мы положили  $\pi = 3,14$ ;  $g = 9,8$ ; коэффициент сопротивления шара  $K_{ш} = 0,4$ ; коэффициент формы  $K_{ф} = 1$ ; коэффициент плоской пластинки  $K_{пл} = 1$ ; коэффициент сужения поверхности к концам  $K_{сш} = 0,75$ ; толщину поверхностного слоя  $T_{шл} = 0,0084$ . Значение этих постоянных достаточно разъяснено в моем труде «Сопротивление воздуха», 1927 г.

35. Для удобства вычислений мы положим еще в формуле (33)

$$A : X^2 + B : X \cdot D = C.$$

Тогда

$$P_{h_1} = d\xi \cdot c^2 C.$$

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 нормального давления на крыло. Она составляет (см. 29):

$$P_{h_2} = P_v \cdot \sin y = (c^2 : g) \cdot d \sin^2 y.$$

37. Теперь, чтобы узнать требуемую от аэроплана работу, умножим сумму всех горизонтальных сопротивлений (34 и 35) на скорость движения. Но благодаря применению пропеллера работа аэроплана будет более идеальной в  $a$  раз.

38. Итак, получим секундную работу аэроплана (из 35, 36 и 37):

$$(P_{h_1} + P_{h_2}) ac = adc^3 (\xi \cdot C + \sin^2 y : g) = L_1.$$

Последняя буква означает величину удельной мощности мотора, т. е. его секундную работу, приходящуюся на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной проекции аэроплана.

39. С другой стороны, мощность  $L_1$  обуславливается величиной подъемной силы: чем больше она, тем больше мы можем уделить массы для двигателей и, следовательно, тем больше будет мощность. В (23) мы допустили, что массы пяти нагрузок одинаковы и равны массе оболочки. Таким образом, вес мотора выразится весом оболочки или пятой долей полной нагрузки (см. 25). Зная же вес моторов, их энергию  $E$  или секундную работу единицы их веса (удельную работу), нетрудно выразить и их мощность. Таким образом, с помощью (25) найдем

$$L_1 = 0,5\pi \cdot E \cdot P \cdot \gamma DS : K_2.$$

40. Основные уравнения следующие: формула (25) выражает полную нагрузку на  $1 \text{ м}^2$  проекции в зависимости от веса оболочки. Формула (29) — то же, но подъемную силу в зависимости от скорости поступательного движения. Формула (38) — удельную мощность, зависящую от скорости горизонтального движения и угла наклона. Формула (39) — тоже мощность на  $1 \text{ м}^2$  проекции в зависимости от веса моторов, который принят равным весу оболочки, или 0,2 полной подъемной силы. Уравнения (32), (33) и (36) вспомогательные. Все семь формул относятся к  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной проекции аэроплана. Без (25) уравнения мы не можем обойтись, так как оболочка, для полетов на высоте, а также ради прочности, должна иметь определенную массивность.

Для горизонтальности полета полная нагрузка  $q$  должна равняться подъемной силе  $P_v$ . Это дает возможность исключить из уравнений (25) и (29) удельную нагрузку или удельную подъемную силу.

Также и удельная мощность  $L_1$  находится в зависимости от лобового сопротивления (38), и она же зависит от удельного веса моторов (39),

что дает нам возможность исключить и удельную мощность  $L_1$ . Таким образом, получим

$$41. \quad 2,5\pi\gamma \cdot PD \frac{S}{K_z} = \frac{c^2}{g} \cdot d \sin y$$

и

$$42. \quad adc^3 \left( \xi \cdot C + \frac{\sin^2 y}{g} \right) = 0,5 \cdot \pi \cdot E \cdot \gamma \cdot PD \frac{S}{K_z}.$$

Исключая из уравнения плотность воздуха  $d$  посредством (41), получим

$$43. \quad c = E \sin y : \left[ 5ag \left( \xi \cdot C + \frac{\sin^2 y}{g} \right) \right].$$

Отсюда видно, что скорость аэроплана пропорциональна удельной энергии его двигателей. Так, если бы вес их при той же мощности уменьшился в 10 раз, то самостоятельная горизонтальная скорость увеличилась бы во столько же раз.

44. Но не забудем, что плотность среды при этом подчиняется уравнению (41). Поэтому имеем

$$d = 2,5 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot PDSg : (K_z \sin y \cdot c^2).$$

Следовательно, эта плотность должна уменьшаться, так 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, 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  $\xi$  само зависит от отношения скорости к длине аэроплана [формула (20) «Сопrotивления»]. Поэтому определение скорости мы даем приблизительное. Впрочем,  $\xi$  мало изменяется. Так, из формулы (20) или из таблиц «Сопrotивления» найдем, полагая длину  $l$  аэроплана в 20 м,

скорость...	100	200	300	400
$\xi$ ...	2,5	3,4	3,7	4,2.

Следовательно, поправки немудрены ввиду приблизительности расчетов.

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 1 кг веса мотора);  $a = 1,5$ ;  $\sin y = 0,1$  ( $6^\circ$  наклона к горизонту);  $g = 10$ ;  $X = 10$ . По этим данным

найдем  $\xi = 2,5$  (см. 45). Предполагая заранее скорость в 100 м/сек,  $C = 0,000088$  и  $c = 109$  м/сек (393 км/час).

Это — первое приближенное значение. Но мы заранее предположили скорость в 100 м/сек, между тем как она оказалась около 109. Поэтому  $\xi$  будет не 2,5 а немного больше, что совершенно незаметно увеличит найденную скорость.

46. Вычислим и соответствующую плотность воздуха по формуле (44). Положим:  $\gamma = 8$ ;  $P = 10$  (сверхдавление в 1 ат);  $D = 2$ ;  $S = 10$ ;  $g = 10$ ;  $K_2 = 10^5$  (100 кг на 1 мм<sup>2</sup> сечения) и  $c = 109$ . Тогда найдем для плотности среды величину немного менее 0,0011. Значит, подниматься придется не выше 2 км.

47. На основании формулы (44) составим таблицу:

Скорости в м/сек . . . . .	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

$$\sin y : (\xi \cdot C + \sin^2 y : g)$$

имеет максимум, причем получается наибольшая скорость. Беря производную, приравнявая ее нулю и определяя из полученного уравнения наклон  $\sin y$ , соответствующий ее максимуму, получим

$$\sin y = \sqrt{\xi C g}.$$

49. Подставляя этот наклон  $\sin y$  в формулу (43), найдем

$$C = \frac{E}{10 \cdot a \sqrt{\xi C \cdot g}} = \frac{E}{10a \cdot \sin y}.$$

50. Положим  $C = 0,000088$ ;  $\xi = 2,5$ ;  $g = 10$ . Теперь из (48) получим

$$\sin y = 0,047 \text{ (угол равен } 2^\circ 40').$$

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  $3^\circ$  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

$$d = 250 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot P D \frac{a^2}{E^2} \cdot \frac{S}{K_2} \cdot \sqrt{\xi \cdot C \cdot g^3}.$$

Отсюда видно, что если бы достигли высшей энергии моторов, то пришлось бы летать в очень разреженных слоях атмосферы, так как по формуле плотность среды должна быстро уменьшаться с возрастанием энергии моторов.

53. Определим  $\sin y$  из уравнения (41). Найдем

$$\sin y = A \cdot D : (c^2 \cdot d),$$

где

$$A = 2,5 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot P \cdot g (S : K_z).$$

54. Теперь, исключая  $\sin y$  из уравнения (42) и решая его относительно плотности среды  $d$ , получим

$$d = \frac{AED}{10 \cdot \xi C a c^2} \cdot \left( 1 \pm \sqrt{1 - \frac{100g \cdot \xi C a^2 c^2}{E^2}} \right).$$

55. Отсюда видно, что

$$c \leq E : (10 \cdot a \sqrt{\xi C g}),$$

т. е. скорость не может быть больше определенной величины. Приняв прежние условия, вычислим

$$c \leq 141,8.$$

Получим ту же максимальную скорость, которую нашли ранее (49).

55<sub>1</sub>. 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, повидимому, не годятся.

55<sub>2</sub>. Необходимая разреженность при этой наибольшей скорости выразится по формуле (54) так:

$$d = AED : (10 \cdot g \cdot \xi C a c^3).$$

Если отсюда исключим 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  $L_1 = 2,5$  тм, или 25 метрических сил на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной проекции. На всю проекцию (20 × 20) получим 10 000 метрических сил.

57. Полную нагрузку видим из формулы (25)

$$g = 5g_1 = 0,125 \text{ т} = 125 \text{ кг}.$$

Каждый род нагрузки (0,2) будет составлять 0,025 т, или 25 кг.

58. На человека, весящего 75 кг, требуется 3 м<sup>2</sup> проекции, т. е. 75 метрических сил. А так как вся проекция составляет около 400 м<sup>2</sup>, то аэроплан может брать 133 чел.

59. Объем, соответствующий  $1 \text{ м}^2$  проекции, будет составлять  $0,75 \cdot 2 = 1,5 \text{ м}^3$ . Следовательно, на одного человека придется около  $4,5 \text{ м}^3$ . Площадь же пола, равная  $3 \text{ м}^2$ , даже будет больше, чем нужно.

61. Полученная нами удельная работа мотора на человека 75 метрических сил чересчур велика и потому убыточна (хотя скорость в  $511 \text{ км/час}$  вполне окупает расходы на энергию). Нельзя ли ее уменьшить? Но для этого прежде надо выразить работу мотора, приходящуюся не на единицу площади горизонтальной проекции, а на единицу подъемной силы и на единицу скорости поступательного движения. Действительно, если мы движемся в 10 раз скорее и поднимаем 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

$$L_1: (c \cdot g) = 2a \sqrt{\xi Cg}.$$

Тут мощность (39) мы 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 тм) на перемещение 1 т аэроплана на 1 м пути. Но на людей идет только пятая часть веса, 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 двух человек, на одного (100 кг) получим 24. Обыкновенно обычный аэроплан на одного человека при скорости в  $40 \text{ м/сек}$  ( $144 \text{ км/час}$ ) тратит 40 метрических сил. На 1 м пути пойдет 1 метрическая сила. У нас же выходит в 4 раза меньше. Но сколько еще экономится времени!

66. Сколько же может пролететь без спуска наш аэроплан при условиях (46)? Мы видим, что скорость при этом составляет  $511 \text{ км/час}$ . Нагрузка полная равна 125 кг, а частная (на моторы, например) — 25 кг (1 м горизонтальной проекции). Соответствующая мощность будет 25 метрических сил (56). На 25 метрических сил пойдет горючего  $0,1 \times 25 = 5 \text{ кг}$ . 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 два раза больше, т. е. прибавится еще 75 кг горючего. Это даст ему возможность пролететь без спуска в 30 час. 15 338 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), которая нисколько не зависит от размеров винта (его диаметра), а только от прочности материала и его распределения в винте. Выгоднее основание винта делать массивнее. Во всяком случае эта окружная скорость не более 500 м/сек, в противном случае ни один материал не выдержит центробежной силы, и винт разлетится от нее вдребезги. Скорость аэроплана при самом наименьшем наклоне ( $45^\circ$ ) лопастей винта к потоку на практике будет не более 250 м/сек, или 900 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 камеру 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 по $^\circ\text{Ц}$ :					
-73	127	527	1327	2927	6127

69. Температура сжатого воздуха доходит до 6 тысяч градусов Ц. Тут тратится огромная работа, которая отчасти выделяется обратно, если, не понижая эту высокую 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  $527^\circ\text{Ц}$ .

70. Для аэроплана и это хорошо, т. е. 3066 км/час. До такого сжатия, однако, на практике еще не доходили, но, может быть, дойдут.

71. Но как быть дальше? Как получить скорости еще большие, 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 трубу и пользоваться отдачей как двигателем.

Но, с одной стороны, крайне неэкономно 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 горючего 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\*.

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 прибора. Так как сначала эта скорость самолета увеличивается, то скорость вырывающегося сзади воздуха тоже должна расти. Когда она достигает 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 уже становится весьма заметна центробежная сила движения аэроплана вокруг 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 углом атаки 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 всякого винта неэкономна в начале движения, когда аэроплан не приобрел еще постоянной скорости. Хорошо, если бы лопасти винта, автоматически или путем управления, могли менять свой угол атаки постепенно, уменьшая его по мере увеличения скорости самолета.

Хотя работа при малом угле атаки лопастей крайне неэкономна, но

\* «Исследование мировых пространств реактивными приборами», наст. том, стр. 195. (Ред.).

другого выхода нет. Однако мы эту конструкцию и малый угол атаки лопастей не рекомендуем.

76. Проще сообщить сразу каким-либо способом значительную скорость аэроплану и потом пустить в дело воздушные насосы, которые с помощью обыкновенных моторов сгущают и накачивают воздух в особую камеру. Из камеры воздух вырывается через особые трубы наружу — за кормовую часть корабля. Вылет газов легко регулировать сообразно полученной скорости аэроплана.

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. Температура же непостоянная 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 менее 500 м/сек. Но если нужна большая скорость выбрасываемого воздуха, то накачивание ускоряется, воздух сильнее сжимается и нагревается, и скорость 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 примерно лишь в 1 ат, что он сначала холоден, но от сжатия сильно нагревается и вырывается с тем большей скоростью, чем это нагревание выше.

78. Моторы могут работать с постоянной силой, и скорость истечения сжатого воздуха может регулироваться заслонками. Чем выпускное отверстие меньше, чем больше в резервуаре будет накапливаться воздуха, тем больше он будет сжат, тем сильнее нагревается 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 повысить, и, кроме того, будет бесплодно тратиться энергия (превращаемая в тепло и рассеиваемая в пространстве).

80. При еще большей скорости аэроплана уже выгодно сжигать топливо непосредственно 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, поэтому использование этой дополнительной энергии будет очень слабо, и, например, в автомобиле, в обычном аэроплане ею не пользуются, а газы выбрасываются без всяких приспособлений в пространство.

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 пойдут 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 навлекать 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 малоприспособным. Поэтому мы предлагаем несколько его типов. Все они грузоподъемны — не менее чем на 133 чел., при размерах не менее 20 м в длину и ширину и не менее 2 м в высоту. Мощность их моторов не ниже 10 000 метрических 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 м<sup>2</sup>, по крайней мере, в два раза больше, чем мы вычислили в формулах (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 увеличение запаса прочности аэроплана (25). Использование может быть и другого порядка.

#### ТИПЫ АЭРОПЛАНОВ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ РАЗНЫХ СКОРОСТЕЙ ПОЛЕТА

Возвратимся, однако, к типам аэропланов.

84. А. Самолет для полета в тропосфере не выше 3—4 км. Сверхдавление в  $\frac{1}{2}$  ат нужно только для придания оболочке крепости и несгибаемости. Двигатели и винты обыкновенного типа, 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 чел. 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 с малым углом атаки. 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 сжатием воздуха ради воздушной реакции. Пользуются и выхлопными газами. Скорость и высота полета 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 земной тяжести. То и другое делают движение снаряда вечным, не требуя расхода энергии.

89. Последних три типа требуют значительной начальной скорости, которая может им быть дана вспомогательными поездами, взбирающимися на горы\*.

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. Они в дальнейшем служат для перехода к звездоплаванию.

91. Нет надобности горизонтальную 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. «Сопротивление», 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%.

\* «Ракетные космические поезда», наст. том, стр. 298—326. (Ред.).

## РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ\*

Реактивными приборами я занимаюсь с 1895 г. И только теперь, в конце 34-летней работы, я пришел к очень простому выводу относительно их системы. Ларчик, как видно, открывался просто: эти двигатели уже давно изобретены и требуют только незначительных дополнений. (Предложенные мною ранее приборы я не отрицаю, но ведь они еще не сделаны и не испытаны.)

Взрывные (внутреннего сгорания или тепловые) моторы в то же время и реактивные. Только реакцией выбрасываемых газов теперь не пользуются: они выбрасываются без всякой пользы в разные стороны и без посредства конических труб.

Причина — разумная: их действие довольно слабо вследствие малого количества сжигаемого горючего. Их действие слабо еще от малой скорости движущих снарядов и от того, что расширению и использованию теплоты выхлопных продуктов горения мешает давление атмосферы.

Все это меняется, если применять аэроплан в разреженных слоях атмосферы, при больших скоростях его поступательного движения и при употреблении конических труб, направленных в одну сторону — назад. Через них будут вырываться выхлопные газы.

Сообразим-ка, насколько велик их отброс. Пусть имеем мотор в 1000 метрических сил (по 100 кгм каждая). Пусть он потребляет на силу в час 0,5 кг горючего. На 1000 сил его пойдет 500 кг. Если горючее — водород, то атмосферного кислорода пойдет в 8 раз больше, т. е. 4000 кило. Но кислород в атмосфере составляет только пятую долю, так что масса потребляемого воздуха составит 20 тысяч кило. Водородом пренебрежем. Более 20 000 выбрасывается в час, а в секунду выкидывается 5,6 кг паров и газов. Это — большое количество. Не только пренебрегать им нельзя, но оно достаточно для получения огромных скоростей.

В моем «Исследовании» 1926 г.\*\* приведена таблица 24 на космическую ракету в одну тонну весом. Эта ракета получает первую космическую скорость в 8 километров в секунду при запасе горючего (вместе с кис-

\* Впервые была напечатана в виде статьи в брошюре «Новый аэроплан». Изд. автора, Калуга, 1929 г. См. «Приложение», п. 40. (Ред.).

\*\* См. работу «Исследование мировых пространств реактивными приборами». (Ред.).

лородом) в 4 т. Одно горючего пойдет от половины до одной тонны (если не брать с собой запасный кислород). Космическая скорость приобретается через 800 секунд, секундное ускорение снаряда 10 м, продуктов горения выбрасывается в секунду 5 кг, т. е. даже менее, чем в нашем моторе.

Правда, благодаря примеси в горении огромного количества азота скорость выбрасываемых продуктов горения не достигает и 3 кило в секунду. Значит скоростей космических мы тут не достигнем, хотя они будут близки к получаемым нами.

Но пойдем дальше. Ракета весит тонну. Может ли она из этой массы иметь мотор в 1000 сил? Теперь моторы делают еще вдвое легче, чем недавно; так что мотор в тысячу сил будет весить только 500 килограмм. Это тем более возможно, что мотор может быть очень несовершенен: он может давать не тысячу сил, а только 200, даже менее, лишь бы он сжигал как можно больше материала. Чем больше он будет сжигать его, тем лучше, потому что нам нужна не столько работа, сколько взрывы и выбрасывание газов.

Обратим еще внимание на то, что мы принимаем запас горючего в четыре тонны. Если же мы сумеем воспользоваться хоть отчасти кислородом воздуха, то достаточно будет взять 1 т горючего. Значит, у нас будет экономия в 3 т. Такая масса может послужить для самых разнообразных целей. Например, для увеличения запаса водородных соединений (и достижения космических скоростей), для увеличения числа пассажиров, улучшения и укрепления оборудования и т. д.

В чем же дело, как совершать полет, как усовершенствовать его и приблизиться к заатмосферному летанию?

Представим себе описанный мною аэроплан возможно меньших размеров. Его двигатели сначала работают очень сильно винтами и меньше — реакцией отбрасываемых газов. По мере же поднятия в высоту и приобретения скорости работа винтов ослабляется, а работа сжигания горючего увеличивается. Это возможно, потому что всякий мотор может работать даже вхолостую, т. е. безрезультатно. Таким образом, работа винта постепенно переходит в реактивную работу. В конце концов винт устраняется или вертится без тяги или совсем останавливается, направив свои лопасти вдоль встречного воздушного потока.

Работою двигателей мы, однако, воспользуемся, во-первых, для накачивания воздуха в моторы, во-вторых, в сильно разреженных слоях воздуха или в пустоте (когда это накачивание возможно) — для нагнетания запасенных элементов взрыва во взрывные трубы и приобретения космических скоростей.

Если имеем 10 моторов, каждый в 10 цилиндров, которые дают по 30 оборотов в секунду, то получим 3000 хлопков в секунду и реактивное давление от одной до 5 т. Это на 100 труб. На каждую придется среднее давление от 10 до 50 кг.

## 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 Крупи в Германии).

Потом, со времени другого моего труда в 1911—1912 гг., работали вообще теоретически и экспериментально (Биркеланд, Годдард). Тогда же высказал свои соображения и Эсно Пельтри.

Но с 1913 г. и у нас заинтересовались вопросами заатмосферного летания, в особенности, когда увидели серьезное отношение к нему Запада.

После издания в очень распространенном журнале («Природа и люди», 1918) моей работы «Вне земли» (отдельное издание в 1920 г.) заинтересовался звездоплаванием Оберт. Его сочинение дало германским ученым и мыслителям изрядный толчок, благодаря которому было выполнено много новых работ. Двое из этих ученых очень усердно (особенно Ладеман) переводили и распространяли мои труды.

Появились ракетные автомобили, глиссеры, сани и даже аэроплан (под управлением Штамера). Все это было очень несовершенно, но производило много шуму и было полезно как в отношении опытов, так и в отношении распространения интереса среди общества, ученых и строителей.

Стали сильнее распространяться эти идеи и в СССР. Выступили: Ветчинкин (лекции), Цандер и Рынин. Последний своими прекрасными работами и обширными сведениями по литературе вопроса без пристрастия особенно способствовал распространению идей звездоплавания.

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, Родных, Венгеров, Кондратюк, Луценко и другие члены этих обществ.

\* Работа впервые была издана в Калуге коллективом Калужской секции научных работников в 1929 г. См. «Приложение», п. 39. (Ред.).



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 подрывают доверие общества.

Звездоплавание нельзя и сравнивать с летанием в воздухе. Последнее — игрушка в сравнении с первым.

Несомненно будет достигнут успех, но вопрос о времени его достижения для меня совершенно неясен.

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 на Земле 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 силою солнечных лучей, а ничего не стоящее передвижение во все стороны, 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».

#### ЧТО ТАКОЕ РАКЕТНЫЙ ПОЕЗД!

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 части, не имея достаточной скорости, возвращаются на Землю.

3. Одиной 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.

4. Мы будем сначала решать задачу в самом простейшем виде. Предполагаем устройство всех ракет совершенно одинаковым; запасы горючего и силу взрывания также. На деле, конечно, должны быть некоторые отклонения. Так, ракеты, двигающиеся по дороге, будут проще, двигающиеся только в атмосфере — не имеют надобности снабжаться приспособлениями для продолжительного существования людей в эфирном пространстве.

#### УСТРОЙСТВО И ДЕЙСТВИЕ ПОЕЗДА

5. Взрыв начинается с передней ракеты, чтобы весь поезд подвергался не сжатию, а натяжению, с которым легче бороться. Кроме того, это способствует и устойчивости поезда во время взрывания. При этом можно составить более длинный поезд, а следовательно, получить и 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 заставляет стремиться нас делать отдельные снаряды возможно короче. Но диаметр ракетного прибора не может быть меньше 1 м. Значит, длина ракетного вагона 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 еще непрерывно усложняться. Мы не имеем цели сейчас входить во все подробности. Тут цель другая: показать выгоды поезда в отношении окончательной скорости в сравнении с одиночным реактивным прибором. Возможно, что маленькая ракета по достижении эфирного пространства будет разворачиваться 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  $7 \text{ м}^2$ , поверхность  $180 \text{ м}^2$ , объем  $105 \text{ м}^3$ . Ракета может вместить 105 т воды. Отсек оболочки в 1 м весит везде одинаково, так как к концам, где диаметр меньше, она толще, именно — 0,15 т. Столько же полагаем на людей, баки, трубы, машины и другие приспособления: всего 0,3 т на 1 м длины. Значит, вся оболочка ракеты будет весить  $4\frac{1}{2}$  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, равной единице) 27 м<sup>3</sup>, т. е. около четвертой доли всего объема ракеты. На людей и машины останется 78 м<sup>3</sup>. Если возьмем 10 человек, то каждому достанется около 8 м<sup>3</sup>. Кислорода в таком объеме 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.

12. Так как всем ракетам может предстоять планирование, даже последней — космической, при ее возвращении на Землю, то каждая ракета снабжается необходимым для этого устройством.

Одиночная надутая оболочка, имеющая, по необходимости, форму точеного на токарном станке тела (тела вращения), планировать будет слабо. Надо соединить, например, три такие поверхности. Надутые воздухом или кислородом примерно до 2 ат, они представляют 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. Рулей две пары. За ними сейчас следуют взрывные трубы. Последние отклонены немного вбок. 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 устранения вращения ракеты. Каждая пара, кроме того, служит 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 со свободно испаряющимся жидким и холодным кислородом.

18. Дело происходит приблизительно так. Поезд, положим, из пяти ракет, скользит по дороге в несколько сот километров длиной, поднимаясь на 4—8 км над уровнем океана\*. Когда передняя ракета почти сожжет свое горючее, она отщепляется от четырех задних, продолжающих двигаться по инерции; передняя же уходит от задних вследствие продолжающегося, хотя и ослабленного, взрывания. Управляющий ею направляет ее в сторону, и она понемногу спускается 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 отщепляется 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.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И ДРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЕЗДА

19. Для одиночной ракеты мы имеем формулу [см. мое «Исследование мировых пространств реактивными приборами», формула (38)] \*\*

$$\frac{c_1}{W} = \ln \left( 1 + \frac{M'_1}{M_0} \right),$$

где дано отношение окончательной скорости ракеты  $c_1$  к скорости отброса  $W$  в зависимости от отношения полной массы отброса  $M'_1$  или горючего к массе ракеты со всем содержимым кроме составных частей взрыва;  $\ln$  — натуральный логарифм.

\* Вопрос о твердой дороге разработан в моем сочинении «Сопrotивление воздуха и скорый поезд», 1927 г.

\*\* См. стр. 88 этого тома. (Ред.).

20. Эту формулу можно применить и к сложной ракете, т. е. к поезду из реактивных приборов;  $c_1$  будет означать прибавочную скорость  $V$  каждого поезда от взрывания вещества в одной ракете. Относительная скорость отброса  $W$  всегда остается одна и та же, что и масса отброса  $M'_1$ . Но масса ракеты  $M_0$  не есть масса одной ракеты, а целого поезда без массы взрывного материала  $M'_1$  передней ракеты, которая действует на весь поезд со всем его еще нетронутым горючим.

21. Поэтому мы должны заменить в формуле (19) массу ракеты  $M_0$  массой поезда  $M_p$  по формуле

$$M_p = (M_0 + M'_1)n - M'_1,$$

где  $n$  — означает число ракет. Очевидно, что это выражение относится не только к полному поезду, состоящему из определенного числа ракет  $n$ , но ко всякому другому частному поезду (после убыли нескольких передних ракет), состоящему только из меньшего их числа  $n'$ .

22. Теперь вместо формулы (19) получим

$$\frac{V}{W} = \ln \left[ 1 + \frac{M'_1}{(M_0 + M'_1)n - M'_1} \right].$$

23. Для первого поезда, состоящего из наибольшего числа  $n_1$  ракет, получим

$$\frac{V_1}{W} = \ln \left[ 1 + \frac{1}{[(M_0 : M'_1) + 1] \cdot n_1 - 1} \right].$$

24. Для второго поезда, в котором одной ракетой меньше, найдем

$$\frac{V_2}{W} = \ln \left[ 1 + \frac{1}{[(M_0 : M'_1) + 1] \cdot (n_1 - 1) - 1} \right].$$

25. Так же и для остальных. Вообще же для поезда порядка  $x$  будет

$$\frac{V_x}{W} = \ln \left[ 1 + \frac{1}{[(M_0 : M'_1) + 1] \cdot (n_1 - x + 1) - 1} \right].$$

26. Например, для последнего поезда  $x = n_1$ . Подставив, получим формулу (19) для одиночной 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 одиночной ракеты считать за первый, предпоследний — за второй, и т. д. Тогда порядковое число будет  $y$ , и мы получим

$$y + x = n_1 + 1.$$

30. Исключая с помощью этого уравнения  $x$  из уравнения (25), получим

$$\frac{V}{W} = \ln \left[ 1 + \frac{1}{[(M_0 : M_1') + 1] \cdot y - 1} \right].$$

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 узнать 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
Относительная прибавочная скорость, если $M_0 : M_1' = 1/3$ :									
1,386	0,470	0,262	0,207	0,166	0,131	0,113	0,100	0,09	0,08
Окончательная относительная 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 четырех 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 можно узнать из второй 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 равна 3,005. Скорости частных поездов этого поезда, по порядку  $x$ , узнаем также из второй строки, складывая ее числа, начиная справа.

33. Истинные скорости можем определить, зная скорость  $V$  и скорость отброса, т. е. скорость 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, если $M_0 : M_1' = 1/3$ 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% ( $W = 3$  км/сек) 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 до астероидов может быть достаточно десятиракетного поезда.

34. Если в формуле (30) масса ракеты  $M_0$  велика в сравнении с массой отброса  $M_1'$ , или частный поезд содержит много ракет, т. е.  $u$  велико, второй член в формуле (30) представит малую правильную дробь  $Z$ .

Тогда можем положить приблизительно

$$\ln(1+Z) = Z - \frac{z^2}{2} + \frac{z^3}{3} - \frac{z^4}{4}.$$

Чем меньше дробь  $Z$ , тем меньше можем брать членов.

35. Положим, например, как раньше,

$$M_0 : M_1' = 1/3 \text{ и } y = 6.$$

Первое приближение по (34) даст  $1/7$ , или 0,143. Это немного больше, чем по табл. 31 (0,131). Второе приближение будет 0,133, что еще ближе к истине. Если возьмем девятикаретный 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

$$\frac{V_y}{W} = Z = 1 : \left[ \left( \frac{M_0}{M_1'} + 1 \right) \cdot y - 1 \right].$$

37. Сумму прибавочных скоростей поездов далее 11-го с конца можем узнать приблизительно интегрированием выражения (36). Получим

$$\frac{M_1'}{M_0 + M_1'} \cdot \ln \left[ \left( \frac{M_0}{M_1'} + 1 \right) \cdot y - 1 \right] + \text{const.}$$

Если  $\text{const} = 10$ , то сумма прибавочных скоростей равна нулю. Следовательно,

$$\text{const} = - \frac{M_1'}{M_0 + M_1'} \cdot \ln \left[ \left( \frac{M_0}{M_1'} + 1 \right) \cdot 10 - 1 \right].$$

Значит, для суммы прибавочных скоростей получим

$$\frac{M_1'}{M_0 + M_1'} \cdot \ln \left[ \frac{\left( \frac{M_0}{M_1'} + 1 \right) \cdot y - 1}{\left( \frac{M_0}{M_1'} + 1 \right) \cdot 10 - 1} \right].$$

38. Полагая тут  $y = 11$  (одиннадцатый поезд, т. е. прибавку одной ракеты к десяти), найдем относительную прибавочную скорость в 0,077 (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 абсолютная прибавка 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, 100 поездов дадут 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 100 ракет в поезде можем суммированную прибавоч-



ную скорость выразить формулой (из 37)

$$\frac{M'_1}{M_0 + M'_1} \cdot \ln\left(\frac{y}{10}\right).$$

40. Например, для 1000 поездов наибольшая относительная скорость будет 3,454. Если  $W = 4$ , то абсолютная прибавка от 990 ракет равна 13,82, а всего от 1000 ракет получим 25,82 км/сек.

41. Представим себе сначала горизонтальное движение всех 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 одиночной 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 четыре 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/сек<sup>2</sup>. Такое же ускорение в 1 секунду Земля сообщает свободно падающим предметам. Ясно, что подобное ускорение будет в последнем поезде, состоящем из одной 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/сек<sup>2</sup>.

44. Масса поездов из двух и более ракет мало изменяется, и потому силу взрывания здесь можем принять постоянной, а ускорение 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 натяжение 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 любого числа ракет будет иметь такое же натяжение, как и состоящий из одной ракеты.

46. Если натяжение удлиненного поезда и будет 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 (тангенс 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 (табл. 49).

Очень удобно допустить, что взрывная часть в каждой ракете устроена 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 800 м/сек, то там, вне атмосферы, давлением света или другим способом уже легко будет удаляться от Земли и путешествовать в пределах солнечной системы и даже далее.

49. Поезд в 5 ракет.

Норма поездов в хронологическом порядке					
(1)	1	2	3	4	5
Число ракет в каждом поезде					
(2)	5	4	3	2	1
Среднее ускорение в м/сек <sup>2</sup>					
(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
Абсолютная скорость каждого поезда, если прибавочную скорость последней ракеты принять в 5520 м/сек*					
(6)	1104	2484	4322	7082	12602
(7)	Время взрывания в секундах равно $1104 : 2 = 552 = 5520 : 10 = 552$ . Оно одно и то же для всех ракет				

\* См. «Исследование мировых пространств реактивными приборами», 1926 г., наст. том, стр. 203—205. (Ред.)

Средняя скорость каждого поезда в м/сек

(8)	552	1242	2161	3541	6301
-----	-----	------	------	------	------

Весь пройденный каждым поездом путь в 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 каждого 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
------	------	-----	------	------	-------

Окончательная скорость при 50% использовании взрывных веществ, когда скорость одиночной ракеты равна 3900 м/сек

(13)	780	1755	3054	4992	8892
------	-----	------	------	------	------

Длина поездов в м

(14)	150	120	90	60	30
------	-----	-----	----	----	----

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 нехватает, чтобы носиться вне атмосферы, вокруг 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. Для пяти поездов это составит 46 мин. времени. Значит, менее чем в час все будет закончено, и последняя ракета делается блуждающим телом.

Запас взрывных веществ у нас втрое более веса ракеты с остальным содержимым и потому равен 27 т. Следовательно, в секунду должно взрываться 48,9 кг. Равномерность действия требует большого числа взрывных труб. Если в каждой ракете их будет 40, а мотор дает в секунду 30 оборотов, или 30 накачиваний (порций), то каждая порция составит 0,041 кг, или 41 г. С чем сравнится эта канонада? 1200 холостых выстрелов

в секунду, в 41 г сильного взрывчатого вещества каждый. И она продолжается последовательно и непрерывно во всех ракетах в течение 46 мин.

52. Мы приняли размеры поперечника ракеты в 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 окончив еще взрывания, улетает уже за пределы атмосферы. Это — когда наибольший тангенс угла подъема (у последнего поезда) равен 0,1, а соответствующий угол с горизонтом  $6^\circ$ . Для первого поезда он немного более  $1^\circ$ , для второго —  $2^\circ$ , 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, намного 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 втрое 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 достаточна ли прочность одиночной ракеты?

Площадь сечения оболочки ракеты везде одинакова и равна (при толщине в 2 мм)  $18\,000\text{ м}^2$ . Сопротивление разрыву при шестикратном запасе прочности будет не менее 180 т. Ракета со всем содержимым (и горючим) имеет массу в 36 т. Ускорение в  $10\text{ м/сек}^2$  в связи с обыкновенной тяжестью создает 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 одиночной ракеты наклон наибольший и увеличивает напряжение только на 0,1. Наклон, например,

пятикратной ракеты в пять 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 четыре раза, так как вместо 4 ат 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 пяти ракет, тянется силою, в пять раз большею, чем одна ракета, и потому оба поезда имеют одно и то же ускорение, так же и все частные поезда одного и того же общего поезда. Выходит, что, несмотря на различие в числе ракет разных поездов, у нас как бы движется одно тело с неизменным секундным ускорением. Но время взрывания, конечно, обратно пропорционально массам частных поездов (ибо, чем сильнее взрывание, тем скорее оно кончается).

61. Во всех таблицах (см. 62 и 63) мы принимаем окончательную суммарную 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 одиночной ракеты. Из пятой строки таблицы видим, что эти наибольшие прибавочные скорости будут таковы для разных поездов:

Число ракет в поезде				
1	2	3	4	5
Требуемая прибавочная скорость от одиночной ракеты в 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 пятикратного поезда она только 3,5 км/сек, что достигается при относительном запасе горючего в 1 или 1,5.

Из 10-й и 16-й строк видим, что длина рейсов по твердому грунту тут гораздо меньше. Также весь процесс взлета короче — всего 800 сек., или 3,3 мин., так как секундное ускорение не уменьшается, пока идет взрывание.

62. Длина ракеты 30 м.

1 ракета		2 ракеты		3 ракеты	
Номера поездов					
1	1	2	1	2	3
Число ракет и относительная сила взрывания					
1	2	1	3	2	1
Относительное время взрывания					
1	1	2	1	1,5	3
Относительное время ускоренного движения каждого поезда					
1	1	3	1	2,5	5,5
Окончательная скорость каждого поезда в м/сек					
8000	2667	8000	1454	3636	8000
Прибавка скорости каждого поезда в м/сек					
8000	2667	5333	1454	2182	4364
Время движения каждого поезда с предыдущими в секундах					
800	266,7	800	145,4	363,6	800,0
Время движения одного поезда в секундах					
800	266,7	533,3	145,4	218,2	436,4
Средняя скорость каждого поезда в м/сек					
4000	1333,3	4000	727,2	1818,2	4000,0
Длина пути каждого поезда с предыдущим в км					
3200	355,5	3200	105,7	661,1	3200

Полет каждого поезда отдельно в км

3200	355,5	2844,5	105,7	555,4	2538,9
------	-------	--------	-------	-------	--------

Высота поднятия  $\sin \alpha = 0,30$

960	106,7	960	31,7	198,3	960
-----	-------	-----	------	-------	-----

То же  $\sin \alpha = 0,25$

800	88,9	800	26,4	166,3	800,0
-----	------	-----	------	-------	-------

То же  $\sin$  угла = 0,20

640	77,1	640	211	132,2	640,0
-----	------	-----	-----	-------	-------

То же  $\sin$  угла = 0,15

480	53,3	480	15,8	99,2	480,0
-----	------	-----	------	------	-------

То же  $\sin$  угла = 0,10

320	35,5	320	10,6	66,1	320,0
-----	------	-----	------	------	-------

Длина всего поезда в м

30	60	30	90	60	30
----	----	----	----	----	----

63. Длина ракеты 30 м.

4 ракеты

5 ракет

Номера поездов

1	2	3	4	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Число ракет в каждом и относительная сила взрыва

4	3	2	1	5	4	3	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Относительное время взрыва каждого поезда

1	1,33	2	4	1	1,25	1,67	2,5	5
---	------	---	---	---	------	------	-----	---

Относительное время ускоренного движения каждого поезда

1	2,33	4,33	8,33	1	2,25	3,92	6,42	11,42
---	------	------	------	---	------	------	------	-------

Окончательная скорость каждого поезда в м/сек

960,4	2237,7	4158,8	8000	700,6	1576,3	2746	4497,8	8000
-------	--------	--------	------	-------	--------	------	--------	------

Прибавка скорости каждого поезда в м/сек

960,4	1277,3	1920,8	3841,5	701	876	1170	1752	3502
-------	--------	--------	--------	-----	-----	------	------	------

Время движения каждого поезда с предыдущими в секундах

96,0	223,8	415,8	800,0	70	158	275	450	800
------	-------	-------	-------	----	-----	-----	-----	-----

## Время ускоренного движения одного поезда в секундах

96,0	127,8	192,0	384,2	70	88	117,8	175	350
------	-------	-------	-------	----	----	-------	-----	-----

## Средняя скорость каждого поезда в м/сек

480,2	1118,8	2079,2	4000,0	350	788	1373	2249	4000
-------	--------	--------	--------	-----	-----	------	------	------

## Длина рейса каждого поезда с предыдущими в км

46,08	250,43	864,45	3200	24,50	124,50	377,57	1012,05	3200
-------	--------	--------	------	-------	--------	--------	---------	------

## Полет каждого поезда отдельно в км

46,1	204,3	614,02	2335,6	24,5	100,0	253,1	634,4	2188,0
------	-------	--------	--------	------	-------	-------	-------	--------

Высота поднятия  $\sin \alpha = 0,3$ 

13,8	75,1	259,3	960,0	7,35	37,35	112,28	303,61	960
------	------	-------	-------	------	-------	--------	--------	-----

То же  $\sin \alpha = 0,25$ 

11,5	62,6	216,1	800,0	6,1	31,1	94,4	253,0	800
------	------	-------	-------	-----	------	------	-------	-----

То же  $\sin \alpha = 0,20$ 

9,6	50,1	172,9	640,0	4,9	24,9	75,5	204,4	640
-----	------	-------	-------	-----	------	------	-------	-----

То же  $\sin \alpha = 0,15$ 

6,9	37,5	129,7	480,0	3,67	18,6	56,7	151,8	480
-----	------	-------	-------	------	------	------	-------	-----

То же  $\sin \alpha = 0,1$ 

4,6	25,0	86,4	320,0	2,45	12,4	37,8	101,2	320
-----	------	------	-------	------	------	------	-------	-----

## Длина всего поезда в м

120	90	60	30	150	120	90	60	30
-----	----	----	----	-----	-----	----	----	----

64. Наклон твердой дороги к горизонту и тут надо признать очень малым, но постоянным, например в  $6^\circ$ , причем  $\sin \alpha$  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 частного поезда. Значит, первые ракеты (или поезда) не только взрывают скорее, но и дольше, чем по табл.



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 в км/сек									
(5)	4	8	2,7	5,3	8	2	4	6	8
Прибавочная скорость каждого поезда в 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 $10 \text{ м/сек}^2$									
(7)	400	800	267	533	800	200	400	600	800
Время движения одного поезда в секундах									
(8)	400	400	267	267	267	200	200	200	200
Средняя скорость каждого поезда в км/сек									
(9)	2	4	1,33	2,67	4,00	1	2	3	4
Полная длина пути каждого поезда (с предыдущими) в км									
(10)	800	3200	355,5	1422	3200	200	800	1800	3200
Полет каждого поезда отдельно									
(11)	800	2400	355,5	1066,5	1778	200	600	1000	2200
Полная высота поднятия в км; $\sin \alpha = 0,1$ ; $\alpha = 6^\circ$									
(12)	80	320	35	142	320	20	80	180	3200
Длина поездов в м									
(13)	60	30	90	60	30	120	90	60	30

62 и 63, в силу большего запаса горючего. Тут также все частные поезда двигаются, как одно тело с постоянным ускорением. На этом основании составим следующую таблицу.

66. Длина ракеты 30 м (см. табл. на стр. 315).

67. Наклон твердой дороги к горизонту тут может быть постоянным, например, тангенс угла наклона в  $6^\circ$  равен 0,1.

Даже первый частный поезд тут только часть пути может идти по твердому грунту. Другая, бóльшая, часть пути 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 скорость только 2 км/сек, что соответствует относительному запасу горючего от 0,5 до 0,7 (по отношению к массе ракеты без взрывчатых веществ).

Передние же земные поезда могут иметь бóльшую 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 постоянной силой взрыва (см. п. 4). Они же могут состоять и из громадного числа звеньев (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 получить космические скорости.

69. Приводим таблицу для десятиракетного поезда. Время взрывания в каждом частном поезде одно и то же, что следует из одинакового устройства звеньев поезда.

Длина одной ракеты равна 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										
Ускорение каждого поезда в м/сек <sup>2</sup>										
(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 взрыва будет  $8000 \text{ м/сек} : 29,29 \text{ м/сек}^2 = 273,1 \text{ сек.}$  (см. ниже п. 70).

Прибавочная скорость каждого поезда в м/сек

(6) | 273 | 301 | 343 | 391 | 456 | 546 | 682 | 1009 | 1365 | 2734

Окончательная скорость каждого поезда в м/сек

(7) | 273 | 574 | 917 | 1308 | 1764 | 2310 | 2992 | 3901 | 5266 | 8000

Средняя скорость каждого поезда в м/сек

(8) | 136 | 287 | 458 | 654 | 882 | 1155 | 1496 | 1950 | 2633 | 4000

Длина пути каждого поезда в 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 в 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 ( $6^\circ$ ) 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 в км

(12) | 0,371 | 0,870 | 1,562 | 2,553 | 4,021 | 6,306 | 10,21 | 17,72 | 35,94 | 109,24

Полная высота в 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 | 0,0302 | 0,01090 | 0,0508 | 0,01179 | 0,01278 | 0,0140 | 0,0161 | 0,0187 | 0,0227

Полное время взрыва каждого поезда в секундах

(15) | 273 | 546 | 819 | 1092 | 1365 | 1638 | 1911 | 2184 | 2457 | 2730

70. Если время взрыва обозначим через  $x$  и будем требовать от последней ракеты (поезда) первой космической скорости, то на основании четвертой строки имеем:

$$1x + 1,1x... + 1,25x... + 2x... + 5x + 10x = 29,39x = 8000,$$

откуда  $x = 273,1 \text{ сек.}$

71. Наибольшая прибавочная скорость, требуемая от последней одиночной ракеты, будет только 2,7 км/сек, 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 этого и не нужно.

72. Первые четыре поезда могут идти по твердому грунту, причем подъем равен 6 км, а длина всего пути — 419 км (см. строки 10 и 13). Это допустимо для Земли. Пятый поезд заканчивает свой путь в атмосфере, а остальные пять даже начинают его в ней. Ввиду шарообразности Земли поднятие для последних поездов гораздо больше, чем дано в строке 12.

Длина всего пути во время взрывания достигает 3000 км.

73. Твердая дорога вогнута (строка 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, 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-я и 13-я позволяют определить радиус кривизны для каждого участка пути. Так, для 1-го, 5-го и последнего, т. е. 10-го, найдем в км

$$r = 1850, 23\ 220 \text{ и } 36\ 770.$$

Отсюда видно, что радиусы кривизны возрастают, отчего 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

$$c_r = v^2 : r,$$

где означены центробежная сила\*, скорость движения и радиус кривизны пути. Эта формула [строка 7-я и (73)] дает

$$c_r = 0,04, 1,34 \text{ и } 1,74.$$

По отношению к силе земной тяжести (10 м/сек<sup>2</sup> ускорения) 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 массы, равной единице. (Ред.).

Для 4-го поезда  $r = 16\ 360$  и  $c = 1,05$ , т. е. сила, придавливающая поезд к пути, не более  $\frac{1}{10}$  тяжести поезда (в действительности еще меньше).

75. Обратимся, вообще, к относительной силе тяжести, создающейся 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 ( $10\text{ м/сек}^2$ ). Этой величиной уже пренебречь нельзя. Слагаясь с притяжением Земли, обе силы дают ускорение, приблизительно равное  $14\text{ м/сек}^2$ , 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 течение немногих минут легко вынести даже в стоячем положении. 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  $45^\circ$ . Горизонтальная земная поверхность по мере увеличения ускорения как бы наклоняется все более и более, и в конце ускоренного движения для пассажира кажется, что поезд мчится на гору под углом в  $45^\circ$ . В начале движения эта гора почти горизонтальная, 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 малонаклонной 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 вначале медленное и ускоренное, потом же достигнет такой скорости, при которой давление воздуха сравняется с весом ракеты. Тут отвесная скорость падения делается постоянной и не очень значительной в сравнении с непрерывной возрастающей скоростью поднятия ракеты.

78. Ракета, параллельно утроенная или учетверенная на  $3\text{ м}^2$  своей горизонтальной проекции, даст тяжесть при начале взрывания, как мы видели, около 0,9 т (для ракет диаметром в 1 м — в 9 раз меньше). На  $1\text{ м}^2$  придется 0,3 т [см. (8)]. Таково же будет и давление воздуха на  $1\text{ м}^2$  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, тангенс которого равен

$$c_h : c,$$

где  $c_h$  — постоянная скорость падения ракеты от ее тяжести и  $c$  — переменная скорость поступательного движения ракеты.

80. Давление воздушного потока на нормальную к нему поверхность  $1 \text{ м}^2$  будет не менее

$$(d : 2g) \cdot c^2,$$

где  $d$  — плотность воздуха;  $g$  — ускорение земной тяжести и  $c$  — скорость потока.

Поток же, действующий на пластинку в наклонном положении, давит сильнее (пропорционально удвоенному тангенсу угла). Следовательно, давление на каждый квадратный метр основания ракеты выразится

$$(d : g) \cdot c \cdot c_h.$$

81. Величину этого давления мы должны приравнять весу  $G_1$  ракеты, приходящемуся на  $1 \text{ м}^2$  ее основания (0,3 т или 300 кг). Следовательно,

$$G_1 = (d : g) \cdot c \cdot c_h.$$

Отсюда

$$\frac{c_h}{c} = (g \cdot G_1) : (dc^2).$$

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 на высоту.

82. Вычислим тангенс этого угла для разных скоростей ракеты и разных плотностей воздуха.

Если, например,  $d = 0,0012$ ,  $G_1 = 0,3 \text{ т}$ ,  $g = 10 \text{ м/сек}^2$ ,  $c = 1000 \text{ м/сек}$ , то наклон будет 0,0025. Даже на высоте 8—10 км, где плотность воздуха в 4 раза меньше, наклон будет 0,01. При скорости ракеты, вдвое меньшей (500 м/сек), 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 будет быстро подниматься, 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  $10 \text{ м/сек}^2$ . Оно произведет кажущуюся тяжесть по направлению, 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  $c = 1000 \text{ м/сек}$ , 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 силе тяжести Земли, и потому не делает путь круговым без приближения и удаления от Земли. Лишь по достижении скорости в 8 км/сек путь будет круговым и вечным (только вне атмосферы).

#### РАЗЛИЧНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕЗДОВ

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 пропорционально массе поезда (62) и (63).

Б. Запас взрывчатых веществ и сила взрывания тем больше, чем больше масса частичного 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 больше. Ускорение же обратно пропорционально массе частного поезда. Этот случай нами не разобран.

Г. Все ракеты совершенно тождественны по запасу горючего и характеру взрывания. 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 [см. (62) и (63)].

87. Система Б, как и предыдущая А, требует увеличения массы и объема ракеты тем большего, чем больше звеньев в поезде. Ведь горючее,

а также более сложные и сильные машины требуют помещения. Нельзя тогда употреблять и много ракет в поезде: он разорвется от сильного ускорения 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 одиночной ракеты составляет 8 км/сек, то поезд системы Б, состоящий из двух ракет, достигает скорости в 16 км/сек, что почти достаточно для блуждания среди иных солнц. Если мы можем от одиночной 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. Увеличение же времени и длины твердого пути (сравнительно с системами А и Г) несущественно.

89. Хотя нами этот случай не разбирался, но относительно величины прибавочных скоростей можно воспользоваться табл. 66. Эта система В заслуживает самого усиленного внимания. Если бы мы, например, могли от одиночной ракеты достигнуть скорости всего лишь в 1 км/сек (пушечная скорость может быть больше), что требует относительного запаса от 0,2 до 0,3, то и тогда довольно 17 поездов, чтобы достигнуть наибольшей космической скорости, достаточной для достижения всех наших планет (но не спуска на них) и блуждания 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, величины 5,1, то система В превратится в Г, и тогда окончательная скорость еще немного возрастет.

91. Вопрос о материалах для сжигания, устройства взрывных труб, оболочки и других частей ракеты не может быть сейчас решен. Поэтому я пока предполагаю, что для элементов взрыва будут применяться нефтяные продукты и жидкий кислород или его эндогенные соединения, а для устройства ракеты — разные известные сорта стали: хромовая, бериллиевая и пр.

Конечно, много выгоднее употребить для элементов взрыва одноатомный водород и озон. Но достаточно устойчивы ли такие материалы и могут ли иметь удобный 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.

#### ТЕМПЕРАТУРА 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  $273^{\circ}$  холода по Цельсию: 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  $273^{\circ}$  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 ( $273^{\circ}$  холода по Цельсию).

Планеты еще обладают собственной теплотой, они еще борются с 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, повидимому, будет находиться в критическом положении. Ее температура скоро должна дойти до  $273^{\circ}$  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 легко будет восполнять искусственно даже в течение тысячи лет.

Но этот вопрос мы пока оставим. Обратимся к снаряду, который находится на том же расстоянии от Солнца, что и Земля. Это несколько не мешает ему быть вне Земли, на ее орбите, на сотни миллионов километров 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 иметь соображения о величине прихода и расхода и тогда уже решать вопрос о величине установившейся постоянной температуры тела.

Величина прихода тепла, 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 оболочками, 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), огражденной от потерь лучистой энергии несколькими блестящими поверхностями, может иметь температуру, высший предел которой не менее  $150^{\circ}$  Ц.

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 блестящими поверхностями. Температура газа внутри шара доходит до  $150^{\circ}$  Ц.

Тот же полый шар, обращенный к Солнцу блестящей поверхностью, получает внутри температуру, близкую к  $273^{\circ}$  холода. Колебание температуры — более  $400^{\circ}$  Ц.

Тот же шар, повернутый к Солнцу боком так, что только часть прозрачной поверхности получает лучи Солнца, имеет температуру, среднюю между  $273^{\circ}$  холода и  $150^{\circ}$  жары.

Поворачивая шар, 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 вращаться, обращаясь периодически прозрачной стороной к Солнцу, то в нем установится средняя температура, близкая (по расчету) к  $27^{\circ}$  Ц. Это почти вдвое больше, чем средняя температура нашей вращающейся планеты — Земли.

Но последняя большую 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  $15^{\circ}$  Ц.

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 собирающего 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 повышением температуры расход тепла возрастает. Температура внутри шара может дойти до 1000 градусов и более.

Если бы даже наш снаряд удалился к пределам солнечной системы, туда, где вращается со своими кольцами Сатурн, где мчатся Уран и Нептун, и там космическая ракета могла бы получить от Солнца теплоту, достаточную для жизни.

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.

## РЕАКТИВНЫЙ АЭРОПЛАН \*

1. Реактивный аэроплан отличается от обыкновенного тем, что совсем не имеет гребного или воздушного винта.

Действие винта заменяется отдачей (реакцией) продуктов горения в обыкновенных авиационных моторах.

Но последние требуют некоторого преобразования и дополнения, так как сжигают много горючего и притом дают сравнительно небольшую работу, например в 10 раз меньшую, чем следует по количеству топлива, делают большое число оборотов и имеют поэтому расширенные клапанные отверстия. Кроме того, сжатие, как видно из таблицы, хотя бы и очень холодного воздуха высот сопровождается его накаливанием.

Во сколько-раз сжимается какой-нибудь постоянный газ или смесь их  
(воздух)

1	6	36	216	1296	6800
---	---	----	-----	------	------

Относительная абсолютная температура

1	2	4	8	16	32
---	---	---	---	----	----

Абсолютная температура

+273	546	1092	2184	4368	8736
------	-----	------	------	------	------

То же, по Цельсию

0	273	819	1911	4095	8463
---	-----	-----	------	------	------

Абсолютная температура

+200	400	800	1600	3200	6400
------	-----	-----	------	------	------

То же, по Цельсию

-73	+127	+527	1327	2927	6127
-----	------	------	------	------	------

---

\* Впервые издана брошюрой «Реактивный аэроплан». Калуга, 1930, изд. автора. См. «Приложение», п. 48. (Ред.)

Из последней строки видно, что даже при ледяном ( $-73^{\circ}\text{C}$ ) 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 накопленный 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.

2. Самолет только тогда приобретает увеличенную 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 в км (при $0^{\circ}\text{C}$ )								
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 пропорционально 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 сжатия встречного воздушного потока, потребного для сжигания топлива.

Но на высотах приходится сжимать разреженный воздух для употребления в моторах. Для этого-то главным образом пойдет обычная ме-

\* В целях уменьшения работы, необходимой для сжатия газов, лучше охлаждать воздух между каждым двумя ступенями компрессора, проводя соответствующие трубы к кормовой части сопел. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского»*. М., ОНТИ, 1934.

ханическая работа двигателей. Поэтому мы и не можем от них вполне избавиться\*.

Двигатель, делая огромное число оборотов, работает почти впустую и выделяет сравнительно небольшую работу: он неэкономичен. Но большая работа нам и не нужна, так как работа сжатия холодного разреженного атмосферного воздуха сравнительно невелика, и энергии моторов на это хватает с огромным избытком. Главная цель двигателя: реактивное действие отброса продуктов горения, пропеллер же устранен.

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\*\*

$$L = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V}\right).$$

Тут  $P_1$  и  $V_1$  — первоначальные давление и объем, а  $V$  — 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  $P_1 \cdot V_1$  остается постоянным, какой бы мы разреженный слой воздуха ни взяли. Значит, работа сжатия зависит только от логарифма сжатия  $V_1 : V$ . Произведение  $P_1 \cdot V_1$  при нуле Цельсия равно 10,3 тм. Теперь по приведенной формуле легко составим таблицу работ для получения 1 м<sup>3</sup> сжатого воздуха нормальной плотности. Именно:

Разрежение воздуха или требуемое сжатие

1	6	36	216	1296	7800
---	---	----	-----	------	------

Работа получения 1 м<sup>3</sup> воздуха нормальной плотности (0,00129) при температуре в тм (приблизительно)

0	18	36	54	72	90
---	----	----	----	----	----

На единицу веса (кг) горючего в случае бензола требуется около 11 м<sup>3</sup> нормального воздуха\*\*\*. Для получения его из разреженного в 7800 раз

\* Но можно воздух сжимать также динамически, струйным методом в воздушных реактивных двигателях. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского».* М., ОНТИ, 1934.

\*\* Здесь и дальше ссылки на статью «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». К. Э. Циолковский. Собр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1951. (Ред.).

\*\*\* Весь расчет Циолковский ведет на 1 м<sup>3</sup> сжатого воздуха. (Ред.).

воздуха нужно  $90 \cdot 11 = 990$  тм. К и л о г р а м м бензола может дать не менее 4 сил в течение часа. Это составит работу  $(75 \cdot 3600 \cdot 4)$  в 1 080 000 кгм, или в 1080 тм. Выходит, что эта работа немного 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:

$$L = B \cdot P_1 \cdot V_1 [4 - (V_1 : V)]^{1:B}$$

Из (44) знаем:  $B = 2,48$  и  $1 : B = 0,403$ . Положим  $V_1 : V = 7800$ . Тогда вычислим

$$L = P_1 \cdot V = 34,7 = 358 \text{ тм,}$$

т. е. она будет в 3 с лишком раза больше предыдущей (90 тм). Она в 4 раза больше выделяемой моторами. На практике надо взять среднюю работу, которая будет раз в 5 меньше выполняемой моторами\*. Вычисленная работа относится к сжиманию в пустоте. Давление атмосферы помогает сжимать, и поэтому 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 с целью усиления сгорания бензина, увеличения мощности моторов и силы взрывающихся газов.

Действительно, формулы и таблицы можем применить и для сжимания нормального воздуха (близ уровня океана), для усиления энергии моторов (только стенки их нужно делать прочнее).

Из формул (14) 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.

3. 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.

\* Это составляет  $1080 : 5 = 216$  тм на 1 кг бензола, или  $216 : 11 = 19,6$  тм на  $1 \text{ м}^3$  нормального воздуха. Такое приблизительно количество работы требуется для 6-кратного сжатия при постоянной температуре. Без охлаждения же достигаемая степень сжатия еще меньше. *Прим. редактора к изд. 1934 г.*



4. 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 («Космическая ракета», 1927 г., см. стр. 130).

Но мы не можем предлагать горючего, не испытанного практически. Например, неизвестно, 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 непрактична идея отбрасывания частей аэроплана или превращения их в топливо.

5. Вот таблица, показывающая относительный вес материалов, участвующих в горении:

Название горючего	Водород	Углерод	Бензол
Формула горючего . . . . .	$H_2$	$C$	$C_6H_6$
Относительный 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 $CO_2$
Относительный вес потребного для сгорания кислорода $O_2$ . . . . .	16	32	240
То же, но азотного ангидрида $N_2O_5$ . . . .	21,6	43,2	324
Относительный вес продуктов горения при кислороде . . . . .	18	44	318
То же, при $N_2O_5$ . . . . .	23,6	55,2	402

Название горючего	Водород	Углерод	Бензол
Принимаем вес горючего за единицу . . . . .	1	1	1
Тогда вес кислорода будет . . . . .	8	2,67	3,33
Тогда вес продуктов 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

6. Если в нашем аэроплане мы сжигаем воздух, то надо указать на количественные отношения его частей.

Для этого предлагаем таблицу:

Название	Воздух	Кислород	Остальное
Состав воздуха по весу . . . . .	100	23,6*	76,4
То же, по объему . . . . .	100	21,3	78,7

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 значит, что кислород составляет по весу 0,31 веса азота и 0,236 веса всего воздуха.

Для объемных отношений получим:  $N_2 : O_2 = 3,69$ ;  $O_2 : N_2 = 0,271$ ;  $O_2 : \text{воздух} = 0,213$ ;  $\text{воздух} : O_2 = 4,70$ .

7. Теперь можем дать количество воздуха по весу и объему на единицу веса (кг) горючего (см. таблицу на стр. 333).

8. Но нам важно знать еще потребное количество кислорода воздуха и азотного ангидрида на метрическую силу (100 кгм). Поэтому предлагаем следующую таблицу (стр. 334—335).

\* В справочниках для кислорода даются немного меньшие цифры: 23,1% по весу, или 20,9% по объему. Прим. редактора к изд. 1934 г.

Формула горючего	H <sub>2</sub>	C	H <sub>6</sub> C <sub>6</sub>
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 количество воздуха по объему (плотность 0,0013) в м <sup>3</sup> . . . . .	26,1	8,7	10,9

9. 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 (строки 3 и 12). Жаль только, что жидкий водород пока мало доступен. Выгоден также ожиженный болотный газ, или метан CH<sub>4</sub>. В случае же запасенного жидкого кислорода разница запасов или взрывных элементов не так велика (строка 7). Тут нет большой выгоды заменить бензин водородом. Почти то же при употреблении N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. При полном весе снаряженного аэроплана в 1 т даже часовой запас топлива не кажется чрезмерным (12<sub>1</sub>). Для водорода же он совсем мал.

В строках 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 (строки 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<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 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, узнав, во сколько раз вес ракеты (1000 кг) больше секундной массы отброса. Затем на

1	Формула горючего . . . . .	C	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	
2	Количество тепла на единицу массы горючего . . . . .	34 180	8 080	11 500
3	Тепловое отношение . . . . .	2,97	0,709	1
4	Сколько надо горючего на 1 метрическую силу в час в кг . . . . .	0,0842	0,353	0,25*
5	Сколько надо кислорода на силу (100 кгм/сек) в час . . . . .	0,674	0,942	0,833
6	Сколько надо воздуха в час на силу в кг . . . . .	2,498	3,994	3,532
6 <sub>1</sub>	Сколько надо N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	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 в кг . . . . .	2,584	4,347	3,782
8 <sub>1</sub>	То же, при употреблении N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,994	1,625	1,375
9	Вес отброса при кислороде на 1000 сил в час . . . . .	758	1295	1083
10	То же, в 1 секунду . . . . .	0,21	0,36	0,30
11	То же, при горении в воздухе в кг . . . . .	0,72	1,21	1,05
12	То же, при употреблении N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,275	0,450	0,380
12 <sub>1</sub>	Часовой запас горючего на 1000 сил в кг . . . . .	84	353	250
13	Секундная скорость отброса при кислороде («Ракета в космическом пространстве», 1926 г.) в м/сек . . . . .	5650	4290	4450

\* Считая метрическую силу равной 100 кгм/сек, находим, что автор принял и.п.д. равным около 30%; получается для H<sub>2</sub> — 29,4%; для C — 29,6% и для C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> — 30,7%. *Примечание редактора к изд. 1934 г.*

14	То же, но при воздухе . . . . .	2743	2082	2160
14 <sub>1</sub>	То же, при азотном ангидриде $N_2O_5$ . .	4900	3840	3900
15	Секундное ускорение ракеты в 1 т при кислороде в м/сек <sup>2</sup> . . . . .	1,19	1,54	1,33
16	То же, при воздухе . . . . .	1,97	2,52	2,27
16 <sub>1</sub>	То же, при $N_2O_5$ . . . . .	1,35	1,75	1,48
17	Давление (отдача) от этого на ракету при кислороде в кг . . . . .	119	154	133
18	То же, при воздухе . . . . .	197	252	227
18 <sub>1</sub>	То же, при $N_2O_5$ . . . . .	135	175	148
19	Скорость ракеты через час от начала полета при кислороде в пустоте в м/сек . . . . .	4284	5544	4788
20	То же, но при употреблении воздуха (см. 15, 16 и 12) . . . . .	4092	9072	8172
21	Сколько надо секунд для получения скорости в 8000 м/сек при кислороде .	6720	5200	6010
22	То же, в часах . . . . .	1,87	1,44	1,67
23	Соответствующее количество горючего в кг (см. 12) . . . . .	154	508	418
24	Сколько надо секунд для получения скорости в 8000 м/сек при воздухе (см. 18) . . . . .	4061	3175	3524
25	То же, в часах . . . . .	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 в м <sup>3</sup> . Плотность воздуха 0,0013 . . . . .	1921	3079	2717
28	То же, в 1 секунду . . . . .	0,53	0,35	0,75

полученное число мы разделили секундную скорость отброса. (По известным законам, от действия силы между двумя массами большая получает во столько раз меньшую скорость, во сколько раз она 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 кг.

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 весе всего снаряжения в 1000 кг. Одно бензиновое топливо поглощает 250 кг (строка 12<sub>1</sub>). При теперешнем состоянии моторного дела двигатель в 1000 сил будет весить не менее 500 кг. Но дело в том, что наш мотор может дать только 100—200 сил (см. п. 2), 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.

Строка 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 той же целью возможен.

Но может ли подняться обыкновенный аэроплан весом в 1000 кг при найденной нами реактивной тяге (17 и 18 строки)? Полагая обыкновенный самолет в 100 сил в 1 т весом и со скоростью в 40 м/сек, найдем его тягу в 125 кг. К. п. д. 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», 1894 и 1929 гг.), самолет с тягой в 125 кг может летать со скоростью, вдвое большей на высоте в 12 км, где воздух раза в четыре реже.

\* Подразумевается работа автора «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина». 1894 г. К. Э. Циолковский. Собр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1951. (Ред.).

10. Мы имеем в виду равномерное и горизонтальное движение аэроплана. Мы не считаемся с работой его восхождения на высоту и с работой приобретения постоянной скорости движения. Этим можно пренебрегать только при скоростях, не превышающих 500 м/сек на высоте не более 30 км.

При этих условиях естественное сгущение воздуха в передней трубке оказывается далеко недостаточным, и мы поэтому вообще не можем избежать употребления компрессора того или иного типа.

11. Положим, что мы достигаем на уровне океана скорости в 100 м/сек. Это при употреблении нашего реактивного двигателя. На высоте около 12 км, где воздух четверо 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 реактивный 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 от чего она может уменьшиться при большей или меньшей скорости аэроплана? А если так то выделяемая в секунду работа будет пропорциональна скорости самолета. Если его скорость увеличилась в пять раз, то при той же тяге и работа увеличивается в пять 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.

12. 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 менее, чем скорость больше.

13. Приведем пример. Мы нашли, что самолет весом в 1 т должен сжигать по крайней мере столько горючего, сколько требуется на 1000 метрических сил. На уровне моря он будет иметь скорость 100 м/сек. Он будет при этом сжигать топлива в пять 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 четыре раза меньше. Тут он будет убыточнее только в 2,5 раза. Еще выше, где воздух в 25 раз реже, он летит в пять 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

\* К. Э. Циолковский. Собр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1951. (Ред.).

будет выгоднее обыкновенного аэроплана в два раза.

При очень больших скоростях явление настолько осложняется, что наши выводы становятся уже недостаточно верными (так как мы не принимаем во внимание, что кислород для горения заимствуется из атмосферы, см. «Сопротивление воздуха и скорый поезд», 1927 г.).

14. За чем 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 скорости около 8 км/сек работа эта сокращается до нуля, и мы выходим за пределы атмосферы.

15. Большая скорость снаряда имеет применение и к земному транспорту, если и не получается экономия 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 в км					
0	11,1	17,6	22,1	25,7	36,8
Скорость в м/сек					
100	200	300	400	500	1000
Скорость в км/час					
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.

16. 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 \*

(1930 г.)

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, 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. Чтобы получить скорость, ббльшую 100 м, надо избавиться от колес и устроить для них особый путь (см. мой «Скорый поезд»); кроме того, надо дать им более удлиненную и хорошую

---

\* Работа впервые напечатана в 1930 г. в Калуге — брошюра 32 стр. Изд. автора. См. «Приложения», п. 37. (Ред.).

форму. Но и тогда не получим скорости, большей 1000 м в секунду. Да и что в ней при ужасном расходе сил. Их проглатывает сопротивление воздуха.

Сжатые газы [например, углекислый ( $\text{CO}_2$ )] 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 глссера 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 глссеры, действующие отдачи (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.

Дальнейший путь как для преобразованного самолета, так и для ракетного снаряда обеспечены давлением света.

Мои расчеты много раз проверены и не могут возбуждать сомнений.

Так, я показал\*, что килограмм вещества, с поверхностью в 1 кв. м, 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 мм, плотности воды и площади во 100 кв. м, весит только один килограмм. Вращение этого квадрата (со стороною в 10 м) придаст ему известную натянутость, гладкость и прочность. Давление света сообщит ему в

\* См. «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

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. С прибавкой это будет 50 км. Для полного же удаления от Солнца надо 42 ( $30 \times 1,4$ ) км. Остается еще свободная скорость (для Млечного пути) в 8 км.

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.

Разберем сначала переход самолета к звездолету, а потом уже рассмотрим ракетный прибор.

В моих планах («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 бóльшая 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.

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 употребить передачу (0,5) или уменьшить диаметр воздушного винта вдвое. Экономнее первое (цепная трансмиссия).

\* К. Э. Циолковский. Собр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1951. (Ред.).

Надо еще сжимать вчетверо разреженный воздух. При этом его абсолютная температура увеличивается в 1,75\*. Если на высоте 10 километров температура будет  $43^{\circ}$  холода, или  $230^{\circ}$  абсолютной температуры, то при сжатии она дойдет до  $403^{\circ}$ , т. е. воздух нагреется до  $(403-273)$   $130^{\circ}$ Ц. 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. Глушители 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 жерлами назад, к хвосту самолета.

Возможно даже утроение его скорости на высоте, где воздух в 9 раз реже. Угол наклона воздушного винта к его плоскости вращения перейдет от  $17$  к  $42^{\circ}$ , 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  $75^{\circ}$  холода в воздухе или  $200^{\circ}$  абс. температуры получится  $480^{\circ}$ , или  $(480-273)$   $207^{\circ}$  Цельсия. 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 еще не ниже  $70^{\circ}$ Ц.

Итак, дальнейшее увеличение скорости останавливается: 1) из-за воздушного винта, 2) необходимости сжатия, 3) сильного от того нагревания и 4) необходимости охлаждения. Воздушный винт можно заменить движущимися, как у птицы, крыльями. Это хотя и очень выгодно, так как увеличивает подъемную силу самолета, но сложно в строительном (конструктивном) отношении.

Проще совсем выбросить пропеллер. Это возможно при больших скоростях самолета и полете его в разреженной среде, так как отдача продуктов горения тем производительнее, чем скорость его больше и среда реже. Разреженная среда позволяет газам сильнее расширяться, отчего они достигают большей скорости при выходе из труб и низшей температуры, доходящей в пределе (пустоте) до  $273^{\circ}$  холода.

---

\* См. работу К. Э. Циолковского «Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе». Т. I, стр. 233. (Ред.).

Вот это-то и может служить источником охлаждения от сжатия воздуха. Для этого мы накаленный и сжатый мотором воздух заставляем обтекать кормовые концы труб с сильно охлажденными от расширения продуктами горения. Потом уже сжатый и теперь охлажденный воздух мы направляем в рабочие цилиндры мотора.

Мы тут убиваем сразу трех зайцев: подогреваем в трубах охлажденные от расширения продукты горения и тем увеличиваем их скорость и отдачу, одновременно охлаждаем сильно нагретый сжатием воздух, предназначенный для рабочих цилиндров, 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 достигнуть космической скорости и выйти за пределы атмосферы — это вопрос, на который мы не в силах дать ответа (тем более положительного). Во всяком случае, построение высотных аэропланов нас многому научит и приблизит к звездолету. Подробные математические расчеты отдачи самолета при описанном его устройстве у меня давно были готовы.

\* \* \*

Перейдем к чисто ракетной машине. И в ней нельзя обойтись без мотора, так как приходится толкать или накачивать элементы взрыва в камеру смешения и горения. Тут мы также никаких пропеллеров не употребляем ввиду быстрого достижения значительных 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 низкую температуру, как жидкие свободно испаряющиеся газы, чтобы содержать 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 взрыва элементы взрыва должны смешиваться как можно лучше и как можно скорее, чтобы давать взрыв моментальный, подобный взрыванию пороха или выстрелу.

11. Камера взрыва должна охлаждаться холодом, заимствованным от расширенных продуктов взрыва, температура которых при выходе их наружу должна достигать  $273^{\circ}$  холода. Для этого камера взрыва 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 взрыва и сильно нагретых частей выходных труб к холодным их частям. Польза будет двойная, как я объяснял. Для того же 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 веществ взрыва. Получаются 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 секунду в одной трубе сливаются в один, а в десяти, например, трубах дают 300—500 выстрелов

в секунду, и тем более сливаются в одно целое. Этим мы предохраним снаряд от разрушительного колебания. Больше 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 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 [обыкновенных] 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.

## ВОСХОДЯЩЕЕ УСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ РАКЕТОПЛАНА

(1930 г.)

1. Наш самолет подобен обыкновенному аэроплану. 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 пропеллера. Получается отдача, отталкивание, реакция, силой которой снаряд усиливает свое ускоренное восходящее движение.

2. При горизонтальном движении в воздухе скорость его могла бы возрастать только до небольшой величины. Но он имеет восходящее движение, причем воздух все более и более разрежается и сопротивление его уменьшается. Поэтому ускоренное движение совершается все время, пока работает мотор.

3. По истощении горючего или прекращении работы двигателя он может достигнуть такой высоты и такого разрежения атмосферы, что приобретенная им скорость позволит ему вылететь из атмосферы и с разбега (по инерции) двигаться в пустоте.

4. При этом, смотря по величине и направлению скорости, он может: а) Опять возвратиться в атмосферу и, теряя быстроту от ее сопротивления, спуститься на Землю. б) Обращаться вечно в пустоте вокруг Земли, подобно Луне или комете. в) Удалиться от Земли и скитаться вокруг Солнца, как планета. г) Совсем уйти от Солнца и путешествовать среди звезд, т. е. среди других солнц.

5. Если же продолжить работу моторов запасенным кислородом, пользуясь отдачей продуктов горения, то все эти результаты можно изменить по желанию.

6. Главные части нашего стратоплана таковы: а) Корпус в виде двух веретен, где помещаются люди, машины, запасы горючего и прочее. б) Между двух веретен лежит параллельно им особая труба с особым

\* Печатается по экземпляру рукописи К. Э. Циолковского, найденному в его архиве (Фонд 555, опись I) и снабженному собственноручными исправлениями и дополнениями автора. См. «Приложения», п. 49. (Ред.).



пропеллером. в) Небольшие неподвижные продолговатые плоские крылья — главным образом для правильности полета. г) Отвесный руль направления — сзади сверху над корпусом. д) Сзади же, по бокам, два горизонтальных руля боковой устойчивости. Они же, действуя согласно, служат и рулем высоты. е) Несколько преобразованный авиационный двигатель, с коническими трубами для выбрасывания продуктов горения в кормовой части. Он находится в трубе пропеллера в среде атмосферного давления. ж) Сжиматель воздуха ради усиления мотора и обязательного сжатия воздуха на высотах. Он приводится в действие отчасти встречным потоком воздуха, отчасти мотором. з) Охладитель сжатого воздуха, питающего рабочие цилиндры. и) Отделение для горючего (бензина). к) Поглотители сырости, углекислого газа, аммиака и других вредных человеческих выделений.

**М о т о р** занимает среднюю часть пропеллерной трубы. Продукты горения выбрасываются там же через раструбы. Уже в них они расширяются и охлаждаются. Но на высотах это разрежение продолжается в пропеллерной трубе и после выхода из раструбов. Температура продуктов горения в сильно разреженной атмосфере может достигнуть  $270^{\circ}$  холода. Таким образом, пропеллерная труба содержит холодную среду и охлаждает моторы. Этому еще способствует быстрое движение воз[душного] потока в трубе. В пропеллере же вдоль расположены тонкие трубы, извлекающие чистый атмосферный воздух поблизости винта. Воздух охлаждается, поступает в сжиматель и потом служит для питания рабочих цилиндров. Чем выше стратоплан, тем реже атмосфера, тем сжатие и нагревание питающего мотор воздуха сильнее, но зато тем больше расширение продуктов горения и начальная температура сжимаемого воздуха меньше.

**7. К о р п у с.** Так как снаряд предназначен для достижения высот, где человек дышать не может и умирает, то корпуса (веретена) должны быть плотно со всех сторон закрыты, чтобы не могло быть ни малейшей утечки газов наружу. Давление их будет внутри поддерживаться без изменения. Но в таком случае, на высотах, оно будет гораздо больше наружного давления разреженной атмосферы. Из этого видно, что внутреннее сверхдавление (надутость) неизбежно для аэроплана высот. Оно может быть и внизу, у уровня океана. Для этого стоит только в корпус накачать немного воздуха или из запаса пустить внутрь струю кислорода.

**8.** Сверхдавление даже тонкой оболочке снаряда придает твердость, постоянство и сопротивляемость изгибам и другим деформациям.

Но все же аппарат должен иметь некоторую жесткость без сверхдавления, донакачивания его кислородом или воздухом. Для этого полезно в поперечных сечениях придавать ему волнистый вид. Гребни оболочки будут идти вдоль ее длины. От сверхдавления волны растягиваются и

жесткость уменьшается, но тогда (надутый) прибор, и в силу надутости, достаточно жесток. Все же часть поверхности должна остаться гладкой, где вставлены окна, входные отверстия и некоторые другие части.

9. Выгодно давать прибору большие размеры, но начинать нужно с наименьших возможных. Диаметр поперечного сечения каждого корпуса не может быть меньше 2 м, в противном случае это стеснит движения человека в замкнутом помещении. Продолговатость тоже выгодно давать большую, но на первых порах можно ограничиться умеренной, напр[имер], 10. Тогда длина корпуса будет 20 м. (Для начала можно ограничиться даже высотой снаряда в 1 м, что при сидячем положении на подушках более чем достаточно. Длина может быть в 5 м.)

10. Объем  $W$  выразится формулой

$$W = 0,5 l \frac{\pi d^2}{4},$$

где  $d$  — наибольший диаметр и  
 $l$  — длина корпуса.

Так как  $l = \lambda d$ , где  $\lambda$  есть удлинение (продолговатость), или отношение длины к диаметру, то

$$W = \frac{\pi}{2} d^3 \lambda.$$

11. Положим тут:  $d = 2$  м,  $\lambda = 10$ . Получим  $W = 31,4$  м<sup>3</sup>.

Для двух же веретен найдем 62,8.

12. Также поверхность  $F$  можем выразить

$$F = 0,75 l \pi d = 0,75 \pi \lambda d^2.$$

13. Если  $d = 2$  м и  $\lambda = 10$ , то  $F = 94,2$  м<sup>2</sup>. Для двух корпусов 188,4.

14. Сверхдавление будет совершенно достаточным в 0,5 атмосферы. Таково оно будет внизу. При поднятии оно усилится, но тогда можно выпустить часть воздуха, заменив его чистым кислородом. Тогда его будет достаточно даже для больных и слабых. При спуске, однако, опять нужно увеличить внутри давление, иначе оболочка будет смята атмосферным давлением.

Какова же будет при этих условиях толщина оболочки? При постоянной ее толщине наибольшему натяжению подвергаются средние широкие части поперечного сечения. Притом натяжение по окружности больше, чем вдоль. На этом основании напомним

$$\delta = \frac{npd}{2k_2},$$

где  $p$  — есть сверхдавление на единицу площади;

$\delta$  — толщина оболочки;

$k_2$  — коэффициент сопротивления материала;

$n$  — коэффициент прочности, или запас прочности.

15. Из уравнения видно, что толщина оболочки будет возрастать с увеличением диаметра, запаса прочности, сверхдавления и с уменьшением сопротивления материала.

16. Положим:  $p = 0,5$  кг/см<sup>2</sup>;  $n = 10$ ;  $k_2 = 10^4$  кг/см<sup>2</sup>. Тогда найдем  $\delta = 0,5$  мм. Если запас прочности еще увеличим вдвое, т. е. сделаем  $n = 20$ , то  $\delta = 1$  мм. Из хромовой стали это будет вполне практическая толщина оболочки. В волнистом виде и без сверхдавления она будет хорошо сохранять свою форму.

17. Квадратный метр ее будет весить, приблиз[ительно], 8 кг. Вся же оболочка одного веретена будет весить 752 кг. Двух веретен — 1504 кг.

18. Как мы распределим данный объем корпуса? Треть объема можем занять горючим, столько же — машинами, поглотителями человеческих выделений и другими необходимостями. Треть — помещением для человека. Каждая часть займет около 20 м<sup>3</sup>. Для двух-трех\* путешественников этого простора достаточно (при хорошем очищении воздуха).

19. Абсолютный объем, занятый горючим и машинами, не составит более 30 м<sup>3</sup>. Остальные 30 м<sup>3</sup> займет газообразный кислород. Вес его при двойном разрежении будет около 19,5 килогр[аммов]. Этого хватит для дыхания одного человека на 10 суток, на десятир[ых] — на одни сутки. Между тем все путешествие может закончиться через час. Можно надувать оболочку и воздухом, и тогда его будет вполне довольно, хотя время использования уменьшается в 5 раз, т. е. для одного хватит на 2 дня, а для десятир[ых] — на 5 часов (если на высотах воздух не выпускать и поглощать человеческие выделения).

20. Топливо занимает 20 м<sup>3</sup>. Какой же это составит вес? Даже при плотности его в 0,5 мм можем принять вес горючего в 10 т.

21. Сколько может весить мотор и его принадлежности? Но у нас особый мотор. Он должен сжигать как можно больше горючего, выделяя хотя бы и ту же мощность. Нам большая работа не нужна. Ведь она идет главным образом на сжатие воздуха для рабочих цилиндров. Нам нужно большое количество выхлопных газов или продуктов горения, увеличивающих тягу пропеллера.

22. Как же усилить потребление топлива? Для этого мы можем: а) Увеличить число оборотов рабочего вала (в ущерб экономии топлива). б) Сжимать предварительно воздух, питающий рабочие цилиндры.

23. Увеличение числа оборотов потребует расширения клапанных отверстий и сопровождается, вообще, неэкономичной работой мотора,

\* В подлинной рукописи цифры «двух-трех» переправлены рукою автора карандашом на «10». (Ред.).

далеко не оправдывающей расход горючего. Но нам тут и не нужна экономия. Например, топлива может сжигаться в 10 раз больше, а работа может увеличиться только в 2 раза. Этого нам будет довольно для сжатия питающего цилиндры воздуха. Полезно для увеличения числа оборотов употребление водорода вместо бензина. Он же, при одной энергии, в три раза легче бензина.

24. Сжатие воздуха даже у уровня океана, если не увеличит числа оборотов мотора, то увеличит его работу и количество сгорающего в секунду горючего.

Как увидим, работа сжатия невелика. Сжимающий прибор, увеличение толщины стенок цилиндров и массивности других частей, конечно, увеличат вес мотора, но не его объем. Мы надеемся количество сжигаемого топлива увеличить в 4 раза, т. е. по количеству горючего он мог бы дать 40 000 сил, но даст только 10 000. Экономия уменьшится в 4 раза.

25. Теперь мы можем сказать, сколько, приблизительно, весит весь снаряд: корпус, рули и крылья (они невелики) — 2 тонны, пропеллер с футляром — 1 т, горючее — 10, моторы и машины — 10, люди и мелочи — 1. Всего 24 тонны.

26. Начальная реакция, или тяга, дающая снаряду движение, окажется в 8—10 тонн, чего достаточно (см. мой «Реактивный аэроплан») для ускоренного восходящего движения аэроплана. Ускорение снаряда будет 3,8. Но пропеллер может еще увеличить это ускорение.

27. Буду основывать написанное здесь на моих работах 1930 г. «Давление на плоскость» и «Реактивный аэроплан». Также на работах 1895 и 1929 гг. «Аэроплан» и «Новый аэроплан».

28. Сжатие газа можем представить себе без потери тепла и поглощения его извне. В таком случае газ нагревается тем сильнее, чем более сжат. Упругость его быстро возрастает, отчего работа сжатия весьма увеличивается. Степень нагревания не зависит ни от разреженности, ни от плотности газа, ни от его природы (если он «постоянен»).

Для этого случая мы даем табл. 1\*.

Таблица 1

Отношение объемов (сжатие)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отношение абсолютных температур									
1	1,322	1,557	1,748	1,913	2,058	2,190	2,311	2,421	2,529

\* Таблица соответствует адиабатическому сжатию ( $K = 1,4$ ). (Ред.).

Т а б л и ц а 1 (продолжение)

Температура по Цельсию

0	87,9	152,1	204,2	249,2	288,8	324,9	357,9	387,9	417,4
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Сжатие

15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Отношение абсолютных температур

2,978	3,344	3,937	4,422	4,837	5,206	5,540	5,847	6,130	6,397
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Температура по Цельсию

540,0	639,9	801,8	934,2	1047,5	1148,2	1239,4	1323,2	1400,5	1463,4
-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Сжатие

150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Отношение абсолютных температур

7,532	8,459	9,959	11,18	12,24	13,17	14,01	14,79	15,51	16,18
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Температура по Цельсию

1783	2036	2444	2779	3068	3322	3552	3765	3961	4144
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Сжатие

1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10 000
------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

Отношение абсолютных температур

19,05	21,40	25,19	28,29	30,95	33,30	35,44	37,40	39,22	40,93
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Температура по Цельсию

4928	5569	6604	7450	8176	8818	9402	9937	10434	10901
------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

Температура относится к сжиманию газа при нулевой температуре. При низких температурах высот воздух от сжатия нагревается менее пропорционально первоначальной абсолютной температуре.

Из таблицы видно, что сжатие в 4 раза повышает температуру только на 204° Ц. Но на высотах, где воздух в тысячи раз реже, он должен сжиматься в тысячи раз сильнее. Там повышение огромно. Так, при сжатии в 10000 раз температура достигает 10901° Ц. Это горячее поверхности Солнца.

30. Мы были бы в безвыходном положении, если бы в нашем летательном снаряде не было источника охлаждения. Это —

Таблица 2

Сжатие									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Работа в тоннометрах для сжатия 1 м <sup>3</sup> воздуха в пустоте									
0	7,14	11,34	14,25	16,62	18,51	20,11	21,48	22,69	23,79
Работа при атмосферном давлении									
0	2,0	4,8	6,5	8,4	10,0	11,3	12,5	13,5	14,5
Сжатие									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Работа в пустоте									
24,70	25,60	26,42	27,18	27,89	28,56	29,18	29,77	30,32	30,86
Работа при атмосферном давлении									
15,60	16,43	17,19	17,89	18,56	19,19	19,77	20,33	20,85	21,36
Сжатие									
22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Работа в пустоте									
30,91	31,78	32,58	33,32	32,01	34,66	35,26	35,84	36,38	37,89
Работа при атмосферном давлении									
20,91	21,78	22,56	23,32	24,01	24,66	25,26	25,84	26,38	26,89
Сжатие									
45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Работа в пустоте									
38,07	39,12	40,07	40,94	41,74	42,49	43,18	43,82	44,43	45,00
Работа при атмосферном давлении									
28,07	29,12	30,07	30,94	31,74	32,49	33,18	33,82	34,43	35,00
Сжатие									
100	120	140	160	180	200	220	240	260	280

Работа в пустоте

46,05 | 47,88 | 49,42 | 50,75 | 51,93 | 52,98 | 53,94 | 54,81 | 55,61 | 56,35

Работа при атмосферном давлении

36,05 | 37,88 | 39,42 | 40,75 | 41,93 | 42,98 | 43,94 | 44,81 | 45,61 | 46,35

Сжатие

300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1500 | 2000

Работа в пустоте

57,04 | 59,92 | 62,15 | 63,97 | 65,61 | 66,85 | 68,02 | 69,08 | 73,13 | 76,01

Работа при атмосферном давлении

47,04 | 49,92 | 52,15 | 53,97 | 55,51 | 56,85 | 58,02 | 59,08 | 63,13 | 66,01

Сжатие

3000 | 5000 | 10 000 | 50 000 | 100 000 | 500 000 | 1 000 000 | 5 000 000 | 10, 10<sup>6</sup> | 10<sup>9</sup>

Работа в пустоте

92,10 | 115,13 | 138,16 | 207,24

Работа при атмосферном давлении

82,10 | 105,13 | 128,16 | 197,24

продукты горения. Они, вследствие расширения, в особенности в разреженной атмосфере, имеют очень низкую температуру и служат для охлаждения сжимаемого воздуха.

31. Без этого охлаждения работа его сжатия показана в табл. 2. При небольших уплотнениях работа сжатия не очень велика. Она больше в пустоте, чем в среде равного давления, потому что в последнем случае помогает сдавливанию сама внешняя атмосфера. Особенно это заметно при малых уплотнениях. Наприм[ер], при уплотнении вдвое 1 м<sup>3</sup> воздуха, при нормальных условиях, необходима работа почти в 8 тоннометров. Это — при отсутствии внешнего давления. А при атмосферном давлении — только 3 тм, т. е. почти в 3 раза меньше.

Мы не будем на этом много останавливаться, так как мы сжимаем воздух при его охлаждении. Воздух у нас поступает в особые трубы (в пропеллерном цилиндре), где может охладиться гораздо ниже атмосферного, ибо температура расширяющихся в пропеллере продуктов горения может достигать в пределе до 273° холода по Цельсию.

32. В табл. 2 мы допускаем неизменную температуру воздуха в  $0^\circ$  по Ц. Давление атмосферы принимаем в 10 тонн на кв[адратный] метр. В таком случае таблица дает нам работу сжатия одного куб[ического] метра. Это имеет применение прежде всего для усиления энергии моторов внизу, у уровня океана. Тут помогает давление среды, и работа сжатия невелика. Так, при удвоении плотности надо только 2 тм работы. При удесятерении густоты воздуха нужно уже 14,5 тм работы. На 1000 метр[ических] сил требуется в секунду  $1,5 \text{ м}^3$  воздуха. Если мы будем подавать воздух, вдвое более плотный, то работа моторов удвоится. Получим уже 4000 метрических сил, т. е. лишних 1000 сил.

Окупит ли этот избыток мощности работу сжатия воздуха? Данную в таблице для  $1 \text{ м}^3$  воздуха работу мы должны удвоить, так как надо получить не  $0,5 \text{ м}^3$  сжатого воздуха, а  $1 \text{ м}^3$ . Значит, работа будет 4 тм. А для получения  $0,75 \text{ м}^3$  надо 3 тм, т. е. 30 метрич[еских] сил в секунду, между тем как у нас прибавилось 1000 м[етрических] сил. Ясно, что сжатие воздуха выгодно.

33. Не так оно выгодно при большем сжатии, как видно из следующей таблицы [табл. 3].

Таблица 3

Сжатие или уплотнение									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Работа получения $1 \text{ м}^3$ сжатого газа в тоннометрах									
4	14,4	26	42,0	60	79,1	100,0	121,5	145	
То же, на $1,5 \text{ м}^3$ воздуха									
6	21,6	39	63	90	118,6	150	182,2	217,4	
То же, в метрических силах									
60	216	390	630	900	1186	1500	1822	2174	
Излишек работы мотора от сжатия воздуха в метрических силах									
2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	
Какой процент работы поглощается (от этого излишка) работой сжатия									
3	5,4	6,5	7,9	9	9,9	10,7	11,4	12,1	

Из последней строки видно, что избыток мощности гораздо больше поглощения ее на сжатие. Поглощение это будет от 3 до 12%. Конечно, для



обыкновенного аэроплана это не так важно, для наших же целей необходимо и выгодно, так как механической работы будет несравненно больше, чем нужно; отдача же возрастает пропорционально сгоревшему материалу и несколько не зависит от экономии горючего в обыкновенном аэроплане. Кроме того, тяга от пропеллера увеличивается. На практике поглощается больший процент. Так, наш сжиматель не дает больше 50% пользы. Значит, процент поглощения в таблице надо удвоить.

34. Теперь обратимся к разреженному воздуху в высоту. Для разреженных слоев воздуха можно пренебречь помогающей силой давления внешней среды. В табл. 2 показаны те, и другие работы. Чем сильнее сжатие, тем менее они отличаются друг от друга.

Положим, на высоте воздух в 100 раз реже. Для получения 1 м<sup>3</sup> воздуха обыкновенной плотности мы 100 м<sup>3</sup> сжимаем в 100 раз. Работа, с одной стороны, увеличивается в 100 раз, с другой — уменьшается во столько же раз, потому что давление его на высоте в 100 раз меньше. Таким образом, работа остается неизменной.

Итак, числа таблицы относятся к работе получения 1 м<sup>3</sup> воздуха, независимо от степени его разрежения, лишь бы температура оставалась та же (0° Ц). Из таблицы видно, что даже при сжатии в миллион раз и получении 1 м<sup>3</sup> обычного воздуха поглощается 128 тм. Значит, для получения 0,75 м<sup>3</sup> обыкновенного воздуха надо 96 тм, или 960 метрических сил. Но и в этом случае работы мотора хватает на сжатие (при совершенном сжимателе).

Если передняя, носовая, часть летящего снаряда имеет устье с трубой, ведущей в моторы, то воздух в трубе сжимается и может служить для питания рабочих цилиндров без особого сжимания. Но это возможно только при огромных скоростях, около 1 км/сек и более. При меньших скоростях необходимо прибегать к компрессору. Все же и сгущением воздуха от движения снаряда пренебрегать не нужно. (См. мое «Давление» [19]30 г.) Конечно, и тут сжимание не обходится без работы, так как увеличивается сопротивление среды движению снаряда. Работа только передается реакции и пропеллеру. Так что ее все равно считать нужно.

Приводим тут таблицу плотностей давлений воздуха на плоскость при разных скоростях снаряда и при нагревании воздуха от сжатия («Давление», параграф 70).

Секундная скорость в кило[етрах]

0	0,4	0,5	1	2	3	4	5
---	-----	-----	---	---	---	---	---

Отношение плоскостей

1	1,38	4,31	138	4420	33 530	141 400	431 200
---	------	------	-----	------	--------	---------	---------

Отношение давлений

1	1,46	6,95	890	114 000	2 · 10 <sup>6</sup>	14 · 10 <sup>6</sup>	69 · 10 <sup>6</sup>
---	------	------	-----	---------	---------------------	----------------------	----------------------

Если воздух охлаждать до нуля, то давления при скорости в 1 кило[метр] довольно, чтобы сгущать обыкновенный воздух до плотности воды, или разреженный в 890 раз.

Выгода использования этого давления в том, что не надо компрессора.

35. Мы определили начальную реакцию или тягу от выбрасываемых газов в 8—10 тонн. Да действие пропеллера примерно увеличивает эту тягу, по крайней мере вдвое, т. е. до 16—20 тонн. (Однако при большей скорости тяга пропорционально ослабляется.) Достаточно ли велико это давление в сравнении с сопротивлением воздуха на разных высотах? Для решения этого вопроса мы должны указать плотность воздуха на разных высотах, от которой зависит сопротивление, и величину сопротивления нашего снаряда при известной скорости и форме. Если сопротивление окажется ничтожным по отношению к тяге, то, во-первых, мы упростим решение задачи о движении ракеты, во-вторых, движение ее будет ускоренным и достигнет необходимых нам больших скоростей.

36. Ссылаюсь на мои работы «Сопротивление воздуха» (1927), «Аэростат и аэроплан» (1906—1908), «Давление на плоскость» (1930).

37. Если скорость снаряда велика и тело не продолговато, то воздух перед самолетом сжимается в сотни раз, сопротивление становится необычно великим и снаряд как бы упирается в стальную стену. Табл. 4 показывает зависимость удлинения снаряда хорошей формы от поступательной его скорости. При этом воздух перед прибором почти не уплотняется и движение сравнительно экономно.

Таблица 4

Удлиненность летательного прибора												
1 (шар)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25
Максимальная экономная скорость в км/сек												
0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	4,5	6,0	7,5

Еще лучше, если удлиненность (отношение длины снаряда к диаметру, его наибольшего поперечного сечения) будет, при данных скоростях, выше чисел первой строки. Напр[имер], для скорости в 1,2 кило[метра]

полезно принять продолговатость самолета не в 4, а в 5 или в 10. Даже при получении космических скоростей в атмосфере продолговатость в 25 достаточна. Значит, при поперечнике в 2 метра длина прибора будет 50 метров.

38. Формулы и расчеты упомянутых сочинений дают нам еще такую таблицу (табл. 5).

Таблица 5

Продолговатость	5	10	20	30	
Длина . . . . .	10	20	40	60	
Отношение сопротивления тела к сопротивлению пластинки и обратная величина этого отношения					
Скорости в м/сек	10	0,0244 41	0,0211 47	0,0226 44	0,0248 40
	50	0,00927 108	0,00657 152	0,00761 131	0,0106 94
	100	0,00756 132	0,00422 236	0,00489 204	0,00573 174
	200	0,00610 164	0,00372 269	0,00357 280	0,00398 251
	300	0,00561 178	0,00335 299	0,00310 323	0,00336 298
	500	0,00488 205	0,00298 336	0,00273 366	0,00283 353
	700	0,00464 216	0,00260 385	0,00244 410	0,00256 391
	1000	0,00439 228	0,00248 403	0,00226 442	0,00230 435

В табл. 5 вычислены сопротивления снаряда с поперечным диаметром в 2 м (по отношению к сопротивлению плоскости наибольшего поперечного сечения его) в зависимости от скорости прибора и его продолговатости. Так, при продолговатости в 10 и длине 20 м сопротивление прибора, в сравнении с сопротивлением плоскости его поперечного сечения, уменьшается в 47 раз при скорости в 10 м/сек и в 403 раза при скорости 1000 м/сек.

39. Чтобы найти абсолютное давление встречного потока на прибор, надо определить сопротивление воздуха движению поперечной плоскости снаряда при тех же скоростях и потом разделить на полезность (утилизацию) формы  $K_f$ . (Это число обратно коэффициенту сопротивления.)

При диаметре в 2 м и при трех одинаковых корпусах сопротивление площади вычислим:

$$Q = 0,918 K_{\phi} \Delta V^2 \text{ кг,}$$

где  $\Delta$  — плотность среды по отношению к плотности ее у уровня океана.

Если, например, полезность формы, скорость и относительная плотность равны единице, то сопротивление будет 0,918 кг (при диаметре 2 м).

40. Теперь по столбцу 3 табл. 5 мы можем высчитать сопротивление нашему снаряду у уровня океана при разных скоростях. Именно:

Таблица 6

Скорость прибора в м/сек							
10	50	100	200	300	500	700	1000
Полезность формы							
47	152	236	269	299	336	385	403
Сопротивление воздуха в кг							
1,938	15,09	38,7	135,9	277	684	1170	2277
То же, в процентах по отношению к реактивному давлению в 10 000 кг							
0,019	0,151	0,387	1,36	2,77	6,84	11,7	22,8

Из табл. 6 ясно, что даже при скорости в 1000 м/сек и плотном воздухе у поверхности океанов сопротивление его составляет только 23% реакционного давления. Но прежде чем снаряд получит скорость 1000 м/сек, он взберется на такую высоту, где сопротивление среды близко к нулю вследствие ее разреженности. (Сопротивлением сравнительно маленьких и плоских крыльев мы пока пренебрегаем.)

41. Чтобы еще более это подтвердить, составим таблицу плотностей воздуха для разных высот над уровнем океана. На эту плотность имеет еще влияние понижение температуры с высотой. Примем его в 5°Ц на каждый километр поднятия, температуру у уровня моря в 0°Ц и давление атмосферы у уровня океана в 10,33 т на 1 м<sup>2</sup>; получим следующую таблицу\*.

\* На основании приведенных здесь наглядных величин Циолковский вычисляет и дает две таблицы изменения плотности с высотой. Ввиду того что в установленной международной стандартной атмосфере приняты другие начальные данные, мы опускаем эти две таблицы, как не представляющие самостоятельного интереса. (Ред.).

Тут мы вычисляем плотность до 18 км высоты. Понижение же температуры можем принять только для поднятия на 15 км. Далее понижение температуры приостанавливается, и плотность становится меньше, чем вычисленная нами. Систематическое и довольно равномерное понижение тепла может быть принято только для тропосферы.

42. Для высот выше 15 км, для стратосферы даем другую таблицу. При составлении ее мы принимаем в основание постоянную ее температуру в  $-75^{\circ}$ .

43. Что же мы видим? На высоте 15 км плотность и сопротивление уже уменьшаются в 6 раз, на высоте 30 км — в 80 раз, а на высоте 33 км — в 135 раз. Далее оно становится почти незаметным. Так, для высоты 58 км плотность уменьшится в 10 000 раз\*.

Итак, мы видим, что при восходящем движении реактивного аэроплана, сжигающего громадное количество горючего и развивающего тягу в 8—10 тонн, сопротивлением воздуха можно пренебречь и тем крайне облегчить первые расчеты по определению движения аэроплана: наклона его движения, скорости, пройденного горизонтально и вертикально расстояния, соответствующей плотности среды, ее сопротивления, потребной для того работы и пр.

44. Сначала снаряд путем собственной реакции или посторонней силой двигается по горе вверх с определенным наклоном. Затем, получив достаточную скорость, он срывается с горы и двигается уже в воздухе без ее поддержки. Наклон корпуса может остаться тот же. Снаряд будет двигаться поступательно и вверх. Но в то же время падать от тяжести: наклонное положение и скорость будут его поднимать, а его вес — опускать. Однако опусканию мешает сопротивление воздуха\*\*, тем более, чем скорость корпуса больше, и тем менее, чем плотность среды менее. Прежде оставления твердого пути скорость должна быть такова, чтобы опускание было меньше поднятия, иначе снаряд может упасть на сушу или в море. Самое лучшее, если опускание будет очень мало в сравнении с поднятием. Тогда снаряд будет двигаться в воздухе, как по рельсам. Но на больших высотах движение, несмотря на наклон, будет все более приближаться к горизонтальному.

45. Определим условия такого движения. По Ланглю, давление на слегка наклонную к потоку плоскость получим, если давление на нее нормального потока умножим на  $2 \sin \alpha$ \*\*\*. Я еще теоретически вывел («Давление жидкости», 1891), что это давление пропорционально  $\sqrt{\frac{a}{b}}$ , где  $a$  — сторона прямоугольника, расположенная нормально к

\* См. примечание на стр. 358. (Ред.).

\*\* Т. е. подъемная сила. (Ред.).

\*\*\*  $\alpha$  — угол атаки; эта формула неточна. (Ред.).

потоку, а  $b$  — другая его сторона. В применении к нашему прибору у нас роль величины  $a$  играет диаметр  $d$ ; он меньше  $b$ , т. е. длины  $l$ . Кроме того, мы имеем не плоскость, а продолговатое тело вращения (веретено). Вследствие его округлости боковое давление на него среды уменьшится, как у круглого цилиндра. Коэффициент сопротивления последнего можем принять  $K_2 = 0,6$  (по разным опытам). Сужение нашего тела (веретено или птица) к концам заставляет уменьшить отношение  $\frac{b}{a}$ , но мы приемем его равным продолговатости  $\frac{l}{d}$  аппарата и таким образом получим сопротивление, меньшее истинного: падение будет быстрее расчетного.

Итак, коэффициент сопротивления нашего снаряда, при наклонном его движении (вернее, положении), под малым углом к горизонту будет

46.  $K_1 = 2 \sin \alpha \sqrt{\frac{d}{l}} K_2$ . Здесь  $\sin \alpha$  означает синус угла потока к наклону длинной оси тела к горизонту.

Если это слегка наклонное тело движется под влиянием тяги (направленной вдоль его длины) со скоростью  $v_1$  и падает в том же воздухе от своей тяжести со скоростью  $v_2$ , то

47.  $\sin \alpha = \frac{v_2}{v_1}$ , и коэффициент сопротивления будет

$$48. K_1 = 2K_2 \frac{v_2}{v_1} \sqrt{\frac{d}{l}}.$$

Площадь  $S$  продольного сечения аппарата можем принять

49.  $S = 0,75dl$ . Давление  $Q$  нормального потока на плоскость можем положить

$$50. Q = K_3 S \gamma \frac{v_1^2}{2g}.$$

Здесь  $K_3$  есть поправочный коэффициент для плоскости, близкий к 1,5, а  $\gamma$  — удельный вес воздуха. Величину давления  $Q$  мы должны умножить на коэффициент  $K_1$ . Получим величину отвесного (снизу вверх) давления на наш снаряд:

$$p = \frac{0,75}{g} \gamma K_3 K_2 v_1 v_2 d^2 \sqrt{\frac{l}{d}}.$$

52. Положим тут:  $\gamma = 0,0013$  т/м<sup>3</sup>,  $d = 2$  м,  $l = 20$  м. Найдем  $p = 0,0111 v_1 v_2$ ; это давление на наш снаряд в зависимости от скорости его падения  $v_2$ .

Для равномерного падения снаряда надо, чтобы давление от сопротивления среды падению равнялось весу снаряда  $G$ , т. е.  $0,0111 v_1 v_2 = G$ , откуда

$$53. v_2 = 901 \frac{G}{v_1}.$$

54. Если бы снаряд не падал от тяжести, то он подымался бы вследствие наклонного движения (носом кверху). Скорость этого поднятия была бы равна  $v_1 \sin \alpha$ . При равенстве обеих скоростей (падения и подъема)

снаряд будет двигаться горизонтально. Это случится при соблюдении равенства

$$v_1 \sin \alpha = 901 \frac{G}{v_1}.$$

Отсюда найдем

55. 
$$v_1 = \sqrt{\frac{901 G}{\sin \alpha}}.$$

56. Мы видели, что  $G = 12$  т.

Положим еще для примера, что  $\sin \alpha = 0,1$ . Тогда получим  $v_1 = 329$  м/сек. Снаряд, срываясь с горы, после приобретения этой скорости уже будет лететь горизонтально.

57. Какой же при этом длины и высоты должна быть гора? При тяге в 4 т ускорение снаряда  $j$  равно

$$j = g \frac{4}{12} = \frac{g}{3}.$$

Пройденное расстояние  $L$  до получения скорости 329 м/сек будет  $L = \frac{v_1^2}{2j} = 5412$  м, т. е. около 5 км. Высоту горы получим, умножив пройденный наклонно путь на  $\sin \alpha$ . Она равна 541 м, т. е. около 0,5 км. Это вполне доступно.

58. При указанной выше скорости снаряд, оставив твердую дорогу, уже не будет падать, а при большей скорости начнет подниматься. Желательно восходящее движение. Для этого надо, чтобы отношение скорости падения  $v_2$  и скорости восхождения  $v_1 \sin \alpha$  было очень малым. Но это отношение, которое мы обозначим  $m$ , равно

$$m = \frac{v_2}{v_1 \sin \alpha} = \frac{901 G}{v_1^2 \sin \alpha}.$$

Отсюда

59. 
$$v_1 = \sqrt{\frac{901 G}{m \sin \alpha}}.$$

60. Положим тут  $G = 12$  т,  $\sin \alpha = 0,1$  и составим таблицу

$m$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{25}$
$v_1$ м/сек	329	658	987	1316	1645

При скорости в 1 км/сек падение будет уже почти незаметно. Все же скорости довольно значительны, и высоты гор, необходимые для сооружения наклонных путей, будут велики, а именно, соответственно:

$H$ в км	0,54	2,16	4,95	8,80	13,75
----------	------	------	------	------	-------

61. Для замедления падения и уменьшения длины твердого пути могут служить тонкие, узкие, почти плоские крылья, о которых мы упоминали, но действием которых пренебрегли.

Но во всяком случае горка в 5 км высоты вполне достаточна для достижения скорости, при которой снаряд двигается уже без опоры.

## ОТ САМОЛЕТА К ЗВЕЗДОЛЕТУ \*

Давно человек наблюдает звезды, давно устремляет свои взоры к небу. Что там такое? Не откроются ли там богатства, превышающие богатства Земли? Что за этим недоступным голубым сводом?

До новейших времен представления о небе и воздухе были очень смутны. Даже «образованные» думали, что по воздуху можно добраться до луны, планет и звезд. Сообразно этому делались попытки летания, и чуть ли не до новейших времен процесс летания соединялся человечеством в одно целое с небесным путешествием.

Атмосфера простирается недалеко, принадлежит Земле, несется вместе с ней в пустоте небесного пространства и составляет только воздушный океан Земли. Он глубже водного, так что покрывает вершины самых высоких гор, достигая глубины 200—300 км, реже воды в 800 раз, а на высотах — в тысячи и миллиарды раз. Поднимаясь последовательно на 5 км вверх, мы достигаем следующих разрежений: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 и т. д. Как видно, на высоте 50 км воздух уже в 1000 раз реже, чем у океана.

Итак, для достижения небесных тел нам надо найти средство двигаться в пустоте. Тогда нам будут доступны и небесные путешествия.

Какие же у людей есть для этого средства? Самолеты и дирижабли, очевидно, не годятся, ибо для них нужна опора в воздухе. Вообще, без опоры движение, повидимому, невозможно. Но какая опора может быть в пустых безднах небесных пространств.

Однако метеоры, маленькие и большие планеты, даже громадные солнца вечно носятся в пустотах космоса. Мало того, что они вечно двигаются, но они даже не требуют ни малейшего расхода сил на свое быстрое движение. Они не устают, никогда не останавливаются и не отдыхают. Это большая выгода для небесных путешествий в пустоте. На Земле, в воздухе этого нет.

Отсюда видно, что одно из средств небесного путешествия есть быстрое движение, подобное по скорости движению небесных тел.

---

\* Работа была впервые напечатана в журнале «Искры науки» (Москва), 1931, № 2, стр. 55—57. См. «Приложение», п. 52. (Ред.).



Их скорость самая разнообразная в зависимости от условий — от их масс и взаимных расстояний. Так, секундная скорость Луны около километра. Планеты двигаются со скоростью примерно десятка и более километров в секунду.

Значит большая скорость может освободить нас от уз земного тяготения и сделать небесными странниками, вроде луны или планет. Но эти скорости чересчур велики и мало достижимы для техники по разным причинам. Оставим пока в стороне этот способ летания.

Другой прием — ракета. В ракете опора состоит из пороха. Правда, эта опора подвижна и не так удобна, как почва. Но ведь и вода, и воздух подвижны, и это не мешает им служить опорой для пароходов и воздушных кораблей.

Условимся реактивным прибором, или (для краткости) ракетой, называть летательный или вообще движущийся прибор, который имеет опору в самом себе: в виде какой-либо массы или взрывчатого вещества. Масса выталкивается из ракеты какою-либо энергией, также запасенной в снаряде.

Если последний, кроме того, имеет еще опору и в окружающей среде, то этот прибор будет полуреактивным. Пока прибор летит в воздухе или в другой материальной среде, он еще может быть полуреактивным. В пустоте же небесного пространства таким он быть не может. Тут он чисто реактивный.

Также всякого рода двигатели, имеющие в самих себе запас материальной опоры, которую они выбрасывают из себя наружу, назовем реактивными.

Вообще, как опору в реактивном приборе можно брать: жидкость, твердое тело, пар, сжатый газ, взрывчатое вещество. Сообразно этому было изобретено множество приборов. В разное время иностранцами и русскими взято множество патентов для движения аэропланов и дирижаблей с помощью реактивных моторов. Сама же ракета была известна китайцам за несколько тысячелетий до нашей эры.

Но в жизни для самолетов и дирижаблей победили обыкновенные двигатели с воздушными винтом, т. е. с внешней опорой. Реактивные приборы оказались непрактичными и неэкономными для земного транспорта. Ошибка заключалась в том, что применяли ракетные аппараты к движению на твердой почве или в среде, где гораздо выгоднее было пользоваться обильной внешней опорой, которая была тут же и которую не надо было таскать с собой в самом аппарате. Применение же реактивного принципа выгодно только в пустоте где он неизбежен и где нет пока другого выхода для получения движущей силы или толчка.

Позднейшая история небесных путешествий начинается со стремления применить реактивные приборы исключительно только к этому делу, когда поняли непригодность их к земному транспорту.

Мы считаем лишним приводить тут мнения множества писателей о возможности заатмосферных скитаний. Ограничимся только двумя всемирно известными авторитетами: Гауссом и Ньютоном. Последний сказал: «с помощью реактивного двигателя корабли могут летать в мировом пространстве». Гаусс же однажды высказал, что ракету ожидает великое будущее. Вообще, как мы видели и ранее, реактивный метод многократно предлагался и для полетов в небесном пространстве.

В 1896 году я впервые разработал теорию реактивных приборов для применения к заатмосферным полетам. Я же доказал, что взрывчатые вещества могут при этом давать скорости, не только одолевающие притяжение Земли, но и Солнца. Предполагаемый мною прибор был бы настоящим звездолетом.

Для путешествий в эфирной пустоте приходится таскать свою опору в самом снаряде, ибо другой опоры там нет. Значит, чисто реактивный принцип неизбежен.

Какую же опору выбрасывать?

Тела твердые, жидкие, газообразные, парообразные или частицы разлагающегося радиоактивного тела?

Сжатый воздух требует сосудов, вес которых раз в 10 больше веса самого газа (т. е. опоры). Другие газы, как, например, водород, при одном действии с воздухом требуют таких же тяжелых резервуаров. Парообразные тела также. Сильно перегретая вода и другие жидкости, хотя и требуют тяжелых сосудов, но содержат более энергии, чем сжатые газы. Они поэтому выгоднее, но все же непригодны. Ожиженные, очень холодные, свободно испаряющиеся газы не требуют крепких и массивных сосудов, но они содержат крайне мало энергии, потому что скорость движения их частиц вследствие низкой температуры, близкой к абсолютному нулю, очень мала.

Мы останавливаемся на взрывчатых веществах, взрывающихся понемногу. Они содержат много энергии. Но употребление готовых взрывчатых веществ в реактивных кораблях невозможно вследствие опасности одновременного взрыва всей их массы. Что тогда останется от нашего корабля? Теория требует для получения космических скоростей количества самых сильных взрывчатых веществ, во много раз превышающего вес самого корабля. Что эта опасность взрыва существует, видно из гибели отважного Валье, убитого взрывом ракеты. Гансвиндт предлагал отдельные динамитные патроны, но это не изменяет сущности дела, и они могут взрываться почти одновременно.

Итак, надо брать не готовые взрывчатые вещества, а их элементы. Например, жидкий, свободно испаряющийся водород и такой же кислород, разделенные непроницаемой для них перегородкой. Но холод жидкостей уменьшает их запасную химическую энергию. Следовательно, и холодных жидкостей, если можно, нужно избегать. Водород хорошо бы

заменить эндогенным его соединением, например каким-нибудь углеводородом, а кислород — таким же его соединением, например, с азотом. Энергия таких веществ, при их химическом соединении, на единицу их массы, несколько меньше, но все-таки достаточна для получения космических скоростей.

Обе тщательно разделенные жидкости накачиваются двумя отдельными насосами в особый резервуар — огненную камеру, где, хорошо смешиваясь, дают взрыв, подобный выстрелу. Образованные пары и газы из огненной камеры переходят в коническую трубу, откуда, расширяясь все более и более, вылетают наружу позади аппарата. Давя на стенки трубы, камеру и корабль, они заставляют его двигаться в противоположном направлении.

За первым холостым выстрелом следует такой же второй. Надо, чтобы получилось число их в секунду, как можно большее, но не чрезмерное, иначе газы не будут успевать вылетать из трубы, и тогда потребуются от работы насосов слишком большая сила.

Взрывная камера и начало трубы весьма накаляются и потому могут расплавиться и сгореть, если их не охлаждать. Но чем же их охлаждать? И откуда получить источник холода? Источник холода есть. Это расширенные концы трубы, близкие к выходному отверстию. Газы и пары, расширяясь в трубе, охлаждаются все более и более. Если труба устроена разумно, то температура газов близ раструба должна быть близка к абсолютному нулю или к  $273^{\circ}$  холода по Цельсию. Вот этот холод и нужно использовать для охлаждения.

С этой целью труба покрывается тонким и легким кожухом, в котором циркулирует как можно быстрее какой-либо газ (вода или другая жидкость чересчур для этого обременительна своим весом). Водород выгоднее воздуха, но ввиду ничтожного веса его газов можно воспользоваться и воздухом. Он, накаливаясь вокруг камеры и тонкой части трубы, быстро мчит свое тепло к раструбу, где и охлаждается, отдавая свое тепло холодным газам и увеличивая тем скорость их вылета и полезное действие. Это движение круговое: от горячих частей трубы к холодным и обратно.

Мы видим, что звездолет требует особого мотора. Наиболее экономный и удобный двигатель бензиновый. Отбросы его также могут вылетать в те же или в особые конические трубы. Вылет назад отработанных газов мотора усилит давление на кормовую часть корабля и ускорит его движение.

Весьма невыгодно делать запасы кислорода в снаряде, ибо это сильно увеличивает его массу и замедляет получение скорости. Такого неудобства не имеют автомобили, поезда, пароходы, аэропланы и дирижабли — все они пользуются кислородом атмосферы, извлекая его понемногу, по мере надобности.

Но звездолет летит некоторое время в атмосфере, и потому во время этого воздушного пути также можно пользоваться воздухом. Только после вылета из атмосферы или в очень разреженных ее слоях он должен прибегнуть к своим запасам кислорода.

Таким манером наш звездолет превращается из чисто реактивного в полуреактивный.

Все решается постепенно. До звездолета еще далеко. Сначала нам нужно проникнуть в разреженные слои воздуха, в стратосферу. Мы можем оставить пока главную составную часть звездолета с камерой взрыва и запасом кислорода. Это сильно облегчит нашу задачу и подготовит нас к сооружению звездолета. Пока же нам нужен стратоплан, или аэроплан высот, чтобы подняться на 20, 30 километров и более.

Попробуем преобразить обыкновенный аэроплан в стратоплан, т. е. аэроплан больших высот. Винтовой его пропеллер мы должны выбросить как разрывающийся при большой скорости вращения.

Однако реактивное действие газов аэроплана далеко недостаточно, чтобы дать ему полет. Расчеты показывают, что отдачу надо увеличить по крайней мере в 10 раз, чтобы подняться на воздух. Как же это сделать при том же весе мотора?

Для примера допустим вес стратоплана с полным оборудованием в 1000 кг. Обыкновенно потребная сила двигателя будет 100 метрических сил, а вес его около 100 кг.

Чтобы получить достаточную отдачу, надо увеличить сгорание горючего в 10 раз; мощность же мотора может увеличиться, а может остаться и прежней. Конечно, мотор способен работать впустую, число оборотов от этого возрастет, а вместе с тем возрастет и количество сожженного горючего. Но, во-первых, некоторая, хотя бы и малая, работа нам необходима на высотах для сжимания разреженного воздуха, во-вторых, число оборотов и при холостом ходе все же в 10 раз увеличится. Значит, неизбежно увеличить не только количество горючего, но и работу двигателя (именно с целью больше сжечь горючего).

Если мы употребим при самом начале полета, у уровня океана, сжатый в несколько раз воздух, расширенные клапанные отверстия и такие же проводящие трубы, то, может быть, нам и удастся увеличить работу мотора в несколько раз, а количество сжигаемого горючего даже в 10 раз. Последнее нам всего важнее. Притом на моторы мы можем ассигновать не 100, а 200—300 кг. Употребление горючего, в виде ожиженного водорода, который очень быстро смешивается с воздухом, может также способствовать увеличению числа оборотов мотора, а вместе с тем и количества потребляемого горючего. Такая задача не так уж трудна, если над ней хорошенько подумать.

При десятикратном ускорении сгорания выхлопное действие газов так значительно, что стратоплан сначала катится, а потом подымается

на воздух и мчится со скоростью, доходящей до 50—100 метров в секунду.

Но где же космические скорости, где вообще увеличение скорости? Это увеличение обнаружится в высших слоях атмосферы, по мере разрежения воздуха и особенно в то время, когда ракета преодолет земное притяжение и будет мчаться в безвоздушном пространстве.

Заметим, что если количество сжигаемого горючего, благодаря компрессору, на всех высотах постоянно, то и реактивное действие, или тяга, также останется постоянным. Таким образом, работа, используемая аэропланом, будет пропорциональна скорости его поступательного движения, т. е. во сколько раз увеличится работа, во столько же раз возрастет скорость, и наоборот.

Как показывают мои расчеты, при постоянной тяге на высоте, где воздух вчетверо реже (12 км), скорость аэроплана будет вдвое больше; где в 9 раз атмосфера реже, там скорость в 3 раза больше, и т. п. Приводимая ниже таблица дает соотношение между этими величинами.

Разрежение воздуха						
1	4	9	16	25	36	49
Секундная скорость в метрах						
100	200	300	400	500	600	700
Часовая скорость в километрах						
360	720	1080	1440	1800	2160	2520

На высоте, где воздух реже в 100 раз, часовая скорость достигнет 3600 км в час (1 км в секунду). Таким образом, от наших широт (допустим 45°) до экватора можно будет пролететь в течение 1,4 часа, от полюса к экватору — в 2,8 часа, от полюса к полюсу — в 5,6 часа, кругом Земли — в 11,1 часа. Это вдвое скорее движения экваториальных точек Земли, или кажущегося движения Солнца (суточного). Понятно, какие эффекты в движении Солнца, в его восходе и закате, можно благодаря этому видеть.

## ДОСТИЖЕНИЕ СТРАТОСФЕРЫ. ТОПЛИВО ДЛЯ РАКЕТЫ\*

### ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ГОРЮЧИЕ

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, взрыв же есть быстрое горение.

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 единицей массы горючего. Так же и в экономическом отношении горючие выгоднее взрывчатых веществ, так как последние гораздо дороже, и использование их гораздо труднее.

Экономично это делать пока не умеют\*\*. Все опыты с ракетными автомобилями, глиссерами, санями и планерами имеют большое значение только как учеба и подготовка к стратоплану и звездолету.

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 один килограмм в секунду, между тем как взрывчатого вещества может сгореть в эту же секунду несколько тонн. Если при этом, как обыкновенно, получаются летучие продукты, то они могут приобрести скорость в несколько километров в секунду. Их энергия движения может быть использована турбиной, хотя практическое решение этого вопроса еще недостаточно созрело. Мы верим, однако, что будущее ракетных двигателей должно быть блестящим.

\* Рукопись поступила в ЦС Осоавиахима 9 марта 1934 г.

\*\* В настоящее время созданы надежно работающие реактивные двигатели, использующие в качестве горючего спирт, а в качестве окислителя — жидкий кислород. (Ред.).

Мы основываемся на том, что летучие продукты взрыва, расширяясь в искусственной или естественной пустоте (вне атмосферы), всю свою энергию превращают в движение. Поэтому процент использования тепла может быть высок, как нигде. Кроме того, имеем еще быстроту горения и значительное выделение работы в секунду (энергия).

Энергия взрывчатых веществ уже сейчас утилизируется для огнестрельных орудий и разрушения твердых масс (например, гранитных скал). В малую долю секунды они сообщают большую скорость пушечному ядру, развивая (в среднем) несколько миллионов лошадиных сил. В ту же малую долю секунды они производят мощную работу раздробления каменных масс.

Ракетные приборы прямого действия (ракеты) могут давать также большую мощность снарядам и экипажам при условии их скорости в несколько километров в секунду. Но такая скорость невозможна в нижних слоях атмосферы, так как этому препятствует сопротивление воздуха. Только в крайне разреженных слоях атмосферы возможны такая скорость и выгодное использование.

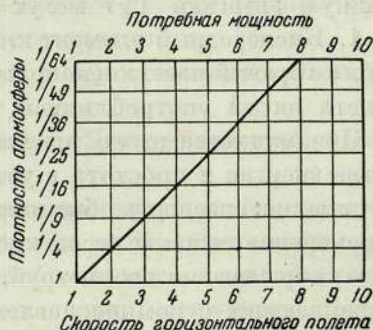
Кстати, опровергнем тут весьма распространенное заблуждение, будто в высших разреженных слоях атмосферы возможна космическая скорость при обычной энергии двигателей. Еще в 1895 г.\* в своих изданных трудах я находил, что потребная мощность мотора при постоянном его весе в наиболее благоприятном разреженном слое пропорциональна скорости самолета.

На фиг. 1 скорость горизонтального полета при полете у Земли принята за единицу; мощность мотора при этом тоже принята за единицу. В неизменной плотности воздуха эта мощность пропорциональна кубу скорости, т. е. эта мощность возрастает в отношении чисел: 1, 8, 27, 64 и т. д. Это через 35 лет подтвердил американский ученый Корвин-Круковский.

Трудности при полете в стратосферу большие, но их можно одолеть, пользуясь именно чудовищной мощностью горючих веществ.

### ДВИГАТЕЛИ И ВЗРЫВАНИЕ

Собственно, во всякой топке происходит непрерывное горение — взрывание, особенно там, где употребляют форсунки. Однако этим взрыва-



Фиг. 1.

\* См. К. Э. Циолковский. Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина. Собр. соч., т. I, Изд. Академии Наук СССР, стр. 40—73.

нием в обыкновенной паровой машине или турбине непосредственно не пользуются. Пользуются только получаемым теплом. 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 здесь меньше. Видно стремление перейти к взрывчатым моторам (бензиновые и дизельмоторы) или к электрическим.

Второй случай имеем в моторах внутреннего горения. Тут пользуются силой 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. В обоих случаях используют ничего нестоящий кислород (из воздуха).

Реактивные автомобили, глиссеры, 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.

1. Кислородный элемент или заменяющий его может быть заранее смешан с горючей частью (например, 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 (гибель Тиллинга и др.), обременение машины весом кислородного соединения или жидкого кислорода, обременение весом труб, начиненных взрывчатым веществом и выдерживающих огромное давление вырывающихся сжатых продуктов горения (для этого трубы должны быть крепки и тяжелы) при небольших скоростях, доступных в нижних слоях атмосферы, малый процент использования химической энергии, дороговизна взрывчатых веществ.

2. 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. Там можно достигнуть больших скоростей, и использование химической энергии может быть весьма значительным. Остаются невыгодны: 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 азотно-кислотный 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 статье «Реактивное движение и его успехи», напечатанной в журнале «Самолет» № 6 (1932 г.). Поэтому они и дают такие слабые результаты.

#### ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ВЗРЫВА

Тут мы подразумеваем достижение очень разреженных слоев воздуха, когда извлечение из него кислорода затруднительно.

Элементы взрывчатых веществ для реактивного движения должны обладать следующими свойствами:

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

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

3. Должны при горении развивать возможно низкую температуру, чтобы не сжечь или не расплавить камеру сгорания.

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.

Приведем примеры. Водород и кислород, например, удовлетворяют всем условиям, кроме указанных в пунктах 4 и 6. 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  $234^{\circ}$  холода, а кислорода —  $119^{\circ}$  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  $106^{\circ}$  холода (по Цельсию). 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 очень низкой температуре жидкое состояние и плотность, недалекую от плотности воды. Значит, можно допустить и ожиженные газы, не имеющие жидкой критической температуры.

2. Выделяющие наибольшую работу на единицу полученных продуктов. Таковы некоторые слабозкзогенные 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 32—33 кал. Такое же горение легких металлов — лития, алюминия, магния, а также силиция и бора — дает от 3400 до 5100 кал, т. е. значительно больше. Однако эти материалы непригодны ввиду нелетучести продуктов.

Но в отдельном виде водород и кислород пока неудобны. Лучше всего их заменить слабыми соединениями с другими элементами. 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. Водород при соединении с кислородом на единицу массы продуктов дает больше энергии, чем углерод. Именно водород дает от 3233 (пар) до 3833 кал (вода), а углерод 2136 кал. Все последующие числа выражены в малых калориях на 1 г, или на 1 моль вещества. Поэтому углеводороды выделяют при горении тем больше энергии, чем больше процент водорода.

Таковы предельные углеводороды. Из них самый простой — метан  $\text{CH}_4$ , или болотный газ. Он содержит небольшой 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  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ , причем обратно поглощается тепло. Кроме того, ожиженный метан имеет низкую температуру ( $-82^\circ \text{C}$ ) кипения и потому удобен.

Но вычислим его энергию взрыва [фиг. 2]. Одна часть С требует двух частей О. При этом на граммолекулу (моль) выделяется 94 000 кал. Четыре части Н требуют две части О. При этом на 36 г выделяется 116 000 кал. Всего на 80 г выделяется 210 000 кал. Но предварительное разложение  $\text{CH}_4$  требуют 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 (12,2%) водорода, но образуется он с поглощением теплоты (эндогенное соединение). Это — этилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ). Мы находим его более подходящим. Действительно, две части С требуют четыре части О. На 89 г выделяется 188 000 кал. Четыре части Н требуют две части О. На 36 г выделяется 116 000 кал (пар). Значит, на 124 г выделяется 304 000 кал. Но при разложении  $\text{C}_2\text{H}_4$  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 про-

дуктов получим 2576 кал. Это немного больше, чем от метана. Этилен легко сжигается, так как критическая температура его  $10^{\circ}$  тепла, а критическое давление 52 ат. Этилен легко получается из этилового спирта или эфира при пропускании последних через глиняные шарики, нагретые до  $300-400^{\circ}$  Ц. Выходит, что этилен выгоднее болотного газа (метана).

Рассмотрим теперь бензол  $C_6H_6$ . Как жидкость, довольно плотная, он наиболее пригоден для ракеты. Но он содержит только 8% водорода. Какова же его энергия на единицу массы продуктов при его химическом соединении с кислородом? При образовании он выделяет на 1 моль (граммолекулу, или 78 г) всего только 102 000 кал. Но все же сделаем расчет.

$C_6$  требует  $O_{12}$ , и  $H_6$  нуждается 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 меньше, чем дает этилен, но зато имеем жидкость обыкновенной температуры с очень незначительным давлением ее паров.

Ацетилен  $C_2H_2$  такого же процентного состава, как газ, неудобен. 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 горения. Лучше всего оживленный водород; но получение его и хранение затруднительно помимо огромного занимаемого им объема.

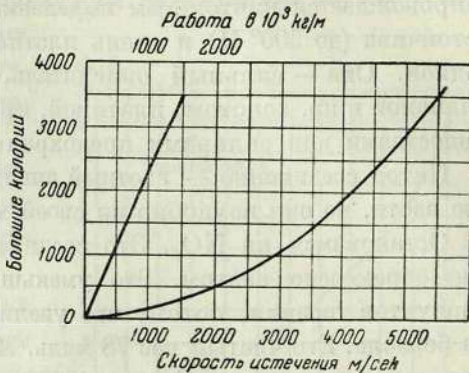
Приведем данные о теплоте горения спиртов, эфира и скипидара:

Спирт метиловый $CH_4O$ . . . . .	2123 кал
Спирт этиловый $C_2H_4$ . . . . .	2327 »
Эфир $CH_4O_{16}$ . . . . .	2512 »
Скипидар $C_{10}H_{16}$ . . . . .	2527 »

Здесь показано число выделяемых калорий на единицу продуктов горения. Видно, что и этими горючими пренебрегать нельзя.

При наших расчетах мы предполагаем оживленный 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



Фиг. 2.

$N_2O$  — непригодно, потому что содержит большой процент азота. То же можем сказать и про эндогенное соединение — окись азота  $NO$ . Третье соединение — азотноватый ангидрит  $NO_2$  — представляет собою бурю 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 пр. золотом, платиной, придиом и другими неокисляющимися веществами или сплавами 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 чистый вес 78 моль. Мы видели, что это вещество требует для полного сгорания  $O_{15}$ , или 240 г кислорода. Вес продуктов при горении в чистом кислороде равен 318 г. Но у нас  $O_2$ . Тут на  $O_{15}$  прибавляется 105 г азота. Продуктов будет 423 г. Это количество больше в  $423 : 318 = 1,331$  раза. От увеличения массы продуктов горения скорость их вылета уменьшается в 1,15 раза, т. е. составит 87%. Например, вместо 6000 м/сек будет 5220 м/сек. Энергия взрыва на 1 г 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 кал
Порох дымный и бездымный . . . . .	от 720 до 960 »
Нитроглицериновый порох . . . . .	1195 »
Нитроглицерин . . . . .	1475 »
Динитробензол с азотной кислотой . . . . .	1480 »
Пикриновая кислота . . . . .	750 »
Азотнокислый пиробензол . . . . .	1330 »
Гремучая ртуть . . . . .	350 »

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 и неудобен 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 дает критическую температуру, равную  $-10^\circ C$ .

4. Бензол  $C_6H_6$  с кислородом дает 2289 кал. Величина энергии здесь меньше, но удобно то, что при нормальной температуре бензол — жидкость. Пригодны и смеси жидких углеводородов с высокой температурой кипения (керосин и пр.), тем более, что они дешевы (нефть).

5. Употребление жидкого кислорода представляет некоторое неудобство вследствие затруднений при его хранении.

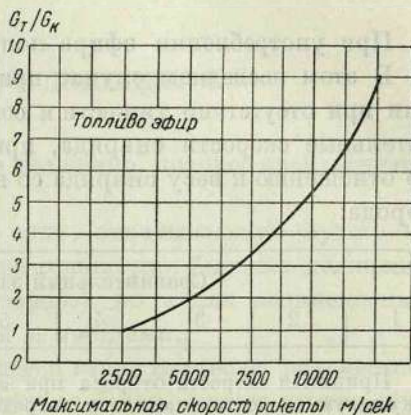
6. Наиболее подходит замена кислорода азотноватым ангидридом  $NO_2$ . Это — бурая, химически устойчивая жидкость, плотнее воды. При смешении ее с бензолом на единицу продуктов выделяется 1721 кал.

Эти две жидкости наиболее подходящи для ракеты (1) [фиг. 3]. Но части машин должны быть предохранены от окисляющего влияния  $O_2$ . 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 сжигания при идеальных условиях, т. е. в пустоте и очень длинных трубах.



Фиг. 3.

Теплота горения одного килограмма в больших калориях

700	1000	1200	1500	1700	2000
-----	------	------	------	------	------

Идеальная механическая работа в тысячах килограммометров

300	428	513	642	727	856
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Секундная скорость продуктов в метрах

2450	2920	3200	3580	3810	4130
------	------	------	------	------	------

Теплота горения

2200	2500	2700	3000	3200	3500
------	------	------	------	------	------

Работа в тысячах килограммометров					
941	1070	1155	1284	1369	1498
Секундная скорость в метрах					
4340	4630	4800	5060	5230	5470

При употреблении эфира получим скорость 4630 м в секунду.

В этом последнем случае 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, получим такую наибольшую секундную скорость снаряда в метрах:

3200	5094	6400	7465	8314	9026	9646	10194	10685	11126
------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------

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. одну тонну, 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 взрывающихся газов и скорость снаряда приблизительно одинаковы. Действительно, одна и та же сила (фиг. 1) действует, в данном случае, между равными массами.

Почему же тогда одной из масс двигаться быстрее или медленнее другой?

Обозначим полученную секундную скорость единицей, например одним километром.

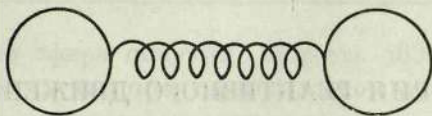
Теперь вообразим снаряжение согласно второму члену (4 и 3) ряда. Взорвем сначала две тонны. Оставшиеся две тонны получают скорость

---

\* Работа впервые напечатана в журнале «В бой за технику» (Москва), 1932, № 15—16 (август). (Ред.).

в 1 километр. Потом взорвем последнюю тонну. Оставшаяся тонна получит прибавочную скорость еще в один километр. Всего же прибор будет иметь два километра скорости.

Возьмем снаряжение взрывным материалом, согласное с третьим членом ряда (8 и 7). Взорвем прежде 4 тонны. Получим для оставшихся че-



Фиг. 1.

тырех тонн единицу скорости. Взорвем далее 2 тонны. Для оставшихся теперь двух тонн получим прибавочную единицу скорости, а всего две. Наконец, взрываем последнюю тонну запаса. Оставшаяся тонна приобретает 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 геометрической прогрессии, то скорость ее увеличивается также беспрестанно, 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 Годдаром и другими опыты показали, что скорость вылетающих из дула (при холостом выстреле) газов может достигать до 3 и более километров в секунду. Теоретически доказано, что в пустоте, при наличии довольно длинной конической трубы (ракеты) и при пользовании самыми энергическими взрывчатыми веществами, скорость эта может быть доведена до 5—6 километров в секунду.

Примем хоть 5 км в секунду. Тогда получим такой ряд скоростей (в км): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35...

Если даже взять более скромное число в 4 км, то найдем ряд скоростей: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28...

Но уже скорости в 8 километров достаточно, чтобы вечно носиться выше атмосферы кругом Земли в качестве ее спутника (как Луна). Скорости в 12 километров довольно, чтобы стать на путь (орбиту) Земли и сделаться, таким образом, маленькой планетой\*. Наконец, скорость в 16 км 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

\*Более точные значения скоростей будут соответственно 7,9 и 11,2 км/сек. (Ред.).



случится уже тогда, когда запас взрывчатого вещества превышает вес ракеты всего только в 15 раз. О больших скоростях пока говорить не будем. Но возможны ли такие запасы?

Даже в рекордных аэропланах масса взрывного материала не превышает веса аппарата. Так же и в пароходах. В последних 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 ракеты, нужно выполнить такие условия.

Элементы взрыва (нефть и кислород) не должны производить сильного давления на заключающие их сосуды (иначе последние 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 в секунду, иначе относительное утяжеление элементов взрыва и всех частей снаряда заставит делать его прочнее, а следовательно, и массивнее, тяжелее. Движение снаряда выгоднее делать наклонным.

Безопасность, легкость и хорошее действие ракеты еще нуждаются в следующем:

1. В разделении элементов взрыва, постепенное соединение которых дает реактивное давление.

2. В наличии конической трубы, в узкой части которой смешиваются и взрываются вещества.

3. В поршневых насосах, накачивающих элементы взрыва.

4. В периодическом накачивании. Это ряд как бы холостых выстрелов, производимых примерно 50—100 раз в секунду.

После каждого выстрела дуло (труба) освобождается от газов, и нужно тогда уже небольшое усилие, чтобы втолкнуть в него дозу составных частей взрыва. Без этого от насосов и двигателей потребовалось бы несущественно большая мощность\*.

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 секунду, и жидкостные реактивные двигатели с подачей компонентов топлива в двигатель или при помощи газов высокого давления, или при помощи специальных насосов. (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) невозможны в нижних слоях атмосферы, потому что они немедленно теряются, благодаря громадному 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 дает большого сопротивления, потому что воздух очень разрежен. 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 (рис. 2 и 3).

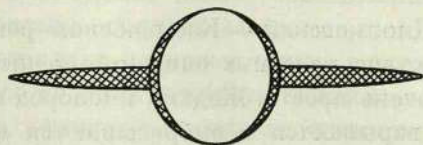
1. Крылья — вроде оперения. При небольшом размахе они не будут тяжелы, а вследствие большой длины (вдоль снаряда) не будут очень

---

\* По современным данным, на высотах более 80 км имеют место высокие положительные температуры. (Ред.).

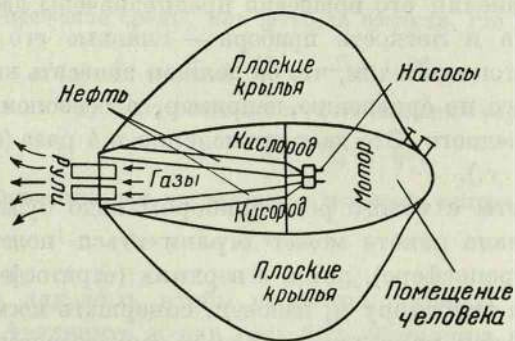
«пухлы». При малой скорости они будут работать сравнительно слабо, при большой — лучше. Необходима почти плоская их форма.

2. Подвижная блестящая чешуя (на рисунке видна лишь часть ее), чем она нормальнее к поверхности ракеты, тем более открывается черная



Фиг. 2.

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



Фиг. 3.

чешуей при получении высокой температуры. При полете в атмосфере чешуя должна смыкаться в одну поверхность, и потому тут невозможно регулирование температуры. Поэтому выгоднее сдвижная, продольная чешуя.

3. Помещение для людей.
4. Непроницаемая крепкая оболочка ракеты, выдерживающая давление по крайней мере в одну атмосферу.
5. Чешуя сдвижная (как веер).
6. Слабый мотор.
7. Насосы для накачивания кислорода и нефти.
8. Место смешения элементов взрыва.
9. Коническая труба. Из широкого отверстия вырываются разреженные и холодные газы с относительной скоростью 3—6 км в секунду. Эта скорость для каждого прибора всегда одна и та же.

10. Два руля отвесных и два горизонтальных. Рули работают и в пустоте благодаря стремительно вылетающим продуктам горения (газы являются упором для лопастей руля).

11. Жидкий кислород.

12. Нефть.

(Подробнее см. Циолковский — Космическая ракета. 1927 г.).

Устройство и действие подобных описанному чисто реактивных приборов сравнительно очень просто. Жидкий кислород и нефть, смешиваясь в камере сгорания, взрываются и выбрасываются в виде стремящихся расшириться газов через коническую трубу наружу, толкая стенки ее, а следовательно, и весь прибор 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 запастись кислородом. Потребное количество его по сравнению, например, с бензолом в три с лишком раза больше последнего. Это дает утяжеление в 4 раза (см. «Реактивный аэроплан», 1930 г.).

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 полтора километра. Высший результат получила итальянская ракета д-ра Лиона, которая поднялась на 9,5 км.

Другие практические результаты еще слабее.

Ракеты с крыльями Годдара и Свана не оправдали себя. Например, планер Свана (80 кг весом) поднялся на высоту всего 60 метров.

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.

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. Р и н и а. 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 возрасти 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 на лошадиную силу). Тогда поступательная горизонтальная скорость увеличится в 5 раз. Если, например, при моторах обыкновенного веса она достигала 200 метров в секунду (720 км в час), то при более легких возрастет до 1000 м в секунду (3600 км в 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.

Английская пресса сообщает, что в 1932 г. предполагается перелет через Атлантический океан на высоте 16 км со скоростью 1250 км в час (347 м в 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 в секунду (360 км в час), то возможно достичь максимум 250 м в секунду, 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 в 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). Полет через Атлантический океан сократится до 8—10 часов (см. мою работу «Новый аэроплан», 1929 г.).

Затем появится полуреактивный стратоплан. Секундная его скорость может быть гораздо выше, примерно, до 1000 м в сек. или 3600 км в час. Он будет летать на высоте 23—24 км, где атмосфера в 100 раз реже, чем у поверхности океана\*\*.

Экономических выгод в расходовании горючего не получится: теория показывает, что на единицу пути и на какой-либо определенный путь рас-

\* Скорости современных опытных аэропланов 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.).

ходуется одна и та же масса горючего. Кроме 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 одного километра начинает уже обнаруживаться центробежная сила, облегчающая вес «ракеты». Если же скорость повысится до 8 км в секунду, снаряд потянет 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 ракеты поезда», 1929 г.)\*.

3. Летящий снаряд нужно первоначально питать земной энергией через вещественные или «невещественные» провода (например, порох, лучистая энергия).

Получив возможно большую скорость, ракета продолжает путь своей собственной энергией посредством взрывания запасенных 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

---

\* Этот метод получил в современных научно-технических изысканиях полное признание. (Ред.).

первыми достижениями звездоплавателей, первым приютом для людей. Тут же найдем мы и первый материал для строительства в безднах эфира.

Когда же все это будет?

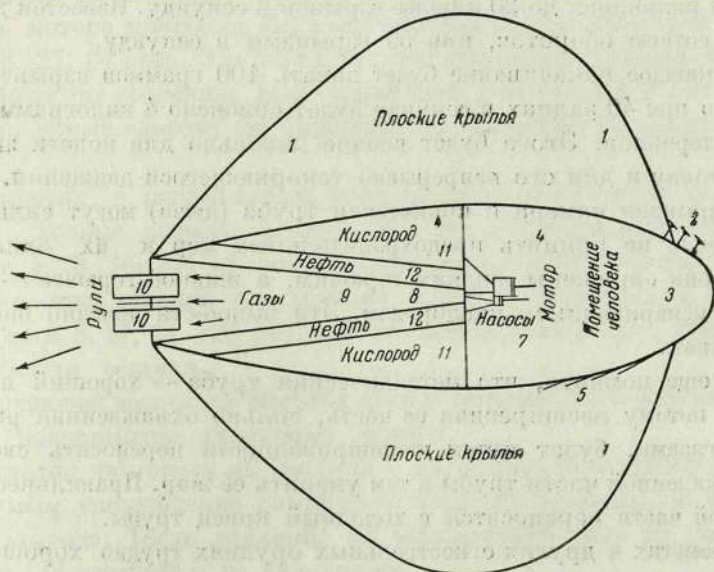
Никто не в силах этого предвидеть, если даже принять в расчет стремительную быстроту прогресса науки и техники настоящего времени. Вероятно, придется ждать десятилетия, если не столетия.

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. фиг. 1). Они



Фиг. 1.

накачиваются в камеру сгорания двумя поршневыми насосами. Здесь они встречают особую «решетку смешения» и взрываются разными известными способами. 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

\* Эта статья написана К. Э. Циолковским специально для нашего журнала. *Примечание редактора журнала «Знание — сила», № 23—24, декабря 1922 г.*

и боковой устойчивости. Благодаря стремительному потоку выхлопных газов они работают и в пустоте независимо от окружающей среды.

В огненной камере (камере сгорания) происходит ряд взрывов, как в браунинге или пулемете. Разница только та, что в реактивном звездолете ствол конический, взрыв холостой (без пули) да составные части взрывного 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 холостые взрывы скорее освобождают трубу (дюзу) от газов. Авиационные моторы могут давать в рабочих цилиндрах до 20 и более взрывов в секунду. Известен даже двигатель с сотнею оборотов, или 50 взрывами в секунду.

Если каждое накачивание будет давать 100 граммов взрывчатого вещества, то при 40 залпах в секунду будет сожжено 4 килограмма 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 полезно 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 накаленной 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 градусов).

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 килограмма, а полный снаряженный вес звездолета — в тонну, найдем, что запас взрывчатого вещества в 0,8 тонны (800 килограммов) израсходуется в течение 200 секунд. В это время звездолет, устремляясь под углом примерно в 30 градусов к горизонту, быстро достигнет разреженных слоев воздуха и приобретет такую скорость, которая выкинет его за пределы атмосферы.

## СТРАТОПЛАН ПОЛУРЕАКТИВНЫЙ \*

### ВВЕДЕНИЕ

В нижних слоях атмосферы самолет не может достигнуть больших скоростей. Если бы мы пожелали скорость его увеличить в 2, 3, 4 раза, то мощность мотора пришлось бы увеличивать при том же общем весе аэроплана в 8, 27, 64 раза. Это очень трудно по многим причинам. Например, моторы были бы непрочны, воздушный винт разорвался бы от быстрого вращения, самый самолет не выдержал бы давления встречного потока, и т. д.

На высотах, в разреженном воздухе легче достигнуть увеличенной скорости. Точные расчеты показывают, что когда разрежение среды\*\* достигает 4, 9, 16, 25, то скорость самолета может возрасти в 2, 3, 4, 5 раз, но при условии увеличения мощности двигателей в 2, 3, 4, 5 раз, а не в 8, 27, 64, 125 раз, как это необходимо внизу, при неизменной плотности воздуха.

Разреженный воздух на высотах хотя и холоден, но в силу своего разрежения недостаточно охлаждает моторы.

Недостаток кислорода на высотах и малое давление атмосферы делают необходимым употребление замкнутого корпуса (кабины), не выпускающего кислорода. Тогда давление на человеческое тело не уменьшится, и человек не ослабеет и не задохнется.

Кроме того, на высотах мощность мотора увеличивать много труднее, чем внизу, ибо приходится предварительно сжимать воздух, идущий на питание рабочих цилиндров. Это увеличивает вес двигателя, а стало быть, и вес всего самолета. Но увеличение веса можно отчасти компенсировать использованием отдачи (реакции) выхлопных газов.

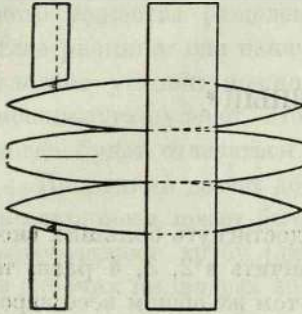
Мои размышления и расчеты привели меня в настоящее время к следующему наиболее осуществимому типу высотного самолета.

\* Впервые напечатано в журнале «Хочу все знать». Жургазобъединение, 1932, № 29, октябрь. См. «Приложение», п. 62. (Ред.).

\*\* Циолковский имеет в виду отношение  $\rho_0/\rho_n$  — плотности воздуха у поверхности Земли ( $h = 0$ ) в нормальных условиях — к плотности на высоте  $h$ . (Ред.).

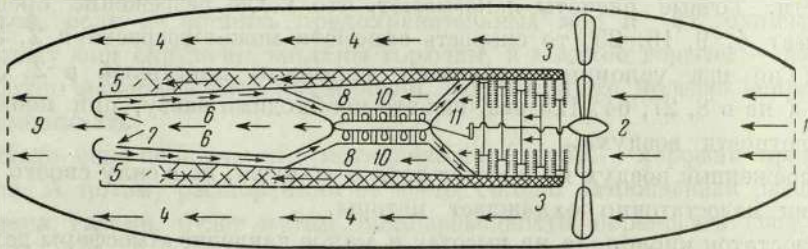
## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

1. На фиг. 1 показан план трех почти одинаковых корпусов хорошей формы. В одном помещаются пилоты — он герметически закрыт, поэтому на высотах в нем так же легко дышать, как внизу. Другой — содержит горючее. В среднем помещены: воздушный винт (пропеллер), двигатель, компрессор, холодильник и пр. (Средний корпус будет описан далее по чертежам второму и третьему.) Сверху корпусов проходит большое крыло, которое служит и связью для них. Сзади два крыла, служащие рулем высоты и рулем боковой устойчивости. Наконец, укажем на руль направления, помещенный сзади и сверху на среднем корпусе.



Фиг. 1.

2. На фиг. 2 изображен продольный разрез среднего корпуса. Передняя его часть 1 может открываться более или менее (см. также фиг. 3). Вполне закрытой она не бывает. Так же устроена и задняя часть корпуса 9. Встречный поток во время движения самолета проникает в корпус,



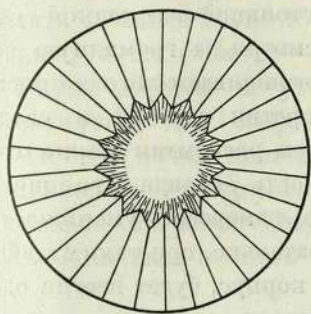
Фиг. 2.

чему способствует еще и воздушный винт 2, приводимый в движение нефтяным или бензиновым двигателем 3. Он охлаждается общим воздушным потоком в среднем корпусе (футляре). Потoki чистого воздуха на чертеже означены одиночными стрелками. Продукты горения из двигателя идут по многим трубам 3 и собираются в кольцеобразное (между двумя цилиндрами), постепенно расширяющееся пространство.

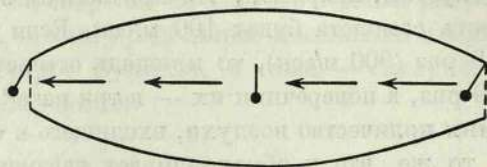
Здесь они сильно расширяются, их теплота превращается в движение, отчего они приобретают большую скорость и низкую температуру, доходящую до  $250^{\circ}$  холода\*. У нас получается хороший холодильник 5. Трубы с продуктами горения на чертеже затушеваны.

\* Столь низкая температура получается при начальной температуре в  $2400^{\circ}$  абс. температуре сгорания бензина в воздухе) в случае, если продукты сгорания расширяют-

Направление 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.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

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 компрессор 10, который приводится в действие от мотора 3 при посредстве зубчатых колес и шарнира Гука 11. Из компрессора чистый, сжатый и уже нагретый от сжатия 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 фиг. 3. Тут представлено отверстие спереди или сзади. Поверхность конца корпуса состоит из прямоугольных пластинок, собирающихся

ся адиабатически настолько, что давление их уменьшится приблизительно в  $17 \cdot 10^6$  раз. Даже при высоких начальных давлениях конечные давления при этом крайне низки. Фактически же сопротивление от трения газов о стенки и внутреннего трения сопряжено с выделением тепла и падением давления. Газы будут поэтому к концу раструба значительно теплее, и скорость их у выхода уменьшится; может иметь место внутри трубы вторичное увеличение давления, а затем уже окончательное падение давления при меньшей скорости истечения. Можно будет определить наиболее выгодную общую длину трубы для данного угла раструба ее. Температура при этом будет больше, нежели  $250^\circ\text{C}$  холода. *Примечание редактора к «Избранным трудам К. Э. Циолковского». М., ОНТИ, 1934.*

\* Лучше между ступенями компрессора охлаждать воздух и пускать сравнительно холодный воздух в цилиндры: это увеличивает коэффициент наполнения цилиндров, т. е. мощность двигателя данной величины, и уменьшает работу, потребную для сжатия воздуха. *То же.*

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 постоянной 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. Допустим, например, что при полном наибольшем раскрытии жерла скорость самолета будет 100 м/сек. Если же скорость снаряда увеличится в 9 раз (900 м/сек), то площадь отверстий тоже намеренно уменьшается в 9 раз, а поперечник их — 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.

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 компрессора, так что он исправно работает и в плотной и в разреженной атмосфере.

Теория газового компрессора описана в особой изданной мною работе\*\*.

7. Сначала стратоплан катится по рельсам, снегу или воде (он же и устойчивый гидроплан). Получив скорость в 100 м/сек, он поднимается на воздух и летит наклонно кверху все скорее и скорее. В нижних слоях воздуха он скоро достиг бы предельной скорости примерно в 200 м/сек. Но круто поднимаясь кверху, 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 ослабевает, но даже усиливается благодаря низкой температуре холодильника и сильному охлаждению (может быть, даже ожигению) воздуха, поступающего в компрессор.

9. Приведенные 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) отверстий.

\* Когда скорость потока приближается к скорости звука, явления у входного отверстия существенно осложняются возникновением скачков уплотнения. (Ред.).

\*\* Сжиматель газов. Калуга, 1931, 36 стр. (Ред.).

10. 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.

### ВОЗДУШНЫЙ КОМПРЕССОР

11. Обыкновенный воздушный винт неприменим 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-компрессор изображен на фиг. 2. 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-компрессор (см. фиг. 2 и 3) состоит из круглой цилиндрической трубы, внутри которой вращается другой закрытый цилиндр с посаженными вокруг него воздушными винтами (они подобны самолетным или имеют форму архимедова винта). Между каждыми двумя винтовыми кругами расположена вдоль, параллельно оси цилиндров, плоская неподвижная лопасть. Она может быть протянута эксцентрично в большем цилиндре и прикреплена к нему же. Цель этих лопастей — избежать по возможности вращения воздуха в компрессоре. 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 двигается почти без сжатия, как от действия одного винта. Но чем больше суживать выходное отверстие (фиг. 3), тем проходящий газ при выходе сжимается сильнее.

Действие это понятнее всего, 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 возрастают с числом винтов. В одной и той же трубе оно неодинаково и выражается рядом чисел:  $(1,1) \dots (1,1)^3 \dots (1,1)^{10}$ . 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 (фиг. 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 два 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 цилиндра. Малый цилиндр оканчивается плавными поверхностями, которыми он закрыт с обоих концов.

19. На фиг. 2 видим продольный разрез компрессора 10. В нем замечаем перегородки. Они прикреплены к большому цилиндру, но не касаются малого. Назначение перегородок в том, 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 перегородки прикрепляются к большому цилиндру.

#### РАСЧЕТ КОМПРЕССОРА

21. Определим наибольшую скорость  $u$  по окружности вращающегося тела. Пусть это тело — цилиндрический стержень или вообще цилиндр, расположенный перпендикулярно к оси вращения (как спица колеса).

Наибольшая скорость по окружности получится, когда наибольшее напряжение цилиндра (у оси) от центробежной силы равно сопротивлению



материала. На этом основании составим уравнение

$$\frac{u^2 l}{lg} \cdot \gamma \cdot 0,5 = \frac{K_z}{S},$$

где  $l$  — длина цилиндра;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\gamma$  — удельный вес материала;  $K_z$  — временное сопротивление материала разрыву и  $S$  — запас прочности. Коэффициент 0,5 нашли с помощью несложного интегрирования. Отсюда

$$u = \sqrt{\frac{2g \cdot K_z}{\gamma S}}.$$

Из этого видим, что максимальная окружная скорость цилиндра несколько не зависит ни от его толщины, ни от длины. Понятно, что число оборотов стержня в секунду тем больше, чем меньше его длина  $l$ . Но скорость  $u$  пропорциональна квадратному корню из крепости материала и обратно пропорциональна запасу прочности  $S$  и плотности материала  $\gamma$  (см. формулу).

22. Стержень может к концу суживаться, как конус, как клин, или как тело равного везде 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 он и без этого 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  $\operatorname{tg} \alpha$ , то наклон нижнего ее элемента будет  $(2 \cdot \operatorname{tg} \alpha)$ . Наибольшая нормальная к окружности скорость воздушного потока в цилиндрической трубе будет  $v = u \operatorname{tg} \alpha$ . 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:

$$P = \frac{(u \operatorname{tg} \alpha)^2 d}{2 \cdot g}.$$

25. Тут  $u$  мы можем исключить с помощью формулы (21). Тогда получим

$$P = \operatorname{tg}^2 \alpha [K_z : (\gamma S)] \cdot d.$$

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  $S$  невыгоден.

26. Тангенс угла верхней части нельзя принять больше 1. Тогда угол лопасти с окружностью будет  $45^\circ$ , а нижней ее части  $64,5^\circ$ . Положим далее в формуле (25)  $K_z = 2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup> сечения (это можно принять только для отборных и испытанных сортов хромистой или другой подобной стали);  $\gamma = 8$ ;  $S = 4$  (не менее);  $d = 0,0012$  кг/дм<sup>3</sup>. Теперь вычислим по формуле (25):  $P = 75$  кг/дм<sup>2</sup>, или 0,75 ат. Формула (21) дает и соответствующую скорость по окружности лопаток, именно  $u = 353,5$  м/сек.

27. Ближе к жизни будет положить  $\text{tg } \alpha = 0,5$ . Тогда  $P = 19$  кг/дм<sup>2</sup>, 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 в ат . . . . .	1,2	1,44	1,73	2,07	2,48	2,99	3,59	4,28
Число воздушных винтов . . . . .	10	12	14	16	18	20	22	24
Сжатие в ат, приблизительно	6,75	8,94	12,9	18,3	26,3	37,8	54,44	79,9

29. Положим в формуле (25), чтобы еще быть ближе к жизни.

$$\text{tg } \alpha = 0,5; K_z = 10^6; \gamma = 8; S = 5; d = 0,0012.$$

Тогда  $P = 7,5$  кг/дм<sup>2</sup>, или 0,075 ат. По формуле (21)  $u = 223,6$  м/сек.

30. На этом основании получим таблицу:

Число винтов . . . . .	2	4	6	8	10	14	18	20
Давление в ат, приблизительно	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 в ат . . . . .	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:  $u = 353,5$  м/сек, сжатие 1,75 (от одного винта).

Число винтов . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сжатие в ат . .	1,7	2,9	4,9	8,4	14,3	24,0	40,8	70,5	117,6	204,5
Число винтов . .	12	14	16	18	20	22	24	26		
Сжатие в ат . .	591	1714	4960	14 380	41 470	120 000	$348 \cdot 10^3$	$10^6$		

Конечно, во всех этих таблицах мы получаем наибольшее предельное давление. Высокое сгущение применимо только для соответствующего разрежения воздуха в высших слоях атмосферы.

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПРЕССОРА

32. Этот компрессор может дать какое угодно давление (до ожигения газов или же до очень высокой температуры) и какое угодно количество воздуха. Коэффициент использования работы мотора зависит от устройства компрессора, давления и скорости потока.

Невысокий к. п. д. искупается простотою устройства, отсутствием смазки, компактностью, возможностью высокой температуры, легкостью и дешевизной компрессора. 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 поездом (например, «Цепелин на рельсах» и мой бесколесный поезд). Он превращает механическую работу в теплоту и обратно; может служить и для подъема жидкостей, и как турбина.

### ПРОПЕЛЛЕР

33. Теперь опишем пропеллер. Он отличается от описанного компрессора только тем, что имеет и спереди конус, подобный заднему (фиг. 4). Число его воздушных винтов неопределенно и может ограничиться даже одним винтом (см. фиг. 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  $c + \omega$ , т. е. скорость снаряда  $c$  плюс относительная (по отношению к винту) скорость отброса  $\omega$  от действия воздушного винта. Но так как скорость снаряда  $c$  может быть очень велика, то и относительная скорость потока в трубе пропеллера также

велика. Между тем как последняя не может превысить предела, определяемого формулой (21), которая дает

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot K_z}{\gamma S}}.$$

Эта скорость вполне определенная. Максимум ее мы определяли в 353 м/сек. Значит, и снаряд не может иметь большой скорости, иначе разлетятся от центробежной силы воздушные винты, т. е. лопадки в трубе.

34. Как же быть? Неужели большой скорости снаряд иметь не может? Но из этого тупика есть выход.

Начнем с опыта (см. фиг. 4). Я устроил наружную часть (футляр) моего пропеллера без лопаток (без винта).

Пластинки (маятники) в этой трубе, в середине сильно расширенной, были помещены в четырех местах: по середине, у входного отверстия, у выходного и сбоку у входа — вне трубы. Оба отверстия были одного размера, маятники — тождественны.

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 уклонение 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 такою же скоростью, с какою входил. Это самое и подтверждает наш опыт.

36. Если мы будем площади 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

\* См. примечание на стр. 392. (Ред.).

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. При этом мы должны руководствоваться указателем ускорения снаряда: отверстия должно изменять до тех пор, пока ускорение снаряда достигает 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 м/сек. Сначала эта скорость не получается. Но постепенно скорость снаряда увеличивается и доходит, положим, до 200 м/сек. Скорость отброса (относительно винта) примем в 10 м/сек. 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 в м/сек . . . . .	100	200	400	900	1600	2500
Относительная площадь крайних сечений трубы . . . . .	1	1	1/2	2/9	2/16	2/25
Относительный диаметр отверстий . . . . .	1	1	0,707	0,471	0,354	0,284

Скорость потока в широкой части трубы всегда будет 10 м/сек, но скорости выходящего и входящего потоков, приблизительно одинаковые, будут соответственно

110      210      420      945      1680      2625

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.

Этот стратоплан для достижения даже умеренных высот должен иметь не менее 1000 метрических сил при полном весе в 1 т. Следовательно, мотор должен быть легче обычного авиационного. Примерно на 1 кг его веса надо не менее 2—4 метрических сил. Практика к этому идет, и есть уже моторы, которые дают на 1 кг своего веса до 2 л. с. (относится к 1930 г).

## ПАРОГАЗОВЫЙ ТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ\*

### ПРЕДИСЛОВИЕ

На судах могут быть самые тяжелые моторы. На железных дорогах они уже легче. На автомобилях, глссерах, саях и дирижаблях моторы должны быть еще легче; наконец, на летательных машинах высот нужны моторы необыкновенной, не существующей еще мощности при малом их весе и объеме.

Удельный вес мотора — это вес, который приходится на одну его метрическую силу (метрическая сила равна  $\frac{4}{3}$  лошадиной, или 100 кгм).

Например, у локомотива он 100 кг, у автомобиля — 4 кг, у аэроплана — 1 кг.

Мы желали бы иметь мотор с удельным весом в 0,2 кг или еще меньше. Легкость позволит применить на летательной машине мотор чрезвычайной мощности, необходимый для летания на высотах.

Такая же или еще бóльшая легкость требуется от высотных аэропланов или стратопланов.

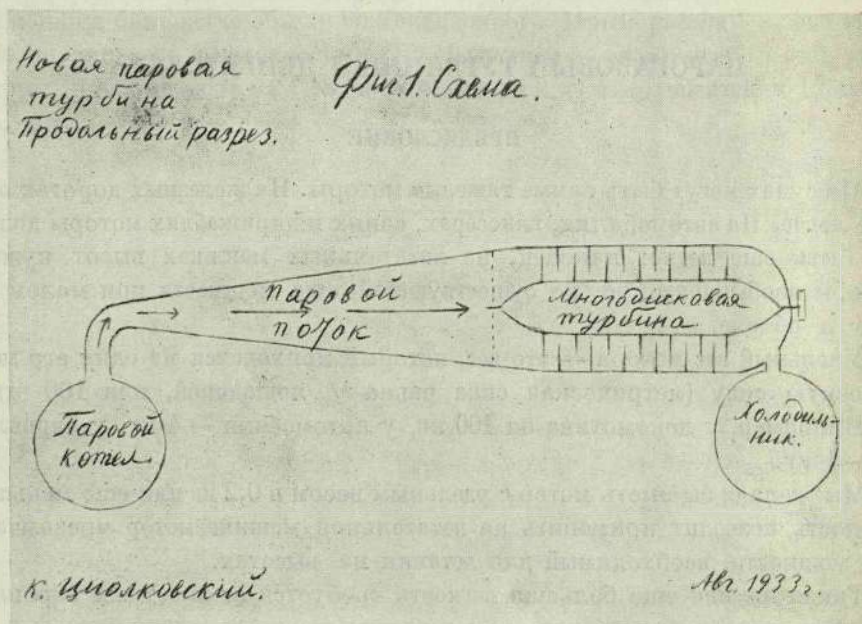
Большое значение в моторе играет также его удельный объем, т. е. тот объем, который приходится на единицу его мощности. В летательной машине места немного, и потому портативность мотора весьма необходима. Понятно, что такой мотор не должен иметь котлов и холодильников. Непригодны также цилиндровые машины как тяжелые и портящиеся от высокой температуры, неизбежной для легких и могущественных моторов. Употребление рабочих цилиндров и смазки надо избегать. Надо избегать сложности ради экономии материала и дешевизны моторов.

Легкие моторы должны довольствоваться кислородом воздуха, так как запас жидкого кислорода, тем более его азотных соединений, обременит машину. Притом чистый кислород дает такую высокую температуру, которую не вынесут употребляемые строительные материалы: сплавы железа с небольшим количеством других металлов. Горючее должно давать как можно больше тепла и иметь наибольшую плотность. Первому условию удовлетворяет водород, а второму — плотные продукты нефти. На первое время придется довольствоваться нефтью, а потом необходимо

\* Печатается по оригиналу 1934 г. (Ред.).

перейти к водороду. Большой недостаток последнего — малый удельный вес даже в жидком виде (0,07 воды).

Мой мотор состоит из 4 главных частей (фиг. 4): из сжимателя (компрессора) воздуха 1, небольшого котла-карбюратора 2, турбины 3 и неизображенного насоса для накачивания горючего в котел. Сжиматель нагнетает



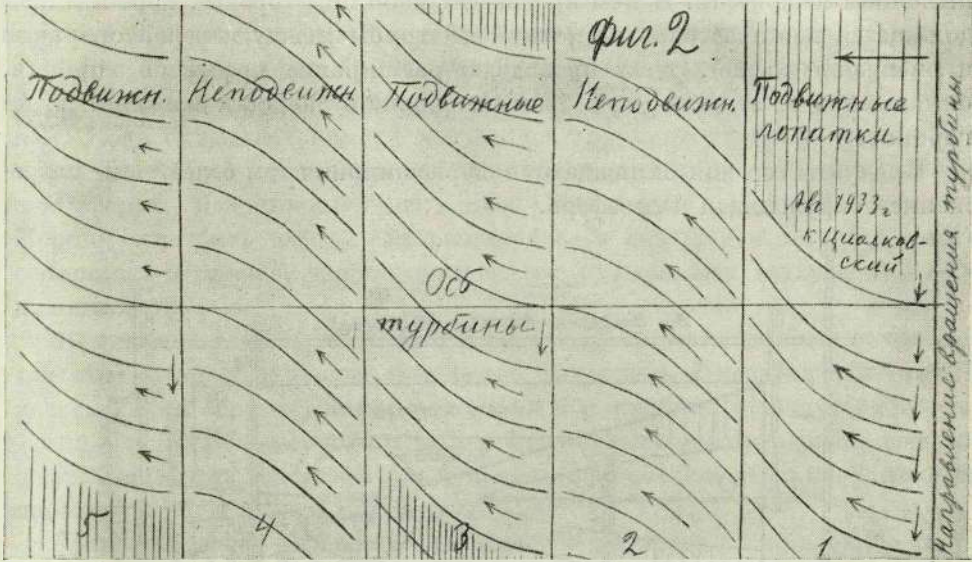
Фиг. 1

воздух в котел 3 под возможно сильным давлением. Чем оно выше в сравнении с давлением окружающей атмосферы, тем лучше будет использовано тепло горения. Чем же абсолютная величина давления больше, тем меньше удельный объем и удельный вес двигателя. Поэтому наиболее портативной будет машина, работающая сжатым воздухом у уровня океана.

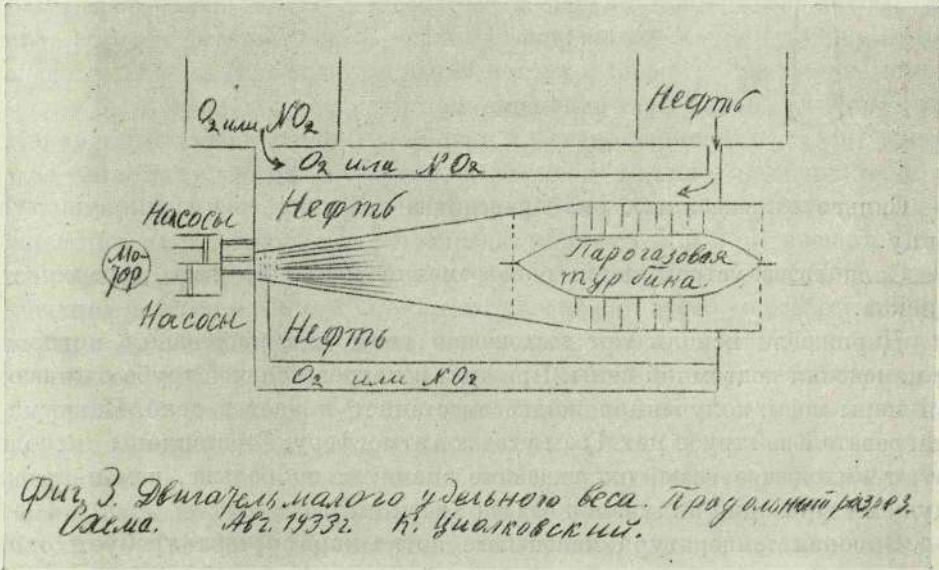
Но чрезмерному сжатию воздуха мешает не только необходимая для этого большая работа, но главным образом высокая его температура. Например, сжатие до 10 атм сопровождается нагреванием до  $418^{\circ}\text{C}$ . Это не чрезмерно, имея в виду некоторое охлаждение сжатого воздуха. Что же касается работы сжатия, то она возвращается при расширении продуктов горения.

Сжатие, например, в 10, независимо от разрежения или плотности атмосферы, всегда дает одно и то же повышение температуры, а именно: от 0 до  $418^{\circ}\text{C}$  (абсолютная температура увеличивается в 2,53 раза).





Фиг. 2.

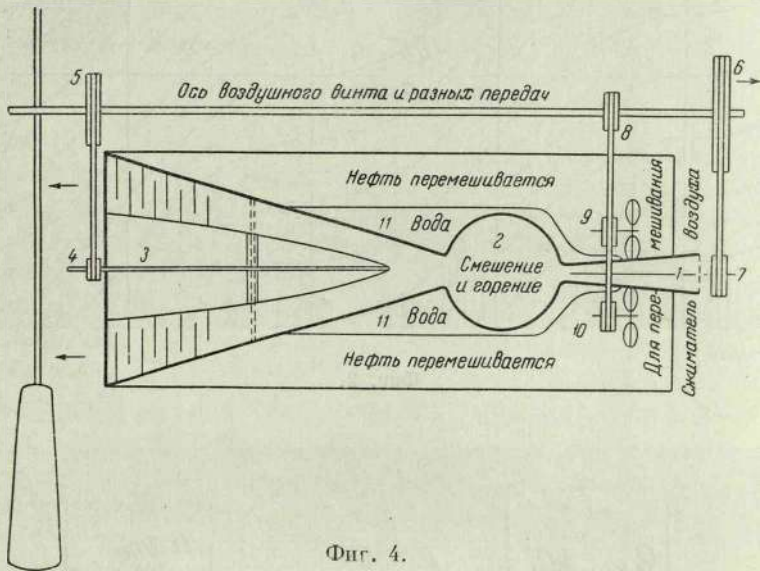


Фиг. 3. Двигатель малого удельного веса. Продольный разрез. Сасла. Август 1933г. К. Цукаковский.

Фиг. 3.

В камеру сгорания одновременно с воздухом нагнетается в мелко распыленном виде нефть. В нем происходит неполное горение. Горение продолжается и в пространстве конической трубы между камерой сгорания и рабочей турбиной. Здесь происходит расширение продуктов горения, охлаждение их от этого, приобретение большой скорости движения и догорание.

Продукты горения охлаждаются от расширения тем более, чем разреженнее окружающая атмосфера.



Фиг. 4.

Сильно охлажденные, они приводят в действие многодисковую турбину.

Сила газов устремляется одновременно почти на всю поверхность дисков.

Дирижабли используют выходящие газы для нагревания водорода и изменения подъемной силы. При этом в нагревательной трубе ожидают пары воды; полученная жидкость стекает и идет в дело. Вакуума в нагревательной трубе нет. Газы уходят в атмосферу. Стратопланы используют выходящие газы, охлажденные значительно больше, чем в предыдущем случае для получения отдачи (реакции).

Высокая температура маленького котла-карбюратора требует охлаждения. Оно производится окружающей его нефтью. Последняя непрерывно перемешивается, перенося тепло от сильно нагретого котла к охлажденным частям машины, где работает турбина и выходят сравнительно холодные газы. Возможно устройство около камеры сгорания и прилегающих к ней наиболее горячих частей конической трубы особой рубаш-

ки, залитой водой. Когда в этой рубашке от нагревания воды давление поднимается до 10 атм и температура до  $179^{\circ}$  Ц, то образующийся пар врывается в камеру сгорания и усиливает парогазовый поток и работу турбины. Рубашка (фиг. 4, *II*) с водой окружена еще нефтью 9 и 10. Последняя циркулирует благодаря особому приводу и вращающимся лопаткам. Вода охлаждает камеру сгорания и трубу, воду охлаждает нефть, нефть охлаждается стенками нефтяного бака, стенки же его охлаждаются атмосферой. Можно попробовать, как указывалось, обойтись без воды. Можно охлаждать нефть, разбрызгивая ее в воздушном потоке и опять собирая. Это проще, чем охлаждение ее пузырьками воздуха или воздушными трубами.

Вот как двигатель заставляют работать. Сначала особым вспомогательным мотором приводят в действие сжиматель 1 воздуха и нефтяной насос. Таким образом, камера сгорания 2 и турбина 3 начнут работать. Тогда вспомогательный мотор, который на чертеже не изображен, выключают. Сжиматель воздуха и насос приводят в действие через специальную передачу 4, 5, 6 и 7 от турбины.

Если выбросить охлаждающую водяную рубашку *II*, то горючее, т. е. нефть, будет непосредственно окружать камеру сгорания 2, сжиматель воздуха 1 и турбину 3. Охлаждение последних необходимо, потому что сжиматель сильно нагревается от сжатого воздуха; еще более накаляется камера сгорания; также нагревается и начало конической трубы, где идет горение разбрызганной нефти. Расширенный конец турбины нагрет слабо и даже, в случае применения мотора в качестве двигателя высот, может быть очень холоден, так как отходящие газы сильно расширяются. Накаленные стенки камеры сгорания и начало конической трубы уносят свое тепло к холодным ее частям, ибо металл хорошо проводит теплоту. Равномерность температуры в нефтяном баке, как указывалось, поддерживается искусственным перемешиванием нефти 8 и 9. В низших слоях атмосферы придется прибегать к дополнительному охлаждению нефти внешним воздухом. Самый экономный способ для этого — разбрызгивание нефти в холодной струе воздуха. Разумеется, при этом воздух унесет часть горючего. Но надо брать такое горючее, которое не давало бы паров при умеренной температуре. Можно 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 уносилось много паров горючего и не было взрыва в сжимателе. Ребра на баках представляют лишний вес и не допустимы для мощных и притом легких двигателей. Трубы, проходящие через бак с нефтью и омываемые воздухом, не так тяжелы и поэтому более 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.

Использование атмосферного кислорода возможно только до некоторой высоты, где воздух не чрезмерно разрежен. В противном случае встретим затруднение при его сжимании. Действительно, если, например, весьма разреженный воздух сжимается в 1000 раз, то температура его повышается до 4 тысяч градусов. Едва ли при помощи нефти он может быть достаточно охлажденным. Тогда уже на конусе сжимателя необходимы хотя бы тонкие ребра. Впрочем, эту роль могут играть и диафрагмы, соединенные сваркой с оболочкой сжимателя\*. Диафрагмы надо делать из самого лучшего проводника тепла.

В чем же сущность действия предлагаемого мной двигателя?

Положим, что мы нагнетаем в котел в течение секунды один кубический литр воздуха. Давление в котле непрерывно возрастало бы, если бы не выходное отверстие\*\*, через которое вытекает газ к турбине. Чем оно меньше, тем более будет давление в котле. Сделаем такое отверстие, чтобы давление в котле всегда было 10 атм. Приход воздуха должен по массе равняться его расходу. Но втекает в секунду  $1 \text{ м}^3$  воздуха, а получается в котле при сгорании почти та же масса, но при температуре примерно  $1638^\circ \text{ Ц}$ . Это увеличивает объем воздуха (при том же давлении) в 7 раз. Присоединение водорода, входящего в состав горючего, и расщепление кислорода увеличивают объем продуктов сгорания еще более. Так что объем воздуха будет больше не в 7, а примерно в 10 раз. И так,  $10 \text{ м}^3$  газа должно удаляться каждую секунду из выходного отверстия котла (при давлении в 10 атм. и температуре  $1638^\circ \text{ Ц}$ ).

Так происходит превращение теплоты в быстрое механическое движение молекул газа. Но оно далеко не полное, как и сгорание. И то, и другое продолжается в конусе 3: газ, сжатый до 10 атмосфер, может расширяться в 10 раз. Большему расширению препятствует сопротивление атмосферы.

Расширение будет сопровождаться понижением температуры и догоранием. Если бы не было последнего, то температура уменьшилась бы в 2,53 раза, т. е. было бы  $487^\circ \text{ Ц}$ . Но благодаря продолжающемуся горению она будет гораздо выше, примерно  $1000^\circ \text{ Ц}$ .

Отсюда видно, что для лучшего использования энергии нужно гораздо более высокое сжатие, например 100.

Цель сжимателя понятна: без него невозможна работа мотора. Особенно необходим сжиматель на высотах.

Предпочтительно употребление турбинного (роторного) сжимателя, так как тогда получается огромное количество воздуха, нет смазки и мож-

\* См. работу К. Э. Циолковского «Сжиматель газов». (Ред.).

\*\* Критическое соединение сопла. (Ред.).

но поэтому достигнуть высшей степени сжатия, что особенно выгодно при окружающей плотной атмосфере, например, для дирижаблей.

Узкое выходное отверстие в котле необходимо, иначе не будет в нем сверхдавления газов. Последнее нужно, чтобы превратить энергию тепла в быстрое механическое движение продуктов горения.

Но горение и расширение их у отверстия не кончается: газ выходит из отверстия еще накаленный и сжатый. В раструбе продолжается его расширение и охлаждение. Это еще увеличивает скорость потока и превращение теплоты в движение. Раструб конической формы нужен, чтобы сократить длину всей машины.

В пределе, если нет внешнего давления и труба достаточно длинна, продукты сгорания охлаждаются почти до абсолютного нуля, и все тепло превращается в поступательное движение газов. Оно используется посредством многодисковой турбины 3. Раструб полезен и для одновременного использования всех лопастей турбины, что уменьшает ее вес.

Части мотора имеют разную температуру: от двух, трех тысяч градусов до нуля. Это дает возможность получить среднюю температуру машины — не очень высокую и терпимую материалами: окружающее горючее перемешивается, охлаждает накаленные части мотора и нагревает холодные.

Какие же преимущества имеет этот мотор сравнительно с самыми легкими авиационными? Простота устройства, отсутствие поршней, малый удельный объем и большая энергия, дешевые материалы и горючее. К сожалению, едва ли будет выгодна мощность менее 1000 сил. При малой же мощности такие моторы невыгодны. В этом случае перевес должен быть на стороне авиационных моторов. (Предполагая, что мотор действует у уровня океана.)

Очень выгодна работа при небольшом сжатии и давлении атмосферы. Но тогда и работа мотора упадет. Так, при сжатии в 5 раз работа сжатия составит, при 1000-сильном моторе, около 292 м[етрических] сил. При уплотнении вдвое работа составит 80 м[етрических] сил двигателя в 500 м[етрических] сил.

Даем приблизительный объем котла-карбюратора и других частей машины, начиная с компрессора. Так как в карбюратор вгоняется в секунду на 1000 м[етрических] сил  $2 \text{ м}^3$  сжатого воздуха, то объем карбюратора будет достаточен в  $0,5 \text{ м}^3$ . Втрое больше положим на остальное. Объем главных частей мотора составит  $2 \text{ м}^3$ . Если допустим, что все сосуды выдерживают в среднем 10 атм. сверхдавления, то вес их при удовлетворительном запасе прочности составит около 30 кг. Диски турбины и сжимателя составят не менее. Приняв в расчет вес других частей, получим на 1000 м[етрических] сил вес в 100 кг. На одну силу придется 0,1 кг. Это удельный вес мотора. Он в 10 раз меньше удельного веса авиационного мотора.

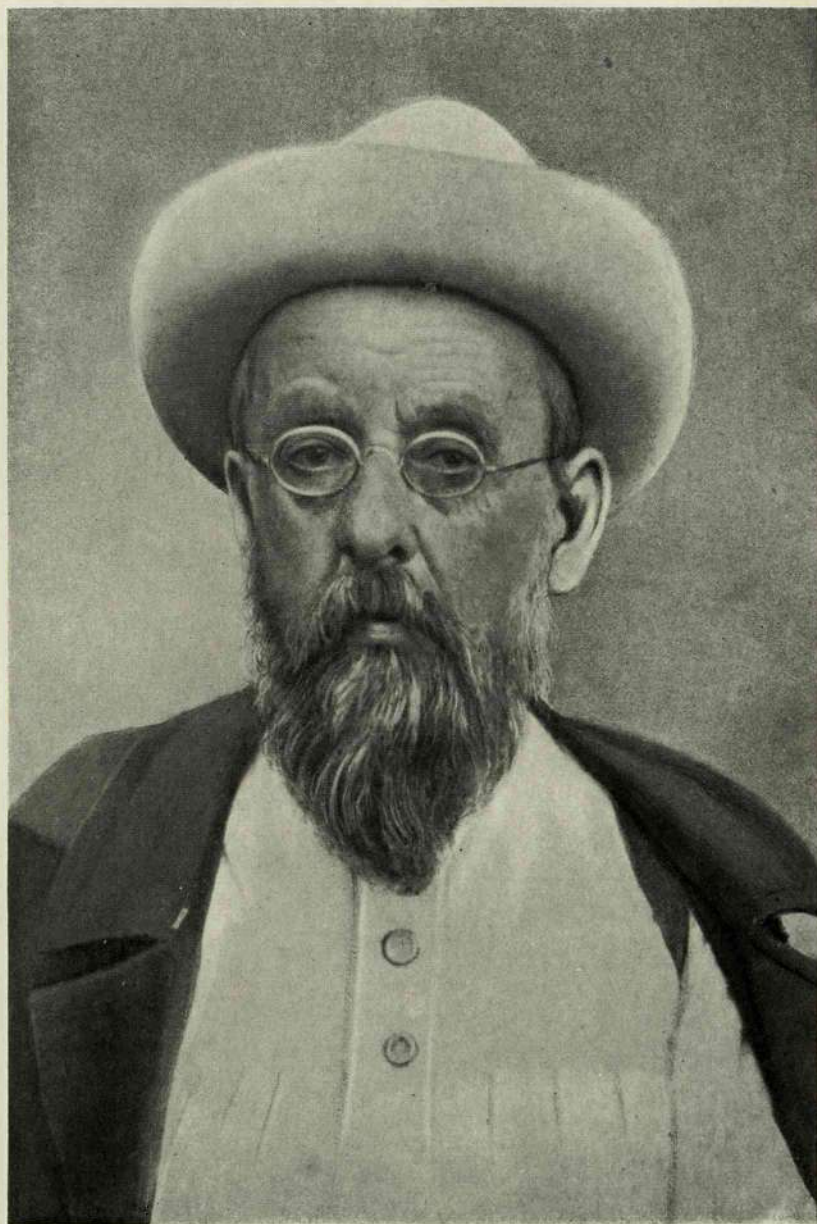
Чем больше мотор, тем он выгоднее, так как вредное нагревание стенок будет меньше, ибо сильный жар газов будет от них далеко.

Заметим, что неоднократно доказывалось в моих печатных трудах, что скорость в разреженных слоях атмосферы будет пропорциональна квадратному корню из разрежения этого воздуха, но при условии: мощность мотора при том же его весе должна быть пропорциональна поступательной скорости летательного прибора.

Выполнение этого условия требует сжатия разреженного воздуха до плотности высшей, чем его плотность на уровне океана.

Первая строка этой таблицы показывает скорость стратоплана, вторая — необходимое для достижения этой скорости разрежение среды, третья — соответствующую высоту полета над уровнем океана, четвертая — естественное сжатие воздуха от давления встречного потока, в пятой строке — необходимое сжатие среды, для того чтобы довести ее до плотности на уровне океана; из шестой видно, что естественное сжатие недостаточно,

Скорость в м/сек . . . . .	200	300	400	500	600
Необходимое разрежение в (число раз) . . . . .	4	9	16	25	36
Высота в км . . . . .	12	17	21	23	25
Естественное сжатие воздуха . . .	1,37	2,19	4,41	8,1	25
Необходимое сжатие . . . . .	4	9	16	25	36
Меньше во столько раз . . . . .	2,9	4,1	4,7	3,1	2,24
Скорость в м/сек . . . . .	700	800	846	1000	2000
Необходимое разрежение в (число раз) . . . . .	49	64	71,6	100	400
Высота в км . . . . .	27	29	29	31	39
Естественное сжатие вещества . .	51,5	99	138	316	9330
Необходимое сжатие . . . . .	49	64	71,6	100	400
Больше во столько раз . . . . .	1,05	1,56	1,9	3,16	23,3



К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ.  
1930—1931 гг.





и она показывает, во сколько раз оно меньше, чем нужно. Но так будет до скорости в 700 м/сек. При большей, чем эта скорость, наоборот, сжатие среды от встречного потока будет уже больше, чем у уровня океана. Затруднит только повышение температуры. Для скорости в 700 м/сек она уже нетерпима, если не употребить приема для ее понижения.

Итак, мы встречаем пока три затруднения. Первое: усилить мощность мотора пропорционально скорости стратоплана. Конечно, можно сделать мощность больше, увеличив вес двигателя при том же летном весе стратоплана. Например, полный вес стратоплана 1000 кг. Необходимая мощность для обыкновенной скорости 50—100 сил, вес мотора не менее 50 кг. Если уделить на него 500 кг, то вот уже будет обеспечено увеличение скорости в 10 раз. Второе затруднение состоит в необходимости иметь сжигатели разреженного воздуха. Только при значительной скорости (большей 700 м/сек) можно без них обойтись. Третье затруднение в чрезвычайном повышении температуры воздуха от его сжатия.

Вот эти затруднения и мешают сейчас постройке высотного аэроплана. К ним еще нужно прибавить необходимость замкнутой кабины или особые одежды для предохранения от разреженной среды экипажа.

Все эти расчеты и соображения только приблизительны, как и 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 большое преимущество перед теми, которые должны приобретать эту скорость на высоте без связи с земными сооружениями, а именно:

а) они могут пользоваться электрической энергией, идущей извне (т. е. с земных неподвижных сооружений, как трамвай);

б) в лежащих 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.

Главная же выгода состоит в получении снарядом любой по виду энергии и возможности достижения им космической скорости.

2. Такие приборы имеют и много недостатков в сравнении с реактивными. Последние представляют первую стадию, а первые — дальнейшую.

Вот каковы эти недостатки:

а) необходим особый путь (полотно, труба) длиной до 1000 км и, понятно, очень дорогой;

б) необходимы побочные неподвижные источники энергии, как, например, генераторы электрического тока, компрессоры и др.;

в) необходима длина снаряда от 40 до 400 метров и более (при хорошей форме, разумеется), иначе получение космических скоростей невозможно;

г) снаряд еще в плотных слоях воздуха приобретает космическую скорость и поэтому испытывает большое сопротивление среды.

В общем препятствие — в сложности, величине и дороговизне этих сооружений. Но они возможны. Необходимо, чтобы люди убедились в возможности достижения космических скоростей.

3. Большие скорости возможны только при условии удлиненности летающего или двигающегося по земле снаряда. Пользуемся моим трудом «Давление на плоскость» 1930 г. Приводим часть одной из таблиц:

\* Печатается по рукописи, оконченной 3 декабря 1933 г. (Ред.).

Скорость в км/сек						
1,2	1,5	1,8	2,4	3	4,5	6
Соответствующие минимальные продолговатости снарядов						
4	5	6	8	10	15	20

Положим, что мы можем достигнуть при четырехкратной продолговатости скорости только в 1 км/сек. Тогда получим видоизмененную таблицу:

Скорость в км/сек											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Продолговатость											
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.

В таком случае сопротивление от трения  $Q_q$  на единицу объема снаряда выразится формулой [см. мое «Сопротивление воздуха», 1927, формула (56)]

$$\frac{Q_q}{v} = a \frac{F\gamma v^2}{xD^2}.$$

Здесь  $x$  есть продолговатость снаряда;  $D$  — диаметр наибольшего поперечного сечения;  $\gamma$  — плотность воздуха и  $v$  — скорость снаряда.

5.  $F$  есть переменное и выражается формулой

$$F = 1 : \left[ 1 + \ln \left( \frac{v}{l} \right) \right],$$

где  $l$  есть длина снаряда, или  $xD$  [см. формулу (19) «Сопротивление»].

7.  $a = 0,00225$ .

8. Положим, что  $v = 1000$  м/сек;  $D = 4$  м;  $\gamma = 0,013$ ;  $x = 100$ ;  $l = xD = 400$ ;  $F = 0,5211$  (см. «Сопротивление», табл. 21). Тогда вычислим

$$\frac{Q_q}{v} = 0,000093 \text{ г.}$$

Следовательно, при скорости в 1 км/сек в самых плотных слоях атмосферы сопротивление на 1 м<sup>3</sup> снаряда будет менее 0,1 кг.

9. На основании предыдущих формул составим таблицу удельных сопротивлений (т. е. сопротивлений на 1 м<sup>3</sup>) в кг при разных скоростях в км/сек.

$v$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$F$	0,52	0,383	0,331	0,303	0,283	0,270	0,254	0,250	0,243	0,237	0,231
$\frac{Q_q}{v}$	0,1	0,296	0,576	0,928	1,35	1,87	2,45	3,07	3,77	4,56	5,37

10. Чтобы получить секундную работу, надо удельное сопротивление умножить на скорость

$$L_s = \frac{Q_q}{v} v.$$

Получим удельную работу в метрических силах (если разделим на 100).

11. Полная мощность снаряда громадна, потому что пропорциональна объему

$$N = \left(\frac{Q_q}{V}\right) vV = Q_q v.$$

12. По формуле (33) «Сопротивления» получим

$$N = a_1 F D v^3.$$

14.

$$a_1 = 0,00000156.$$

Таким образом, определим полную секундную мощность снаряда (при условиях § 8).

16. Дадим таблицу, в которой даны скорость в км/сек, сопротивление среды, приходящейся на 1 м<sup>3</sup> объема снаряда, в килограммах, секундную

$v$	1	2	3	4	5
$\frac{Q_q}{v}$	0,1	0,296	0,576	0,928	1,35
$L_s$	1	5,95	17,28	37,12	67,5
$N$	251,2	15060	42670	92870	170680
$v$	7	8	9	10	11
$\frac{Q_q}{v}$	2,45	3,07	3,77	4,56	5,37
$L_s$	171,5	245,6	339,3	456,0	590,7
$N$	430	615	848	1140	1478

работу в метрических силах, сопротивление всего снаряда  $Q_q$  в тоннах и полную секундную мощность всего снаряда  $N$  в метрических силах.

Мощность выражена в метрических силах, но при скорости, большей 6 км/сек, — в тысячах метрических сил. Так, при скорости в 12 км/сек мощность доходит почти до 2 миллионов метрических сил, а сопротивление — до 16 тонн.

17. Эту мощность можно сократить, если уменьшить размеры снаряда. Положим, что средняя плотность снаряда равна 0,2, объем 2680 м<sup>3</sup>. Значит, масса снаряда будет 521,6 т. При ускорении в 100 м/сек<sup>2</sup> давление будет 5216 т. 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 преодоление инерции и приобретение скорости, конечно, считать не будем.

19. Считая одно трение, имеем

$$Q_q = A_1 F D v^2.$$

20. Или  $Q_q = A_2 v^2$ , где  $A_2 = A_1 F D$ .

21. Дифференциал затраченной на трение работы будет  $dL = A_2 v^2 dx$ , где  $x$  — длина пути.

22. Но  $dx = v dt$ , где  $t$  — 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

$$L = \frac{A_2}{4} j^3 t^4.$$

Или на основании (22)

$$L = \frac{A_2 v^4}{4j}.$$

25. Отсюда видно, что при достижении одной и той же скорости выгодно большое ускорение  $j$ . Но величина ускорения имеет пределы, так как при большем ускорении не только летчики, но и предметы могут пострадать. Малое ускорение не годится, так как путь будет чересчур длинен и дорог. При лежачем положении человека в воде можно принять ускорение в 100 м/сек<sup>2</sup>. Оно дает удесятеренную силу тяжести.

26. Примем старые условия (см. § 8) и скорость в 12 км/сек. Для облегчения расчетов формулу (24) представим в виде

$$L = A_2 v^3 \frac{v}{4j}.$$

Или на основании формул (12) и (20) найдем

$$L = N \frac{v}{4j}.$$

27. Но  $N$  известна из таблицы (16). Взяв ее для  $v = 12$  км/сек и ускорения в  $100$  м/сек<sup>2</sup>, вычислим  $L = 5\,775\,000$  тоннометров.

28. Мощность в 1 метрическую силу в секунду в продолжение суток дает 86 400 метрических сил, или 8640 тм.

Работа, полученная по § 27, выделяется мощностью в одну метрическую силу в секунду в течение 670 суток, или машиной в 670 сил в течение одних суток, или машиной в 1000 сил в течение 16 часов.

29. Лучше всего сравнить эту работу с работой инерции снаряда. Она равна

$$L_i = \frac{v^2}{2g} G.$$

30. Вес же зависит от объема снаряда и средней его плотности.

32. Сравним эту работу инерции с работой сопротивления среды (12). Получим

$$\frac{L_i}{N} = \frac{G}{2ga_1FDv}.$$

33. Таблицу для  $F$  при разных скоростях и при длине снаряда в 400 метров см. п. 9.

34. Вычислим при условиях п. 8 при скорости в 1 км/сек и при плотности снаряда 0,2 отношение по п. 32. Получим 8440, т. е. работа сопротивления совершенно ничтожна.

Даже при скорости в 12 км/сек она будет в 703 раза меньше работы инерции. При больших  $DX$  и плотности снаряда она будет еще меньше.

Зачем же мы боимся сопротивления атмосферы? Оно опасно и относительно велико только для малопродолговатых тел, каковы аэропланы, дирижабли и, конечно, еще более — автомобили и обычные поезда.

Но это еще не все. Мы пускаем длинное тело плавной формы со скоростью в 8—12 км/сек. Не поглотит ли эту скорость дальнейшее сопротивление воздуха при полете снаряда через атмосферу?

Этим мы сейчас займемся.

Докажем теорему: *работа прорезывания всей атмосферы при отвесном движении снаряда с постоянной скоростью такова, как будто вся атмосфера при той же ее массе имеет постоянную плотность, какая имеется, например, на уровне океана.*

Эта плотность равна 0,00129. При этой постоянной плотности и известной нам массе атмосферы высота ее будет около 7800 м.

Действительно, будет ли какая-нибудь часть атмосферы разрежена или сгущена, работа прохождения ее снарядам 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 практически 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 значительно уменьшает величину скорости сила земной тяжести. Но и она 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 не может быть отвесным: 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 теорему: *работа рассеяния атмосферы при наклонном движении снаряда обратно пропорциональна синусу наклона пути к горизонту.*

37. По этим двум теоремам уже легко определить работу, поглощаемую атмосферой. Получим даже большую величину в силу ослабления скорости с подъемом; истинная работа преодоления атмосферы меньше.

Для этого довольно сопротивление по табл. 16 умножить на 7800 м. Например, при секундной скорости в 12 км/сек получим 124 800 тоннометров.

Величина 7800 есть частное от деления давления атмосферы у уровня океана на плотность воздуха у того же уровня.

38. Найдем общую формулу сопротивления всей атмосферы [см. формулу (33) «Сопротивления»]

$$L_a = \frac{\pi A_1 F v^2 D}{4 \sin y} 7800.$$

39. Сравним ее с работой сопротивления воздуха по твердой дороге (24); получим

$$\frac{L_a}{L} = \frac{7800 \pi j}{v^2 \sin y}.$$

Значит, сравнительное сопротивление всей атмосферы тем меньше, чем больше начальная скорость схода снаряда с дороги  $v$  и чем больше наклон к горизонту  $y$ . Это отношение возрастает с ускорением снаряда по дороге  $j$ .

40. Положим, например,  $j = 100$  м/сек<sup>2</sup>;  $v = 12\,000$  м/сек;  $\sin y = 0,1$ . Тогда отношение 0,1717, или 1 : 5,8. Значит, работа пересечения атмосферы почти в 6 раз меньше работы трения при движении по дороге.

41. Нечего и говорить, что эта работа еще ничтожнее не только по отношению к кинетической энергии ракеты, но и по отношению к работе подъема ракеты. Последняя равна весу, умноженному на высоту  $H$  атмосферы, которую можно принять в данном случае километров в 30. Получим такую работу подъема:

$$L_{\Pi} = GH.$$

Сравнив эту работу с (38), найдем

$$\frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{а}}} = \frac{GH^4 \sin y}{\pi A_1 F v^2 D 7800}.$$

42. Но  $H = 7800$ . Тогда получим

$$\frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{а}}} = \frac{G \sin y}{\pi A_1 F v^2 D}.$$

Значит, относительная величина работы тяжести увеличивается с уменьшением скорости, увеличением наклона и размеров корабля.

43. Примем условия (8) и воспользуемся таблицей (9). Положим, что плотность снаряда 0,2,  $\sin y = 0,1$  и  $v = 12\,000$  м/сек. Тогда по формуле увидим, что работа тяжести, несмотря на малый наклон и большую скорость, в 45,16 раза больше работы пересечения атмосферы при свободном в ней движении.

44. Ввиду сравнительно малого сопротивления воздуха и соответственно малой работы можно продолговатость снаряда уменьшить раза в 2. 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 затрат энергии и денежных расходов. Все будет еще возможнее для достижения наибольшей скорости в 8 км/сек. Тогда продолговатость и размеры можно еще уменьшить вдвое и сделать  $D = 1$  м;  $x = 25$ ;  $l = 50$  м. Здесь диаметр маловат, но ведь главное в перемещении массы и в перелете через атмосферу. За ней же можно построить жилища желаемых размеров. Там размеры ничего не значат, так как сопротивления среды нет.

45. Теперь найдем необходимую длину твердого пути. Большое ускорение снаряда невозможно, потому что человек будет раздавлен. Малое также, потому что твердый путь будет длинен и нехватит для него места на суше, да и дорого обойдется путь.

46. Принимая постоянное ускорение  $j$  снаряда, найдем длину пути  $x = \frac{v^2}{2j}$ . Отсюда видно, что длина пути будет тем меньше, чем меньше скорость и больше ускорение. На основании предыдущего сопротивление воздуха можем не считать, работа же, необходимая для получения определенной скорости, одна и та же, несмотря на ускорение.

Неизвестно, какое наибольшее ускорение может выдержать человек в лежачем положении, погруженный в воду. Но можно принять не менее  $100$  м/сек<sup>2</sup>, или в 10 раз больше земного ускорения. При разных скоростях тогда получим такую длину пути в километрах:



$v$ в км/сек . . . . .	5	6	7	8	9	10	11	12
$x$ в км . . . . .	125	180	245	320	405	500	605	720

При ускорении, вдвое большем ( $j = 200$  м/сек<sup>2</sup>)

$x$ в км . . . . .	62,5	90	122,5	160	202,5	225	302,5	360
--------------------	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

При высшей скорости в 8 км/сек путь будет от 320 до 160 км. При подъеме на 5 км по ровной горе наклон будет от 1 : 64 до 1 : 32. Синус угла будет от 0,0156 до 0,0313, а самый угол от одного до двух градусов.

47. Считаться с сопротивлением среды не приходится, но большая относительная тяжесть поезда требует особой его прочности, пропорциональной ускорению  $j$ . С этой точки зрения выгодно было бы путь удлинить.

Лучшей передачей энергии является передача с помощью электрического тока. Но как электроэнергию превратить в механическую работу? Никакие известные электродвигатели по своей тяжести здесь не пригодны. С помощью электрического тока легко получить высокую температуру и химическое разложение вещества. В тепловых двигателях это можно использовать, но сами моторы тяжелы. Возможно применение реактивных двигателей и использование электричества в качестве подогревателя охлажденных от расширения газов. Но тут выгода не очень большая. Температура подогревания не может быть очень велика, так как могут расплавиться приводящие газ трубы. Надо прежде этого искать тугоплавкие материалы и способы их обработки.

## ТОЛЬКО ЛИ ФАНТАЗИЯ?\*

Режиссер В. Н. Журавлев снимает на фабрике Мосфильм научно-фантастическую картину «Космический рейс», содержание которой мы уже сообщали. Постановку фильма консультирует К. Э. Циолковский, который сегодня делится с нашим читателем своими мыслями о картине.

Ко мне обращались примерно еще 10 лет тому назад с желанием инсценировать на экране мой рассказ «Вне Земли». Но дело это было отложено. И вот только теперь Мосфильм, в лице талантливого В. Н. Журавлева, твердо решил создать картину «Космический рейс».

О возможности путешествий вне нашей планеты мечтать я начал еще с 17 лет. В 1895 г. мною написана книга «Грезы о Земле и небе». Она издана была племянником знаменитого Гончарова, потом переиздавалась два раза Госиздатом под заглавием «Тяжесть исчезла». В первые годы революции я серьезно занялся этой темой. Отражением этих работ была фантастическая повесть «Вне Земли» (1918 г.).

Математически разработанная теория реактивного прибора появилась уже в 1903 г. сначала в мало распространенном философском журнале Филиппова «Научное обозрение», а через несколько лет в «Вестнике воздухоплавания» (1911—1912 гг.). Затем появилось несколько печатных работ в отдельных изданиях и в журналах. С 1914 г. мои работы стали известны и за границей.

Ничто меня так не занимает, как задача одоления земной тяжести и космические полеты. Кажется, половину своего времени, половину своих сил я отдаю разработке этого вопроса. Мне вот уже 78 лет, а я все продолжаю вычислять и изобретать касающееся реактивной машины. Сколько я передумал, какие только мысли прошли через мой мозг! Это уже были не фантазии, а точное знание, основанное на законах природы; готовятся новые открытия и новые сочинения. Но фантазия также меня привлекала. Много раз я брался за сочинения на тему

\* Впервые напечатано в газете «Комсомольская Правда», 1935, № 168 от 23/VII.

«Космические путешествия», но кончал тем, что увлекался точными соображениями и переходил на серьезную работу.

Фантастические рассказы на темы межпланетных рейсов несут новую мысль в массы. Кто этим занимается, тот делает полезное дело: вызывает интерес, побуждает к деятельности мозг, рождает сочувствующих и будущих работников великих намерений.

Что может быть возвышеннее — овладеть полной энергией Солнца, которая в 2 миллиарда раз больше той, что падает на Землю!

Шире литературы влияние кинофильмов. Они нагляднее и ближе к природе, чем описание. Это высшая ступень художественности, в особенности когда кино овладело звуком. Мне кажется со стороны Мосфильма и тов. Журавлева большим геройством то, что они взялись осуществить фильм «Космический рейс». И нельзя не высказывать большого удовлетворения этой работой.

Как я сам гляжу на космические путешествия; верю ли я в них? Будут ли они когда-нибудь достоянием человека?

Чем больше я работал, тем больше находил разные трудности и препятствия. До последнего времени я предполагал, что нужны сотни лет для осуществления полетов с астрономической скоростью (8—17 км в секунду). Это подтверждалось теми слабыми результатами, которые получены у нас и за границей. Но непрерывная работа в последнее время поколебала эти мои пессимистические взгляды: найдены приемы, которые дадут изумительные результаты уже через десятки лет.

Внимание, которое уделяет наше советское правительство развитию индустрии в СССР и всякого рода научным исследованиям, надеюсь, оправдает и утвердит эти мои надежды.

## НАИБОЛЬШАЯ СКОРОСТЬ РАКЕТЫ\*

### А. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ РАКЕТЫ И МАССОЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВЗРЫВА

1. Мы будем основываться на простейших формулах моего «Исследования» 1926 г. (при отсутствии тяжести и сопротивления среды). Значение их приблизительное и имеет применение в следующих случаях:

- а) когда действие производится вне поля тяжести и в пустоте;
- б) когда прибор движется на горизонтальном пути и форма его очень 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  $v = v_1 \ln \left( \frac{M_1 + M_2}{M_1 + M} \right)$ , где  $v$  — скорость ракеты;  $M_1$  — масса ракеты со всем содержимым, кроме взрывчатых веществ;  $v_1$  — относительная скорость их отброса (она постоянная);  $M_2$  — полная масса взрывчатых веществ и  $M$  — масса оставшихся, еще не сгоревших, не выброшенных взрывчатых веществ. Понятно, что  $v$  и  $M$  суть величины переменные.

3. Если положим  $M = 0$ , т. е. что весь запас взрывчатых веществ сгорел, то получим наибольшую скорость ракеты

$$v_0 = v_1 \ln \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right).$$

4. На основании этой формулы составим табл. 4\*\* наибольших скоростей ракеты 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 ра-

\* Глава VII из работы «Основы построения газовых машин». См. «Приложение», л. 74. (Ред.).

\*\* Номера таблиц соответствуют номерам параграфов. (Ред.).

кеты (в м/сек) при относительной скорости отброса в 1, 2, 3, 4, 5 и 6 км/сек. Теория показывает, что энергия взрывчатых веществ, имеющихся сейчас в распоряжении человека, не может дать скорости продуктов взрыва, большей 6 км/сек. Наконец, последний столбец указывает (в процентах), 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 (почти 65%), затем начинает падать до нуля. Между запасом 0,7 и 30 он достаточен 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 скорость отброса далеко пока не достигает 5—6 км/сек, да и запасов взрывания нельзя брать таких больших, 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 использовать тепловую энергию взрыва: вылетающие продукты не могут охладиться (при расширении) до абсолютного нуля и, таким образом, все тепло обратить в кинетическое движение газов. Беспредельному расширению газов и паров препятствуют внешнее давление среды (например, атмосферное), а также сжижение 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 выражает:

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 отброса. Если тепловая или механическая работа уменьшается, например, в 9 раз, то скорость уменьшается в 3 раза. 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 от рода взрывчатых материалов.

\* Т. е. сопла. (Ред.).

Таблица 4

*Скорость ракеты*

Скорость отброса в км/сек	Скорости ракеты (при полном превращении тепловой энергии химического соединения в движение газов) в м/сек						Процент использования
	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	36045,0	14,4
	Бесконечность			Бесконечность			Нуль

9. В табл. 9 первая строка показывает скорость продуктов взрыва (от 2 до 4 км/сек), вторая — утилизацию тепла в процентах, последующие — окончательную скорость ракеты после израсходования всего запаса взрывчатого вещества. Первый столбец таблицы показывает запас взрывчатого вещества 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 несколь-

ким одинаковым и малым (по скорости) ракетам. 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.

**Б. СКОРОСТЬ РАКЕТЫ ПРИ НЕПОЛНОМ СГОРАНИИ ЗАПАСА**

10. Положим, что масса сгоревшего взрывчатого вещества составляет от полного его количества:

11. 
$$\frac{M_2 - M}{M_2} = y.$$

12. Откуда

$$M = M_2(1 - y).$$

13. Положив  $\frac{M_2}{M_1} = x$ , получим

$$v = v_1 \ln \frac{1 + x}{1 + x(1 - y)}.$$

14. Положим, что сгоревшая часть  $y = 0,5$ .

Тогда найдем

$$v = v_1 \ln \left( \frac{1 + x}{1 + 0,5x} \right).$$

Таблица 9

Таблица скоростей при разном использовании теплоты горения и полном расходе взрывчатых веществ

Относительный запас взрывчатых веществ	Скорость продуктов 2000 м/сек			Скорость продуктов 3000 м/сек			Скорость продуктов 4000 м/сек		
	Процент утилизации тепла			Процент утилизации тепла			Процент утилизации тепла		
	50	60	70	50	60	70	50	60	70
Окончательная скорость ракеты в 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	2156	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	5960
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

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  $v = v_1 \ln 2 = v_1 0,693$ . Если, например,  $v_1 = 3000$ , то скорость ракеты будет 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 также подтверждает этот вывод. В ней дана скорость ракеты (в м/сек), когда истребляется только 0,5 всего взрывчатого материала;  $x$  есть полный запас. Имеем в виду идеальное обращение теплоты в движение отброса и ракеты.

Таблица 15

$v_1$ в м/сек	$x$ (запас)												
	0,1	0,3	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1000	46	122	182	287	405	470	511	539	567	573	588	598	606
2000	93	245	365	575	810	940	1023	1078	1134	1146	1176	1196	1212
3000	139	368	547	863	1215	1410	1534	1617	1701	1719	1764	1794	1818
4000	186	490	729	1150	1620	1880	2046	2156	2268	2292	2352	2392	2424
5000	232	613	911	1438	2024	2350	2557	2695	2835	2865	2940	2990	3030
6000	279	736	1094	1726	2429	2820	3068	3234	3402	3438	3528	3588	3636

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 достигает 1023 м/сек. При полном запасе в 2 и израсходовании половины его получается скорость ракеты в 1215 м/сек, если относительная скорость отброса составляет 3000 м/сек.

### В. 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, каждая с запасом  $x = 1$ . 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 самолета в другой — вещь не только возможная, но и бывающая.



18. Положим, что летит одна ракета. По табл. 4 ее наибольшая скорость будет 2772 м/сек.

19. Пусть теперь летят одновременно и рядом (близко) две такие ракеты. Пусть обе расходуют сначала половину своих взрывчатых веществ. Тогда они приобретут скорость в 1150 м/сек (см. табл. 15). Затем одна из ракет переливает не сгоревший еще запас (0,5) в другую, а сама планирует на Землю. Вторая, теперь уже при полном запасе в 1, получает прибавочную скорость в 2772 м/сек и тогда достигаем  $1150 + 2772 = 3922$  м/сек.

20. Теперь, положим, летят четыре 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. Одна из них после этого пополняет запас другой и приземляется. Последняя с полным запасом, израсходуя его весь, получает еще прибавочную скорость в 2772 м/сек, а всего 5072 м/сек. После этого ей придется приземлиться планированием.

21. Составим таблицу скоростей последней из оставшихся в воздухе ракет в зависимости от числа их. Полагаем  $v_1 = 4000$  м/сек и запас 1.

Таблица 21

Число ракет . . . . .	1	2	4	8
Скорость последней в м/сек . . . .	2772	3922	5072	6222
Число ракет . . . . .	16	32	64	128
Скорость последней в м/сек . . . .	7372	8522	9672	10822
Число ракет . . . . .	256	512	1024	2048
Скорость последней в м/сек . . . .	11972	13122	14272	15422
Число ракет . . . . .	4096	8192	16384	—
Скорость последней в м/сек . . . .	16572	17722	18872	—

22. В первой строке табл. 21 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 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 (см. табл. 4). Этого достаточно, чтобы предложить новую таблицу.

Таблица 25

Число ракет . . . . .	1	2	4	8	16
Скорость последней в м/сек . . . . .	4827	6361	7895	9429	10 962
Число ракет . . . . .	32	64	128	256	512
Скорость последней в м/сек . . . . .	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 четырех ракетах, а спутника Солнца — при 16.

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 и относительного запаса взрывчатых веществ. Тогда скорость одной ракеты будет [см. формулу (3)]

$$v_0 = v_1 \ln(1 + x),$$

где  $x$  есть полный относительный запас взрывчатых веществ. При числе же ракет  $2^n$ , где  $n$  — число переливаний, скорость последней составит

$$\begin{aligned} v &= nv_1 \ln \frac{1+x}{1+0,5x} + v_1 \ln(1+x) = \\ &= v_1 [(n+1) \ln(1+x) - n \ln(1+0,5x)]. \end{aligned}$$

28. Первый член первой части имеет предел, как бы ни велико было  $x$  или относительный запас взрывчатых веществ (см. п. 14). Он равен  $0,693 nv_1$ . Но все же он способен беспредельно возрастать при увеличении  $n$  или числа ракет ( $2^n$ ). Но второй член возрастает неограниченно по мере увеличения относительного запаса взрывчатых веществ. Таким образом, надо по возможности увеличить и  $x$  и  $n$ .

29. Если и нельзя много увеличивать запас  $x$  взрывчатых веществ и относительную скорость продуктов горения  $v_1$ , 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 удобный прием. В нашем случае работа сложнее, так как приходится передавать особо два отдельных элемента: углеводороды (горючее) и кислородное соединение. Это можно делать разными способами, например:

- а) переливанием через трубу, соединяющую два летательных прибора;
- б) передачей баков с элементами взрывания;
- в) направлением струи элемента в заднюю часть впереди летящего прибора (спринцовка, пожарный насос).

Какой из этих или других приемов окажется лучше, покажет опыт.

### Г. 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 взрывчатых веществ в единицу. Табл. 4 укажет нам небольшую скорость в 1386 м/сек. Такой ракетоплан может летать 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 подымется 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 ракетопланов в зависимости от наибольшей заданной скорости (см. мое «Давление», 1930).

$v$ в км/сек . . . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda$ . . . . .	4	8	12	16	20	24	28	32
$v$ , в км/сек . . . . .	9	10	11	12	13	14	15	17
$\lambda$ . . . . .	36	40	44	48	52	56	60	68

Первая строка указывает скорость прибора в км/сек, а вторая — необходимую наименьшую его продолговатость 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 носовой частью прибора до такой степени, что представляет как бы стальную стену.

33. Так как большая скорость, примерно в 5 км/сек, достигается уже за атмосферой, то продолговатость вообще не будет превышать 20 (см. таблицу).

34. Научившись хорошо управлять одним ракетопланом с продолговатостью в 4, приступим к постройке двух одинаковых ракет с большей 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, будут увеличиваться и относительный запас взрывчатых элементов, и скорость отброса сгоревшего вещества.

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. При составлении таблицы пользуемся табл. 4 и 15.

Число ракет . . .	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
$v$ в км/сек . . .	1386	1961	2536	3111	3586	4271	4846	5421	5996	6571
$\lambda$ . . . . .	5	8	10	12	14	16	20	22	24	26
Высоты поднятия при постоянной тяжести в км .	95	192	320	484	680	910	1170	1470	1800	2160

Первая строка указывает число ракет в группе, вторая максимальную скорость, третья — продолговатость каждого члена группы, четвертая — максимальную высоту поднятия при израсходовании всей скорости.

На практике, конечно, достигнем этого лишь вполтину. При группе в 8 или 16 ракетоплан, возможно, зайдет 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 (табл. 4 и 15) следующую таблицу:

Число ракет . . . . .	1	2	4	8	16
$v$ в км/сек . . . . .	14388	18024	21660	25296	28932

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.

#### Д. ЦЕЛЬ НОВОГО ПРИЕМА

Цель изложенного — 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 этой 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 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.

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.

### Е. СКОРОСТЬ ВЫЛЕТА ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА

43. Возвратимся же еще раз к отдельному одинаковому ракетоплану. Огромное значение имеет скорость вылета продуктов взрыва. От чего же она зависит? В ранее написанной главе «Энергия химического соединения веществ» 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 (коническая форма зато уменьшает длину трубы);
- 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.

Снаряд обыкновенно небольших размеров. Поэтому труба коротка. Чтобы лучше использовать расширение газов и переход тепла в их движение, нужно делать трубу конической.

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).

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 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.

В нижеследующей таблице это принято во внимание.

Первая горизонтальная строка таблицы показывает идеальную скорость продуктов, зависящую только от химической энергии соединения их составных частей. Здесь мы даем скорость от 2 до 4 км/сек, хотя она может достигать и 6 км/сек. Вторая строка указывает использование теплоты горения в процентах в зависимости, конечно, от температуры вылетающих из устья трубы газов.

Таблица 38

Скорость ракеты по израсходованию 0,5 запаса взрывчатого вещества при использовании теплоты горения в 50, 60 и 70%

Полный относительный запас взрывчатого вещества	Запас израсходованных веществ	Скорость продуктов взрывания (идеальная) в км/сек								
		2			3			4		
Процент утилизируемого тепла		50	60	70	50	60	70	50	60	70
Скорость продуктов взрывания в м/сек		1414	1550	1674	2121	2325	2511	2828	3100	3348
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

Первый столбец содержит полный относительный запас элементов взрыва: от 0,3 до 10.

Второй столбец — половинный его расход для получения скорости.

Наконец, на пересечении строк видим величину скоростей в м/сек при половинном израсходовании взрывчатого вещества.

Все это очень умеренные и осуществимые условия.





## ПРИЛОЖЕНИЕ



## ПЕЧАТНЫЕ ТРУДЫ И РУКОПИСИ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО ПО ВОПРОСАМ РЕАКТИВНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ \*

(Составил Б. Н. Воробьев)

1. Наиболее ранние записи К. Э. Циолковского по вопросам межпланетных сообщений в его Архиве — это надписи, сделанные им в июле 1878 г. на девяти отдельных листах (оп. 1, ф. 1/2 л.). На одном из них весьма тщательно вычерчена 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: «8 июля 1878 г. Воскресенье. Рязань. С этого времени начал составлять астрономические чертежи». Вместе с тем это самые ранние манускрипты его Архива.

2. Следующей по времени из числа сохранившихся рукописей Циолковского по межпланетным сообщениям является тетрадка (1/4 л., формат школьной тетради), содержащая 18 листов плюс обложка и написанная им в Рязани. Живя там с лета 1878 г. до января 1880 г. (до переезда в г. Боровск для занятия должности преподавателя начального училища), Циолковский продолжал разрабатывать вопросы межпланетных сообщений. Для изучения действия ускорения силы тяжести он делал опыты на мелких подопытных животных и насекомых. Для этого он построил коловратную 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 журналисту Я. И. Перельману. На обложке он сделал надпись:

«Относится к 1879 году (автору было 21 год). К. Циолковский».

\* Принятые сокращения: ф. — формат, л. — лист (писчий), ч. — чернила, к. — карандаш, об. ст. — написано на обеих сторонах, од. ст. — написано на одной стороне, оп. — опись архивная, нов. ор. — новая орфография, ст. ор. — старая орфография. Синекопия — копия, полученная копировальной бумагой. Попул. — популяризация.

Ниже: «Юношеская работа» (некоторая иллюстрация к «Грезам»)\* 11.  
«Послано Я. И. Перельману от Циолковского в 1923 г. 31 янв[аря]».

На обороте первого листа обложки значится: «(Очень грязна, потому что была в наводнении 1908 г.)» 11.

К рукописи был приложен специально написанный (к. на об. ст.) на трех листах краткий комментарий к ней, озаглавленный: «Пояснение к «Юношеским чертежам» К. Э. Циолковского, составленное в 1923 г. в феврале (зачатки теперешних мыслей)\*\*».

1. Притяжение конуса и пирамиды, у его вершины, пропорционально его длине (или высоте). В равнотолстой однородной сфере нет тяжести. Тяжесть уравнивается и в таком же (бесконечном) цилиндре. По одной стороне равнотолстой однородной бесконечной пластины получается среда сил, равных и параллельных. Между двумя такими равными и параллельными пластинами тяжесть уничтожается.

2. Равномерное прямолинейное движение почвенника не имеет влияния на совершающиеся на нем явления (пример солнечная система).

3. В среде без тяжести ускоренное прямолинейное движение рождает тяжесть. Пример: в пушечном ядре.

Движущийся так шар рождает на себе тяжесть в одном направлении (согласно представлению древних). Движущийся вниз ускоренно почвенник (ускор.  $> 10$  м) рождает тяжесть, обратную земной.

4. В падающем беспрепятственно почвеннике нет тяжести (ракета после взрывания). В опускающемся ускоренно (ускор.  $< 10$ ) почвеннике тяжесть менее земной (гирька Аत्वудовой машины). В поднимающемся ускоренно почвеннике тяжесть более земной (Аत्वудова машина).

5. Усиленная тяжесть в пушечном ядре.

Искусственное произведение всех этих явлений (и Аत्वудова машина).

6. В брошенном или падающем ядре нет тяжести.

В вагоне, начинающем или оканчивающем движение, рождается горизонтальная тяжесть, которая, слагаясь с земной тяжестью, дает наклонную относительную тяжесть. То же в ядре горизонтальной пушки.

8. При скатывании с горы человек принимает нормальное к горе положение. Трением пренебрегается. В частном случае гора вертикальна, и тяжесть уничтожается. В ядре короткой пушки кажущаяся тяжесть ужасна.

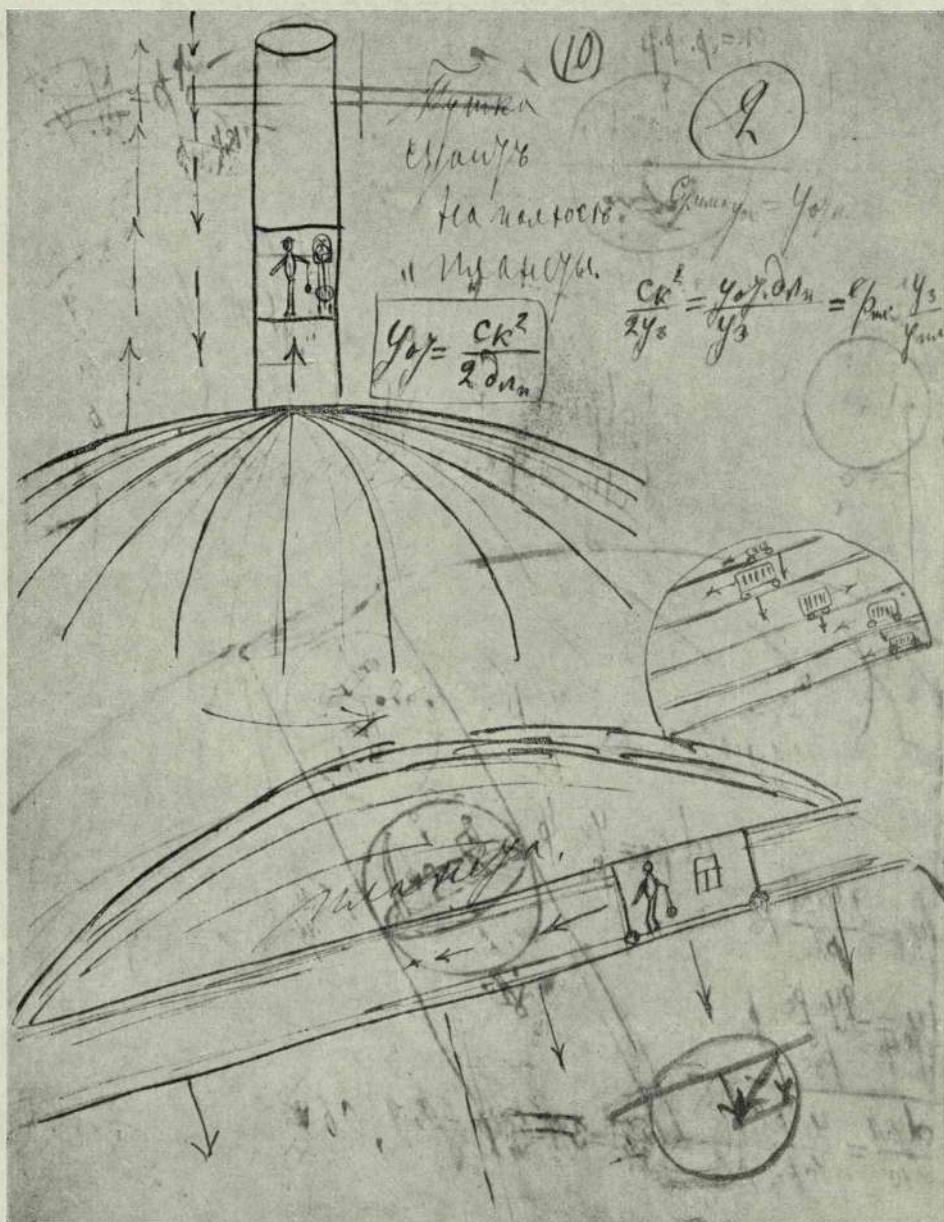
9. При ньютоновом притяжении в падающем ядре остаются лишь совершенно незаметные следы тяжести (приливы водяные, атмосферные и ломка коры или ее напряжение, способствующее землетрясениям).

Ядро падает через диаметральный земной канал и достигает центр через 20 минут. Относительная тяжесть в ядре исчезает.

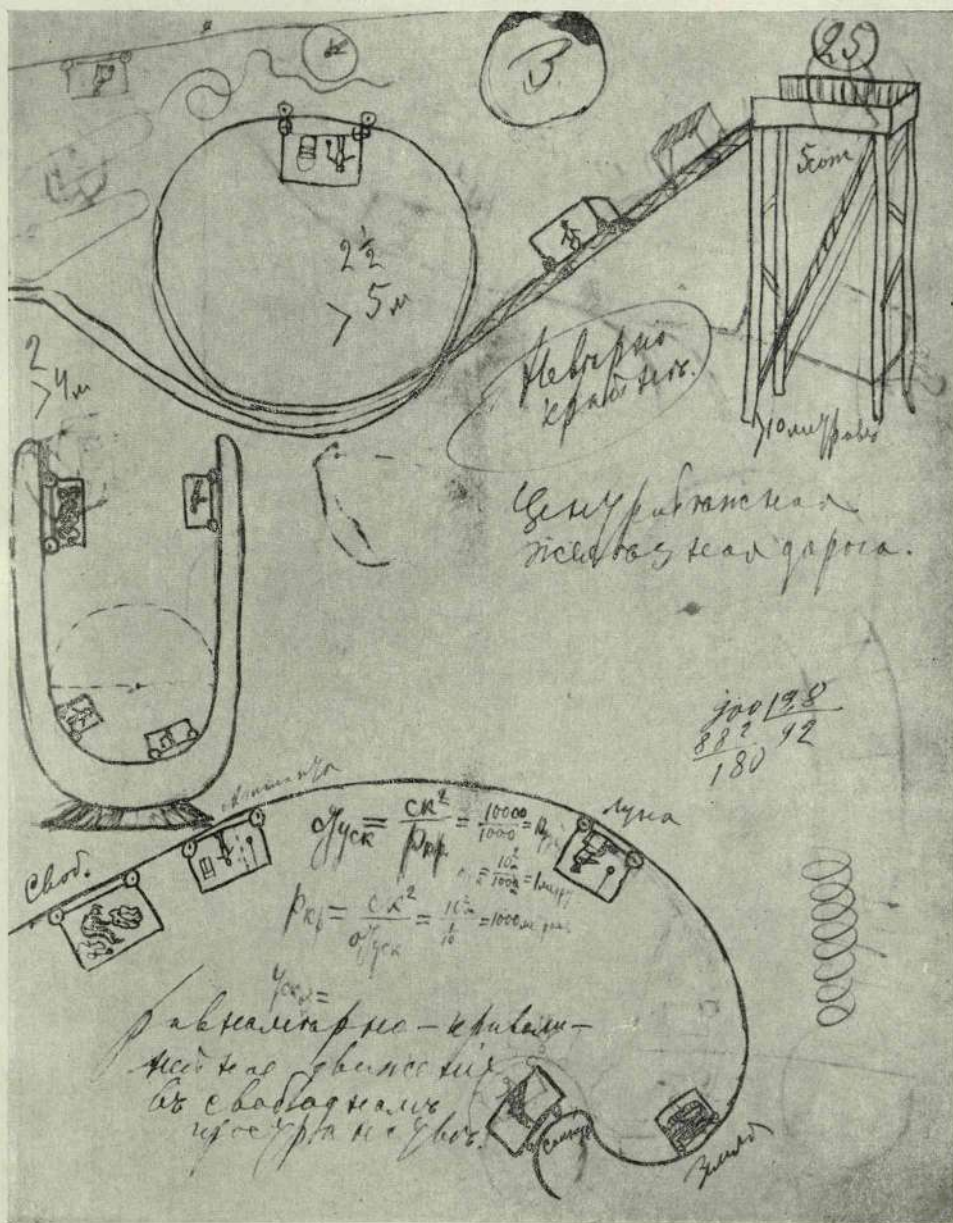
\* Подразумевается сочинение К. Э. Циолковского «Грезы о земле и небе». М., Изд. Гончарова, 1895.— Б. В.

\*\* Нумерация сохранена, как была у автора. (Ред.).





Страница 14 из тетради К. Э. Циолковского 1878 г.



Страница 31 из тетради К. Э. Циолковского 1878 г.





10. Вагон в хордальном канале планеты. Тяжесть в вагоне постоянна по силе и направлению.

11. Вращение почвенника производит в нем относительную тяжесть, которой ранее могло не быть.

12. Явления во вращающейся камере. Тяжести до вращения не было.

14 и 13. Удивительные явления. Один предмет тонет, падает, вообще испытывает тяжесть, другой, движущийся, тяжести не чувствует — ходит, например, не погружаясь по воде. Странное кривое движение от толчка.

15. То же. В комнате два человека стоят перпендикулярно друг к другу.

16. То же. Жидкость принимает форму [тела] вращения.

17. То же. Явления на маятнике, на качелях и колодезках колес.

20.\* Явления на вращающейся планете. На известной высоте тяжесть уничтожается центробежной силой. Далее она становится обратной.

Веретенообразная башня, висящая без опоры над планетой и не падающая благодаря центробежной силе (явление, возможное на малых планетах).

19. Вагон движется равномерно по экватору планеты. Тяжесть уменьшается, тяжесть исчезает и делается обратной. Вращение планеты делает то же. (Возможно на астероидах.)

21. На кольцах Сатурна нет тяжести.  
[Пропуск. 26. Явления на американских горах].

28, 29 и 30. Явления на вращающейся планете. С искусственного кольца, подобного Сатурнову, удобно направляться во все стороны.

31. Кольца, окружающие планету без атмосферы, с помощью которых мягко восходить на небеса и спускаться с них, а также отправляться в космическое путешествие.

22. Движение на кольце Сатурна вызывает тяжесть разной силы — прямую и обратную, смотря по скорости и направлению относительно движения на кольце.

23. Явления при ускоряющемся вращении.

24. Явления в ядре дуговой пушки. На качелях.

25. Центробежные горы. В частном случае тяжести нет, зато в нижней части усиленная тяжесть.

В свободном от тяжести пространстве криволинейное движение производит относительную тяжесть, пропорциональную кривизне пути и квадрату скорости вагона.

*К. Циолковский*

*Калуга, пр. Жорес, д. № 3.*

Приводимые здесь рисунки представляют факсимиле отдельных страниц этой рукописи, поступившей в 1950 г. в Архив Академии Наук СССР, в фонд Циолковского вместе с комментарием. Публикуются впервые.

\* Так у автора. (Ред.).

3. Рукопись «Свободное пространство», 1883 (ф. 1/2 л., ч. на об. ст.) состоит из 12 тетрадей по 3 листа в каждой, сшитых нитками; пагинация отсутствует (редкий случай в рукописях Циолковского), но тетради пронумерованы. Всего 142 стр. текста. Начата 20 февраля 1883 г., окончена 13 апреля того же года. Первоначальным конспектом к ней, повидимому, являлась тетрадка 1879 г. На первой странице рукописи имеется позднейшая надпись автора (ст. ор.):

#### « П р е д и с л о в и е .

Юношеская работа. Значение понятия 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)».

На полях и в тексте много рисунков и набросков. Некоторые из них воспроизводятся в этом томе.

Эта рукопись представляет собой 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 принципиальную схему реактивного межпланетного корабля, на которой показаны также два жироскопа для поворачивания всей системы\*.

Об этой работе Циолковский высказывается на страницах своего (незаконченного) произведения: «Обзор моих трудов с 1881 по 1911 г. (30 лет)», написанного, повидимому, в первые годы Советской власти.

Перечисляя в начале «Обзора» свои ненапечатанные работы, он пишет:

«Явления абсолютные и относительные.

Это сочинение ... не закончено, но оно задумано очень широко. Абсолютные явления более или менее известны. Но относительные явления, — кажущиеся, — происходящие на теле, движущемся непрямолинейно 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\*\*.

4. Статья: «Как предохранить нежные и хрупкие вещи от толчков и ударов» в журнале «Труды Физического отделения Московского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии при императорском Московском университете», 1891, т. IV.

В работе рассматривается вопрос — как устранить вредное действие

\* Схема впервые опубликована (факсимиле) в работе Б. Воробьева «К. Э. Циолковский». М., Молодая гвардия, 1940, стр. 45.

\*\* Эта работа К. Э. Циолковского будет напечатана в т. V настоящего собрания. (Ред.).

ускорения силы тяжести на хрупкие и нежные предметы. Автор предлагает помещать эти предметы в сосуд с жидкостью (пример — сырое яйцо в банке с водой). 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 движущуюся в ней плоскость», напечатанной в том же выпуске Трудов, была издана отдельной брошюрой (на обложке заголовок статьи «Давление жидкости» ... Москва 1891, 18 стр.). Это первые напечатанные труды К. Э. Циолковского.

5. «На Луне». Научно-фантастическая повесть в журнале «Вокруг света», 1893.

Описывается сновидение юноши, якобы заснувшего на несколько дней, который видит себя путешествующим по Луне вместе со своим товарищем. Рисуются картина поверхности Луны и описываются различные явления природы, наблюдаемые путниками, и их приключения в непривычной обстановке.

6. Книга «На Луне» — отдельное издание напечатанной в журнале «Вокруг света» (1893) научно-фантастической повести. М., 1893 (48 стр., 4 рис.). В советское время повесть «На Луне» переиздавалась 5 раз, в том числе одно издание на украинском языке.

В своей брошюре «Изданные труды К. Э. Циолковского», выпущенной им в Калуге в 1927 г., где он в третьем лице пишет о вышедших в печати своих работах и комментирует их, он делает к своей повести «На Луне» следующее примечание: «Только теперь подтвердилось то, что дает автор в своем описании относительно температуры разных частей нашего спутника. Ранее Ленгли, напр[имер], доказывал, что поверхность Луны ледяная и имеет очень низкую температуру».

7. Рукопись «Изменение относительно[й] тяжести на земле», 1894 г., 191 л. ф. 1/4 л. Написана чернилами (2 рис.).

Обнаружена в 1937 г. на чердаке старого дома Циолковского, где ныне музей. С нее тогда же мною была снята точная копия на пишущей машинке со всеми позднейшими поправками, сделанными собственноручно К. Э. Циолковским.

На первом листе рукописи имелась надпись рукой К. Э. «Просмотрена и исправлена карандашом в конце декабря 1916 г. К. Ц.». При этом просмотре он надписал вверху первого ее листа другой заголовок: «Фантазия и действительность о небе». В левом верхнем углу 1-го листа пометил: «Писано в 94 году. К. Ц.»

Названия нумерованных глав этой рукописи:

Чудеса относительной тяжести. — Горизонтальная карусель с отвесной осью. — Человек, ходящий по стене, как по полу. — Как пред-

ставить горизонтальную местность в виде крутой горы. — Полное кажущееся отсутствие тяжести в падающей камере. — Экваториальный поезд. Гипотетические путешествия в небесное пространство. Млечный путь. — Междузвездный дом в Млечном пути. Механические явления — субъективные и объективные. — Картина искусственной жизни в среде без тяжести. — Планетная система нашего Солнца. — К Луне и на ней. — Меркурий. — Марс. — Веста. — Церера и Паллада. — На кольцах Паллады.

Данная работа Циолковского 1894 г. по своей тематике и материалу предвосхищает напечатанную в следующем году книгу «Грезы о земле и небе», хотя весьма существенно отличается от нее по манере письма и трактовке вопроса. В 1908 г. эта рукопись во время наводнения пролежала в воде 3 дня, о чем есть надпись на ней К. Э. Циолковского. Однако она хорошо сохранилась и до войны 1941 г. экспонировалось в Музее Циолковского в Калуге. В 1942 г. во время 2-месячного пребывания в Калуге оккупировавших ее немцев, истребивших экспонаты Музея, рукопись была изорвана. Часть страниц уничтожена совсем.

8. Книга «Грезы о земле и небе». Эффекты всемирного тяготения. Москва. Изд. А. И. Гончарова, 1895, 143 стр. (без рис.).

Написанное как развитие предшествовавших произведений Циолковского по вопросу межпланетных сообщений и частью их повторяющее, это сочинение включает следующие главы:

I. Наружное строение вселенной. II. Всемирное притяжение. III. Описание разных явлений, происходящих без участия тяжести. IV. Ненавистник тяжести. V. Возможно ли на земле получить среду с иной тяжестью, отличной от земной. VI. Мысли чудака о вреде воздуха и о возможности жить в пустоте; мечты его об особой породе разумных существ, живущих без атмосферы. VII. В полосе астероидов. VIII. Энергия лучей солнца. IX. Тяготение как причина скоростей небесных тел и их лучеиспускания.

В пояснении к этой книге в названной выше своей брошюре «Изданные труды К. Э. Циолковского» (1927) он пишет, что в ней «выясняется возможность таких сознательных и разумных существ, которые могут жить в пустоте, на счет энергии солнечного лучеиспускания, не нуждаясь в питании: некоторое подобие растений и зоофитов. Указывается на возможность бессмертия сложных организмов».

Рецензия на эту книгу была напечатана в журнале «Научное обозрение», 1895 г., № 21, стр. 665—666. Отмечается чрезмерная фантастичность высказываний Циолковского.

9. Статья «Может ли Земля заявить жителям планет о существовании на ней разумных существ» в газете «Калужский вестник», 1896 г., № 68. Исходя из предположения, что на других планетах нашей солнечной системы живут разумные существа, предлагается посредством зеркал, отражая солнечный свет, передавать им сигналы.

Рукотпись не возвращена  
Издано у жалею. Копирекурри  
не было. Формулы и нумера  
не чинькофь а перевертаны  
и поуряди смилать  
Но всеуаки я благодарен  
Финляндяву, и бо отъ одинъ  
рѣшилъ се издавъ моего  
работу. К. Циолковскій.

Нашелъ дара съ формулами  
10 мая 1897 г.

не возвращена

Все исправлено, согласно  
моей рукотписи, осправивъ се  
дала мнѣ въ иаинво сходнаб.  
Съ посыланнрѣ въ научн обзорн  
Циолковскій  
Эти рукотписи (не тайная) управленн  
въ редакцію Вѣстни. Воздушннхъ

### Издѣдованіе міровыхъ пространствъ реактивными приборами.

С. 9  
окт. 1911 года

1. Небольшіе аэростаты съ автоматически наблюдающими прибо-  
рами, безъ людей, до сихъ поръ поднимались только до высоты, не боль-  
шей 20 верстъ.

Трудность поднятія въ высоту съ помощію воздушныхъ шаровъ  
возрастаетъ чрезвычайно быстро съ увеличеніемъ этой высоты.

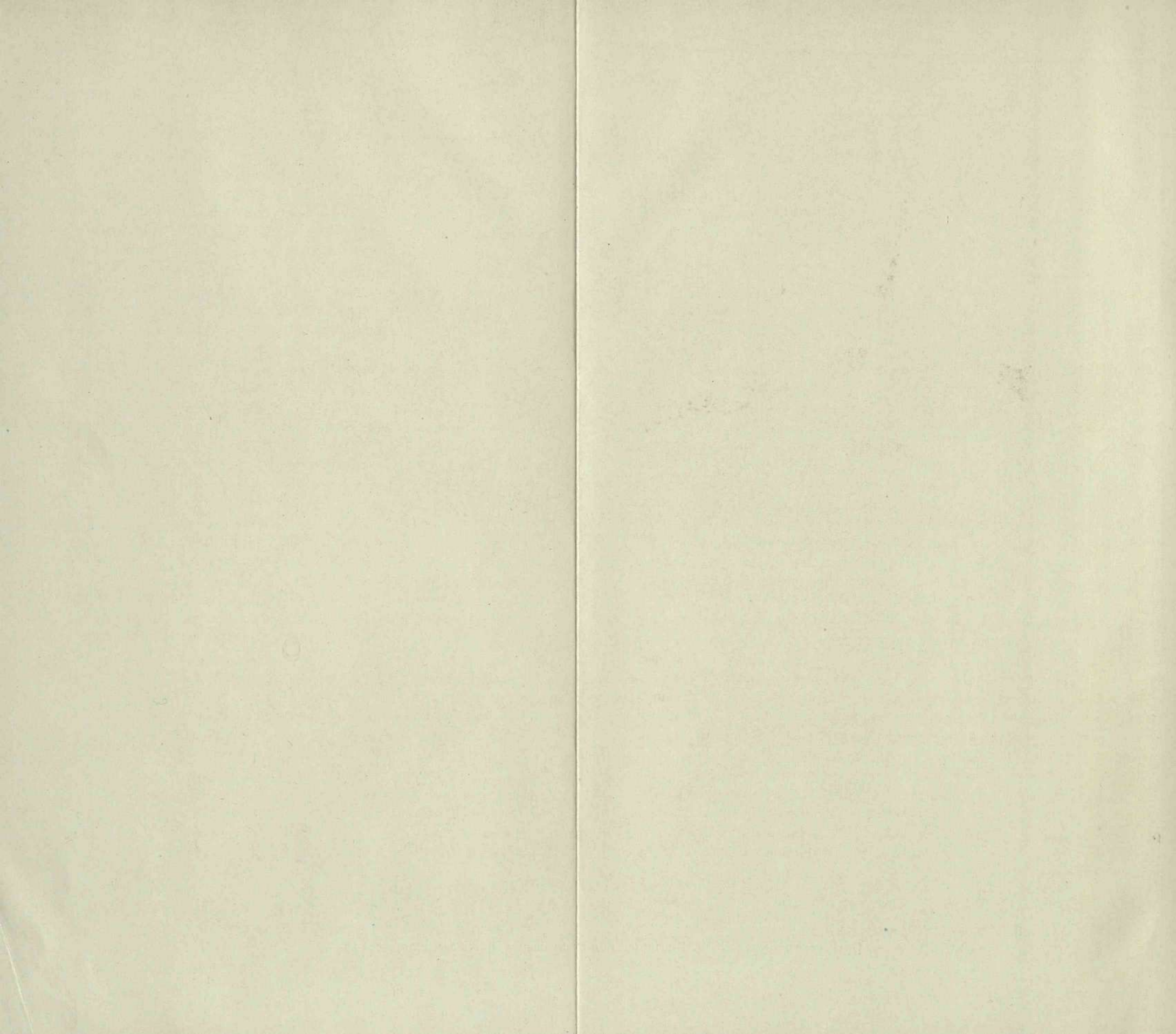
Положимъ, мы хотимъ, чтобы аэростатъ поднялся на высоту 27  
километровъ и поднялъ грузъ въ 1 килограммъ (2.4 фунта). Воздухъ  
на высотѣ 27 килом. имѣетъ плотность около  $\frac{1}{50}$  плотности воздуха  
при обыкновенныхъ условіяхъ (760 мм. давленія и 0° Цельсія). Зна-  
читъ шаръ на такой высотѣ долженъ занять объемъ въ 50 разъ большій,  
чѣмъ внизу. У уровня же океана слѣдуетъ впустить въ него не менѣе  
2 кубич. метровъ водорода, которые на высотѣ займутъ 100 куб.  
метровъ. При этомъ шаръ подниметъ грузъ въ 1 килограммъ, т. е.  
подниметъ автоматическій приборъ, а самъ шаръ будетъ вѣсить кило-  
граммъ или около того.

Поверхность его оболочки, при діаметрѣ въ 5,8 метра, составитъ  
не менѣе 109 кв. метровъ. Слѣдовательно каждый квадратный метръ  
матеріи, считая и пришитую къ ней сѣтку, долженъ вѣсить 10 грам-  
мовъ, или квадр. аршинъ будетъ вѣсить около 1-го золотника.

Кв. метръ этой писчей бумаги вѣситъ 100 граммовъ: вѣсъ же  
кв. метра папирсной бумаги составляетъ граммовъ 50. Такъ что даже  
папирсная бумага будетъ въ 5 разъ тяжелѣе той матеріи, которая  
должна быть употреблена на нашъ аэростатъ. Такая матерія, въ при-  
мѣненіи къ аэростату, невозможна, потому что оболочка, слѣланная  
изъ нея, будетъ рваться и сильно пропускать газъ.

Шары большихъ размѣровъ могутъ имѣть болѣе толстую обо-  
лочку. Такъ шаръ съ небывало большимъ діаметромъ въ 58 метровъ

Непомеченная и пропала  
переплетъ для "Прогрессивна"



10. Рукопись без даты с надписью «Ракета»; 22 листка ч. (ф. 1/4 л.) вычислений, относящихся к межпланетным сообщениям. По ряду признаков можно предполагать, что это наброски к работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами 1903 г.» (и именно главы VII ее второй части).

11. Статья «Исследование мировых пространств реактивными приборами» в журнале «Научное обозрение» (Петербург), 1903, № 5, май (стр. 44—75, 2 рис.) (стр. 69 наст. тома).

Работа представляет первый в мировой литературе научный труд, посвященный обоснованию теории реактивного движения — ракетодинамики и межпланетных сообщений. В ней также впервые даны форма и основные конструктивные очертания ракеты дальнего действия — космической ракеты, в том числе и ее хвостового оперения. Впервые доказывалась возможность применения для ракетоплавания энергии химических соединений. Для достижения космических скоростей указывалось горючее, соответствующее современному уровню науки и техники — водород в сжиженном 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 взаимоотношение основных параметров ракеты — ее массы и относительной скорости. Работа напечатана в № 5 «Научного обозрения». Статья являлась первой частью труда; в следующей книжке журнала должна была появиться вторая часть. Но она не вышла в свет: журнал был закрыт, и выход его в свет был прекращен навсегда. Опубликованная часть работы содержит следующие разделы:

Вводная часть. — Реактивный прибор. — Ракета. — Преимущества ракеты. — Ракета в среде, свободной от тяжести и атмосферы. — Вертикальное поднятие ракеты. — Среда тяжести. — Отвесное возвращение на Землю. — Среда тяжести. — Наклонное поднятие.

В личной библиотеке Циолковского хранился один переплетенный экземпляр этой работы с многочисленными поправками его рукой, носивший следы пребывания в воде (наводнение 1908 г.), со следующими надписями (ст. ор.).

На лицевой странице форзаца:

«Прошу хранить, как зеницу ока, ибо единственный экземпляр, вырванный мною из журнала. К. Ц.» На внутренней стороне переплета: «Рукопись не возвращена. Издано ужасно. Формулы и номера перевраны и потеряли смысл. И все-таки я благодарен Филиппову, ибо он один решился издать мою работу.

*К. Циолковский*

Нашлась дата с формулами. 10 мая 1897 г.»

На полях первой страницы текста:

«Все исправления, согласно моей рукописи, оставшейся дома и не вполне сходной с посланной в Научное Обозрение:

*Циолковский.*

Эта рукопись (не полная) отправлена в Вестник Воздухоплавания 8 и 9 окт[ября] 1911 года.

Не возвращена совсем».

12. Рукопись «Исследование небесных пространств реактивными приборами». Статья 2-я (ф. Л., № 181). Чернилами на об. ст. (Ф. 1/2 л.), 180 стр. Без даты, но имеется следующая надпись автора (карандашом, ст. ор.).

«Первая статья должна бы выйти во 2-м номере» Н[аучного Об]озрения 1903 г. (февраль). Вышла в мае (5 книга)».

Первоначально на рукописи стоял заголовок: «Начало теории реактивных приборов для исследования пространств (статья вторая)», но затем он 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.

13. Рукопись «Реактивный прибор как средство полета в пустоте и в атмосфере. 1908 г. Август» (6 л., ф. 1/2 л. на об. ст. Синекония).

С этого года Циолковский начинает практиковать копирование своих рукописей. Для этой цели он клал на фанерку или на кусок плотного картона листы писчей бумаги, переложенные копировальной бумагой, и писал карандашом, получая таким способом сразу 3—4 копии своих работ. Но писать таким образом на письменном столе было неудобно, и он стал писать, сидя в кресле и положив дощечку с листами рукописи на колени. Эту манеру письма он сохранил до конца жизни. Поводом, вынудившим Циолковского обеспечивать себя копиями своих статей, притом наиболее экономным способом (машинопись была тогда ему недоступна), послужила пропажа его большой рукописи «Отчет об опытах по сопротивлению воздуха (1900—1902) Российской Академии наук», которую он послал через профессора Сперанского профессору Н. Е. Жуковскому в Москву. В процессе этой передачи имевшаяся у Циолковского в единственном экземпляре рукопись затерялась, и Циолковский, несмотря на все старания и помощь друзей, так до конца жизни и не смог получить ее обратно и опубликовать. Этот печальный случай и привел его к решению — отныне писать «под копирку», хотя это и требовало больших усилий, чем обычный процесс писания чернилами или карандашом на



письменном столе. Только при Советской власти, примерно с 1922 года, Циолковский смог отдавать переписывать на машинке свои рукописи, но писать продолжал на дощечке, держа ее на коленях.

14. Статья «Реактивный прибор как средство полета в пустоте и атмосфере», в журнале «Воздухоплаватель» (Петербург), 1910 г., № 2, стр. 110—113 (стр. 151 наст. тома).

Судя по дате автора на описанной мною выше (см. п. 13) синеконии этой работы — август 1908 г., — можно допустить, что она тогда же была послана в редакцию журнала «Воздухоплаватель», но до 1910 г. пролежала в ее портфеле.

15. Рукопись «Реактивный прибор — ракета» (192 стр., ф. 1/2 л., ст. ор.). Эта рукопись — вариант статьи, напечатанной в журнале «Вестник воздухоплавания» за 1911 г. под тем же заглавием, что первая часть, опубликованная в 1903 г. в журнале «Научное обозрение» (№ 5) — «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Ввиду того, что первая часть статьи появилась за 8 лет до этой, во вторую часть автор включил резюме первой статьи. В редакцию названного журнала автором был, однако, послан несколько измененный вариант, но изменения были лишь стилистического порядка и небольшие.

16. Статья «Исследование мировых пространств реактивными приборами», напечатанная в журнале «Вестник Воздухоплавания» (Петербург), 1911, № 19, 20, 21 и 22 и 1912, № 2, 3, 5, 6, 7 и 9, содержит разделы:

Предисловие.— Резюме работы 1903 г.— Работа тяготения при удалении от планеты.— Скорость, необходимая телу для удаления от планеты.— Время полета.— Сопротивление атмосферы.— Кривые движения снаряда и его скорость.— Средства существования во время полета. Спасение от усиленной тяжести.— Борьба с отсутствием тяжести.— Мечты. Будущее реактивных приборов.— Ожидающие Землю бедствия устраним реактивный прибор (1 рис.).

Опубликование этой работы положило начало популяризации идей Циолковского в области межпланетных сообщений и реактивной техники, которая с каждым годом стала увеличиваться и привлекать к этой теме все возрастающее число изобретателей, последователей и популяризаторов. С 1913 г. первые печатные труды на эту тему начали появляться и за границей.

С этого времени у Циолковского сохранился ряд отрывочных набросков и черновиков, показывающих, что он тогда замыслил, положив в основу содержание двух опубликованных частей «Исследования мировых пространств...», написать работу, которой был дан уже и заголовок; «Реактивный прибор — ракета». Но все эти попытки привели лишь через много лет, в 1926 г., к выпуску труда под старым заглавием «Иссле-

дование мировых пространств реактивными приборами», в котором, на основе написанных за истекшие годы работ и новейших научных данных, развил дальше эту тему.

17. Рукопись «В двухтысячном году (к ракете)». 26 авг. 1913 г. 10 л. на об. ст. (ф. 1/2 л., к., ст. ор.) и 10 л. синеконии (оп. 1, № 180).

Автор излагает, как в 2000 году несколько ученых и богатых людей, уверовав в теоретическую возможность совершать при помощи реактивных приборов полеты в межпланетное пространство, решили добиться практического осуществления этой идеи. 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 предлагал сделать ее частью задуманного труда «Ракеты», но в дальнейшем (1917—1920) развил ее в большую научно-фантастическую повесть «Вне земли», полностью напечатанную им в 1920 г. в Калуге.

17а. Брошюра «Исследование мировых пространств реактивными приборами (к I и II части труда того же названия)». Калуга, Издание автора. 1914, 16 стр. и обл., но без титульного листа, с 1 рис.

В первой половине книги вкратце излагается история данной работы автора, во второй — делаются новые пояснения и дополнения к двум ранее напечатанным частям.

В настоящем томе воспроизводится лишь вторая часть брошюры.

18. Статья «Без тяжести», напечатанная в журнале «Природа и люди» (Петроград) за 1914 г., представляет перепечатку с большими сокращениями произведения «Грезы о земле и небе» (1895).

19. Рукопись авторского предисловия к научно-фантастической повести «Вне земли», печатавшейся в журнале «Природа и люди» в 1918 г. (оп. I, № 10). О времени написания этой статьи Циолковским говорит надпись его рукой на конверте письма к нему Я. И. Перельмана от 16 марта 1917 г. от имени редакции этого журнала с просьбой написать и прислать предисловие:

«29 марта. Обещаю окончить месяц, а продолжение (50 л.) и предисловие через 10 дней. Ответено 23 марта 1917».

Это предисловие было редакцией журнала изменено так, как будто оно исходит от нее, а не от автора. В калужском издании данной повести в 1920 г. это предисловие он значительно расширил.

20. Рукопись «На Весте» (5 стр.) (ф. 1/2 л.). Рукой автора надпись: «Написано до 1919 г.». Первоначальный заголовок, зачеркнутый потом автором, был «Условия жизни в иных мирах». На обложке рукописи: «Биол[огия] Космоса, 19 г. Условия жизни. (На Весте, отрывок). Как может появиться жизнь на астероиде. Читано 5 января 1932 г.». Последняя фраза надписи указывает, когда Циолковский перечитал еще раз

эту рукопись. Подобные надписи, сопровождаемые иногда критическими примечаниями автора, имеются на многих рукописях Циолковского.

21. Рукопись «Жизнь в эфире, 1919 г.» (оп. I, № 7), 62 л. (ф. 1/2 л., к., на об. ст., ст. ор.). На первой странице дата: «13 сент. 1919 г. — 1 апр. 1920 г. Четверг». Вверху страницы — «прочитано еще в феврале 1923 г.». На обложке рукописи: «9 (Жизнь в эфире). 19 г. Условия жизни в поясе астероидов».

В рукописи рассматриваются явления, которые будут наблюдаться при проникновении в эти пространства астронавтов, и условия их быта.

22. Книга «Вне Земли». Повесть. Издание Калужского Общества изучения природы и местного края. Калуга, 1920, 118 стр., IX (без рис.). 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. Даты же написания этого произведения для журнала «Природа и люди» в 1917 г. он сам точно указывает в документе, приведенном нами выше под № 19. Повесть содержит следующие главы:

Замок в Гималаях. Восторг открытия.— Обсуждение проекта.— Еще о замке и его обитателях.— Продолжение беседы о ракете.— Первая лекция Ньютона.— Вторая лекция.— Два опыта с ракетой в пределах атмосферы.— Снова астрономическая лекция.— Приготовление к полету кругом Земли.— Вечная весна. Сложная ракета.— Отношение внешнего мира.— Местонахождение ракеты.— Проводы.— Оставшиеся на Земле.— В летящей кругом Земли ракете. Вылезли из воды. Беседуют.— Субъективное состояние.— Занятия, сон, чтение, еда.— Физические и химические опыты.— Концерт.— Открыли ставни.— Протесты. Тоска по работе. Искусственная тяжесть.— Ракета превращается в цветущий сад.— Одеваются в скафандры.— Вылетают из ракеты в эфирное пространство.— Рассказ балахонщиков.— Регуляторы температуры ракеты.— Беседа о явлениях, испытанных балахонщиками.— Разговоры о жизни в эфире.— Баня.— Резюме о жизни в эфире.— Картина купания.— Оранжерея.— Сооружения оранжерей. Неиссякаемые жизненные продукты.— Беспечальное житье. Телеграфирование солнечным светом.— Состояние человечества в 2017 году.— Странная звезда.— Земля узнает, что мировые пустыни открыты для человечества. Вне Земли.— Совещание о новом спиральном полете кругом Земли. Таинственный стук. Часовой в эфире.— Полет по спирали. Путевые впечатления.— Болиды. Достигают орбиты Луны. Решают полет на Луну.— Сомнения. Лететь ли на Луну? Устройство новых колоний.— Путешествие с лунной орбиты к Луне.— На горах и долинах Луны.— Прощай Луна! Удаление с Луны.— Опять в большой ракете.— Телеграмма Земле о Луне.— Земные дела.— Картина переселения

и жизни в эфирных колониях.— Союз колоний.— Среди ученых, на орбите Луны. Первое совещание.— Второе совещание.— Кругом солнца за орбиту Земли.— На неведомой планете.— Опять в ракете. Летим к Марсу.— Встречают на пути газовые кольца.— Приближаются к Марсу. Возможно ли посещение планет? — По направлению к Земле,— коротким путем.— На Земле.— Собрание в замке.— Планы новых небесных экскурсий.

Идеи и техническое содержание этого произведения Циолковского легли в основу всех зарубежных планов — в Европе и Америке — межпланетных сообщений, планов устройства и искусственных спутников Земли, с агрессивными целями, особенно широко публикуемых за последнее время в США.

23. Рукопись «Космическая ракета. Завоевание солнечной системы». 29 ноября 1923 г. (5 стр. на об. ст., 1/2 л.). Начало задуманной популярной статьи (не окончено).

24. Рукопись. Наброски с надписью на заглавном листе «№ 2-й части ракеты». 22 ноября 1923 г., ф. 1/2 л., 15 стр.

25. Рукопись «Реактивный прибор». Апрель 1924 г. 14 стр. (ф. 1/2 л.). Вычисления, наброски приборов для испытания действия руля на ракете и т. д.

26. Рукопись «Космический корабль». Популярная статья, написанная для журнала «Техника и жизнь» (Ленинград) по просьбе издательства Транспечати от 24 июня 1924 г.— высказаться на страницах журнала «относительно конструкции межпланетного корабля». Статья написана с использованием имевшихся уже у Циолковского набросков (см. п. 23) и (п. 24). 24 июля 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 1 1/2 лет, в январе 1926 г. редакция вернула автору рукопись, с которой она воспроизведена в настоящем томе.

27. Брошюра «Ракета в космическое пространство». Калуга, Издание автора, 1924, 32 стр. (Вводная статья на немецком яз.)

Дословная перепечатка, но с измененным заглавием работы Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами», напечатанной в майской книжке журнала «Научное обозрение» в 1903 г. Очевидно, поэтому на титульном листе значится: «Второе издание».

28. Письмо в редакцию журнала «Связь» (орган Московского управления связи), напечатанное в № 18 за 1925 г., стр. 14, с погтретом К. Э. Циолковского.

В письме он сообщает, что «только в последнее время, менее месяца тому назад, проблема распределения в трубе взрывающихся газов, их плотность, температура и скорости движения в различных участках трубы им разрешена в окончательном виде».

29. Рукопись «Заатмосферные путешествия. Принцип самодвижущегося тела. 7 ноября 1925 года». 55 стр. (ф. 1/2 л. на об. ст.), синекопия. Попул.

30. Рукопись «Вычисления и таблицы, касающиеся космических путешествий и устройства жилищ вне Земли. 13 июня 1926 г.» 50 стр., л., к. на об. ст. (ф. 1/2 л.). Надпись автора: «1. Работа тяжести, космические скорости. 2. Энергия Земли. 3. Пушки и ракеты». Неокончена.

31. Рукопись «Исследование мировых пространств. (Ракета в космическ[ое] прост[ранство]. 26 июня 1926 г.» 14 л., ф. 1/2 л.). Повидимому, как и предшествующая (№ 29) рукопись, является черновым наброском к вышедшей в том же году книге одноименного названия.

32. Книга «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Калуга. Изд. автора, 1926, 125 стр. Без тит. л., л. В брошюре «Изданные труды К. Э. Циолковского» автор на стр. 20 называет эту работу «четвертой более полной работой на эту тему» и указывает, что предполагает в этом издании только перепечатку прежних работ с некоторыми дополнениями. Но «пришлось, в силу материальных условий, ограничиться почти одним новым». В наст. томе работа напечатана по «Избранным трудам». Изд. 1934 г. с некоторыми исправлениями.

33. Брошюра «Космическая ракета. Опытная подготовка». Калуга, Изд. автора, 1927, 24 стр. (без обл. и тит. л.). В своем обзоре («Изданные труды», стр. 24) Циолковский говорит, что данная работа была попыткой указать на подготовительные опыты к подготовке космического корабля. На стр. 1 работы он делает следующую пометку: «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». Этот инженер напечатал в германском авиационном журнале «ZfM» от 12 апреля 1927 г. 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 «возражение» выглядит, как курьез, но в те годы — всего лишь 28 лет назад — смелые, новаторские технические идеи передового русского ученого еще 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 с возражениями.

34. В своей книге «Соппротивление воздуха и скорый поезд» (Изд. автора, Калуга, 1927, 72 стр.) Циолковский в виде приложения перепечатал предисловие к своей книге «Вне Земли», 1920 г. (см. п. 22).

35. В брошюре «Изданные труды К. Э. Циолковского» (изд. автора, Калуга, 1927 г.) автор помещает аннотации и комментарии к появившимся в печати работам, в том числе и к трудам по реактивным летательным аппаратам и межпланетным сообщениям (стр. 7, 9, 15, 20 и 24).

36. Рукопись, озаглавленная «Несвоевременно». 16 сентября 1927 г., 4 л., к. (на од. ст., ф. 1/2 л.).

37. Рукопись «Труды о космической ракете 1903—1927 гг.» (май, 1928, 8 стр., ф. 1/2 л. маш.) исправлена автором в 1931 г. (оп. 1, № 205).

38. Рукопись «Завоевание солнечных систем. Научная фантазия». Ноябрь 1928 г. 24 л. маш., ф. 1/2 л. Имеются вставки к ней, датированные 20 июня 1919 г. Не окончена.

39. Книга «Космические ракетные поезда». Портрет автора на вкладном листе и его предисловие. Издание Коллектива калужской секции научных работников. Калуга, 1929, 38 стр.

В предисловии автор говорит: «Мне уже 72 года. Я давно уже не работаю руками и не производю опытов». Книга посвящена рассмотрению вопроса о предложенных им для достижения максимальной высоты подъема и дальности составных ракетах. Он предупреждает, что «работающих ожидают большие разочарования, так как благоприятное решение вопроса гораздо труднее, чем думают самые проникательные умы». «Потребуется новые и новые кадры свежих и самоотверженных сил. Звездоплавание нельзя и сравнить с летанием в воздухе...» «Если бы знали трудности дела, то многие, работающие теперь с энтузиазмом, отшатнулись от него» (стр. 8). В настоящем томе работа печатается 3-м изданием по рукописи.

40. Рукопись «Реактивный аэроплан. Декабрь 1929 года. Взято из большой рукописи, и поэтому номера не в порядке». Очевидно, имеется в виду неоконченная рукопись «Новый самолет для больших высот» (40 стр. маш.). Оп. 1, № 158. Обе использованы для написания работы «Реактивный аэроплан» 1930 г., № 48.

41—43. Брошюра «Новый аэроплан», включающая еще две работы: «За атмосферой Земли» (стр. 25—33) и «Реактивный двигатель» (стр. 34—36), поясняющие содержание первой статьи. Калуга, Изд. автора, 1929, 38 стр. и 1 лист чертежей.

44. Брошюра «На Луне». Фантастическая повесть. ГИЗ, М., 1929, 75 стр., 8 рис. Переиздание напечатанного в 1893 г. в журнале «Вокруг света» произведения под тем же заглавием. Предисловие Я. Перельмана.

45. Брошюра «Цели звездоплавания». Калуга, Изд. автора, 1929, 40 стр. (обл., б. т. л.). Попул.

46. Рукопись «От самолета к звездолету». 25 ноября 1930 г. 14 стр. (маш., ф. 1/2 л.).

47. Брошюра «Звездоплавателям». Калуга, Изд. автора, 1930, 32 стр.

Работа содержит ряд соображений автора об использовании для будущих межпланетных кораблей реактивных двигателей и энергии давления солнечного света, хотя к последнему он относится скептически: «Признаюсь, я сам мало верю в это давление, несмотря на подтверждающие опыты» (стр. 4).

В настоящем томе работа напечатана на стр. 339.

48. Брошюра «Реактивный аэроплан». Калуга, изд. автора, 1930, 24 стр. Доказывается техническая возможность построения чисто реактивного самолета при условии применения горючего, наиболее высококалорийного из существующих. Такой самолет дает возможность получения в высших слоях атмосферы таких скоростей, которые недоступны для самолетов с пропеллерами. Гениальная интуиция Циолковского дает ему возможность уверенно закончить эту работу словами: «За эрой аэропланов винтовых должна следовать эра аэропланов реактивных или аэропланов стратосферы».

48а. Рукопись «Стратоплан полуреактивный», 1930 г. (ф, 1/2 л., маш.). Ряд страниц отсутствует. Частично напечатано в 1932 г. в брошюре того же названия (см. № 56).

49. Рукопись «Восходящее ускоренное движение ракетоплана». Октябрь 1930 г. (маш.) 27 л. (оп. 1, № 64). Напечатана в сборнике «К. Э. Циолковский. Труды по ракетной технике». М., Оборонгиз, 1944, под другим заглавием «Ракетоплан». В настоящем томе напечатана с подлинника, под ее настоящим заглавием, данным автором.

50 и 51. Рукописи: «Формулы стратоплана». 30 января 1931 г. (14 л., к., на од. ст.) и «Стратоплан. Таблицы и формулы». 3 марта 1931 г. (40 л., ф. 1/2 л., к.) представляют черновики и рабочий материал для труда «Стратоплан полуреактивный», 1932 (см. № 62).

52. Статья «От самолета к звездолету» в журнале «Искры науки», (М.) за 1931 г., № 2, стр. 55—57. Краткий исторический очерк развития идеи реактивных летательных аппаратов. Во второй половине статьи автор описывает принцип устройства полуреактивного стратоплана.

53. Книга «На місяці» — перевод на украинский язык научно-фантастической повести Циолковского «На Луне» (1893, см. № 6), Изд. Харьков, 1931 (с предисловием Я. Перельмана).

54. Статья «Теория реактивного движения» в журнале «В бой за технику». М., 1932, № 15—16 (август). Краткое описание в популярной форме устройства ракеты с крыльями, могущей достигнуть космических скоростей, а также изложение задач звездоплавания.

55. Статья «Плотность разных слоев атмосферы» в журнале «Самолет», 1932, № 8—9, стр. 36.

56. Брошюра «Стратоплан полуреактивный». Калуга, Изд. автора, 1932, 32 стр. с 4 рис. на внутренней стороне обложки.

Описание схемы и приблизительные расчеты оригинального стратосферного аэроплана, конструкцию и силовую схему которого через несколько лет позаимствовала у него итальянская фирма Капрони.

57. Статья «Реактивное движение и его успехи». Журнал «Самолет», М., 1932, № 6 (попул.).

58. Статья «Полет в стратосферу» в газете «Техника» (М.) от 18 сентября 1932 г. (4 рис.).

Перепечатка в сокращенном виде работы «Стратоплан полуреактивный», вышедшей в том же году (см. № 56).

59. Статья «Звездолет» в журнале «Знание—сила», 1932, № 23—24, стр. 15 (попул).

60. Текст юбилейной лекции К. Э. Циолковского, прочитанной на торжественном заседании общественных организаций 9 сентября 1932 г. в Калуге по случаю его 75-летия. Напечатан в сборнике «Константин Эдуардович Циолковский. 1857—1932». Под редакцией Б. А. Монастырева и Д. С. Семенова. М.—Л., ОНТИ, 1932, стр. 36—42, с портретом К. Э. Циолковского.

61 и 62. Статья «Мой дирижабль и стратоплан» в газете «Известия ЦИК и ВЦИК» (М.) от 18 октября 1932 г. и та же статья в газете «Красная Звезда» (М.) за то же число.

В первой части статья Циолковского останавливается на преимуществах его цельнометаллического дирижабля перед дирижаблями других систем; во второй говорит об основных принципах устройства его стратоплана.

63. Статья «Полуреактивный стратоплан» в журнале «Хочу все знать». М., Жургазобъединение, 1932, № 29, октябрь, стр. 5—7 с 4 рис.

Сокращенная перепечатка брошюры того же названия, вышедшей в этом же году (см. № 46).

В 1932 г. пресса широко отмечала 75-летие К. Э. Циолковского как особенно популярного советского ученого. Поэтому редакции газет и журналов перепечатывали последние изданные им научные и популярные работы по главнейшим темам его творчества, не будучи в состоянии получить от него самого статьи, ибо в эти годы Циолковский был особенно погружен в научные работы по реактивным летательным аппаратам и экспериментальной работе по дирижаблям.

64. Статья «Дирижабль, стратоплан и самолет, как три ступени величайших достижений СССР» в журнале Аэрофлота «Гражданская авиация», 1933, № 9 (стр. 78 с 5 рис.), № 11 (стр. 22—24 с 4 рис.) и № 12 (стр. 41 с 1 рис.).

Автор вкратце описывает принцип устройства цельнометаллического дирижабля изменяющегося в полете объема, полуреактивного стратоплана, его системы и ракеты с крыльями.

65. Брошюра «Тяжесть исчезла» (фантастический очерк). М. Госметиздат, 1933, 119 стр., 20 рис.

Под этим заглавием переиздана в сокращенном виде книга Циолковского «Грезы о земле и небе» (1893, см. п. 8).

66. Книга «На Луне». Издание Юношеской библиотеки Автоавиаиздата (М.), 1933, 40 стр., 5 рис.

Переиздание научно-фантастической повести Циолковского (1893) с предисловием Я. Перельмана.



67. Рукопись «Альбом космических путешествий». 21 июня 1933 г., 26 стр. (маш.). Написана в связи с работой К. Э. Циолковского в качестве главного научного консультанта при постановке Совкино полнометражного фильма «Космический рейс» (режиссер В. Н. Журавлев). Придавая важное значение кино в популяризации среди широких масс научно-технических идей и достижений, Циолковский, несмотря на загруженность научной работой, согласился руководить научной частью съемки. Считая, что в интересах дела необходимо ознакомить коллектив киностудии, работающий над этой съемкой, хотя бы с элементарными сведениями из астрономии и с достижениями современной науки в области межпланетных сообщений, он написал названную выше рукопись, иллюстрируя ее примитивными эскизами. Она служила для него своего рода конспектом для лекций-бесед и консультаций, которые он давал работникам студии и постановщикам картины «Космический рейс», приезжавшим во главе с режиссером В. Н. Журавлевым к нему в Калугу. Благодаря такому серьезному и добросовестному отношению к постановке и проделанной с коллективом студии работе, занявшей у К. Э. Циолковского несколько месяцев в 1933 г., картина была поставлена на подлинно научной основе.

68. Эскизы намечавшихся Циолковским иллюстраций к «Альбому космических путешествий», датированные 11 ноября 1933 г. и 17 марта 1934 г. Эти эскизы фигурировали на лекциях-беседах Циолковского с работниками киностудии. Кроме того, намечалось издать «Альбом». Работа осталась неоконченной.

69. Рукопись «Космические путешествия», датированная 11 ноября 1933 г. (15 стр., маш.), повидимому, замышлялась им в развитие предшествующей, в виде некоторого варианта его повести «Вне Земли» (1920) и попытки нарисовать картину будущей жизни человечества, расселяющегося в Космосе. Но она осталась неоконченной.

70. Статья «За атмосферу» в журнале «Вокруг света», М., 1934, № 1, стр. 10—14 (попул.).

71. Статья «Принцип реактивного движения» в журнале «В бой за технику», 1934, № 6 (июнь), стр. 25 (попул.).

Содержит критический разбор устройства межпланетной ракеты, описанной в № 4 названного журнала за тот же год.

72. Книга «Избранные труды К. Э. Циолковского». Книга II. «Реактивное движение». Под редакцией инженера Ф. А. Цандера, с его предисловием. М., ОНТИ, Госмашметиздат, 1934, стр. 216.

В данную книгу вошли следующие работы Циолковского по реактивной технике и межпланетным сообщениям:

Ракета в космическое пространство (стр. 11—40). — Исследование мировых пространств реактивными приборами (стр. 41—120). Космическая ракета. Опытная подготовка (стр. 121—134). — Ракетные косми-

ческие поезда (стр. 135—159). — Новый аэроплан (стр. 160—174). — Реактивный аэроплан (стр. 175—200). Стратоплан полуреактивный (стр. 201—210).

73. Статья «Изучение и исследование стратосферы» в газете «Комсомолец Украины» от 18 августа 1934 г.

Написана ко дню авиации по просьбе редакции, желавшей отметить традиционный всенародный праздник статьей К. Э. Циолковского.

74. Письмо в редакцию газеты «Кино» (М., Жургазобъединение) в № 273 (февраль), 1934 г.

По поводу выпуска на экран фильма «Космический рейс», при постановке которого Циолковский был главным научным консультантом.

75. Статья «Реактивные приборы в исследовании стратосферы» в газете «Рабочая Москва» от 3 марта 1935 г., № 51.

Статья написана в связи с открывшейся в Москве 1-й Всесоюзной конференцией по применению реактивных летательных аппаратов к изучению стратосферы.

76. Рукопись «Основы построения газовых машин, моторов и летательных приборов», 1935. Незаконченная рукопись, в которой автором намечалось 11 глав. В главе 1 этой работы, датированной 12 августа 1934 г., автор так определяет цель ее написания:

«Цель тут практическая: дать в сжатом виде материалы для строителей и изобретателей газовых машин. Общий и главный уклон — в построении почвенных, водных, атмосферных и заатмосферных средств передвижения».

Стремясь, очевидно, ускорить появление в свет этой работы, Циолковский намечал включить в качестве третьей главы написанную им в 1932 г. работу, еще не опубликованную, — «Трение в газах» (оп. 1, № 10), а в качестве пятой главы — работу «Плотность разных слоев атмосферы», напечатанную в журнале «Самолет» за 1932 г. (№ 8—9, стр. 36). Две главы остались ненапечатанными, а из остальных в более законченном виде сохранилась глава 8 «Наибольшая скорость ракеты», которая и воспроизводится в настоящем томе. Именно этот труд он имел в виду в беседе с представителем редакции газеты «На страже» Осоавиахима в июне 1935 г.\*, сказав:

«Сейчас я пишу большой труд о стратосферных летательных машинах. Он состоит из 10 различных глав; среди них главы о сжатии и расширении газов, о плотности атмосферы, о грубых расчетах ракеты и, наконец, о новых газотурбинных двигателях».

Болезнь, приведшая к роковому исходу, не дала Циолковскому закончить эту работу.

77. Статья «Только ли фантазия?» в газете «Комсомольская Правда» от 23 июля 1935 г.

\* Над чем я работаю. Беседа с К. Э. Циолковским Э. Гольдер. Газета «На страже» (М.) от 27 июня 1935 г. — Б. В.

78. Статья «От аэростата к звездолету» в газете «Пищевая индустрия» (М.) от 2 сентября 1935 г., № 127.

Работе предшествует вводная статья инженера Б. Воробьева «Творческий путь К. Э. Циолковского».

79. Статья «Полет в будущее» в газете «Коммуна» (Калуга) от 18 августа 1935 г., № 184, с портретом К. Э. Циолковского.

В статье, являющейся последней статьей К. Э. Циолковского, говорится:

«Все, о чем я говорю, — слабая попытка предвидеть будущее авиации, воздухоплавания и ракетоплавания.

В одном я твердо уверен — первенство будет принадлежать Советскому Союзу. Капиталистические страны также работают над этими вопросами, но капиталистические порядки мешают всему новому. Только в Советском Союзе мы имеем мощную авиационную промышленность, богатство научных учреждений, общественное внимание к вопросам воздухоплавания и необычайную любовь всех трудящихся к своей Родине, обеспечивающую успех наших начинаний».

---

Последними строками К. Э. Циолковского, напечатанными при его жизни, было письмо И. В. Сталину от 9 сентября 1935 г., широко распространенное всей советской прессой, в котором он 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...»

Теплый и ободряющий ответ вскоре получил больной ученый от И. В. Сталина:

«Знаменитому деятелю науки товарищу К. Э. Циолковскому.

Примите мою благодарность за письмо, полное доверия к партии большевиков и Советской власти.

Желаю Вам здоровья и дальнейшей плодотворной работы на благо трудящихся.

Жму Вашу руку.

И. Сталин».

Этот ценнейший документ из истории нашей науки явился величественным заключительным аккордом замечательной жизни, которую К. Э. Циолковский до конца посвятил непрестанному труду на благо своей Родины и всего человечества.

---



## О Г Л А В Л Е Н И Е

<i>Проф. А. А. Космодемьянский. К. Э. Циолковский — основоположник современной ракетодинамики</i> . . . . .	5
---	---

### РЕАКТИВНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Свободное пространство . . . . .	25
Исследование мировых пространств реактивными приборами. Часть I . . . . .	69
Исследование мировых пространств реактивными приборами. Реактивный прибор «ракета» К. Циолковского. Часть II . . . . .	100
Исследование мировых пространств реактивными приборами (Дополнение к I и II части труда того же названия) . . . . .	140
Реактивный прибор как средство полета в пустоте и в атмосфере . . . . .	151
Космический корабль . . . . .	154
Исследование мировых пространств реактивными приборами . . . . .	179
Космическая ракета. Опытная подготовка . . . . .	261
Труды о космической ракете. 1903—1927 гг. . . . .	275
Новый аэроплан . . . . .	281
Реактивный двигатель . . . . .	296
Космические ракетные поезда . . . . .	298
Реактивный аэроплан . . . . .	327
Звездоплывателям . . . . .	339
Восходящее ускоренное движение ракетоплана . . . . .	346
От самолета к звездолету . . . . .	362
Достижение стратосферы. Топливо для ракеты . . . . .	368
Теория реактивного движения . . . . .	377
Звездолет . . . . .	387
Стратоплан полуреактивный . . . . .	389
Парогазовый турбинный двигатель . . . . .	401
Снаряды, приобретающие космические скорости на суше или воде . . . . .	410
Только ли фантазия? . . . . .	418
Наибольшая скорость ракеты [глава 8 из работы «Основы построения газовых машин»] . . . . .	420

### П Р И Л О Ж Е Н И Е

<i>Б. Н. Воробьев. Печатные труды и рукописи К. Э. Циолковского по вопросам реактивных летательных аппаратов и межпланетных сообщений</i> . . . . .	435
---	-----

Печатается по постановлению  
Редакционно-издательского совета  
Академии Наук СССР

\*

Редактор—составитель тома  
инженер *Б. Н. Воробьев*  
Научный редактор тома  
доктор физ.-мат. наук *А. А. Космодемьянский*

\*

Редактор издательства *Л. М. Бежасова*  
Технический редактор *Т. А. Землякова*  
Корректоры *Е. А. Васильева* и *В. Т. Макаров*

\*

РИСО АН СССР № 5251. Т-06239. Издат. № 317.  
Тип. заказ № 285. Подп. к печ. 14/X 1954 г.  
Формат бум. 70×108<sup>1/16</sup>. Бум. л. 14,13 + 5 вклеек.  
Печ. л. 38,7 + 5 вкл. Уч.-издат. 29,2 + 0,5 вкл.  
Тираж 3000.

Цена по прейскуранту 1952 г. 23 р.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР  
Москва, Шубинский пер., д. 10

### ИСПРАВЛЕНИЯ

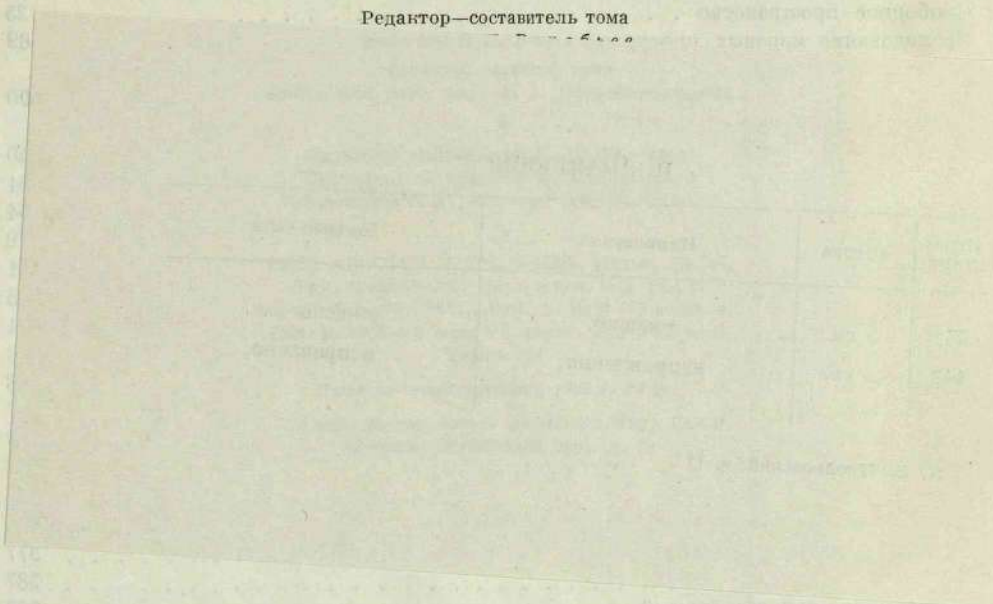
Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
441	5 сл.	ужасно.	ужасно . . .
442	2 св.	исправления,	исправлено,

К. Э. Циолковский, т. II

Печатается по постановлению  
Редакционно-издательского совета  
Академии Наук СССР

\*

Редактор—составитель тома



117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200







