K. E. ZIOLKOWSKY.

Eine Rakete in den Kosmischen Raum.

II-e Ausgabe.

Mit einer einleitenden Bemerkung von A. L. TSCHIJEWSKY.

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ.

РАКЕТА

В КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО.

Второе издание.

Вступительная заметка
на немецком языке
А. Л. ЧИЖЕВСКОГО.

1924.

КАЛУГА.
1-я Государственная типо-литография.
Площадь Энгельса, № 3.

Anstatt eines Vorworts.

Erst nachdem in Deutschland das Buch Herman Oberts (München) über die Rakete zu den Planeten grosses Aufsehen erregt hatte und eine Notiz über dasselbe infällig in die officielle russische Presse gedrungen war, erinnerten wir Russen uns daran, dass vor ungefähr 30 Jahren ein Theoretiker der Luftschifffahrt Herr K. E. Ziolkowsky (Kaluga) mit einer ins Einzelne gehenden und mathematisch begründeten Arbeit über einen reaktiven Apparat— einen Apparat für Reisen zwischen den Planeten—vor die Öffentlichkeit getreten war.

Eine erste Notiz des Herrn K. E. Ziolkowsky über seine Erfindung erschien im Jahre 1896 in der Zeitschrift „Natur und Menschen" („Природа и Люди"). Im Jahre 1903 in № 5 der „Wissenschaftlichen Rundschau („Научное Обозрение") veröffentlichte er einen ausführlichen Artikel, welcher jetzt auf unseren Antrag vollständig und unter etwas abgeänderter Überschrift von neuem gedruckt wird. In den Jahren 1911—1913 veröffentlichte K. E. Ziolkowsky in der Zeitschrift „Mitteilungen der Luftschifffahrt" („Вестник Воздухоплавания") seine Erfindung vollständig. Diese ausserordentlich interessante Arbeit müsste auch von neuem gedruckt werden. Im Jahre 1914 liess K. E. Ziolkowsky noch eine Ergänzung zu seinen früheren Arbeiten erscheinen, under dem Titel: „Erforschung der Weltenräume durch reactive Apparate" („Исследование мировых пространств реактивными приборами"), und im Jahre 1920 ein grosses Buch: „Ausserhalb der Erde („Вне земли").

In diesem Buche wurden in populärer Form die Prinzipien der „Rakete" auseinandergesetzt und die der Menschheit sich eröffnende Möglichkeit, die Welt der Planeten zu erobern oder (wenn dies bis jetzs nicht möglich)—die Verwendung der Rakete zu rein wissenschaftlichen Zwecken.

Alle diese Arbeiten blieben fast unbemerkt und die Erfindung K. E. Ziolkowsky's fand keine allgemeine Anerkennung.

Die vorstehenden Auskünfte haben nicht den Zweck die Priorität K. E. Ziolkowsky's in der Angelegenheit der Erfindung eines Apparates von ungeheurer wissenschaftlicher Bedeutung festzustellen, denn diese Priorität steht ausser jedem Zweifel, sondern die Gleichgiltigkeit aufzudecken, ich möchte sogar sagen, die fast verbrecherische Indifferenz unserer Landsleute gegen Männer intellectueller Arbeit und gegen die Vertreter des exacten Wissens, wie man eine solche durch die ganze Zeit der Entwickelung des russischen wissenschaftlichen Gedankens bemerkt.

Sind wir denn für immer darauf angewiesen von Ausländern das zu übernehmen, was seinerzeit in den Tiefen unserer unermesslichen Heimat geboren wurde, lebte und in der Einsamkeit verkam?

Alexander Tschijewsky.

14/XI—1923.

Судьба мыслителей или двадцать лет под спудом*).

1. Военный — Ламарк написал книгу, где разбирал и доказывал постепенное развитие существ от низших организмов до человека. Французская академия во главе с знаменитым Кювье измывалась над этой книгой и публично приравняла Ламарка к ослу. Галилей был пытан, заключен в тюрьму и принужден с позором отречься от своего учения о вращении земли. Только этим он спасся от сожжения. Кеплер сидел в тюрьме. Бруно сожжен за учение о множестве миров и за отказ от суеверий. Французская академия отвергла Дарвина, а русская—Менделеева. Колумб, после открытия им Америки, был закован в цепи. Мейер был доведен измывательством ученых до сумасшедшего дома.

Химик Лавуазье был казнен.

Коперник лишь на смертном одре получил свои печатные труды. Работы Менделя обратили внимание на себя только через десятки лет после их издания. Гальвани, открывший динамическое электричество, был осмеян. Изобретатель книгопечатания—Гутенберг, умер в нищете, также как (недавно) и изобретатель холодильных машин Казимир Пелье. Фультон отвергнут самим Наполеоном (первым). Не перечислить сожженных и повешенных за истину. История переполнена фактами такого рода.

И почему это академиям, ученым и профессионалам суждено играть такую жалкую роль гасителей истины и даже ее карателей? Конечно, это делается по общечеловеческой слабости, иногда по недоразумению. Но вред, приносимый человечеству этими слабостями, так непомерно громаден, что преступления самых жестоких убийц и грабителей совершенно ничтожны по сравнению с ним.

В 1903 г., ровно 20 лет тому назад, я поместил в „Научном Обозрении“ мою работу о реактивном приборе, или об особенным образом устроенной, гигантской ракете для межпланетных путешествий. Работа была полна точных расчетов и сулила завоевание солнечной системы и великое будущее человечеству. На нее почти не обратили внимания. В 1912 — 13 году я снова в „Вестнике Воздухоплавания“ поместил краткое содержание этой работы и расширил ее. Немногие и на нее обратили свои взоры, именно инженеры: Рюмин, Перельман, Рябушинский, Воробьев, Мануйлов и другие, имена которых история не забудет.

Через несколько времени выступил и француз Эсно-Пельтри со своим проэктом ракетного прибора для достижения луны.

---

*) Поводом к этой статье послужила заметка в „Известиях Ц. И. К.“... (№ 223, 2 окт. 1923 г.) под рубрикою: „Новости Науки и Техники“.

V

В 1922 г. я издал особую книгу, где в общедоступном виде проповедывалось исследование и заселение мировых пространств реактивными приборами. Тогда же берлинские инженеры заинтересовались моими расчетами и просили доставить им все, что касается этого предмета. Года полтора тому назад у меня из Москвы просили разрешения перевести эту книгу («Вне Земли») и издать ее в Вене на немецком языке. Я с охотою согласился.

Очевидно, мои идеи распространились, так как и америк. ученый Годдард предпринял практические шаги для осуществления моей мысли. А теперь в «Известиях»... (2 окт. 1923 г. № 223) читаем следующее:

„В Мюнхене вышла книга Герм. Оберта, „Ракета к планетам", где строго математическим и физическим путем доказывается, что с помощью нашей современной техники возможно достичь космических скоростей и преодолеть силу земного притяжения. Профессор астрономии Макс Вольф отзывается о подсчетах автора, как о безукоризненных в научном отношении. Идея книги гармонирует с опытами америк. профессора Годдарда, который недавно выступил с сенсационным планом отправить ракету на луну. Америк. ученый с помощью предоставленных ему богатых денежных средств мог приступить к важным опытам. Теперь же книга Оберта дает им и солидную теоретическую почву. Оберт не только дает точное описание машин и аппаратов, способных преодолеть земное притяжение, но и доказывает также, что организм человека в состоянии выдержать путешествие к планетам и что машина может вернуться назад на землю... Важно, что такие ракеты, описывая путь вокруг земли, сами становятся небольшими лунами и могут быть использованы, как наблюдательные станции. Они могут подавать с помощью зеркал сигналы во все части земли, исследовать неоткрытые еще страны и т. д. ...

Мы видим, что европейская наука буквально подтверждает мои выводы—как о полной возможности космических путешествий, так и о возможности устройства там жилищ и заселения около-солнечного пространства. Последнее дает в 2 миллиарда раз больше солнечной энергии, чем какое получает земля.

Дело разгорается и я зажег этот огонь. Только тот, кто всю жизнь занимался этим трудным вопросом, знает сколько технических препятствий еще нужно одолеть, чтобы достигнуть успеха. Тем не менее возможно, что через несколько десятилетий начнутся заатмосферные поднятия, а через несколько столетий достигнут луны, планет и станут заселять небесные пустыни. Люди будут пользоваться почти бесконечным простором, невообразимо громадною и девственной солнечной энергиею, непрерывным теплом и светом. Тогда совершенно избавятся от гнета тяжести...

Как жаль, что я не имею возможности издавать мои труды. Единственное спасение для этих работ—немедленное, хотя и постепенное их издание, здесь в Калуге, под моим собственным наблюдением. Отсылать рукописи на суд средних людей я никогда не соглашусь. Мне нужен суд народа. Труды мои попадут к профессионалам и будут отвергнуты или просто затеряются. Заурядные люди, хотя бы и ученые, как показывает история, не могут быть судьями творческих работ. Только по издании их, после жестокой борьбы, спустя не мало времени, отыщутся в народе понимающие читатели, которые и сделают им справедливую оценку и воспользуются ими. И на то уходят века и даже тысячелетия. Если некоторые мои работы не погибли, то только благодаря печати или отдельным их изданиям.

Желательно, что-бы мне дали средства для издания моих трудов здесь в Калуге под моим личным надзором, без предварительной оценки, которая неприемлима для границ науки. Мой авторитет и без того установлен настолько, чтобы доверить ничтожные суммы, необходимые для издания.

Я сделал открытия во многих областях знания, между прочим, в учении о строении атома; кто может во всем свете быть тут судьею? Также и другие мои труды опередили современность. Спасите же их, если желаете себе добра. Зачем повторять жестокие заблуждения, описанные в истории открытий и изобретений! Надо воспользоваться этими уроками и не попирать больше истину.

В заключение считаю своим долгом принести искреннюю благодарность молодому русскому ученому А. Л. Чижевскому за предисловие на немецком языке к моему труду, затем Директору Полиграфического Производства М. П. Абаршалину, пришедшему мне на помощь в деле опубликования этой работы и содействующему выходу ее в свет, и Н. Д. Смирнову, взявшему на себя труд проведения и распространения издания и чтения корректур.

К. Циолковский.

РАКЕТА В КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО.

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

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

Положим, мы хотим, чтобы аэростат поднялся на высоту 27 километров и поднял груз в 1 килограмм (2,4 фунта). Воздух на высоте 27 километров имеет плотность около 1/50 плотности воздуха при обыкновенных условиях (760 мм. давления и 0° Цельсия). Значит шар на такой высоте должен занять об'ем в 50 раз больший, чем внизу. У уровня же океана следует впустить в него не менее 2 кубич. метров водорода, которые на высоте займут 100 куб. метров. При этом шар поднимет груз в 1 килограмм, т. е. поднимет автоматический прибор, а сам шар будет весить килограмм или около того. Поверхность его оболочки, при диаметре в 5,8 метра, составит не менее 103 кв. метров. Следовательно каждый квадратный метр материи, считая и пришитую к ней сетку, должен весить 10 граммов, или квадр. аршин будет весить около 1-го золотника.

Кв. метр этой писчей бумаги весит 100 граммов; вес же кв. метра папиросной бумаги составляет граммов 50. Так что даже папиросная бумага будет в 5 раз тяжелее той материи, которая должна быть употреблена на наш аэростат. Такая материя, в применении к аэростату, невозможна, потому что оболочка, сделанная из нея, будет рваться и сильно пропускать газ.

Шары больших размеров могут иметь более толстую оболочку. Так шар с небывало большим диаметром в 58 метров будет иметь оболочку, каждый квадратный метр которой весит около 100 граммов, т. е. чуть тяжелее обыкновенной писчей бумаги. Поднимет он 1000 килогр. груза, или 61 пуд, что черезчур много для самопишущего прибора.

Если ограничиться, при тех же громадных размерах аэростата, под'емною силою в 1 килограмм, то оболочку можно сделать раза в 2 тяжелее. Вообще, в таком случае, аэростат хотя и обойдется весьма дорого, но построение его нельзя считать делом невозможным. Об'ем его на высоте 27 килом. составит 100,000 куб. метров, поверхность оболочки 10,300 кв. метров.

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

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

Высота атмосферы в километр.	Температура по Цельсию.	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 : 3.900
48	— 240	1 : 28.000
54,5	— 272	0.

За пределы атмосферы поднятия приборов, с помощью воздушного шара, разумеется совсем немыслимо; из наблюдений над падающими звездами видно, что пределы эти не простираются далее 200—300 километров. Теоретически даже определяют высоту атмосферы в 54 километра, принимая в основание расчета понижение температуры воздуха в 5° Цельсия на каждый километр поднятия, что довольно близко к действительности, по крайней мере для доступных слоев атмосферы *).

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

*) Теперь известно, что понижение температуры идет только до пределов тропосферы, т.-е. до 11 килом. *Автор.*

Делитель последнего столбца и выражает эту трудность устроения воздушного шара.

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

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

При хорошей форме поднятие может достигать значительной величины; но помещать наблюдающие приборы внутри ядра невозможно потому, что они будут разбиты вдребезги—или при возвращении ядра на землю, или при самом движении его в пушечном стволе. Опасность при движении ядра в канале меньше, но и эта опасность, для целости аппаратов, громадна. Положим, для простоты, что давление газов на ядро равномерно, вследствие чего ускорение его движения в секунду составляет (W) метров. Тогда тоже ускорение получают и все предметы в ядре, принужденные совершать с ним одно движение. От этого внутри ядра должна развиться относительная, кажущаяся тяжесть, равная $\frac{W}{g}$ где (g) есть ускорение земной тяжести у поверхности земли.

Длина пушки (L) выразится формулой

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

(V) есть скорость, приобретаемая ядром по выходе из жерла.

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

3. Итак допустим, что построена пушка ну хоть в 300 метров высоты. Пусть она расположена вдоль башни Эйфеля, которая, как известно, имеет такую же высоту, и пусть ядро равномерным давлением газов получает, при выходе из жерла, скорость, достаточную для поднятия за пределы атмосферы, напр. для поднятия на 300

килом. от земной поверхности. Тогда потребную для этого скорость (V) вычисляем по формуле

$$V = \sqrt{2g,\ h}$$

где (h) высота поднятия;—(получим около 2450 м. в 1 секунду). Из двух последних формул, исключая (V) найдем

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

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

Следовательно тяжесть всех приборов в ядре должна увеличиться в 1000 раз слишком, т. е. предмет весом в один фунт испытывает от кажущейся тяжести давления в 1000 фунтов или 25 пудов. Едва ли какой физический прибор выдержит подобное давление. Какой-же толчек должны испытывать тела в короткой пушке и при поднятии, большем 300 килом.!

Чтобы не ввести кого-нибудь в заблуждение словом „относительная или кажущаяся тяжесть", скажу, что я тут подразумеваю силу, зависящую от ускоряющагося движения тела (напр. ядра); она появляется также и при равномерном движении тела, если только это движение криволинейно, и называется тогда центробежной силой. Вообще она появляется всегда на теле или в теле, если только на одно это тело действует какая либо механическая сила, нарушающая движение тела по инерции. Относительная тяжесть существует до тех пор, пока существует рождающая ее сила: прекращается последняя —исчезает бесследно и относительная тажесть. Если я называю эту силу тяжестью, то только потому, что ея временное действие совершенно тождественно с действием силы тяготения. Как тяготению подвержена каждая материальная точка тела, так и относительная тяжесть рождается в каждой частице тела, заключенного в ядре; происходит это потому, что кажущаяся тяжесть зависит от инерции, которой одинаково подвержены все материальные части тела. Итак приборы внутри ядра сделаются тяжелее в 1001 раз. Если бы даже при этом страшном, хотя и кратковременном (0,24 секунды) усилении относительной тяжести и удалось их сохранить в целости, то все же найдется много других препятствий для употребления пушек в качестве п о с ы л а т е л е й в небесное пространство.

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

Реактивный прибор — „Ракета".

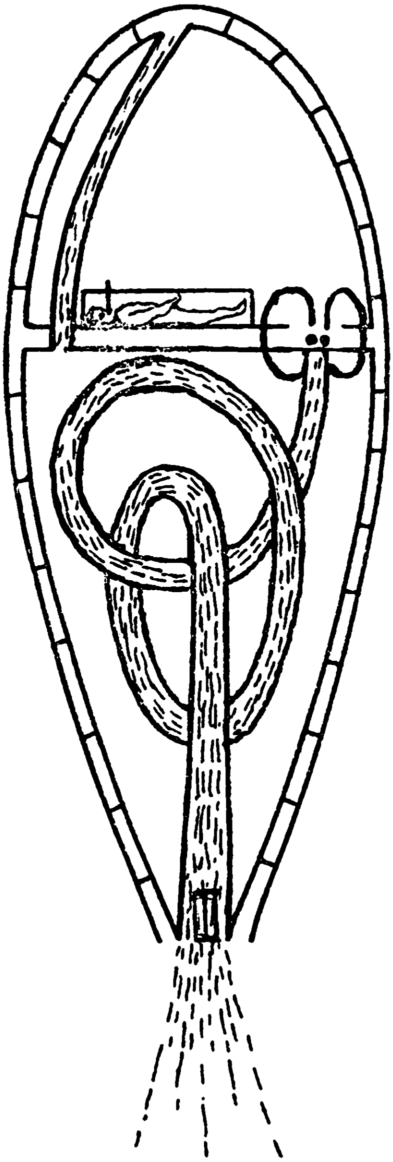
4. Впрочем, одного громадного усиления тяжести совершенно достаточно, чтобы оставить мысль о применении пушек к нашему делу.

Вместо их, или аэростата, 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 большим грехом.

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

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



Схеметический вид ракеты. Оба жидких газа разделены перегородкой. Видно место смешания газов и взрывания их. Видим вылет сильно разреженных и охлажденных паров. Труба окружена кожухом с быстро циркулирующей в нем металической 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 неизменное направление. В воздухе еще можно направлять снаряд рулем, подобным птичьему, но что вы сделаете в безвоздушном пространстве, где эфир едва-ли представит какую-либо заметную опору?

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

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

Основания для такового, после сказанного, понятны.

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

Возможно употребить для этой цели магнитную стрелку, или силу солнечных лучей, сосредоточенных с помощью двояко-выпуклого стекла. Каждый раз, когда ядро с пушкой поворачивается, маленькое и яркое изображение солнца меняет свое относительное положение в ядре, что может возбуждать расширение газа, давление, электрический ток и движение массы, восстановляющей определенное направление пушки, при котором светлое пятно падает в нейтральное, так сказать, нечувствительное место механизма.

Автоматически подвигаемых масс должно быть две.

Основою для регулятора направления ядра также может служить небольшая камера с двумя быстро вращающимися в разных плоскостях кругами. Камера привешена так, что положение или, точнее, направление ее не зависит от направления пушки. Когда пушка поварачивается, камера, в силу инерции, пренеберегая 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 причиною 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, поблизости от выходного конца трубы. Избежать же вращения ракеты вокруг предельной оси можно кручением пластинки, расположенной по направлению движения газов, среди них.

Преимущества ракеты.

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

а) аппарат наш сравнительно с гигантской пушкой, легок, как перышко; он относительно дешев и сравнительно легко осуществим;

c) 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 перевышающей обыкновенную земную тяжесть. Если предположим, для простоты, что сила взрыва, понемногу уменьшаясь, пропорциональна массе снаряда, сложенной с массою оставшихся невзорванными взрывчатых веществ,—то ускорение снаряда, а, следовательно, и величина относительной тяжести будут постоянны. Итак, в ракете могут безопасно, в отношении кажущейся тяжести, отправится не только измерительные приборы, но и люди; тогда как в пушечном ядре, даже при огромной, небывалой пушке, величиною с башню Эйфеля, относительная тяжесть увеличивается в 1001 раз при поднятии на 300 километров; d) еще не малое преимущество ракеты: скорость ея 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: e) при начале поднятия, пока атмосфера густа и сопротивление воздуха при большей скорости огромно, ракета двигается сравнительно не быстро и потому мало теряет от сопротивления среды и мало нагревается.

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

Ракета в среде, свободной от тяжести и атмосферы.

6. Сначала рассмотрим действие в среде, свободной от тяжести и окружающей материи, т. е. атмосферы. Относительно последней мы беремся только разобрать ее сопротивление движению снаряда, но не движению вырывающихся стремительно паров. Влияние атмосферы на взрыв не совсем ясно: с одной стороны оно благоприятно, потому что вырывающиеся вещества имеют в окружающей материальной среде некоторую опору, которую они, при своем движении, увлекают и таким образом способствуют увеличению скорости ракеты; но с другой стороны, та же атмосфера, своей плотностью и упругостью мешает расширению газов далее известного предела, от чего взрывчатые ве-

щества не приобретают той скорости, которую они могли бы приобрести, взрываясь в пустоте. Это последнее влияние неблагоприятно, потому что приращение скорости ракеты пропорционально скорости отбрасываемых продуктов взрыва.

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

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

Чтобы ракета получила наибольшую скорость, необходимо чтобы отбрасывание продуктов взрыва совершалось в одном направлении относительно звезд. А для этого нужно, чтобы ракета не вращалась; а чтобы она не вращалась, надо чтобы равнодействующая взрывающих сил, проходящая через центр их давления, проходила в то же время и через центр инерции всей совокупности летящих масс. Вопрос, как этого достигнуть на практике, мы уже слегка разобрали.

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

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

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

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

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

12... $$\frac{1}{V_1}\int dV=-\int\frac{dM}{M_1+M}+C, \text{ или}$$

13... $$\frac{V}{V_1}=\mathrm{Lnat}\,(M_1+M)+C.$$

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

14. . . $$C = + \mathrm{Lnat}\,(M_1 + M_2);\ ^{*})$$

стало быть

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

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

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

17. Отсюда мы видим, что скорость (V) **снаряда** возрастает неограниченно с возрастанием количества (M_2) взрывчатых веществ Значит, запасаясь разными количествами их, при разных путешествиях, мы получим самые разнообразные окончательные скорости. Из уравнения 16 также видно, что скорость **ракеты**, по израсходовании определенного запаса взрывчатого вещества, не зависит от быстроты или неравномерности взрывания, лишь бы частицы отбрасываемого материала двигались с одной и тою же скоростью (V_1) относительно ядра.

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

18. Дальнейшие вычисления будут интересны, когда мы определим (V_1), т.-е. относительную и окончательную скорость взорванного элемента. Так как газ или пар, при оставлении пушечного раструба, весьма разрежается и охлаждается (при достаточной длине трубы) —даже обращается в твердое состояние,—в пыль, которая мчится с 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 свою явную и отчасти скрытую энергию, которая превратится в конце концов в быстрое движение кристалликов, направленное во все стороны, так как газ расширялся

*) (Lnat) есть натуральный логарифм.

свободно во все стороны. Если же его заставить расширяться в резервуаре с трубой, то труба направит движение газовых молекул по определенному направлению, чем мы и пользуемся для наших целей, т.-е. для движения ракеты.

Как будто энергия движения молекул превращается в кинетическое движение до тех пор, пока вещество сохраняет газообразное или парообразное состояние. Но это не совсем так. Действительно, часть вещества может обратится в жидкое состояние; но при этом выделяется энергия (скрытая теплота парообразования), которая передается оставшейся парообразной части материи и замедлить на некоторое время переход ея в жидкое состояние.

Подобное явление мы видим в паровом цилиндре, когда пар работает собственным расширением, выход же из парового котла в цилиндр заперт. Тогда, при какой бы температуре не был пар, часть его обращается в туман, т.-е. жидкое состояние, другая же часть продолжает сохранять парообразное состояние и работать, заимствуя скрытую теплоту сгустившихся в жидкость паров.

Итак, энергия молекулярная будет превращаться в кинетическую, по крайней мере, до состояния жидкого. Когда вся масса обратится в капли, превращение в кинетическую энергию почти приостановится, потому что пары жидких и твердых тел, при низкой температуре, имеют черезчур 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 еще и трению о трубу и лучеиспусканию теплоты нагретыми ея частями. Впрочем, труба может быть окружена кожухом, в котором циркулирует какой-нибудь жидкий металл; он передаст жар весьма нагретой части одного конца трубы другой ее части, охлажденной вследствие сильного разрежения паров. Таким образом, и эта потеря, от лучеиспускания и теплопроводности. может быть утилизирована или сделана очень незначительной. В виду кратковременности взрывания, продолжающегося в крайних случаях от 2 до 5 минут, потеря от лучеиспускания и без всяких приспособлений незначительна; циркуляция же металлической жидкости в кожухе, окружающем трубы, необходима для другой цели: для поддержания труб при одной и той же невысокой температуре, т.-е. для сохранения крепости трубы. Несмотря на это, возможно, что часть ея 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 пушки, мало нагретой, пострадать от этого не может.

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

Во многих случаях я принужден лишь гадать или предполагать. Я нисколько 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... Для уменьшения протяжения, занимаемого трубами при той же длине их, можно завивать их кольцами или змеевиком, окруженным, для сохранения умеренной и равномерной температуры, хорошо проводящей тепло и быстро циркулирующей жидкостью. Это будет способствовать устойчивости ракеты, особенно, если обороты будут в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Только центробежная сила газов несколько усилит давление в трубах.

В настоящее время обращение водорода и кислорода в жидкость не представляет особенных затруднений. Можно водород заменить жидкими или сгущенными в жидкость углеводородами, напр. 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, напр. железо. Не помню хорошо, но какие то опыты, над сопротивлением, кажется, железа, в жидком воздухе, указали, что вязкость его при этой низкой температуре увеличивается чуть ли не в десятки раз. За достоверность не ручаюсь, но опыты эти, в применении к нашему делу, заслуживают глубочайшего внимания. (Почему бы не охлаждать таким образом и обыкновенные пушки, прежде чем из них стрелять; ведь жидкий воздух теперь такая обыкновенная вещь).

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

19. Водород и кислород, в газообразном состоянии, соединяясь для образования одного килограмма воды, развивают 3825 калорий. Под словом „калория“ мы тут подразумеваем количество теплоты, потребное для нагревания на 1 Цельсия одного килограмма воды.

Количество это (3825) у нас будет немного меньше, раз кислород и водород находится в жидком состоянии, а не в газообразном, к какому относится данное нами число калорий. В самом деле, жидкости, во-первых, надо нагреть, во-вторых обратить в газообразное состояние, на что расходуется некоторая энергия. В виду незначительной величины этой энергии, сравнительно с энергией химической, мы оставим наше число без умаления (этот вопрос не совсем выяснен наукой, но мы водород и кислород берем только для примера).

Принимая механический эквивалент теплоты в 424 килограметра, найдем, что 3825 колорий соответствуют работе в 1.621.800 килограмметров; этого достаточно для поднятия продуктов взрыва, т. е. одного килограмма вещества, на высоту 1.622 километра от поверхности земного шара, предполагая силу тяжести постоянной. Эта работа, превращенная в движение, соответствует работе одного килограмма массы, движущейся со скоростью 5.700 метров в 1 секунду. 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 другия вещества, соединяясь, необразуют летучих продуктов, что для нас совсем не годится. Так кремний, сгорая в кислороде ($Si+O_2=Si\ O_2$), выделяет огромное количество тепла, именно 3654 калории на единицу массы полученного продукта ($Si\ O_2$), но к сожалению образуются трудно-летучие тела.

Приняв жидкий кислород и водород за материал, наиболее пригодный для взрывания, я дал число для выражения их взаимной химической энергии, приходящейся на единицу массы полученного продукта ($H_2\ O$), несколько большее 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 кил.), но и на несравненно большую мы можем надеяться в будущем, когда может быть найдут возможным осуществить наши недовольно разработанные еще 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, (в большинстве случаев) соединяющихся простых тел; чем меньше атомные веса тел, тем более выделяется при соединении их тепла. Так, при образовании сернистого газа (SO_2), образуется только 1250 калорий, а при образовании окиси меди (CuO) —только 546 калорий; между тем как уголь, при образовании углекислоты (CO_2), выделяет на единицу ее массы 2204 калории. Водород с кислородом, как мы видим, выдяляют еще больше (3825). Для оценки этих данных, в применении к высказанной мною идее, напомню тут величину атомных весов приводимых элементов: водород=1; кислород=16; углерод=12; сера=32; кремний=28; медь=63.

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

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

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

20. Как бы то ни было, но пока для V_1 (см. 15 и 19) мы не можем принять более 5700 метров в 1 секунду. Но со временем, кто знает, может быть это число увеличится в несколько раз.

Принимая 5700 метров, можем по формуле 16 вычислить не только отношение скоростей $\left(\frac{V}{V_1}\right)$, 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 нисколько не потеряет, лишь бы запас взрывчатых веществ (M_2) возростал пропорционально возростанию массы (M_1) ракеты.

Итак, всевозможной величины снаряды, с любым числом путешественников, могут приобретать скорости желаемой величины. Впрочем, возростания скорости ракеты сопровождается, как мы видели, несравненно быстрейшим возростанием массы (M_2) взрывчатых веществ: Поэтому насколько легко и возможно увеличение массы поднимающегося в небесное пространство снаряда, настолько затруднительно увеличение его скорости.

22. Из уравнения 16 получим следующую таблицу:

$\frac{M_2}{M_1}$	$\frac{V}{V_2}$	Секундная скорость (V) в метрах.	$\frac{M^2}{M_1}$	$\frac{V}{V_1}$	Секундная скорость (V) в метрах.
0,1	0,095	543	7	2,079	11.800
0,2	0,182	1,037	8	2,197	12.500
0,3	0,262	1.493	9	2,303	13.100
0,4	0,336	1.915	10	2,398	13.650
0,5	0,405	2.308	19	2,996	17.100
1	0,693	3.920	20	3,044	17.330
2	1,098	6.260	30	3,434	19.560
3	1,386	7.880	50	3,932	22.400
4	1,609	9.170	100	4,615	26 280
5	1,792	10.100	193	5,268	30,038
6	1,946	11.100	Безконечно.		Безконечно.

23. Из нее усматриваем, что скорости, получаемые реактивным путем, далеко немалы. Так при массе взрывчатых веществ, в 193 раза перевышающей вес (M_1) снаряда (ракеты), скорость его, по окончании взрывания и израсходования всего запаса (M_2), равна скорости движения земли вокруг солнца. Не думайте, что такая громадная масса взрывчатого метериала требует для своего сохранения громадного количества крепкого материала для сосудов, содержащих взрывчатые элементы. Действительно, водород и кислород в жидком виде только тогда обнаруживают высокое давление, когда сосуды, содержащие их, заперты, т.-е. когда самые газы, влиянием окружающих сравнительно теплых тел, нагреются. У нас же эти ожиженные газы должны иметь свободный выход в трубу (помимо постоянного притока их туда в жидком виде), где они, соединяясь химически, взрывают.

Непрерывное и быстрое течение газов, соответствующее испарению жидкостей, охлаждает эти последние до того, что они, своими парами, не производят почти никакого давления на окружающие их стенки. Итак, для сохранения элементов взрыва, не требуется на сосуды большой массы вещества.

24. Когда запас взрывчатого вещества равен массе ракеты $\left(\frac{M_2}{M_1}=1\right)$, то скорость последней чуть не вдвое более той, которая нужна, чтобы камню или пушечному ядру, пущенному, „селенитами" с поверхности нашей луны, удалиться от нее навсегда и сделаться спутником земли, второй луной.

Эта скорость (3920 метров в секунду) почти достаточна для вечного удаления тел, брошенных с поверхности Марса или Меркурия.

Если отношение $\frac{M_2}{M_1}$ масс будет 3, то уже получится, по израсходовании всего запаса, такая скорость снаряда, которой лишь немного не достает для того, чтобы он мог вращаться за пределами атмосферы, вокруг земли, подобно ее спутнику.

При отношении $\frac{M_2}{M_1}$, равном 6, скорость ракеты почти достаточна для удаления ее от земли и вечного вращения вокруг солнца в качестве самостоятельной планеты. При 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 метрам в секунду, что довольно для поднятия ракеты на 15 километров. 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.

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

Работа взрывчатых веществ выразится $\frac{V_1^2}{2g}M_2$, где (g) есть ускорение земной тяжести; механическая работа ракеты, имеющей скорость (V), выразится в тех же единицах: $\frac{V^2}{2g} M_1$, или, на основаниях формулы 16:

$$\frac{V^2}{2g} M_1 = \frac{V_1^2}{2g} M_1 \left\{ \text{Lnat} \left(1+\frac{M_2}{M_1}\right) \right\}^2$$

Разделив теперь работу ракеты на работу взрывчатого материала, получим:

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

По этой формуле вычислим следующую таблицу утилизации ракетой энергии взрывчатых веществ.

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 относительное количество взрывчатых веществ меньше. *)

$\frac{M_2}{M_1}$	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.

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, также как и при бесконечно-малом. Из таблицы

---

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

также видим, что при изменении отношения $\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$ от 2 до 10, утилизация более половины; это значит, что в таком случае более половины потенциальной энергии взрывчатого материала передается в виде кинетической энергии р а к е т е. Вообще от 1 до 20 она весьма велика и близка к 0,5.

Ракета под влиянием тяжести. Вертикальное поднятие.

27. Мы определили скорость приобретаемую ракетой в пустоте и при отсутствии силы тяготения, в зависимости от массы ракеты, массы взрывчатых веществ и энергии их химического соединения.

Разберем теперь в л и я н и е п о с т о я н н о й с и л ы т я ж е с т и н а в е р т и к а л ь н о е д в и ж е н и е с н а р я д а.

Мы видим, что без влияния тяжести приобретаются р а к е т о й 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 толчек, которого не вынесет ни снаряд, ни вещи и люди, заключенные в нем. Нам, очевидно, нужно медленное взрывание; при медленном же взрывании полезный эффект уменьшается и даже может обратиться в нуль.

Действительно, пусть взрывание будет настолько слабо, что ускорение р а к е т ы, 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, не смотря на их количество, будет равняться нулю. Итак, крайне важно исследовать аналитически влияние на снаряд тяготения.

Когда р а к е т а двигается в среде, свободной от силы тяжести, то время (t), в течении которого взрывается весь запас взрывчатого вещества, равно:

28. $t=\frac{V}{p}$, где (V) есть скорость снаряда по окончании взрыва, а (p) п о с т о я н н о е ускорение, сообщаемое р а к е т е взрывчатыми материалами в 1 секунду 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 ея ускоряющегося движения, или в течение времени взрывания.

Приняв силу тяжести у поверхности земли за единицу, найдем величину временной тяжести в снаряде 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 обусловливает целость или излом аппаратов и здоровье людей, пустившихся в путь для изучения неизвестных пространств и свойственных им явлений.

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

31. $$t=\frac{V_2}{p-g},$$ где

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

32. Действие последней на снаряд нисколько ни влияет на относительную в нем тяжесть и она выражается без всякого изменения формулой 29... $\frac{p}{g}$ Напр., 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 ни сам не будет иметь, повидимому, ни малейшего веса,—ни обнаружит его, при помощи самых чувствительных пружинных весов, ни в одной из вещей, находящихся при нем или в ракете. Падая или поднимаясь в ней под влиянием инерции даже у самой поверхности земли, наблюдатель не будет испытывать ни малейшей тяжести, пока, разу-

меется, снаряд не встречает никаких препятствий,—в виде, напр., сопротивления атмосферы, воды или твердого грунта.

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

На основании формул 28 и 31 получим:

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

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

Из уравнений 16 и 34 получим:

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

36. Из этой формулы, также как из предыдущей, следует, что скорость, приобретаемая **ракетой**, **меньше** при влиянии тяготения, чем без него (16). Она (V_2) может быть даже равна нулю, не смотря на обилие взрывчатого запаса, если $\frac{p}{g}=1$, т. е. если ускорение, сообщаемое снаряду взрывчатым материалом, равно ускорению земной тяжести, или—давление газов равно и прямо противоположно действию тяготения. (См. форм. 34 и 35).

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

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

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

Во всяком случае, на основании формулы 35-й, в пределе,

$$V_2 = -V_1 .\ \mathrm{Lnat}\left(\frac{M_2}{M_1}+1\right)$$

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

Согласно формуле 30 время взрывания не зависит от силы тяготения, а лишь исключительно от количества $\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$ взрывчатого материала и быстроты их взрывания (p).

39. Любопытно определить эту величину. Положим в форм. 28 V=11.100 метров (см. таблицу 22); а p=g=9,8 метра; тогда t=1.133 секунды.

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

При взрывании-же у поверхности нашей планеты, он простоял бы неподвижно в течении тех же 19 минут.

40. Если $\frac{M_2}{M_1}=1$ то, по табл. V = 3.920 метров; следовательно, t=400 секундам, или $6^2/_3$ минуты.

При $\frac{M_2}{M_1}=0{,}1$, V=543 метра, а t=55,4 секунды, т. е. менее минуты. В последнем случае, у поверхности земли, снаряд простоял бы неподвижно $55^1/_2$ секунд.

Отсюда мы видим, что взрывание у поверхности планеты, или вообще в среде, несвободной от силы тяжести, может быть совершенно безрезультатным, если происходит, хотя и долгое время, но с недостаточною силою: действительно, снаряд остается на месте и не получает никакой поступательной скорости, если не приобрел ее раньше; в противном случае, он может совершить некоторое перемещение с равномерною скоростью. Если это перемещение совершается вверх, то снаряд 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 течении нескольких минут, пока совершается взрывание, но и в такое небольшее 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.

Так на луне прибор простоял бы неподвижно без опоры $\left(\text{при } \frac{M_2}{M_1}=6\right)$ 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 $V_2=-9990$ метров. Относительная тяжесть, по предыдущему, будет равна 10, т. е. человек в 70 килограммов весом, во все время взрывания (около 2 минут), будет испытывать тяжесть в 10 раз большую, чем на земле и будет весить на пружинных весах 700 килограммов (пудов 40). Такую тяжесть путешественник может перенести без вреда только при соблюдении особых предосторожностей: при погружении в особую жидкость, при особенных условиях.

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

Мы нашли $V_2=9990$ метров, т. е. такую скорость, которая лишь немного менее скорости (V), приобретаемой в среде, свободной от силы тяготения, при тех же условиях взрыва (см. табл. 22). Но так как снаряд во время взрывания еще и поднимается на некоторую высоту, то приходит даже в голову, что общая работа взрывчатых веществ совсем не уменьшалась, сравнительно с работою 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 нескольких сотен верст, мы (g) примем постоянным, что не повлечет за собой большой погрешности; да и погрешность то будет в благоприятную сторону, т. е. истинныя числа будут благоприятнее для полета, чем вычисленные нами.

Высота (h) поднятие снаряда, во время (t) действия взрыва, будет.

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

Выключая отсюда (t), по уравнению 31, получим:

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

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

Теперь получим из 34 и 46 выключая (V_2):

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

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

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

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

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

Отношение этой работы к предыдущей, идеальной, равно:

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

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

51... $$\frac{T_1}{T}=1-\frac{g}{p}$$

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

52. В парагр. 41 мы вычислили $V_2=9990$ метров. Применим формулу 46 к случаю 41, найдем: $h=565$ километров; значит, в течении взрыва, снаряд зайдет далеко за пределы атмосферы и приобретет еще поступательную скорость в 9990 метров.

Заметим, что скорость эта на 1.110 метров меньше, чем в среде, свободной от силы тяготения. Эта разность составляет как раз $^1/_{10}$ скорости в среде без тяжести (см. табл. 22).

Отсюда видно, что потеря в скорости подчиняется тому же закону, как и потеря работы (см. 18), что, впрочем, строго следует и из формулы 10, преобразуя которую получим:

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

Найдем из 51:

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

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

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

Когда определим все эти работы, то с помощью формулы 56, вычислим T. Зная же (T), вычислим и (V), т.-е. скорость в среде без тяжести по формуле:

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

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

Таким путем, с помощью предыдущего, найдем:

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

Вычисляя, мы $\left(M_1\frac{V_1{}^2}{2g}\right)$ заменили для краткости через (T_2).

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

Отношение $\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$ в формуле не изменится, если его сократить на (M_1). Так, что под (T_1) и (T_2) можно подразумевать механическую работу (T_1), совершаемую единицею массы снаряда и механическую работу (T_2), единицы взрывчатых веществ.

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

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

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

Среда тяжести. Отвесное возвращение на землю.

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

60. Вся масса, вместе с запасом, составит $M_2+M_1=5\ M_1+M_1=6\ M_1$. Этой массе ($6\ M_1$) первоначальное взрывание должно также сообщить скорость в 10,000 метров, а для этого нужно новое количество взрывчатого материала, которое должно также в 5 раз (см. 22) превышать массу снаряда с массою запаса для остановки; т.-е. мы должны ее ($6\ M_1$) увеличить в 5 раз; получим $30\ M_1$, что вместе с запасом для остановки ($5\ M_1$) составит $35\ M_1$.

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

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

или прибавляя и вычитая единицу из второй части уравнения получим:

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

Всего же, с массою ракеты (M_1, или 1) найдем:

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

Последнее выражение легко запомнить.

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

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

В среде без тяжести.

V Метры.	$M_2 : M_1$	$M_3 : M_1$	V Метры.	$M_2 : M_1$	$M_3 : M_1$
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	Безконечно.		Безконечно.

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

Из 62 и 16 имеем:

$$\frac{M_3}{M_1}+1=e^{\frac{-2v}{v_1}} \quad \text{или} \quad \frac{M_3}{M_1}=e^{\frac{-2v}{v_1}}-1.$$

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

64. Если мы находимся в среде тяжести, то в простейшем случае, вертикального движения, процесс остановки и опускания на землю будет такой: когда ракета, под влиянием приобретенной скорости поднялась на известную высоту и остановилась, то начинается ее падение на землю.

Когда снаряд достигнет той точки, в которой окончилось при поднятии действие взрывчатых веществ, он снова подвергается влиянию остатка их,—в том же направлении и в том же порядке. Очевидно к концу их действия и истощения всего запаса, ракета остановится в той точке, у поверхности земли, с которой было начато поднятие. Способ поднятия строго тождествен со способом опускания; вся разница лишь в том, что скорости обратны в каждой точке пути.

Остановка в среде тяжести требует более работы и более взрывчатых веществ, чем в среде свободной от тяготения; поэтому в формулах 61 и 62 (q) должно быть больше, если применять ракету к среде тяжести.

Обозначив это большее отношение через (q_1), найдем на основании предыдущей:

65... $$\frac{q}{q}=\frac{T_1}{T}=1-\frac{g}{p},\ \text{откуда}\ q_1=q\left(\frac{p}{p-q}\right).$$

подставив (q_1) вместо (q) с уравнением 62 получим.

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

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 ея в среде тяжести.

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

Для среды тяжести.

V в метрах.	$M_2 : M_1$	$M_4 : M_1$
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

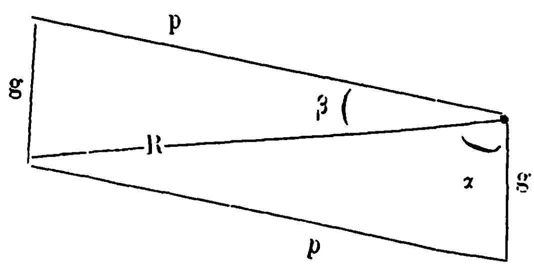
Среда тяжести. Наклонное поднятие.

68. Хотя вертикальное движение ракеты как будто выгоднее, потому что при этом скорее рассекается атмосфера и снаряд поднимается на большую высоту; но, с одной стороны, работа рассечения атмосферы, сравнительно с полною работой взрывчатых веществ, весьма незначительна, с другой, при наклонном движении, можно устроить постоянную обсерваторию, движующуюся за пределами атмосферы неопределенно—долгое время вокруг земли, подобно ея луне. Кроме того и это главное—при наклонном полете утилизируется несравненно большая часть энергии взрыва, чем при вертикальном движении.

Рассмотрим сначала частный случай—когда полет ракеты горизонтальный.

Если через (R) обозначим величину равнодействующей горизонтального ускорения ракеты, через (p) ускорение от действия взрывания и через (g) ускорение от силы тяжести, то имеем:

69.



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

Кинетическая энергия, полученная снарядом чрез время (t), равна, на основании последней формулы:

71... $$\frac{R}{2}\cdot t^2\cdot\left(\frac{R}{g}\right)=\frac{R^2}{2g}\cdot t^2=\frac{p^2-g^2}{2g}\cdot t^2,$$

где (t) есть время взрывания. Это и есть вся полезная работа, приобретенная ракетой. Действительно ракета нисколько не поднимается, если принять направление тяжести постоянным (что на практике только при небольшой траектории снаряда верно).

Работа-же взрывчатых веществ, приобретенная ракетой в среде, свободной от тяжести, равна:

72... $$\frac{p}{2}t^2\cdot\frac{p}{g}=\frac{p^2}{2g}t^2.$$

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

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

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 напр. при $\frac{g}{p}=\frac{1}{10}$ потеря составит $^1/_{100}$, т.-е. один процент, между тем как при вертикальном движении она выражалась через $\frac{g}{p}$ или равнялась $^1/_{10}$, т. е. десяти процентам.

74. Вот таблица, где (β) есть угол наклонения силы (p) к горизонту:

Горизонтальное движение ракеты.

p : g	Потеря	sin β	β градусы
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 : 10000	1 : 100	0,57

75. Теперь решим вопрос вообще—при всяком наклонени равнодействующей (R). Горизонтальность траектории или равнодействующей, как я уже говорил, невыгодна потому, что при таком движении снаряда страшно увеличивается его путь через атмосферу, а вместе с тем увеличивается и работа разсечения им воздуха.

Итак будем помнить, что (α), или угол наклонения равнодействующей к вертикали, больше прямого угла; имеем:

76... $$R=\sqrt{p^2+g^2+2pg.\cos.\gamma}$$

где $(\gamma)=\alpha+\beta$ (тупой угол параллелограмма, по чертежу. Далее: $\gamma=\alpha+\beta$; $\sin(\alpha):\sin(\beta):\sin(\gamma)=p:g:R$ и $\cos(\alpha)=\frac{R^2+g^2-p^2}{2.Rg}$.

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

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

Следовательно работа поднятия снаряда будет равна:

80... $$\frac{R_1}{2} \cdot t^2 = \frac{-\cos\alpha}{2} \cdot R \cdot t^2,$$

где (t) есть время взрывания всего запаса взрывчатых веществ. Полная работа, приобретенная снарядом с среде тяжести, выразится (по 71 и 80):

81... $$\frac{R_2}{2g} \cdot t^2 + \frac{-\cos\alpha}{2} \cdot R \cdot t^2 = \frac{Rt^2}{2}\left(\frac{R}{g} - \cos\alpha\right).$$

Здесь за единицу работы принято поднятие снаряда на единицу высоты, в среде с ускорением (g). Если $\alpha > 90°$, напр., вслучае поднятия снаряда, то $(-\cos\alpha)$ есть величина положительная и обратно.

Работа в среде, свободной от тяжести, будет равна (по 72) $\frac{p^2}{2g} \cdot t^2$ (не забудем, что время (t) взрывания не зависит от сил тяготения).

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

82... $$\frac{Rt^2}{2}\left(\frac{R}{g} - \cos(\alpha)\right) : \left(\frac{p^2}{2g} \cdot t^2\right) = \frac{R}{p}\left(\frac{R}{p} - \frac{g}{p} \cdot \cos\alpha\right)$$

Выключая отсюда (R) по формуле 76, найдем:

83... $$1 + \frac{g^2}{p^2} + 2\cos\gamma \cdot \frac{g}{p} - \cos\alpha \cdot \frac{g}{p}\sqrt{1 + \frac{g^2}{p^2} + 2\cos\gamma \cdot \frac{g}{p}}.$$

Формула 51 и 73, напр., есть только частный случай этой, в чем легко убедиться.

84. Сделаем сейчас же применение найденной формулы. Положим, что ракета летит вверх под углом в 14,5° к горизонту; синус этого угла составляет 0,25; это значит, что сопротивлением атмосферы увеличивается в 4 раза сравнительно с сопротивлением ее при отвесном движении снаряда; ибо, приблизительно, сопротивление ее обратно пропорционально синусу угла наклона $(\alpha - 90)$ траектории ракеты к горизонту.

85. Угол $\alpha = 90 + 14^1/_2 = 104^1/_2$; $\cos\alpha = 0,25$; зная (α), можем узнать и (β); действительно, из 77 найдем: $\sin\beta = \sin\alpha \cdot \frac{g}{p}$; так, если $\frac{g}{p} = 0,1$, то $\sin\beta = 0,0968$; $\beta = 5^1/_2°$, откуда $\gamma = 110°$, $\cos\gamma =$ -0,342.

Теперь, по формуле 83, вычисляем утилизацию в 0,966. Потеря составляет 0,034, или около $^1/_{29}$, вернее, 3,4%.

Эта потеря в 3 раза меньше, чем при вертикальном движении. Результат недурный, если принять еще во внимание, что сопротивление атмосферы и при наклонном движении ($14^1/_2{}^0$), никак не более одного процента работы удаления снаряда от земли.

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

Наклонное движение.

Градусы.				Утилиза-ция.	Потеря.
α—90.	α	β	$\gamma=\alpha+\beta$.		
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 (α—90^0), формулу 83 можно чрезвычайно упростить, заменив тригонометрические величины их дугами и сделав другие упрощения.

Тогда получим следующее выражение для потери работы: $x^2+\delta.x\left(1-\frac{x^2}{2}\right)+\delta.^2x^2\left(x-\frac{\delta}{2}\right)$, где ($\delta$) означает угол наклона движения α—90°), выраженный длиною его дуги, радиус которой равен единице, —а (x) — отношение $\left(\frac{g}{p}\right)$. Откидывая в последней формуле малые высших порядков, получим для потери:

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

Можем положить:

δ=0,02N, где 0, 02 есть часть окружности, соответствующая почти одному градусу ($1^1/_7$), 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	=	$^1/_{100}$	$^1/_{91}$	$^1/_{83}$	$^1/_{70}$	$^1/_{60}$	$^1/_{55}$	$^1/_{50}$	$^1/_{45}$	$^1/_{38}$

Отсюда видим, что даже для больших углов (до 10°) противоречие между этой таблицей и предыдущей, более точной, невелико.

Мы могли бы рассмотреть еще очень многое: работу тяготения, сопротивление атмосферы; мы совсем еще ничего не сказали о том, как исследователь может пробыть продолжительное, даже неопределенно долгое время в среде, где нет следов кислорода; мы не упомянули о нагревании снаряда при кратковременном полете в воздухе, мы не дали даже общей картины полета и сопровождающих его крайне интересных явлений (теоретически); мы почти не указали на великия перспективы в случае осуществления дела, рисующиеся нам пока еще в тумане: наконец, мы могли-бы начертать космические кривые движения ракеты в небесном пространстве.

Ответ на эти вопросы и многие другие найдем в статье, составляющей продолжение этой и напечатанной в „Вестнике Воздухоплавания“ в 1911—12 году.

К. Э. Циолковский.

1903 г. „Научное Обозрение“ № 5.

1923 г. 12-го Ноября.
КАЛУГА,
Коровинская, № 3.

Калуга. ГУБЛИТ № 7620. 1923 г. Тираж 1000 экз.