

АКАДЕМИИ НАУК  
СССР



Р. Г. П Е Р Е Л Ь М А Н  
Д В И Г А Т Е Л И  
Г А Л А К Т И Ч Е С К И Х  
К О Р А Б Л Е Й

Материал с сайта <http://epizodsspace.no-ip.org>

В книге приводятся сведения о "звездных маршрутах", показывается принципиальная ограниченность возможностей ракет с двигателями, использующими химическое и ядерное горючее, даются необходимые сведения о фотонных ракетах и тех особенностях, которые должны возникать при полете на скоростях порядка скорости света или близких к ней. Автор останавливается также на своеобразных условиях, в которых окажется человек в звездолете. Конкретно им рассматривается схема "минимального звездолета", способного обеспечить полет к ближайшей звезде — Проксима Центавра.

Прочитав книгу Р. Г. Перельмана, вы познакомитесь с элементами теории относительности, с современными вопросами атомной физики, физики плазмы, с процессами, протекающими в космическом пространстве. Однако, несмотря на сложность темы и широкий круг затронутых в работе вопросов, популярное изложение и образный язык делают книгу интересной и доступной для самого широкого круга читателей.

*Проф. К. Н. Станюкович*

**АКАДЕМИЯ НАУК СССР**

**научно-популярная серия**

**Р. Г. ПЕРЕЛЬМАН**

# **ДВИГАТЕЛИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
МОСКВА . 1962**

**Ответственный редактор К. П. СТАНЮКОВИЧ**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора.

Введение

I. Вселенная вокруг нас

В глубины Галактики

Жизнь во Вселенной

II. В поисках двигателя

Силовые установки космических кораблей

Электротермические двигатели

III. От микромира в космос

Достижимые скорости и время межзвездного путешествия

Энергетические потребности и «топливо» галактических кораблей

Можно ли использовать для звездолета ионный двигатель?

Межзвездная среда — опасность или источник энергии?

Человек в звездолете

IV. Перед стартом к звездам

О размерах экрана-отражателя электромагнитных волн

Некоторые особенности сборки звездолета и связи с ним

Вселенная из окна звездолета

V. Путешествие во времени

Сквозь панцири времени и расстояния

Максимальная дальность при ограниченных скорости и времени полета

От самолета к галактическому кораблю

Заключение

Приложение

Некоторые соотношения механики фотонных ракет (*К. П. Станюкович*)

Литература

## От автора

О путешествиях к звездам много пишут в наши дни. При этом обычно подразумеваются полеты в космическое пространство — к Луне или планетам Солнечной системы. В действительности же звездными путешествиями можно назвать только такие, в которых галактические корабли выйдут за пределы Солнечной системы и достигнут других звездных миров нашей Галактики.

В немногочисленных работах, посвященных непосредственному исследованию этой сверхфантастической задачи, основное внимание уделяется эффектам, которые как следствие частной теории относительности неизбежны при движении на скоростях, приближающихся к скорости света. При этом считается, что, поскольку такие скорости для аппаратов принципиально возможны, они когда-нибудь будут достигнуты. Такая постановка задачи, представляющая несомненный теоретический интерес, все же слишком медленно перемещает проблему звездоплавания из области фантастики в область, где она, в конце концов, может воплотиться в реальные конструкции.

Ввиду чрезвычайной сложности проблемы достижения планет других звездных миров автор, используя научные материалы, публиковавшиеся в отечественной и зарубежной печати, стремился хотя бы в первом приближении рассмотреть некоторые основные характеристики, которым, как можно предполагать, должны будут отвечать первые, «самые примитивные» межзвездные корабли. Вероятно, лишь в значительно более отдаленном будущем могут быть созданы конструкции с более высокими летными данными.

Думается, что такой подход позволяет уже теперь обстоятельнее представить себе принципиальные особенности звездных аппаратов, приблизиться к техническим оценкам трудностей и возможностей их создания.

Изложение вопросов звездной астронавтики — само по себе новое и трудное дело, требующее проникновения в различные области знаний. Стремление автора преподнести материал в популярной форме, доступной широкому кругу неспециалистов, усугубило трудности работы над этой книгой. Поэтому автор будет чрезвычайно признателен читателям, которые сочтут возможным сообщить ему свои замечания.

Для тех, кто захочет подробнее ознакомиться с некоторыми из затронутых нами вопросов, проф. К. П. Станюковичем написаны небольшие разделы из области специальной теории относительности и механики фотонных ракет, помещенные в приложениях в конце книги.

# Введение

«Ум и руки человека создали космический корабль, движущийся вокруг Земли. Он способен уже отправить людей далеко за пределы нашей планеты. Мы расщепили атом и проникаем в клетку белка. Мы движемся по земле и над землей с удивительной скоростью, и границы наших познаний так широки, что мы сами удивляемся этому».

*Н. С. Хрущев*

**П**ервооткрывателями новой эры в научном познании природы, эры межпланетных полетов, стали советские люди. Советские ученые первыми блестяще использовали новейшую ракетную технику для мирных целей — осуществили запуск искусственных спутников Земли и первый полет с Земли на Луну. В Советском Союзе была впервые решена задача создания космических ракет, способных переносить автоматические лаборатории в пространстве Солнечной системы. Достижения нашей Родины в покорении космического пространства были увенчаны первыми полетами в космос коммунистов Юрия Гагарина и Германа Титова, благополучно вернувшихся на Землю. Это целая эпоха в развитии научных знаний человечества, которая глубоко преобразует жизнь. Это величественное событие эпохи построения коммунизма.

Величайшие научные открытия, необычайно сконцентрированные во времени, свидетелями которых мы являемся, поражают воображение, будят творческую фантазию человечества. Люди вступили в век коммунизма, век, который с технической точки зрения может быть также назван веком ядерной энергетики, электроники, химического синтеза, новых материалов, космических скоростей, быстродействующих счетно-решающих устройств. Достижения науки, подготовленные и добытые самыми пытливыми и отважными умами человечества, соединенные с целеустремленностью советских людей, позволяют заглянуть в будущее, которое до недавнего времени еще находилось в ведении писателей-фантастов, в то будущее, о котором мечтал еще Леонардо да Винчи, описывая созданного человеком «Великого лебедя», достигшего звезд. Но не переоцениваем ли мы наши возможности, не пытаемся ли заглядывать чрезмерно далеко в грядущее? Насколько достоверными могут быть наши прогнозы о таком звездном путешествии?

Наука, раскрывая законы природы, стремится приоткрыть завесу будущего, показать человечеству возможные перспективы движения вперед. Пожалуй, ни одна из естественных наук не может пока заглянуть так далеко вперед, как астрономия. В самом деле, астрономы могут предсказывать события, которые произойдут в звездном мире через много десятков, сотен и даже тысяч лет. А теперь астрономия — наука традиционно наблюдательная, благодаря ракетной технике, становится наукой экспериментальной.

Однако попытка сколько-нибудь достоверно описать «предвидимое будущее», хотя бы на ближайшие сто лет, в отрыве от социальных условий развития общества, как это сделали английский ученый лауреат Нобелевской премии Дж. Томсон<sup>1</sup> и американский профессор Н. Винер<sup>2</sup>, весьма условна.

<sup>1</sup> Дж. Томсон. Предвидимое будущее. ИЛ, 1958.

<sup>2</sup> Н. Винер. Кибернетика и общество. ИЛ, 1948.

Это можно сделать, лишь опираясь на перспективы роста науки в условиях стремительно изменяющейся социальной структуры общества, развитие которой предсказано диалектическим материализмом, подтвержденным всем историческим развитием человечества.

Это и дает нам смелость попытаться оценить некоторые перспективы астронавтики и рассмотреть при этом некоторые проблемы ее развития не только с технической, но и с социальной стороны.

Всего четверть века назад поднялась в воздух первая советская ракета с жидкостным реактивным двигателем (ЖРД). В то время даже мечтать о полетах в космическое пространство осмеливались лишь немногие. И если бы в те дни сказали, что год сорокалетия Советской власти будет ознаменован запуском искусственных

спутников, что в 1961 г. человек совершит полеты в космос, люди отнеслись бы к этому, как к волнующей и красивой сказке.

Однако жизнь опередила даже самые смелые прогнозы К. Э. Циолковского, предсказавшего запуск спутников и полеты человека к Луне через столетие после победы Октября. Темпы развития общества и многих отраслей знаний существенно изменили наши взгляды и представления. Мы научились понимать, что казавшееся вчера далекой несбыточной мечтой сегодня может быть достигнуто, а завтра уйдет в прошлое.

В наше время проблема полета к звездам уже не только мечта, а предмет научных изысканий. В развернутом построении коммунизма, а также в теоретических и экспериментальных исследованиях закладываются элементы этого величайшего свершения Человека.

Скажем прямо, что, заглядывая так далеко вперед, мы позволим себе немного и пофантазировать. Ведь сначала идет фантазия, затем гипотеза, теория и точный расчет. «Нелепо отрицать роль фантазии и в самой строгой науке...»<sup>1</sup> — говорил величайший научный провидец В. И. Ленин.

<sup>1</sup> В. И. Ленин. *Собрание сочинений*, т. 33, стр. 239.

Почему же возникла и ныне начата разработка проблемы полета к другим мирам? Может быть, она плод досужих мечтаний отдельных ученых? Что даст, хотя бы в общих чертах, ее решение? Будут ли усилия, затраченные человечеством на пути к этой цели, оправданы конечными результатами?

Эти и многие другие вопросы задают сейчас не только люди, охваченные острым интересом к будущему астронавтики, но и скептики, находящие научно-техническое рассмотрение этих вопросов преждевременным.

Попытаемся хотя бы вкратце ответить на поставленные вопросы.

Несомненно, что по мере роста науки, культуры возникает необходимость совместных работ ученых как внутри каждой страны, так и в масштабах всей Земли.

Вероятно, мысль об осуществлении межзвездного путешествия родилась в значительной степени из мечты обменяться достижениями с мыслящими существами других населенных миров, поделиться с ними опытом и почерпнуть их опыт — опыт разума, накопленный на планетах — островах жизни и мысли во Вселенной.

Заметим, что до сих пор в наших рассуждениях мы принимали априори, без доказательств, бесспорность существования высшей мыслящей материи на других планетах. Мы это делали потому, что успехи астрономии, химии, астрофизики, биологии доказали нелепость утверждения, что Земля — единственная обитель жизни.

Ученые со всей достоверностью показали существование планет-спутников у многих ближайших к Земле звезд. А поскольку жизнь есть закономерный этап развития материи во Вселенной, то высшая форма развития этой материи — мыслящие существа должны возникнуть на некоторых из планет, распределенных на разных расстояниях вокруг каждой такой звезды. Поэтому можно утверждать, что жизнь в ее высших проявлениях есть, кроме Земли, и на других планетах — спутниках звезд, а значит мы не одиноки во Вселенной.

Вероятно, человеческая цивилизация далеко не старшая в Галактике. Всего несколько миллиардов лет тому назад на Земле возникла жизнь, и лишь около 600 тысяч лет человечеству, а впереди миллиарды лет развития. Цивилизации иных миров, вероятно, отстали от нас, другие находятся на близком по развитию уровне, но есть и такие, которые, возможно, шагнули на тысячелетия, а может быть и дальше, чем земная цивилизация.

Ведь во Вселенной, где неравномерно и неодновременно даже по астрономическим масштабам происходит развитие и возникновение звезд и планет, неравномерность развития жизни должна быть еще большей.

По опыту Земли мы знаем, что в развитии человеческого общества даже десятилетия играют весьма существенную роль.

Еще большую цену имеет время для социалистического общества. Мы знаем, что нынешнее поколение советских людей будет жить при коммунизме.

Проникновение в космическое пространство поможет расширить наши знания о Земле, принесет земной цивилизации изобилие энергии, новые возможности лучшего устройства жизни на Земле.

Если бы, кроме того, людям Земли удалось посетить один из далеких миров, познакомиться с его достижениями и привезти на Землю некоторые плоды его развития, это могло бы позволить человечеству совершить гигантский скачок вперед, сэкономив труд и усилия многих поколений. А разве можно как-либо переоценить такой успех? Разве наряду с теми достижениями в познании природы, которые будут добыты в ходе создания галактических кораблей и межзвездной радиосвязи, такой успех не оправдает, не окупит сторицей любых затрат человеческой мысли и земных материальных ресурсов?

Скептики уверяют, что посланцы Земли не смогут освоить достижения других миров, сколько-нибудь значительно обогнавших нас, что это невозможно из-за колоссального разрыва в понятиях, представлениях, что достижения других миров окажутся непостижимыми. Думается, что это неверно. И хотя аналогия не доказательство, мы все же попытаемся ею подкрепить наше суждение.

В самом деле, ученые считают, что мозг человека биологически, функционально не изменился за последние несколько тысячелетий. Можно утверждать, что ребенок, скажем, времен расцвета древнегреческой культуры, если бы ему можно было дать образование и воспитание в окружении технических достижений нашего времени, в обстановке современной жизни, в школе, университете, мог бы не только овладеть многими достижениями науки сегодняшнего дня, но и стать одним из ее творцов.

Нельзя недооценивать и того, что с развитием знаний, науки, техники, культуры совершенствуется и методика, формы обучения, тренировки мозга, позволяющие усвоить и передать возрастающий объем знаний в возможно более короткий срок.

Поскольку с развитием науки, естественно, суживаются области, в которых может глубоко овладеть специальными знаниями один человек, звездная экспедиция должна, разумеется, включать специалистов ряда отраслей знаний, особенно таких, которые находятся как бы на стыках наук, и, кроме того, знатоков теории и практики информации; в составе экспедиции должны быть и искусствоведы. Очевидно, если бы посланцам Земли понадобились годы для освоения науки и культуры другого мира, они могли бы задержаться в нем. Это, кроме того, дало бы возможность исследователям освоить необходимые методические приемы и по возвращении на Землю передать заимствованный ими бесценный научный и культурный багаж людям.

Конечно, людям еще не приходилось осваивать науку и технику других миров, у человечества еще нет такого опыта. Высказанные нами мысли не подтверждены еще столь желанным и наиболее достоверным для ученого способом, как эксперимент. Однако они опираются на опыт человечества, накопленный в земных условиях. Все мы живые свидетели того, как народы, отставшие в силу известных причин от передовых в промышленном отношении стран, вступив на путь социализма, избавившись от оков эксплуатации, от иностранных и национальных угнетателей, стремительно и успешно наверстывают упущенное. Тем более неограниченные возможности, представляемые коммунистическим строем, позволят земной цивилизации воспользоваться плодами космической разведки.

Попытаемся ответить еще на один вопрос, который часто возникает перед каждым человеком, интересующимся астронавтикой. Почему до сих пор Землю не посетили мыслящие существа других миров? Ведь это как будто противоречит утверждениям о том, что некоторые из них намного обогнали нас в развитии своей цивилизации.

Возможно, что отдаленность звездных миров и молодость человечества — причина того, почему до сих пор на Земле не появились космические гости.

Следует помнить, что расстояния от Солнца до большинства звездных систем даже нашей Галактики измеряются многими тысячами световых лет. Это значит, что к ним за столько лет доходит свет Солнца, движущийся со скоростью 300 тыс. км в секунду. И, может быть, наши дальние соседи сейчас наблюдают в досадно запаздывающих лучах электромагнитных волн лишь первые шаги в развитии человекоподобных существ на Земле. Ибо даже эти волны добирались к ним многие десятки тысячелетий. Возможно, что в каких-то научно-исследовательских институтах других планетных систем уже имеется описание нашей Земли с такой примерно пометкой: «На данной планете, по-видимому, идет процесс возникновения мыслящих существ. Сократить интервалы между наблюдениями до десяти тысяч лет!» Так, тысячелетия, прожитые человечеством, теряются на фоне астрономических эпох и расстояний.

Правда, это объяснение применимо лишь для планет, расположенных чрезвычайно далеко от нас. Но ведь космических гостей можно было бы ожидать и из звездных систем, отдаленных от Земли «лишь» несколькими световыми годами. Не свидетельствует ли отсутствие этих путешественников о низком уровне цивилизации планетных миров этих систем или о том, что там вообще нет высокоорганизованной мыслящей материи? Можно себе представить, что дело обстоит не так.

Мы знаем, что даже сейчас, после широкого наступления на полюса Земли, полеты к ним или организация станций в полярных областях всегда являются предприятиями, требующими значительной затраты и материальных ресурсов.

Межзвездная экспедиция потребует несравнимо больших материальных вложений, большего напряжения человеческой мысли и энергии.

Это значит, что наши ближайшие соседи не прилетят на Землю с визитом вежливости. Они сделают это, если сочтут такое путешествие не только возможным, но и целесообразным. Может быть, наблюдая нашу планету или побывав на ней несколько десятков тысячелетий назад, они могут примерно судить о том, что на Земле сделано еще недостаточно, чтобы стоило ее посетить. В самом деле, технические достижения земной цивилизации огромны, но все же в космическом пространстве человек лишь начинает проявлять себя.

Отметим, кстати, что свет, отразившийся от первой искусственной планеты 2 января 1959 г., еще не дошел ни до одного из звездных миров. На это ему понадобятся годы. Впрочем этот отраженный свет настолько слаб, что он все равно потерялся бы на фоне свечения звезд и галактик и не мог бы наблюдаться даже на самых близких к нам планетных мирах других звезд. Таким образом, и в ближайших к Земле областях нашей Галактики еще не могло стать известным это величайшее достижение человеческой цивилизации.

Для полетов к другим мирам потребуются время, грандиозные коллективные усилия, готовность к самопожертвованию. И, может быть, убедившись в том, что человечество создает крупные внеземные станции, использует в своих целях Луну, добирается до Марса и других планет Солнечной системы, узнав об этом подвиге цивилизации нашей планеты, мыслящие существа далеких миров посетят нас. А может быть, связавшись с нами, например, с помощью радио, встретят в будущем на полпути земные звездолеты, чтобы совместными усилиями, побеждая космические дали, сократить сроки обмена знаниями. И тогда впервые для нас сольются отдельные ручьи мысли, еще разобщенные во Вселенной. И Человек станет, как предвидел К. Э. Циолковский, гражданином Вселенной.



# Вселенная вокруг нас

В глубины Галактики

**К**аждое новое достижение в создании летательных аппаратов открывает перед человечеством новые перспективы в покорении космического пространства.

Создание и развитие авиации было первой, а запуск искусственных спутников и космических ракет — второй ступенью на пути к межпланетным полетам. Организация межпланетных полетов явится решающим шагом на пути к межзвездным сообщениям, к достижению планет других звездных миров.

Прежде чем попытаться представить себе, какими должны быть галактические корабли, нужно решить, куда, в каких условиях и на какие расстояния им предстоит путешествовать.

Что же представляет собой Вселенная по современным воззрениям? Мы не ставим задачей подробно ответить на этот вопрос. Читатель может сам обстоятельно познакомиться с достижениями астрономии, воспользовавшись обширной научной и научно-популярной литературой. Мы же очень коротко расскажем о том главном, что необходимо знать, чтобы, как говорят специалисты, предъявить технические условия к галактическим кораблям.

Уже такие мыслители, как Демокрит и Эпикур в Древней Греции, Лукреций Кар в Древнем Риме, развили мысль о том, что может образоваться бесчисленное множество миров, подобных нашей Земле. Открытие Николая Коперника (1473-1543), показавшего, что Земля не является Центром мира, нанесло сокрушительный удар по религиозным представлениям о Вселенной. Джордано Бруно (1548-1600) утверждал: «Существуют... бесчисленные Солнца, бесчисленные Земли, которые кружатся вокруг своих Солнц подобно тому, как наши семь<sup>1</sup> планет кружатся вокруг нашего Солнца». М. В. Ломоносов выразил свой взгляд на строение Вселенной в стихотворной форме:

Открылась бездна звезд полна,  
Звездам нет числа, бездне дна.  
Уста премудрых нам гласят,  
Там разных множество светов,  
Несчетны солнца там горят,  
Народы там и круг веков.

Современная наука подтверждает правильность этих суждений. Все видимые нами звезды, в том числе и Солнце, образуют гигантскую систему — Галактику (Млечный путь), состоящую, по подсчетам советского профессора П. Паренаго, более чем из 120 миллиардов звезд (до 150 миллиардов) и являющуюся в свою очередь бесконечно малой частью Вселенной. Звезды все гуще располагаются к центру и к плоскости некоторого экватора Галактики образуя диск, напоминающий по форме часы (рис. 1) Рассматривая Галактику сверху, мы увидели бы нечто вроде спирали. Луч света, двигаясь со скоростью 300 тыс.км/сек (за время между двумя ударами сердца человека он успе вает 7 раз обогнуть земной шар!), пересекает Галактику поперек (проходя за год 9,36·10<sup>12</sup> км) почти за 80 тысячелетий, или, как говорят в астрономии, это расстояние составляет около 80 тыс. световых лет. Наибольшая толщина диска Галактики около 16 тыс. световых лет.

<sup>1</sup> В настоящее время их обнаружено девять.

Вспомним, что на Земле расстояния до недоступны предметов определяются тригонометрическим способом (по измеренному базису — основанию треугольника и двум углам наблюдения предмета из концов базисного отрезка). Когда измеряются расстояния в пределах Солнечной системы, за базис принимается в конечном счете радиус Земли — 6000 км. Для измерения расстояния между звездами эта единица мала. В этом случае в качестве базиса используется радиус земной орбиты, равный примерно 150 млн. км. Расстояние, с которого этот радиус виден под углом в 1 сек., называется парсеком и широко используется в звездной астрономии. 1 парсек равен  $3 \cdot 10^{13}$  км, т. е. 30 000 млрд. км. Это расстояние свет проходит за 3,26 года.

Проф. Паренаго показал, что Солнце и большинство близких к нему звезд обращаются вокруг центра тяжести Галактики со скоростью свыше 200 км/сек и совершают полный оборот примерно за 200 млн. лет. Этот период называют космическим годом. Возраст нашей планеты, по-видимому, более 20 космических лет.

В середине 20-х годов нашего столетия было установлено<sup>1</sup>, что, кроме нашей Галактики, в пространстве за пределами Млечного пути располагаются столь же грандиозные образования спиралевидной, веретенообразной и овальной формы, состоящие из десятков миллиардов звезд. Наша Галактика оказалась рядовым звездным островом в бесконечном множестве островов океана Вселенной. Три из них — Туманность Андромеды, Большое и Малое Магеллановы Облака, которые можно обнаружить невооруженным глазом как чуть заметные туманные пятна на небосводе, напоминают по своему строению нашу звездную систему. Наблюдения астрономов позволяют утверждать существование сотен миллионов галактик. Обнаружены и такие, которые едва заметны на фотографиях, полученных при очень продолжительных экспозициях с помощью сильнейших телескопов. Так, например, удается получать при многочасовых экспозициях снимки звезд 23-й звездной величины<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> В 1926 г. американский ученый Хаббл (1889-1953), фотографируя с помощью самого сильного в то время телескопа (рефлектор с диаметром зеркала 250 см) слабо светящееся пятнышко в области созвездия Андромеды, открыл, что края этого пятнышка распадаются на отдельные точки — звезды. Это было одно из крупнейших открытий астрономии нового времени. Началась эра внегалактической астрономии. В 1944 г. астроном Бааде «разложил» на звезды центральные части нескольких внегалактических систем.

<sup>2</sup> Звездная величина — мера измерения, характеризующая блеск звезды или другого небесного тела. Самые яркие звезды относятся к первой величине, а самые слабые, еще видимые человеческим глазом, — к шестой. Звезда каждой следующей величины в 2,5 раза слабее по яркости звезды предыдущей величины. Значит, звезды 6-й величины в 2,55 раз, т. е. в 100 раз, слабее по блеску звезд первой. Звезды 23-й величины в миллионы раз слабее звезд шестой, находящихся на пределе видимости простым глазом.

Освещенность, создаваемая при этом, примерно такая же, какую может дать на Земле стосвечовая лампа, расположенная от нас на расстоянии Луны (примерно 400 тыс. км).

Радиотелескопы позволили обнаружить галактики, свет от которых идет до нас около 20 млрд. лет. Это значит, что мы наблюдаем их такими, какими они были задолго до появления на Земле человека.

В 1953 г. французский астроном Вокулер привел доказательства существования сложной системы галактик — Метагалактики — с размерами порядка десятка миллиардов световых лет, в которую входит и наша Галактика. С помощью могущественных экспериментальных средств ученые в наши дни изучают явления в огромном диапазоне. В самом деле: радиоастрономия исследует объекты, отдаленные от нас на  $10^{28}$  см, т. е. на десятки биллионов световых лет, а физика элементарных частиц проникает в вещество примерно до радиуса ядра —  $10^{-13}$  см. Таким образом, диапазон экспериментов достиг уже  $10^{41}$ .

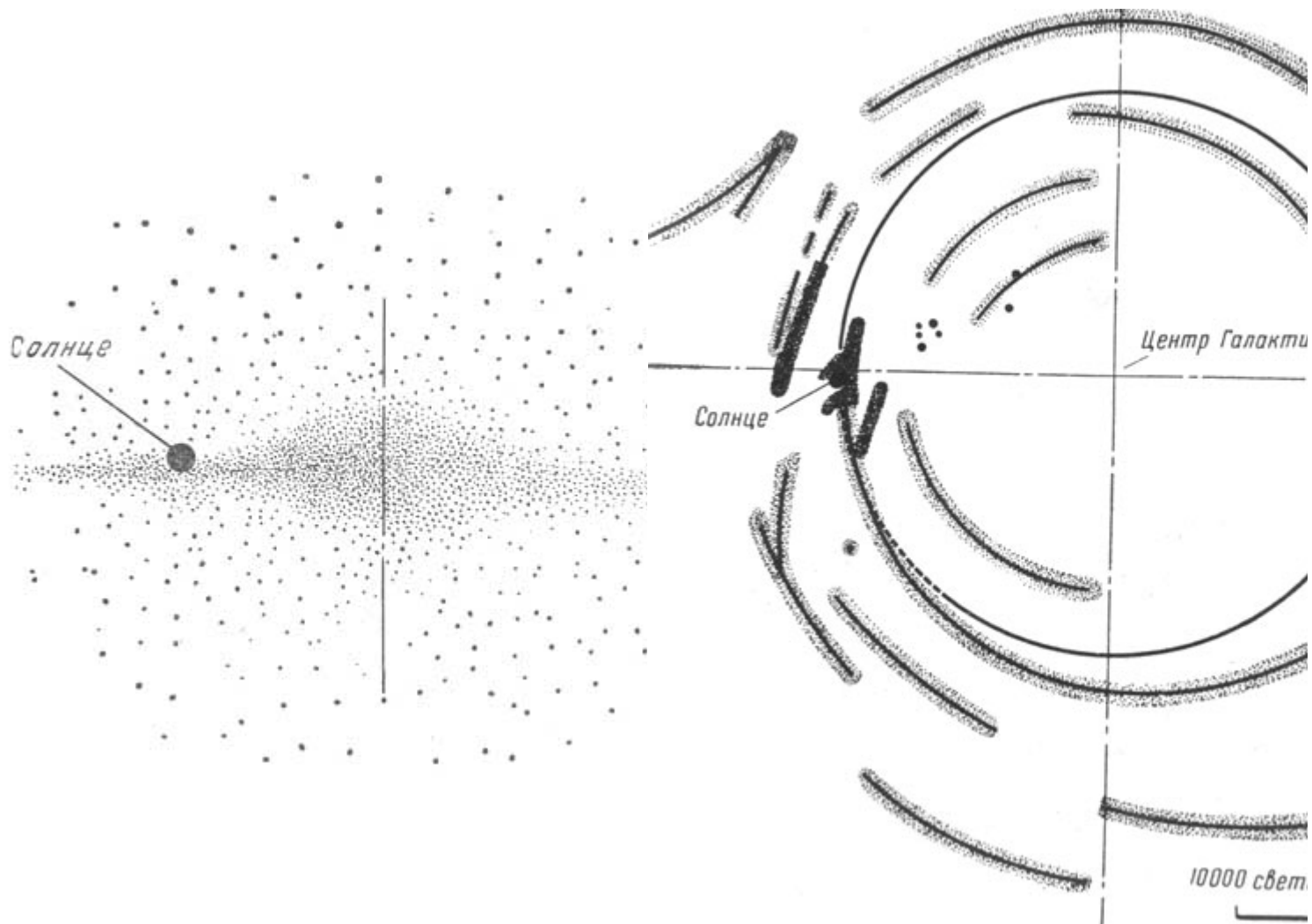


Рис. 1. Наша Галактика и место расположения в ней Солнечной системы

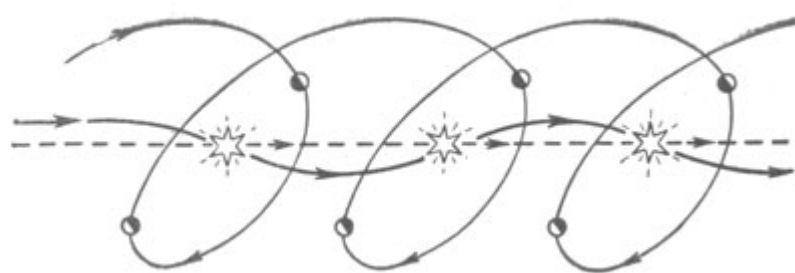


Рис. 2. Невидимые планеты, вращаясь вокруг звезды, вызывают возмущения ее движения и заставляют звезду описывать вытянутую спираль

Границы Метагалактики еще не наблюдались. Они лежат пока еще вне возможностей современных астрономических инструментов.

Солнечная система находится у края нашей Галактики (см. рис. 1).

В окрестностях Солнца среднее расстояние между звездами близко к 6 световым годам, оно в несколько десятков миллионов раз больше, чем средние размеры самих звезд.

«Принимая солнечную систему как среднее пространство, приходящееся в Млечном пути на одну звезду, скажем, что Земля теряется в нем как капля воды в океанах»<sup>1</sup>, — писал К. Э. Циолковский. Интересно отметить, что среди звезд, бесспорно принадлежащих к нашему Млечному пути, есть и такие, которые двигаются со столь большой скоростью, что не могут вращаться вокруг центра Галактики. Вероятно, они — пришельцы из космоса,двигающиеся через пространство нашей и других галактик, встречающихся на их пути. Звезды, как и наше Солнце, представляют собой раскаленные газовые шары, состоящие из тех же элементов, что и Земля. По массам они не отличаются особым разнообразием. Есть звезды, в 5-10 раз уступающие по массе Солнцу и в несколько десятков раз большие, чем оно. Таким образом, Солнце по массе самая рядовая звезда.

<sup>1</sup> К. Э. Циолковский. Грезы о земле и небе. М., Изд-во АН СССР, 1959.

## Ближайшие к Земле звезды и их невидимые спутники

| Расстояние от Земли в световых годах | Звезда                                  | Масса спутников по сравнению с общей массой спутников Солнца | Масса спутников в единицах масс Земли | Расстояние Звезда — спутник по сравнению с расстоянием Земля — Солнце | Расстояние Звезда — спутник по сравнению с расстоянием Земля — Юпитер | Период обращения в годах | Автор расчетов                |
|--------------------------------------|---|--|---------------------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|
| 0                                    | Солнце                                  | 1  | 445                                   | 1   | 1   | По Юпитеру 12            | Хольмберг                     |
| 4,27                                 | Проксима Центавра                       | 1,44   | 640                                   | —   | -   | -                        | -                             |
| 6                                    | Звезда Барнарда                         | 46,7   | 20800                                 | 0,11  | 0,02  | 1,25                     | Ван де Кемп                   |
| 7,7                                  | Вольф 359                               | —  | —                                     | 0,33  | 0,06  | -                        | Стирнс и Олден                |
| 8,2                                  | Лаланда 21185                           | 3,93   | 1750                                  | 0,13  | 0,025   | Немного больше года      | Ван де Кемп                   |
| 11,1                                 | Двойная звезда 61 в созвездии Лебедя    | 1,5  | 670                                   | 3   | 0,58  | 25                       | Хольмберг, Стренд.            |
| 15,65                                | +20° 2465                               | 2,47   | 1100                                  | 0,5   | 0,096   | 26,5                     | Исследован А. Н. Дейчем Рейль |
| 16,4                                 | Двойная звезда 70 в созвездии Змееносца | ~7   | ~3100                                 | -   | -   | 17                       | Рейль и Хольм-70              |

В 1938 г. шведский астроном Хольмберг, изучая снимки смещений ближайших к нам звезд, обнаружил, что у многих из них наблюдаются волнообразные смещения вызванные притяжением невидимых несветящихся спутников — планет, вращающихся относительно этих звезд (рис. 2). Он рассчитал, что невидимый спутник самой близкой нашей соседки Проксима Центавра (т. е. Ближайшей Центавры) в 12 тыс. раз менее яркой, чем Солнце имеет массу, сравнимую с массой Юпитера (примерно 2 раза большую). Советский астроном А. Н. Дейч доказал, что одна из близких к нам звезд 61 Лебедя<sup>1</sup> имеет планеты, общая масса которых примерно в 50 раз меньше солнечной. Если же принять, что у этой звезды один спутник, то он должен двигаться на расстоянии около 450 млн. км от нее, совершая один оборот вокруг звезды за 25 лет.

<sup>1</sup> Обозначения звезд принимаются по звездному каталогу, составленному французским астрономом Лаландом (1732-1807), который определил положение свыше 47 тыс. звезд.

Чтобы наблюдать волнообразные смещения звезд на астрономических расстояниях, нужны гигантские усилия специалистов.

Тщательное изучение 240 ближайших к нам звезд позволило выявить, что около 60 из них обнаруживают периодические колебания, подобные колебаниям 61 Лебедя. Немецкий астроном Шлезингер сумел рассчитать смещения около 6 тыс. ближайших к нам звезд, как бы измеряя толщину волоса с расстояния в 2,5 км.

В табл. 1 показаны ближайшие к Земле звезды и приведены некоторые данные об их невидимых спутниках.

Отметим, что в каждом случае, когда по колебаниям в положении звезды замечают о наличии у нее темного спутника, это еще не означает, что у звезды один спутник. Возможно, что на самом деле она является центром целой планетной системы. Как отметил Б. В. Кукаркин, если в системе 61 Лебеда имеется две планеты размером с Юпитер и Сатурн, то их совместное воздействие дало бы тот же эффект, что и воздействие одной более массивной планеты. О наличии планет у многих звезд свидетельствует отличающая эти звезды сравнительно малая скорость вращения. По-видимому, как и в Солнечной системе, на долю окружающих их планет «досталась» значительная часть момента количества движения системы.

Итак, в нашей Галактике есть множество планет и на некоторых из них, вероятно, есть жизнь.

## Жизнь во Вселенной

Часто беседа «Есть ли жизнь на Марсе?» представляется в гуще будничных дел как образец неактуальности, достойный осмеяния. С таких позиций вопрос о том, есть ли жизнь во Вселенной, кроме жизни на Земле, представляется в буквальном смысле беспочвенным и еще более неактуальным. Но это, конечно, уже не так. Итоги дискуссии о наличии и формах жизни на Марсе будут в недалеком будущем подведены астронавтами «на месте». А вот то, как отвечает человек на вопрос о распространенности жизни во Вселенной, позволяет почти безошибочно судить, на чьей стороне он стоит — на стороне подлинной науки, отрицающей исключительность нашей Земли и жизни на ней, или на стороне религии, которая безосновательно утверждает, что наша планета уникальна, либо, отступая перед научными фактами, говорит о некоей «жизненной силе», которая проявляется во всей Вселенной.

Вопрос о жизни во Вселенной имеет теперь и непосредственное практическое значение. Наступила межпланетная эра. Недалеко то время, когда специалисты будут проникать в сложнейшие вопросы мироздания, не только наблюдая с Земли другие планеты, но и совершая путешествия к ним. Поэтому вопрос о существовании не только жизни, но и мыслящей материи во Вселенной выдвигается ныне как одно из обоснований целесообразности межзвездных полетов. Он приобретает непосредственное практическое значение и для всех тех, кто свои знания, время и силы отдает или будет отдавать решению проблем, связанных с созданием космических кораблей.

В наше время, когда человечество реализует полеты в космос, этот вопрос стал столь же актуальным, как, например, небесная механика, считавшаяся ранее сугубо отвлеченной, абстрактной ветвью астрономии и становящаяся теперь основой астронавтики. Ее должны будут глубоко и всесторонне осваивать капитаны и штурманы космических кораблей, как прежде географические карты изучались капитанами и штурманами морских судов.

Мы уже говорили о доказанной множественности планет. Но это значит, что сотни миллионов звезд нашей Галактики сопровождаются планетами, что жизнь — закономерная форма развития материи во Вселенной, что в ту самую минуту, когда мы читаем эти строки, где-то за пределами Земли — во Вселенной существует не только жизнь, но и мыслящие существа.

«Жизнь — это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка»<sup>1</sup>, — писал Энгельс. Марксистская философия утверждает, что жизнь неизбежно должна возникать и существовать везде, где есть для этого необходимые условия. Что же это за условия? Жизнь может возникнуть на таком небесном теле, где существуют химические элементы, из которых состоят белковые тела, при условии, что эти же элементы не образовали химических соединений, убивающих белки<sup>2</sup>. Необходима атмосфера, а также умеренный интервал температур, чтобы вода, основа внутренней среды, в которой протекает обмен веществ, находилась в жидком состоянии, а значит — ограниченное давление. Так как жизнь, по всей вероятности, зарождается в воде, увеличенная сила тяжести (размер планеты) не может служить препятствием ее возникновению. Активная жизнь может, по-видимому, развиваться на планете, если температура на ее поверхности не сильно отклоняется от среднего значения (например, лежит в интервале примерно от -30 до +70° С). Поэтому такая

планета должна иметь почти круговую орбиту вокруг обогревающей ее звезды. Это лишь самые главные условия.

<sup>1</sup> Ф. Энгельс. Диалектика природы. Госполитиздат, 1955.

<sup>2</sup> Основа живого органического вещества на Земле — белки и нуклеиновые кислоты. Их «скелет» построен из углеродных атомов, обладающих замечательной способностью соединяться в длинные, прямые, кольцевые и разветвленные цепочки, из которых могут складываться бесчисленные количества соединений. Источник энергии, поддерживающий жизнь на Земле, — медленное окисление — горение органических соединений в живом организме.

Разумеется, что, если условия на другой планете близки к земным, жизнь и там возникнет на основе белковых соединений. Однако, если условия резко отличаются от земных, жизнь должна резко отличаться по своим формам и проявлениям от тех, которые господствуют на нашей планете. Так, в последние годы специалисты, и в частности доктор химических наук Е. Д. Каверзнева, многократно обращались к обсуждению гипотетического предположения о возможности развития жизни также и на основе соединений кремния. Из его окиси, как показали новейшие исследования, удастся построить прочные молекулы в виде длинных цепочек, устойчивые к высоким температурам. Кремний — этот ближайший сосед углерода в таблице Д. И. Менделеева, частично удовлетворяет требованиям, обязательным для образования высокомолекулярных соединений и, быть может, также способен стать «скелетом» живого вещества. Однако, энергия, необходимая для «кремниевой жизни», не может быть получена привычным для нас путем, так как соединения кремния не окисляются. Поэтому лишь прямо противоположная реакция — реакция восстановления в своеобразной атмосфере некоторых планет может питать энергией эту форму жизни.

Такова еще одна из форм бесконечно разнообразной жизни, которая, как можно предполагать, способна развиваться в бесконечно разнообразных условиях Вселенной.

Можно с достаточным основанием предполагать, что огромное большинство планет, подобно планетам Солнечной системы, движется вокруг своих солнц по орбитам, близким к круговым, в одном направлении и почти в одной плоскости.

Таким образом, в результате распределения планет на разных расстояниях от звезды может существовать кольцевой «коридор» с приемлемыми освещенностью, температурой и т. п., в пределах которого находятся некоторые из планет и где возможна зона жизни. Звезда такой системы должна быть «старой», устойчивой, каким стало Солнце миллиарды лет тому назад. А поскольку неустойчивые молодые звезды составляют лишь ничтожную долю всех звезд, то этому условию удовлетворяет огромное их количество. Однако не менее 80% всех звезд Галактики — двойные или кратные, т. е. представляют собой две или несколько звезд, вращающихся вокруг общего центра тяжести сравнительно близко одна от другой. Поскольку устойчивые планеты таких звезд должны двигаться по сложным траекториям то подходя к своим солнцам, то удаляясь от них в космос, постольку условия для возникновения и развития жизни на них весьма неблагоприятны.

Очевидно, что одновременное сочетание всех условий, при которых способна возникнуть живая материя, может встретиться очень редко. А. И. Опарин и В. Г. Фесенков, пользуясь методами математической логики, показали, что вероятность наличия жизни в системах звезд, входящих в Галактику, — около одной стотысячной<sup>1</sup> или одной миллионной, т. е. лишь на миллион звездных миров можно рассчитывать встретить одну планету, на которой есть жизнь. Приняв это предположение, мы все же получим, что только в нашей Галактике, по самым скромным подсчетам, должно быть более ста тысяч обитаемых планет.

<sup>1</sup> Некоторые специалисты считают, что вероятность наличия жизни в системах звезд, входящих в Галактику, составляет даже одну десятитысячную.

Итак, несомненно, что среди миллиардов солнц нашей Галактики многие окружены планетами, населенными живыми существами. Но, раз возникнув, жизнь развивается и приспосабливается к новым условиям. Она закономерно развивается, как писал Энгельс, до своей высшей формы, до мыслящей материи. Таким образом, можно считать, что только в нашей Галактике есть множество планет, на которых, вероятно, обитают наши братья по разуму. А ведь галактик, подобных нашей, уже известны миллионы.

Принципиально новый этап взаимоотношений организма и среды начинается с возникновением разумных существ, человека, который активно влияет на окружающий мир, изменяет окружающую его среду, делает ее пригодной для своего обитания. И если на какой-нибудь из планет условия жизни окажутся неудовлетворительными, он постарается изменить их.



Опираясь на энергетику будущего, по всей вероятности, окажется возможным сделать то, что хотя и не противоречит законам природы, но сейчас совершенно неосуществимо. Речь идет о переконструировании нашей, а затем и других планетных систем с передвижением планет на такие орбиты, которые наиболее благоприятны для их населения. «...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. Итак, нет конца жизни, конца разуму и совершенствованию человечества. Прогресс его вечен»<sup>1</sup>. И хотя сейчас Человек Земли лишь приступил к научно-техническому подвигу — завоеванию космического пространства, ничто не помешает ему стать господином Вселенной.

<sup>1</sup>К. Э. Циолковский. Исследования мировых пространств реактивными приборами. Собр. соч., т. II, стр. 139. М., Изд-во АН СССР, 195

## II

# В поисках двигателя

## Силовые установки космических кораблей

Грандиозны бездны Галактики, отделяющие нас от других обитаемых миров. Но человек, становящийся господином Вселенной, думает не о неприступности звездных миров, а о тех трудностях, которые нужно преодолеть, чтобы совершить межзвездный прыжок.

Задача полета к звездам так сложна, что вполне естественным будет остановить наш выбор на планетах кратной звезды Альфа из созвездия Центавра; эта система, состоящая из трех самосветящихся звезд, ближайшая к нашей. Древние арабские астрономы называли эту систему звездой Толимак. Луч света идет от наименьшей из них, красноватой звездочки Проксима Центавра (Ближайшей Центавры) до Земли 4,27 года, а расстояние до нее в 270 тыс. раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца, и составляет около 40 миллиардов км. Насколько же оно велико? Человек обычно способен представить себе число до ста тысяч. После этого мы говорим — «много», не чувствуя самой величины. Поэтому в таких случаях следует прибегать к сравнениям.

Если уменьшить Солнечную систему так, чтобы она целиком уместилась на почтовой открытке, т. е. до диаметра 12 см, то при соответственном сокращении расстояний наша Галактика уменьшится в поперечнике до 9000 км, т. е. сможет разместиться примерно на территории Советского Союза. Поперечник нашей планеты Земли составит тогда менее  $\frac{1}{10}$  микрона, а Проксима Центавра отодвинется на расстояние 500 м от «открытки», лежащей перед нами. Если же «увеличить» Землю до размеров шарика диаметром 1 мм, то Проксима Центавра будет иметь размеры яблока, а расстояние между Солнцем и Проксимой составит около 2700 км.

Как велики межзвездные расстояния! Чтобы вырваться за пределы Солнечной системы, кораблю нужна «скорость освобождения» — около 16,7 км/сек относительно Земли, кстати, вполне достаточная для полетов за приемлемые сроки в Солнечной системе. Но, даже двигаясь со скоростью 20 км/сек по кратчайшему пути к Проксима Центавра, ракета достигнет этой цели примерно через 66 тыс. лет!

В действительности, поскольку Солнце вместе со своими планетами, и в частности с Землей, перемещается вокруг центра Галактики со скоростью около 200 км/сек, а скорость удаления ракеты от Солнечной системы (по ветви гиперболы) относительно невелика, ракета будет двигаться вокруг центра Галактики по орбите, которая мало отличается от орбиты Солнечной системы. Отклонение в сторону избранной звезды будет очень малым, и путь к звезде чрезвычайно удлинится. Таким образом, встреча ракеты со звездой будет почти

столь же маловероятна, как встреча с этой звездой Солнца. В то же время известно, что за миллиарды лет своего существования, совершив множество оборотов вокруг центра Галактики, Солнце не встретило ни с одной из звезд.

Многие поколения космонавтов сменились бы в ракете за 66 веков путешествия, а ведь нужно еще лететь обратно. Слишком уж продолжительным оказывается путешествие. Думается, что такие, особенно первые, пробные путешествия целесообразно осуществлять за срок творческой жизни человека. К тому же, если полет будет совершаться слишком долго, бурно развивающиеся на Земле наука и техника позволят за это время настолько усовершенствовать звездолеты, что новые корабли достигнут цели раньше, чем вернется первый разведчик. Добытые им сведения могут в значительной мере потерять свою ценность.

Очевидно, для сокращения сроков путешествия необходимо увеличить скорость полета. И поскольку мы имеем дело с расстояниями, которые луч света проходит за годы (от Солнца до Земли он доходит за 8 минут), потребуется создать аппараты, движущиеся со скоростями порядка скорости света, и обеспечить их энергетические потребности.

В ряде статей и брошюр, опубликованных в последнее время, приводятся многочисленные и часто различные результаты оценок характеристик звездолетов. Известно, однако, что окончательные результаты вычислений, без приведения хотя бы в общих чертах хода самих расчетов, обычно кажутся не очень убедительными. Кроме того, некоторым читателям, может быть, захочется самим выполнить расчет оценки возможностей звездолета для маршрута, который им представляется интересным.

Итак, оценивая перспективы использования реактивного двигателя любого типа, предлагаемого для галактического корабля, следует выяснить два принципиальных вопроса. Во-первых, может ли этот двигатель обеспечить скорость полета, сравнимую со скоростью света. Для этого, как явствует из формулы К. Э. Циолковского, скорость истечения рабочего тела из камеры сгорания может уступать скорости света не более чем на один порядок, т. е. составлять хотя бы десятки тысяч километров за секунду. Во-вторых, возможно ли, используя предлагаемый двигатель, обеспечить энергетические потребности звездного корабля.

С этих позиций и следует оценивать возможности каждого из типов двигателей.

Обратимся прежде всего к рассмотрению принципов работы и некоторых особенностей разнообразных известных схем двигателей для космических кораблей, чтобы выбрать те из них, которые можно использовать для будущих межзвездных путешествий. Эти двигатели могут быть разделены, например по способу передачи тепла отбрасываемому из ракеты рабочему телу, на три группы (рис. 3).

1. Двигатели, у которых смесь, образующаяся в камере, служит одновременно источником тепла и рабочим телом (р. т.). При истечении рабочего тела (вещества) из сопла создается тяга ракеты.
2. Несколько сложнее двигатели, у которых источник тепла и рабочее тело разделены. В такой схеме рабочее тело нагревается, проходя, например, через атомный реактор.



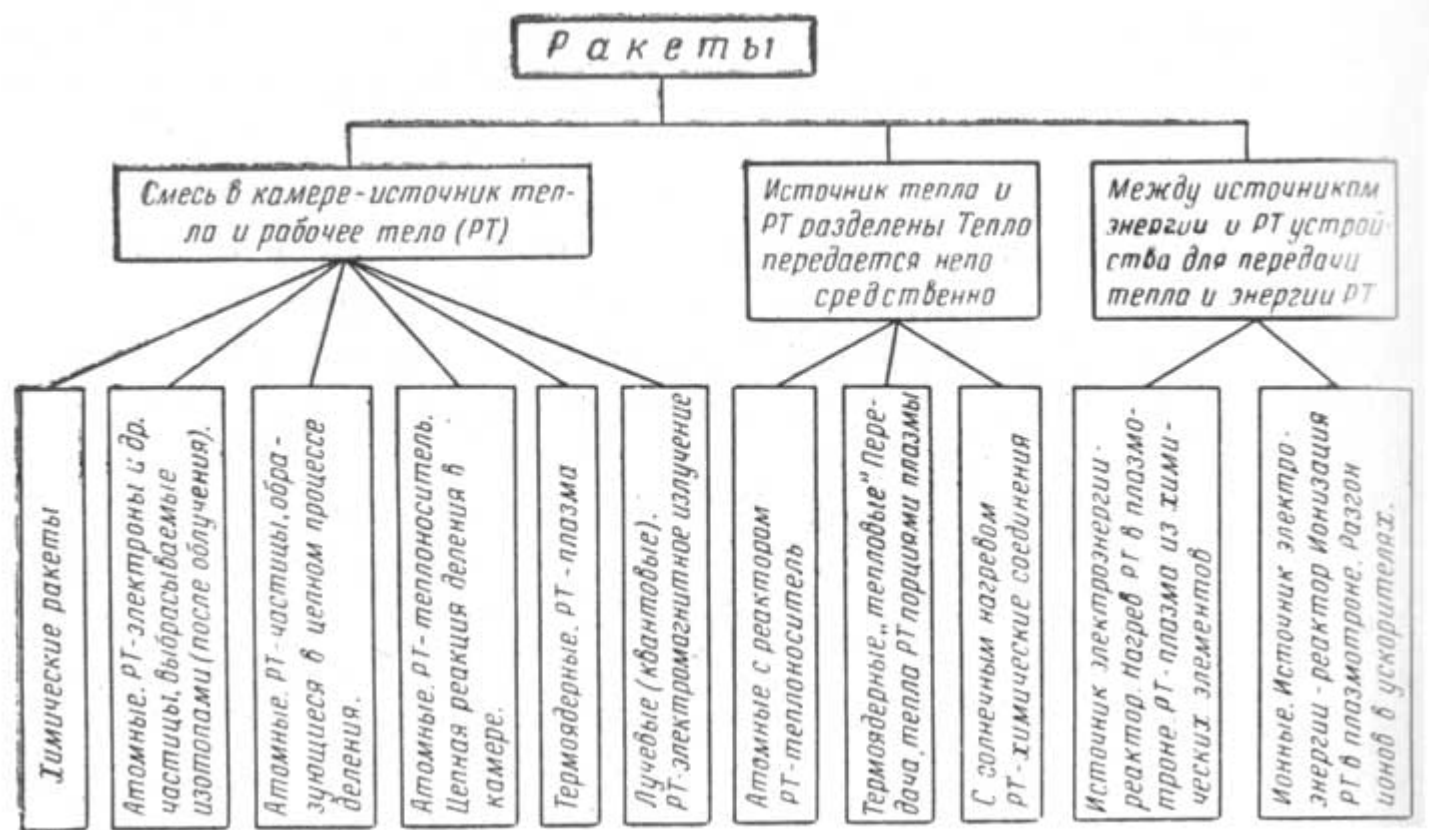


Рис.3. Классификация двигателей космических аппаратов по способам передачи тепла рабочему телу

3. Наконец, еще сложнее двигатели, у которых между источником тепла и рабочим телом размещаются устройства, с помощью которых энергия передается рабочему телу.

Однако лишь некоторые из многообразных схем ракетных двигателей могут считаться принципиально пригодными для звездных кораблей.

Весовое совершенство силовой установки космического корабля можно охарактеризовать ее удельным весом  $\gamma_{дв}$ , т. е. отношением полного веса силовой установки (веса аппарата за вычетом веса полезного груза и топлива) к получаемой полной тяге двигателя. Принимаем, что это отношение сохраняется неизменным по мере уменьшения начального веса силовой установки (например, в связи со сбрасыванием опорожненных баков соответственно уменьшается тяга):

$$\frac{G_{дв}}{P_n} = \gamma_{дв} \quad (2.1)$$

Удельный вес характеризует, в частности, и достижимое ускорение — темп разгона летательного аппарата, а следовательно, если его энергетические потребности обеспечены, определяет и время путешествия на определенное расстояние. При оценке двигателей нам придется обращаться и к другому важному параметру — так называемой удельной тяге  $P_{уд}$ , т. е. тяге, которая может быть получена, если израсходовать в двигателе 1 кг топлива за 1 сек. Для вычисления удельной тяги нужно полную тягу двигателя (в кг) разделить на общий расход топлива в секунду:

$$\frac{P_n}{G_{т}} = P_{уд, сек} \quad (2.2)$$

Удельной тягой определяется удельный расход топлива  $G_{т,уд}$ . Для создания 1 кг тяги, например, за 1 сек:

$$\frac{G_{\tau}}{P_{\pi}} = G_{\tau.уд} \cdot \frac{1}{сек} \quad (2.3)$$

При определении удельной тяги двигателя надо учитывать также расход топлива, необходимый для привода устройств, обеспечивающих его работу. Например, у всех двигателей — для устройств, подающих рабочие тело, а у ионного двигателя, кроме того, на работу испарителей, ускорителей ионов и т. п.

Чем больше удельная тяга, тем меньше удельный расход топлива, т. е. выше экономичность двигателя. Иными словами, если на двух летательных аппаратах установлены два двигателя равной тяги, но различной удельной тяги, то при одинаковых запасах топлива аппарат с двигателем большей удельной тяги будет действовать дольше. Следовательно, он преодолеет большее расстояние. Увеличение удельной тяги позволяет уменьшить отношение начального, стартового веса аппарата к его конечному весу, а значит облегчает создание космического корабля.

Отметим также, что величина удельной тяги ракетного двигателя зависит от термического коэффициента полезного действия  $\eta_{\tau}$ , т. е. отношения кинетической (скоростной) энергии, сообщенной в двигателе рабочему телу, ко всей теплотворной способности топлива:

$$\eta_{\tau} = \frac{v_{p.\tau}^2}{2g \frac{H_u}{A}} \quad (2.4)$$

где  $v_{p.\tau}$  — скорость истечения рабочего тела, *м/сек*;

$g$  — ускорение силы тяжести, *м/сек<sup>2</sup>*,

$H_u$  — теплотворная способность топлива, *ккал/кг*;

$A = \frac{1}{427}$  — механический эквивалент тепла, *ккал/кгм*.

Преобразование теплотворной способности топлива в кинетическую энергию истекающей струи происходит с потерями: часть тепла уносится с истекающим телом, а часть по тем или иным причинам не выделяется (неполнота сгорания).

Удельная тяга может быть подсчитана по уравнению:

$$P_{уд} = \frac{v_{p.\tau}}{g} \quad (2.5)$$

Таким образом,

$$P_{уд} = \sqrt{\frac{2}{gA} H_u \cdot \eta_{\tau}} \quad (2.6)$$

Следовательно, удельная тяга тем выше, чем выше теплотворная способность используемого горючего и термический к.п.д. Увеличение теплотворной способности топлива — один из наиболее эффективных способов увеличения удельной тяги. Например, при использовании ядерного горючего U-235, теплотворная способность которого  $1,6 \cdot 10^{10}$  *ккал/кг*, т. е. примерно в 2 млн. раз выше, чем любого химического топлива, количество полезно реализуемого тепла, по сравнению со случаем использования химического топлива,

выросло бы примерно в 1400 раз. Однако ясно, что увеличение теплотворной способности горючего при его непосредственном использовании в камере сгорания аппарата возможно лишь до тех пор, пока удастся справиться с задачей защиты от перегрева стенок камеры, в которой осуществляется процесс. В варианте двигателя, когда жидкий водород нагревается в ядерном реакторе, теплотворная способность ядерного горючего используется лишь в малой степени и удельная тяга увеличивается лишь примерно в 3 раза по сравнению с удельной тягой двигателя, работающего на самом эффективном химическом топливе.

Когда осуществление тепловой защиты стенок становится невозможным или конструктивно неосуществимым, приходится обращаться к другим схемам двигателей, не

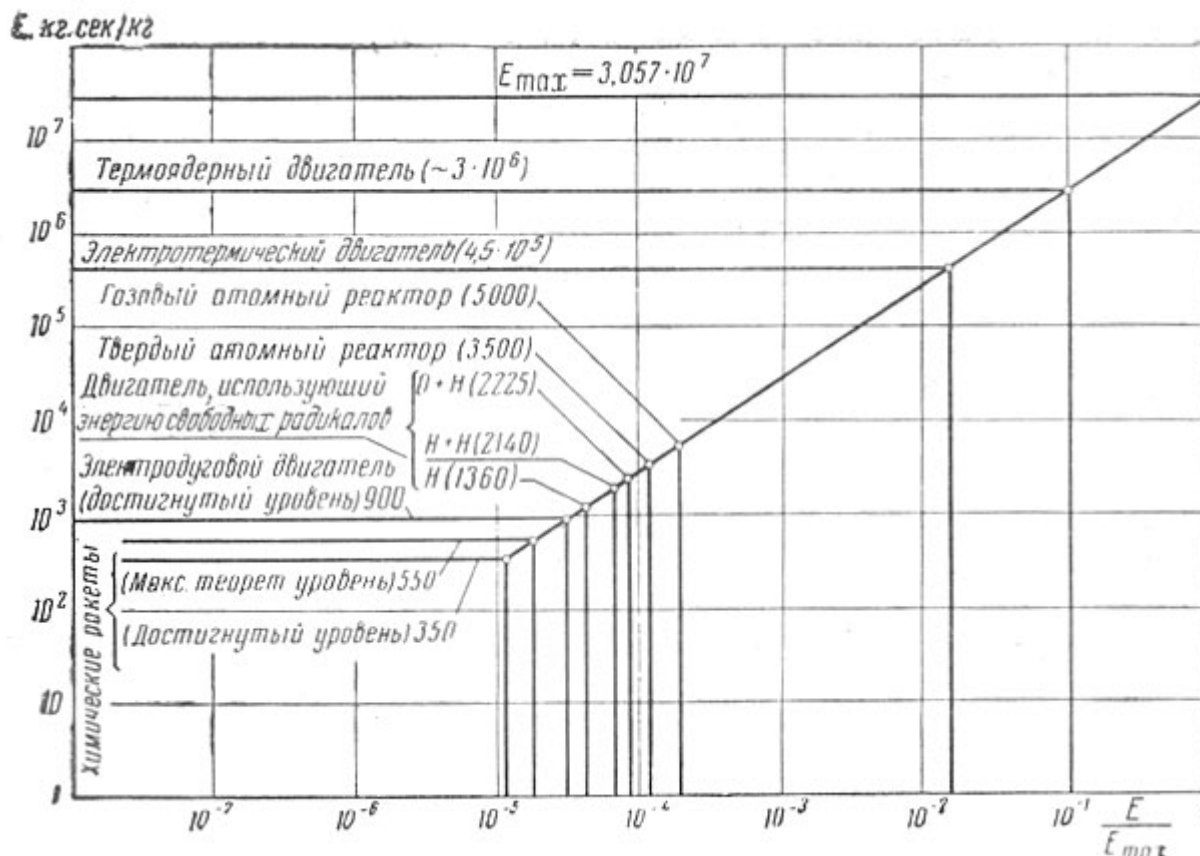


Рис. 4. Удельные тяги, которые могут быть получены при использовании двигателей различных типов

требующим столь высокого нагрева. В противном случае, поскольку  $P_{уд} \cong \frac{v_{пр}}{10}$ , а для достижения минимально необходимой скорости галактического корабля скорость истечения рабочего тела может уступать не более чем в 10 раз скорости света, удельная тяга, получаемая при отбрасывании рабочего тела, может уступать не более чем в 100 раз удельной тяге, получаемой при электромагнитном излучении. Уже в этом случае, как показывают расчеты, неизбежны чрезвычайные трудности по обеспечению энергетических потребностей звездного корабля. Задача принципиально упрощается, если тяга создается за счет непосредственного отбрасывания такого идеального рабочего тела для галактических кораблей, как электромагнитное излучение. Удельные тяги, которые могут быть получены при использовании двигателей разных типов<sup>1</sup>, представлены на рис. 4.

<sup>1</sup>Sutton G. P. «Journal of the Aero Space science», № 10, p. 609-625.

С учетом сказанного выше попытаемся представить себе перспективы использования некоторых двигателей для галактических кораблей.

### Годятся ли современные ракеты?

Ракета в процессе работы ее двигателя представляет собой перемещающееся тело с убывающей массой. При этом в идеальном случае ракета не подвергается действию каких-либо внешних сил.

Более чем полвека назад К. Э. Циолковский установил, что конечная скорость ракеты возрастает с увеличением скорости истечения рабочего тела, например газов, из камеры ракеты и в меньшей степени — с увеличением отношения начального веса ракеты к конечному (т. е. к весу той части ракеты с полезным грузом, которая завершает полет):

$$v_k = v_{p.t} \ln \frac{M_0}{M_k} = 9,81 P_{уд} \ln z, \quad (2.7)$$

где  $v_{p.t}$  — скорость истечения газов (рабочего тела) из камеры сгорания;

$M_0$  — начальная масса ракеты (на старте);

$M_k$  — конечная масса ракеты;

$$\frac{M_0}{M_k} = z.$$

«Когда масса ракеты,— писал К. Э. Циолковский, — плюс масса взрывчатых веществ, имеющихся в реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость ракеты увеличивается в прогрессии арифметической»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Уравнение Циолковского определяет скорость ракеты при отсутствии воздействия на нее каких-либо внешних сил, так называемую характеристическую скорость ракеты.

Из формулы Циолковского следует, что если заполнить ракету топливом на 63%, т. е. когда ее начальная масса в 2,7 раза больше конечной, скорость полета ракеты достигнет лишь скорости истечения газов из ее сопла (так как  $\ln 2,7=1$ ).

Для дальнейшего увеличения скорости полета ракеты необходимо облегчать вес ее конструкции, увеличивая в то же время количество топлива на борту; тогда ракета разовьет скорость большую, чем скорость истечения газов.

Однако возможности увеличения отношения масс ограничены. В самом деле, обычное ведро, в котором носят воду, весит примерно 1 кг и вмещает около 14 кг жидкости, и, таким образом, для него соотношение масс всего лишь 15; железнодорожные цистерны вмещают по весу примерно в 13 раз больше топлива, чем весят сами. Для одноступенчатой ракеты такого соотношения масс добиться нельзя. Ведь ракета — это не просто летающий бак. Кроме горючего и емкостей для его размещения, большая доля веса ракеты должна приходиться на ее оболочку, подкрепленную специальными элементами. Ракета «плотно набита» многочисленными устройствами для хранения и подачи топлива в камеры сгорания мощных двигателей, для быстрого его сжигания, автоматами для управления и т. п.

Мощность силовых установок крупных современных ракетных аппаратов, создающих тягу более 100 т, достигает на наибольшей скорости полета первых ступеней, хотя и на короткий срок, нескольких миллионов лошадиных сил. Гидростанция такой мощности по своим масштабам приближалась бы к Куйбышевской. Основные и вспомогательные сооружения Куйбышевской ГЭС занимают территорию, на которой самая мощная современная ракета, имеющая длину несколько десятков метров, показалась бы лишь маленьким столбиком. А ведь мощность двигателей, втиснутых в сравнительно небольшой объем этой ракеты, может быть даже больше, чем мощность такой электростанции. Поэтому трудно ожидать, чтобы соотношение масс для одноступенчатой ракеты превысило 6-8.

Чтобы повысить количество запасаемого топлива по сравнению с конечным весом конструкции ракеты и груза, ее приходится делать в виде составного «тающего» поезда, т. е. создавать ракету из нескольких

ступеней<sup>1</sup>. В этом случае после использования топлива из первой ступени она сбрасывается, начинает работать двигатель следующей ступени и т. д.

<sup>1</sup> Идея применения составных ракет, позволяющих увеличить дальность полета, была впервые высказана К. Э. Циолковским в работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» в 1924 г. Позже в работе «Космические ракетные поезда» (1929 г.) Циолковский создал теорию полета таких ракет.

Характеристическая скорость многоступенчатой ракеты равна сумме произведений скоростей истечения, умноженной на натуральные логарифмы от отношений начальной и конечной масс для каждой ступени.

$$\left( \bar{M} = \frac{M_0}{M_k} \right)$$

Можно показать, что если скорость истечения и отношение масс для каждой из ступеней одинаковы, то для достижения наибольшей характеристической скорости последней ступени (груза) ракеты начальные массы ступеней должны распределяться по закону геометрической прогрессии:

$$\frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{M_{02}}{M_{03}} = \frac{M_{n-1}}{M_n} \quad (2.8)$$

или

$$\frac{M_i}{M_{i-1}} = \left( \frac{M_0}{M_{\Pi}} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2.9)$$

где  $M_{01}, M_{02} \dots M_{0n}$  — начальные веса ступеней.

Характеристическая скорость такой ракеты из  $n$  ступеней будет выражаться зависимостью:

$$v_K = n v_{p.r} \ln \left[ \frac{1}{\frac{1}{\bar{M}} + \left( \frac{M_{\Pi}}{M_0} \right)^{\frac{1}{n}}} \right], \quad (2.10)$$

где  $M_{\Pi}$  — масса полезного груза;

$\bar{M}$  — постоянное для каждой ступени отношение масс;

$n$  — число ступеней;

$v_{p.r}$  — скорость истечения рабочего тела.

Можно показать, что в зависимости от отношения  $\frac{v_K}{v_{p.r}}$  имеется оптимальное отношение числа ступеней, обеспечивающее минимальное отношение  $\frac{M_0}{M_{\Pi}}$

Именно в таком многоступенчатом варианте удалось при современном уровне ракетной техники создать советскую межконтинентальную баллистическую ракету

со скоростью полета 25 тыс. км/час, затем разогнать спутники до скорости около 30 тыс. км/час и, наконец, запустить космическую ракету со скоростью около 40 тыс. км/час. Однако с увеличением числа ступеней ракета конструктивно все более усложняется, а выигрыш в скорости все уменьшается. Становится очевидным, что только увеличение скорости истечения рабочего тела и, в конечном счете, отыскание новых рабочих тел, позволяющих решить эту задачу, может обеспечить дальнейшее повышение скорости ракеты.

Пятьдесят лет назад, изыскивая пути очень большого увеличения скоростей ракет, К. Э. Циолковский писал, что «... 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 такую скорость реактивного прибора, при которой достижение ближайшего солнца (звезды) сократится на 10-20 лет. Тогда, чтобы ракета весом в тонну разорвала все связи с солнечной системой, довольно было бы шепотки радия». В 1926 г. Циолковский замечает: «Разложение атомов есть источник огромной энергии...»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> К. Э. Циолковский. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Собр. соч., т. II. М., Изд-во АН СССР, 1954.

Достигнутые скорости истечения газов из камер химических ракет составляют для пороховых топлив приблизительно 2 км/сек, для современных жидких топлив — более 3 км/сек.

Наибольшая возможная скорость истечения при использовании химических топлив, как показывают расчеты, составляет около 5,5 км/сек. Таким образом, ввиду относительно небольших максимально возможных скоростей полета, ракеты на химическом топливе для полета за пределы Солнечной системы оказываются непригодными. Об этом свидетельствуют характеристики, приведенные на рис. 5, охватывающие весь возможный для химических

ракет диапазон скоростей истечения газов и отношений масс вплоть до

$$\bar{M} = \frac{M_0}{M_k} = 100 \text{ (для одного разгона,}$$

что для двух разгонов и двух торможений, т. е. для полета к цели и обратно, составит  $\bar{M} = 10^8$ ), а также на рис. 6, где представлены отношения начальной массы ракеты к массе ее полезной нагрузки при оптимальном

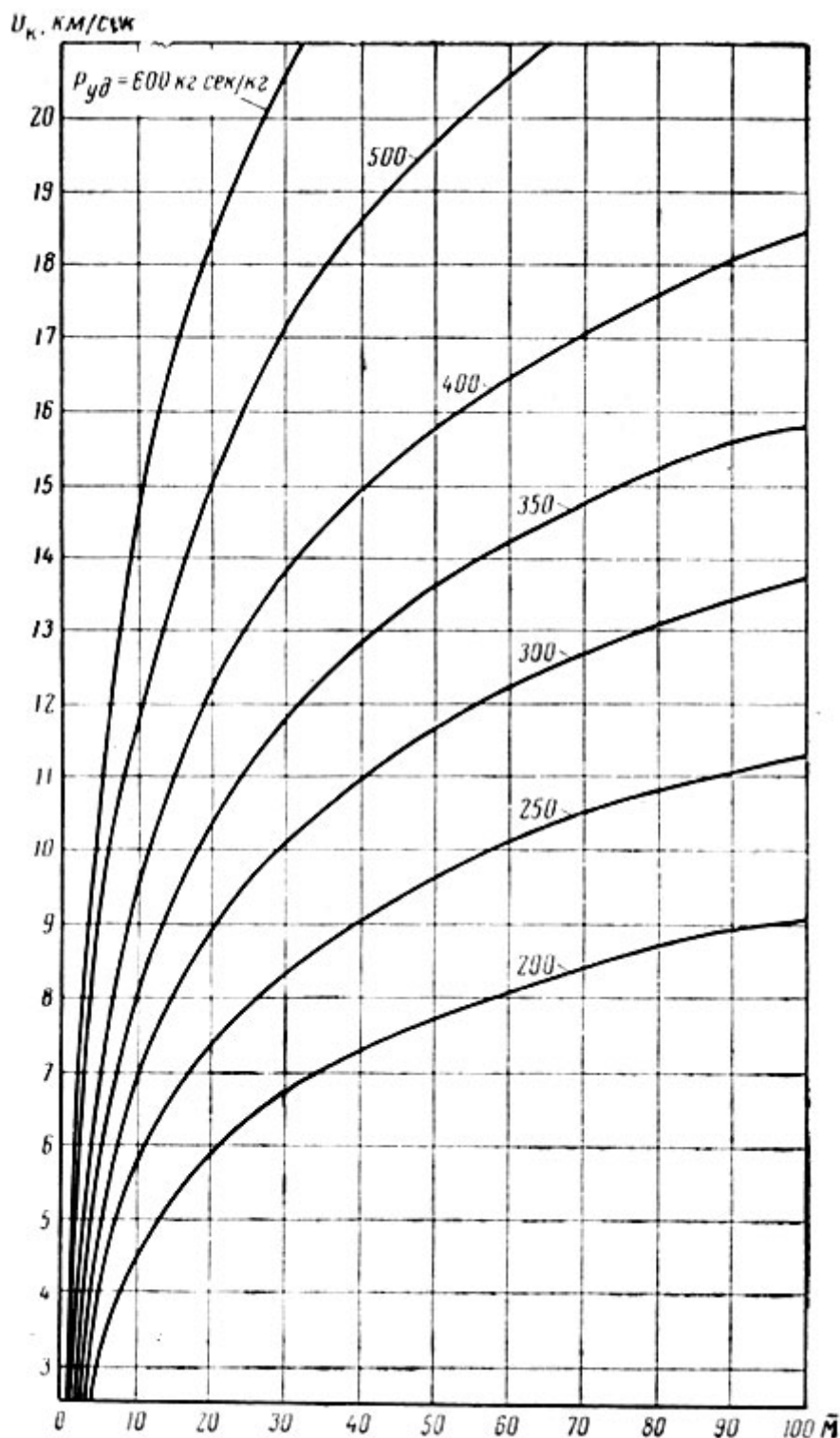


Рис. 5. Зависимость максимально достижимой скорости полета ракеты, определенной по формуле Циолковского, от отношения масс и удельной тяги двигательной установки



$$v_k = K \cdot v_{пр} \ln \frac{M_0}{M_{п}}$$

числе ступеней, вычисленные по уравнению совершенна:  $\bar{M} = 10$  (соответствующее значение  $K \approx 0,67$ ).

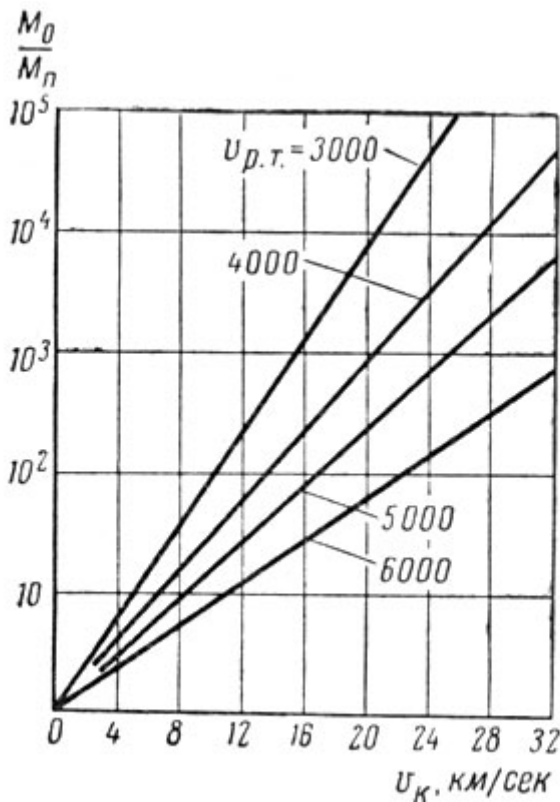


Рис. 6 Отношение начального веса ракеты к весу ее полезной нагрузки  $\frac{M_0}{M_{п}}$  в зависимости от

характеристической скорости при  $\bar{M} = \frac{M_0}{M_{к}}$

$= 10$  для каждой из ступеней ( $K = 0,67$ )

Не смогут обеспечить необходимых скоростей истечения и ракетные двигатели так называемых термических ракет, у которых рабочее тело прокачивается через атомный реактор, где оно разогревается и затем выбрасывается из сопла.

Даже если бы при такой схеме удалось использовать в камере двигателя термоядерную реакцию и обеспечить за счет разогрева газообразного рабочего тела скорость его истечения порядка 15 км/сек, то и тогда скорость полета ракеты с оптимальным числом ступеней, отношением масс в каждой ступени  $\bar{M} = 10$  и отношением начальной

массы к массе полезного груза  $\frac{M_0}{M_{п}} = 10^4$  не превысила бы 150 км/сек. Однако и этого, конечно, совершенно недостаточно для полета к звездам.

### Заманчивый, но неосуществимый проект

Рассмотрим возможности использования ядерной ракеты, тяга которой должна создаваться за счет осколков ядер, образующихся в ходе цепной реакции деления и выбрасываемых затем упорядоченной струей из сопла. Скорость таких частиц в момент деления составляет десятки тысяч километров в секунду, а количество делящегося материала может исчисляться килограммами. Казалось бы, это и есть путь к окончательному решению проблемы межзвездного полета!

Однако этот заманчивый проект сразу же наталкивается на препятствия. Дело в том, что при распаде ядер всего лишь 1 г урана-235 выделяется количество тепла, соответствующее мощности в 100 млн. л. с. Поэтому тепловая мощность двигателя ядерной ракеты достигнет многих миллиардов лошадиных сил, что сравнимо с атомным взрывом в камере сгорания. Конечно, это привело бы к мгновенному испарению камеры под действием ударов осколков, образующихся при цепном процессе деления. Вот почему появились публикации<sup>1</sup> о необходимости балластирования атомного взрыва в камере. При этом для мощных ракет предлагался импульсный ядерный двигатель, в камере которого каждую секунду происходит по атомному взрыву, эквивалентному по мощности примерно десятитонной тротиловой бомбе, заключенной в капсулу, заполненную водой.

<sup>1</sup> Т. Р. Cotter. «Aero Space Engineering», 1959, vol. 18, № 2, p. 50--53; J. Grey. «Astronautics», 1959, vol. 4, № 10, p. 23-25, 110, 112.

Выделяющееся при взрыве тепло испаряет и разлагает воду, истекающий пар обеспечивает создание тяги. Таким образом, скорость истечения рабочего тела обуславливается не скоростью осколков ядер, образовавшихся в ходе цепной реакции, а температурой и характером жидкости, окружающей бомбу. Естественно, что истечение будет осуществляться с относительно небольшими скоростями. Не говоря уже об огромных технических трудностях, стоящих на пути создания такого двигателя, ясно, что «звездные» скорости движения с его помощью не могут быть обеспечены.

Но нельзя ли все же сделать так, чтобы почти вся энергия взрыва шла на выброс ядерных частиц из сопла ракеты и лишь ничтожная доля энергии осколков превращалась в тепло? Иначе говоря, добиться того, чтобы двигатель работал в точности противоположно реактору атомной электростанции, где как раз необходимо максимально использовать выделяющееся тепло. Для этого прежде всего горючее должно находиться в газообразном состоянии, при котором осколки ядер медленнее рассеивают свою энергию в тепло. Далее необходимо изолировать осколки от стенок камеры ракеты, например, обеспечив так называемую магнитную защиту, подобную той, которая теперь используется в установках для изучения плазменных шнуров, создаваемых с помощью электрического разряда. Наконец, нужно обеспечить направленный выброс из ракеты ядерных осколков. Эта задача облегчается тем, что осколки при своем образовании очень сильно ионизированы и, значит, ими можно управлять с помощью электрического поля. Но, поскольку ядерные осколки образуются с очень большими скоростями, управление их движением потребует полей огромной силы. Ракету с таким «простейшим» ядерным двигателем пока практически создать невозможно, и поэтому ее называют псевдоракетой.

Однако, как мы уже отмечали, и при очень малой постоянной тяге звездолет с течением времени мог бы набрать значительную скорость. Для создания тяги в несколько килограммов достаточно ежесекундного деления ничтожного количества ядерного горючего; выделяющееся при этом тепло будет таким, что при специальном охлаждении стенки камеры смогут устоять.

Использование множества таких двигателей малой тяги в виде пчелиных сот и позволило бы создать тягу в несколько килограммов. Но реакция деления начнется лишь в тот момент, когда масса делящегося вещества достигнет определенной (критической) величины в объеме с небольшой площадью поверхности, что при сотовой конструкции, по-видимому, невозможно.

Итак, использование частиц, образующихся в результате деления ядерного горючего, без каких-либо дополнительных мероприятий, пока еще не может обеспечить даже очень медленного разгона галактического корабля.

Оценивая возможности других известных схем ракетных двигателей, приходится признать, что, пожалуй, только две из них могли бы обеспечить в будущем скорости, необходимые для полета к звездам в приемлемые сроки, если другие особенности каждой из этих схем не помешают решению такой задачи. Это — электротермические двигатели, создающие тягу за счет отбрасывания разогнанной в ускорителях плазмы, и квантовые ракеты, в которых рабочее тело — поток электромагнитных волн.

## Электротермические двигатели

Газообразное состояние вещества, при котором от его молекул или атомов оторваны один электрон или более и, таким образом, вещество представляет собой в целом нейтральную смесь из положительно заряженных частиц — осколков молекул или атомов — и свободных электронов, называется плазмой. Таким названием она обязана американскому ученому Ленгмюру, проводившему опыты по исследованию этого своеобразного вещества в газоразрядных трубках.

В камере сгорания ракетного двигателя, работающего на химическом топливе, газы сильно разогреваются и затем при расширении в сопле их тепловая энергия переходит в кинетическую. Материальные частицы можно ускорять и другим способом. Например, когда они обладают электрическим зарядом, разгон частиц может быть обеспечен наложением электрического поля. Плазма и служит в качестве рабочего тела для так



называемых электротермических двигателей, т. е. таких, в которых, кроме температуры, обеспечивающей получение и последующий разгон плазмы, для ее ускорения используются также электрические силы.

Уже теперь типы электротермических двигателей весьма разнообразны<sup>1</sup>, однако они еще четко не классифицированы. Поэтому зачастую, встречая то или иное название двигателя, нельзя сразу представить себе, о какой схеме идет речь.

<sup>1</sup> М. Г а м а с . «Astronautics», 1959, vol. 4, № 10, p. 31-33, 113-115.

По характеру используемого рабочего тела электротермические двигатели удобно разделить (рис. 7) на плазменные, в которых происходит ускорение неразделенной плазмы, и ионные, в которых ионы и электроны плазмы предварительно разделяются и лишь затем осуществляется разгон ионов с их последующей нейтрализацией электронами при выходе из сопла двигателя.

Плазменные двигатели, в свою очередь, по способу ускорения рабочего тела можно разделить на термические, магнито-электрические и двигатели с магнитным давлением. В термических двигателях ускорение плазмы обеспечивается главным образом за счет ее теплового расширения. Высокотемпературный нагрев при этом осуществляется, например, за счет использования электрической дуги, и поэтому двигатель может быть назван термическим электродуговым, либо путем применения токов высокой частоты, что позволяет назвать двигатель термическим высокочастотным.

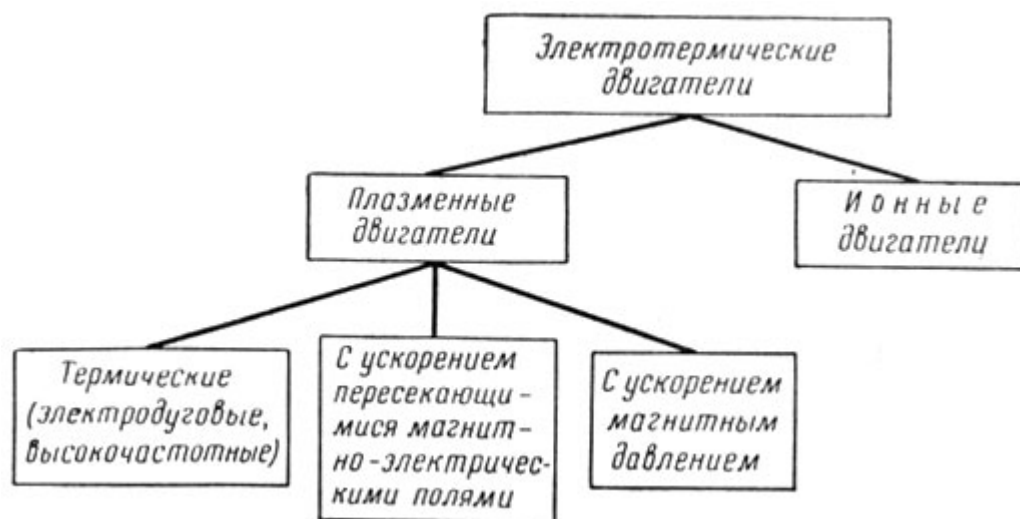


Рис. 7. Классификация электротермических двигателей

Термические двигатели могут служить источником горячей плазмы для других типов двигателей, в которых дальнейший разгон плазмы обеспечивается за счет пересекающихся магнитных и электрических полей или за счет магнитного давления.

Можно отметить, что плазменные двигатели в зависимости от температуры (которая принципиально может составлять от нескольких тысяч до 150 и более тысяч градусов) могут обеспечивать тягу за счет использования различных физических процессов, возникающих в рабочем теле.

При сравнительно низких температурах тяга будет получаться за счет непосредственного выбрасывания разогнанных и сфокусированных частиц, составляющих струю плазмы. При очень высоких температурах тяга все в большей степени будет создаваться за счет светового (квантового) излучения. Предполагается, что при температуре 150 000°K может быть достигнуто излучение абсолютно черного тела. При этом энергия, введенная в плазму, будет превращаться в излучение<sup>1</sup> и световое давление может оказаться существенным.

<sup>1</sup> Напомним, что если бы удалось получить термоядерную реакцию в самой плазме, энергия выделялась бы за счет убывания лишь примерно  $1/100$  массы вещества, участвующего в реакции. Можно предположить также, что энергия подводится к плазме от внешнего источника.

Таким образом, «горячий» плазменный двигатель при повышении температуры становится «лучевым»-фотонным или квантовым двигателем. При этом нужно иметь в виду, что, как и ранее, приведенное название двигателя — фотонный — характеризует лишь то рабочее тело, за счет выбрасывания «радиации» которого создается тяга.

## Плазменные двигатели

Итак, плазменные электротермические двигатели будущего — это своеобразные летающие ускорители. Поскольку скорости истечения, которые удастся сообщить плазме с помощью ускорителей, велики, удельная тяга и предполагаемые конечные скорости полета «плазмолетов» могут быть очень большими.

Это означает, что такие двигатели весьма многообещающи при использовании их в космосе. Вот почему в мировой печати появляется все больше сообщений о плазменных двигателях<sup>2</sup>. Авторы этих сообщений считают, что применение плазменных двигателей позволит уменьшить до приемлемых значений стартовые массы кораблей, которые при использовании химических двигателей чрезмерны даже для путешествий в пределах Солнечной системы. Предполагается, что плазменные двигатели перспективны для управления спутниками, для перевода спутников с орбиты на орбиту, для автоматических лабораторий, выполняющих самые сложные исследовательские задачи при облете планет, входящих в Солнечную систему.

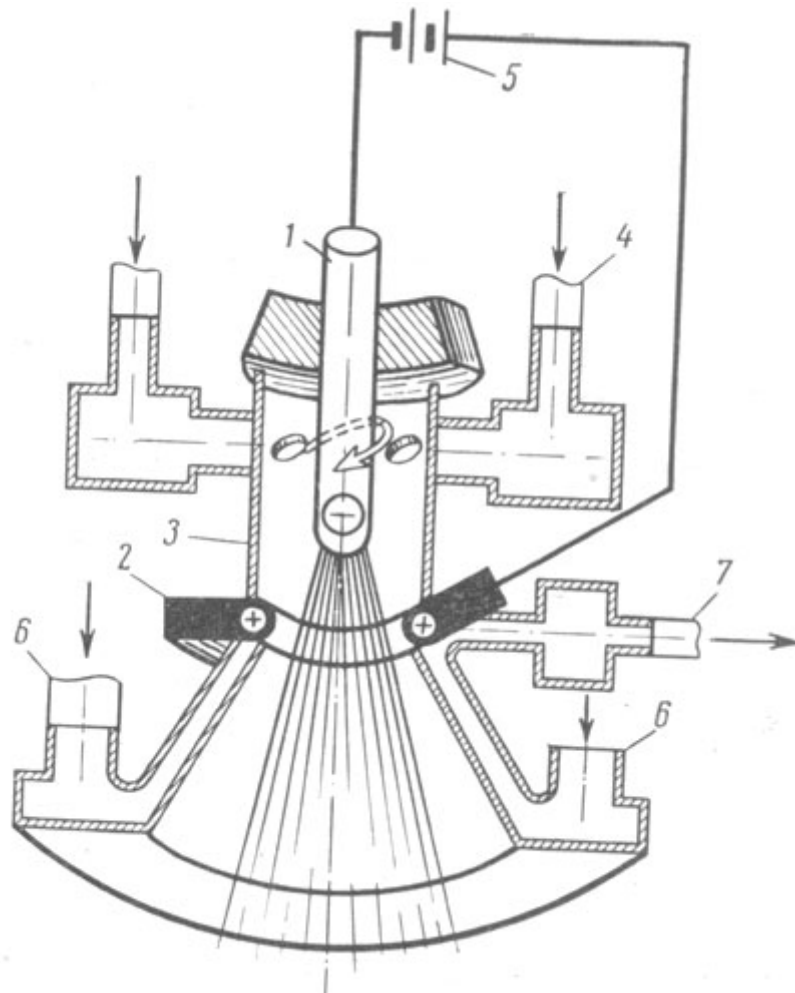


Рис. 8. Электродуговой генератор плазмы  
1 - анод; 2 - катод; 3 - корпус генератора; 4 - подвод газа; 5 - источник питания; 6 и 7 - подвод и отвод жидкости для охлаждения сопла и корпуса генератора

<sup>2</sup> См., например, «Missiles and Rockets», 1960, vol. 6, №9, p. 21; «Aviation Week», 1959, vol. 70, № 26, p. 47-48.

Прототипы плазменных ускорителей, так называемые плазмотроны (рис. 8 и 9) уже несколько лет используются в качестве высокотемпературных горелок для сварки и резки металлов, их применяют также для обдувки на стендах головок ракет<sup>1</sup>. Такая модель позволяет изучать явления, происходящие при возвращении головок ракет из космоса в атмосферу.

<sup>1</sup> См. В. А. Парфенов. Плазменная горелка. «Наука и жизнь», 1960, № 5.

Если в качестве рабочего тела для плазмотрона применить водород, то температура для его ионизации должна быть поднята до  $10\ 000^\circ$ ; при  $14\ 000^\circ$  удастся интенсивно ионизировать азот.

При использовании такого ускорителя в качестве двигателя нагрев газа и превращение его в плазму могут осуществляться также и с помощью токов высокой частоты в трубке — сердечнике индукционной катушки. Дальнейший разгон плазмы происходит как за счет ее расширения, так и за счет разности потенциалов, приложенной на катоде и аноде.

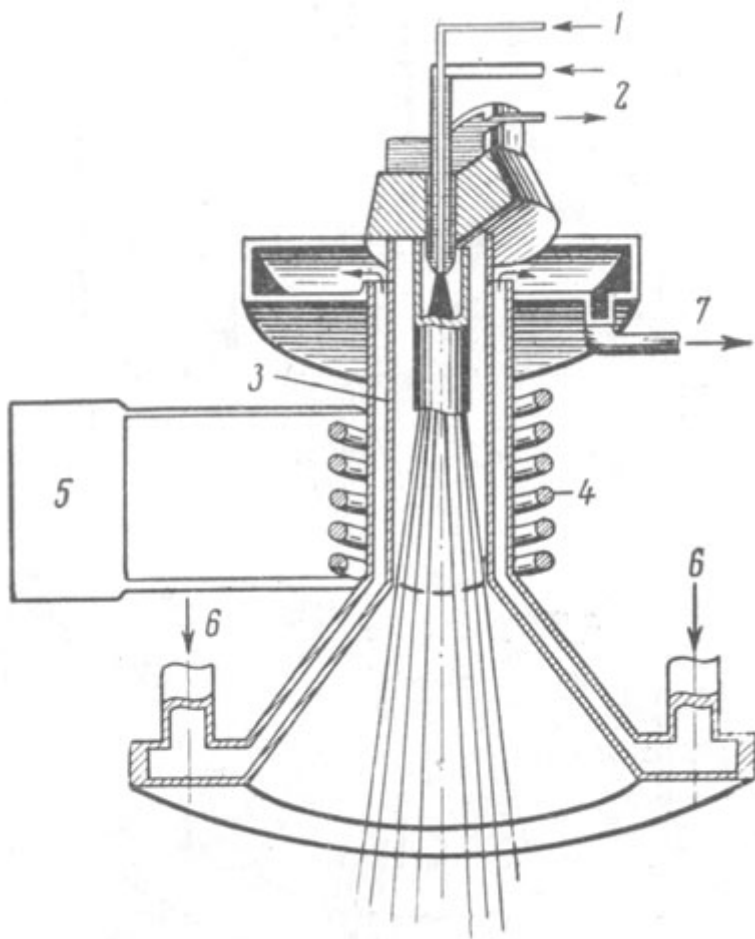


Рис. 9. Высокочастотный генератор плазмы

1 - подвод газа; 2 - подвод и отвод жидкости для охлаждения форсунки;  
3 - корпус генератора; 4 - высокочастотная катушка; 5 - источник питания, 6 и 7 - подвод и отвод жидкости для охлаждения сопла и корпуса генератора

тело в межэлектродном зазоре ионизируется, и самоиндуцированное в кольцевом сгустке плазмы магнитное поле отбрасывает его под прямым углом к зазору. Порции плазмы можно получать и за счет «взрыва» проволоочки, подаваемой до ее пересечения с электродами<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. S. Kash, W. Starr. «Manual Meeting of the American Rocket Soc.», 1959, November 16-20, p. 1008-1059.

При изучении плазменных двигателей на Земле их модели помещаются в вакуумные камеры, так называемые бочки, в которых создается очень низкое давление, имитирующее вакуум космического пространства.

Сообщения, появившиеся за последнее время в иностранной печати, свидетельствуют о том, что в лабораторных условиях с помощью плазменных двигателей получены тяги в несколько десятков граммов и достигнуты импульсы в 5-6 раз превышающие те, которые удается обеспечить с использованием современных жидкостных реактивных двигателей<sup>1</sup>.

Принцип работы другого ускорителя плазмы — с пересекающимися полями — нетрудно представить, познакомившись с рис. 10. В этом случае проводник тока — плазма (ток протекает от одной шины — анода к другой — катоду) движется поперек воздействующего на нее магнитного поля.

Своеобразный электромагнитный «плазменный насос» выбрасывает «фонтан плазмы», струя которого и обеспечивает создание реактивной тяги.

Наконец, разгон плазмы может происходить за счет магнитного давления.

Так, при создании плазмоидов — проводящих колец плазмы с током — более высокое напряжение (давление), возникающее внутри колец, приводит к их расширению и выбрасыванию. Для интенсивного разгона плазмы требуются большие токи, которые получаются, например, за счет разрядки системы с батареями конденсаторов.

Схему работы двигателя можно представить себе следующим образом (рис. 11). Порция молекул поступает в пространство между двумя электродами и конденсируется, оседая в промежутке между ними и заплывая его. В этот момент подается рабочее напряжение, рабочее

Так, В. Х. Бостик сообщил о постройке небольшого пульсирующего двигателя со средней тягой около 20 г, выбрасывающего 100 сгустков плазмы в секунду со средней скоростью до 10 км/сек. Опубликованы результаты исследования<sup>2</sup> модельного электродугового двигателя мощностью 30 квт, проработавшего непрерывно 50 час., выбрасывающего гелий и водород со скоростью до 15 км/сек; тяга модели двигателя достигала 300 г.

<sup>1</sup>Klass Philip. «Aviation Week», 1959, vol. 71, № 23, p. 83, 87, 89-90.

<sup>2</sup>J. Richard, J. Connors, A. Mironer. В кн.: «XI Internat. Astronaut. Congr.». Stockholm, 1960, p. 232-245.

## Ионные двигатели

Ионные двигатели были впервые предложены еще К. Э. Циолковским. Годдард в 1906 г. писал о том, что электрически заряженные частицы могут применяться для создания тяги. Подробнее о возможностях применения «электрического ветра» для обеспечения космических полетов рассказал через двадцать три года в книге «Вопросы космических полетов» Оберт, указавший, в частности, что русский исследователь Улинский предложил конструкцию ионного двигателя еще в 1923 г. Затем последовал целый ряд теоретических разработок. Естественно поэтому, что ионные двигатели наиболее изучены по сравнению с другими двигателями будущего, предназначенными для получения очень больших скоростей. В 1954 г. Штулингер описал особенности ионных двигателей и предложил ввести характеристики, позволяющие оценивать степень совершенства их конструкции. Наиболее важный из этих показателей — удельная мощность, т. е. мощность (в квт), полученная на каждый килограмм массы установки.

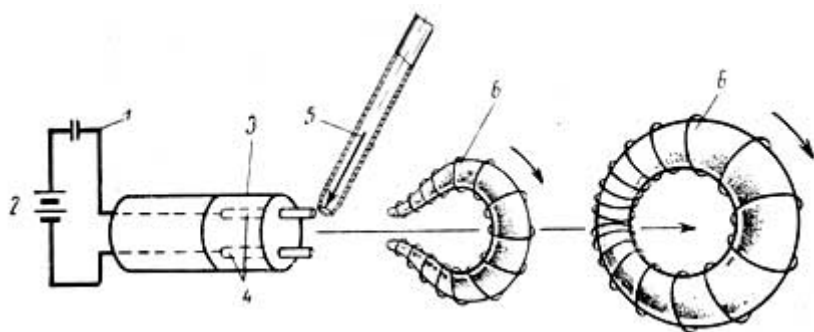


Рис. 11. Ускоритель с разгоном рабочего тела магнитным давлением

1 - конденсатор; 2 - источник разрядного тока; 3 - изолятор; 4 - токопроводящие проводники; 5 - струя пара рабочего тела; 6 - плазмоиды

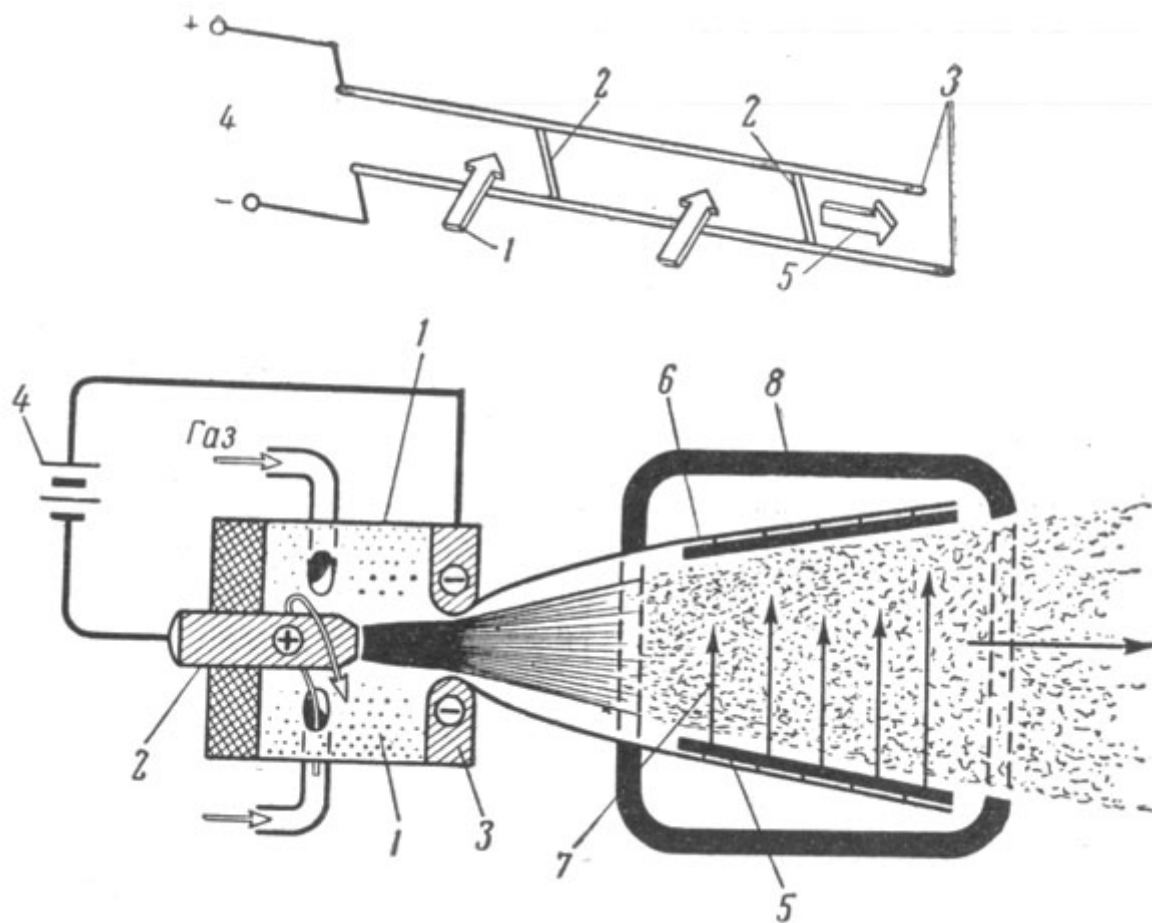


Рис. 10. Ускоритель с пересекающимися магнитными и электрическими полями  
вверху - принципиальная схема действия ускорителя: 1 - магнитное поле; 2 - электрическая дуга в плазме; 3 - рельсовые электроды; 4 - источник питания; 5 - направление движения струи  
внизу - схема двигателя: 1 - корпус плазмотрона; 2 - анод; 3 - катод; 4 - источник питания плазмотрона; 5 - анод тяговой камеры; 6 - катод тяговой камеры; 7 - направление электрического тока; 8 - катушка для создания магнитного поля

На рис. 12 и 13 показаны предполагаемый внешний вид двух ионолетов<sup>1</sup> и схема одной из ионных силовых установок<sup>2</sup>. В силовой установке предусматривается устройство, вырабатывающее электрическую энергию, необходимую для работы двигателя.

<sup>1</sup> D. Ross. «SAE Journal», 1959, vol. 67, № 7, p. 40-42.



Известны разнообразные источники электропитания, которые принципиально могут обеспечить работу ионного двигателя. Мы не сможем сколько-нибудь подробно рассказать о них в этой небольшой книге. Назовем лишь некоторые. Это, например, солнечные батареи на полупроводниках, непосредственное превращение ядерной энергии в электрический ток с помощью батарей излучения, непосредственное превращение термоядерной энергии в электрический ток на установках с пульсирующей плазмой, где, пересекая магнитные силовые линии, пульсирующая плазма возбуждает электрический ток. Разрабатываются также термоэлектрические источники электрического тока<sup>1</sup>. Простейшее устройство такого типа — общеизвестная термопара — спай пары различных металлов, при нагревании которого (в реакторе или, например, в фокусе рефлектора, конденсирующего солнечные лучи) во внешнем проводнике термопары возникает электрический ток. Для получения электроэнергии в количестве, необходимом для работы тяговой камеры, сообщающей ионному потоку требуемую скорость и интенсивность, пожалуй, могут быть использованы силовые установки замкнутого типа — «атомные электростанции», в которых турбина вращает электрогенератор. Можно принять, что для создания тяги всего в 1 г понадобится источник с выходной мощностью 600-800 *вт*.

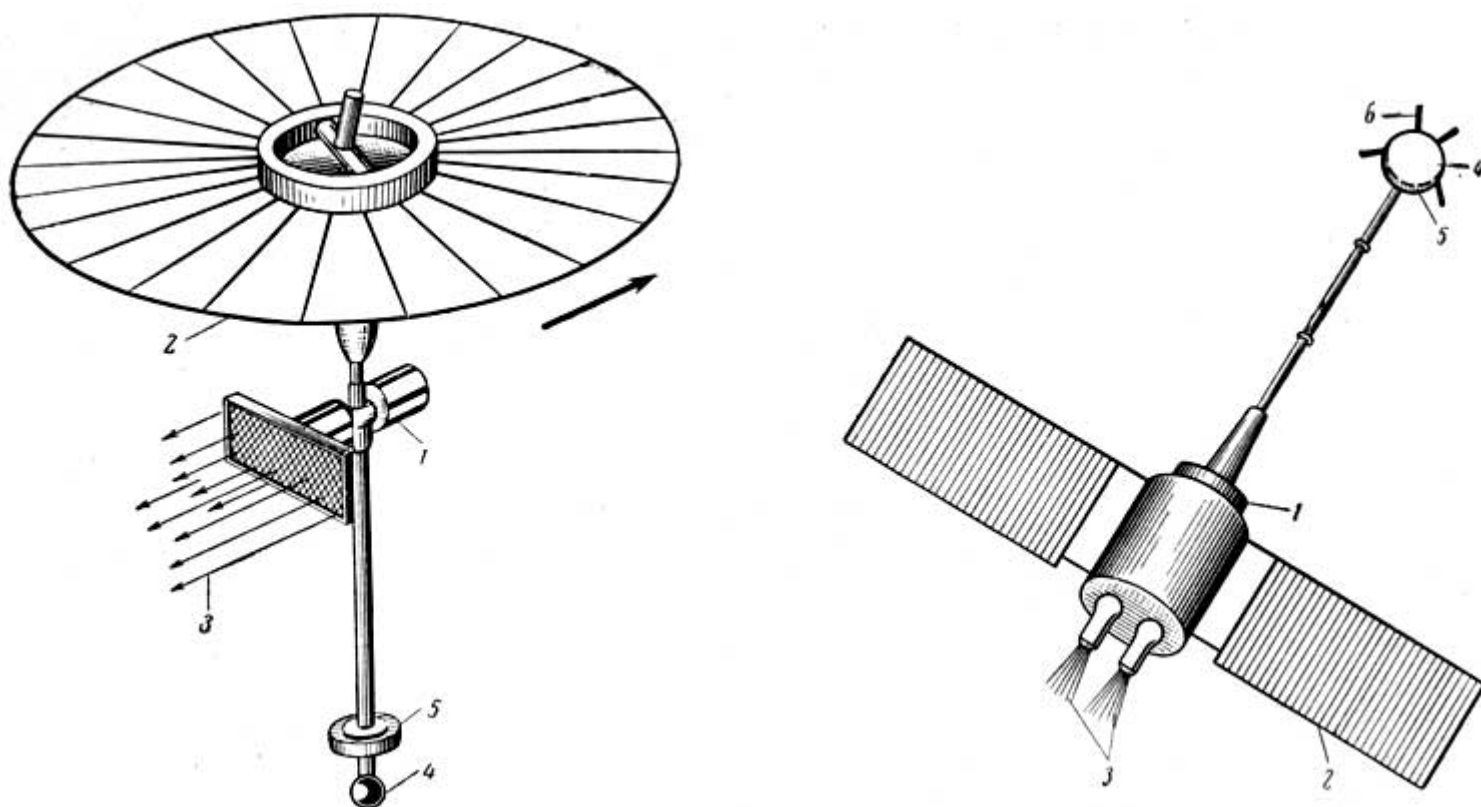


Рис. 12. Внешний вид ионолетов

слева — ионолет с дисковым зонтичным радиатором, справа — ионолет с прямоугольными радиаторами

1 — реактор; 2 — радиатор; 3 — потоки частиц; 4 — космическая лаборатория; 5 — защитный экран (от излучения реактора); 6 — антенны

Таким образом, силовая установка ионолета состоит из двух самостоятельных установок. Одна из них обеспечивает получение электроэнергии, другая служит для подготовки и последующего разгона рабочего вещества, выбрасываемого из тяговой камеры для создания тяги.

Штулингер в развитие идеи Циолковского предложил в качестве рабочих веществ для ионных двигателей цезий и рубидий. Эти два металла выбраны потому, что их атомы обладают сравнительно большим весом и, вместе с тем, хорошо ионизируются. Цезий по сравнению с другими щелочными металлами имеет наиболее низкую температуру плавления (35°) и теплоту парообразования, наибольшие плотность (1,873 г/см<sup>3</sup>) и выход ионов.

<sup>1</sup> W. W. T. C r a n e . International astronomical federation meeting. London, august 30 -September 5, 1959.

Цезий или рубидий нагреваются до испарения и поступают в ионизационную камеру, где установлена раскаленная решетка (катализатор), выполненная, например, из пористого вольфрама. При прохождении через нее атомов паров цезия от них отрываются электроны, т. е. атомы ионизируются, приобретают положительный электрический заряд. При этом число ионизированных атомов достигает почти 100%. Затем ионы разгоняются с помощью ускорителей в тяговых камерах, где господствует естественный вакуум космического пространства, до скоростей порядка 80—200 км/сек. Поток ионов должен быть хорошо сфокусирован, чтобы они не попадали на ускоряющие электроды, так как это вызывает интенсивную эрозию — размывание электродов. Следует отметить, что, поскольку одноименно заряженные частицы взаимно отталкиваются, достигаемая плотность их потока существенно ограничивается.

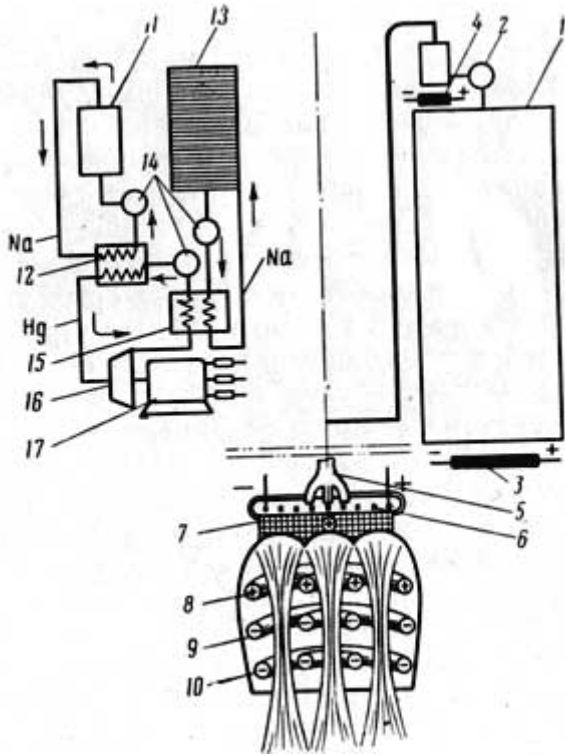


Рис. 13. Схема силовой установки ионолета по одному из проектов

1 — бак с рабочим веществом; 2 — насос для подачи рабочего вещества (возможна также вытеснительная подача с помощью сжатого инертного газа); 3 — нагреватель; 4 — испаритель; 5 — подача пара рабочего вещества; 6 — нагреватель; 7 — пористая вольфрамовая решетка; 8, 9, 10 — фокусирующий ускоряющий и выходной нейтрализующий электроды; 11 — реактор; 12 — теплообменник; 13 — радиатор; 14 — насосы; 15 — натриево-ртутный конденсатор; 16 — парортутная турбина; 17 — электрогенератор

скорости ионов. В то же время мощность, необходимая для разгона струи ионов, и вместе с нею вес энергосиловой установки возрастают примерно пропорционально квадрату скорости ионов. Очевидно, что за увеличение удельной тяги потребуются расплачиваться существенным увеличением веса энергосиловой установки и ее усложнением.

Другой возможный путь увеличения удельной тяги — скорости частиц — заключается в использовании мощности ускорителей для разгона все меньшего количества частиц-ионов, т. е. за счет все большего уменьшения абсолютной тяги. Эта тенденция ясно видна в развитии мощных земных ускорителей, в которых общая сила тока, образованного пучком разогнанных частиц (каждой из них удается сообщить все большую энергию), как это ни парадоксально, уменьшилась в установках 1958 г., по сравнению с установками 1940 г., в миллион раз.

Скорость ионов зависит от напряженности поля, от природы и величины давления газа. Струя разогнанных ионов проходит вдоль разогретого электрода — имиттера, с которого в нее стекают электроны. В результате образуется поток стремительно отбрасываемых нейтральных атомов. Возникает вопрос, почему необходимо нейтрализовать ионы, покидающие ракету? К этому приходится прибегать ввиду следующего обстоятельства. При выбрасывании только одних положительно заряженных ионов накапливался бы пространственный заряд. Корпус аппарата очень быстро зарядился бы до такого высокого отрицательного потенциала, что дальнейшее выбрасывание ионов стало затруднительным и электрический заряд корпуса ракеты начал «всасывать» ионы обратно, внутрь ракеты. Чтобы избежать этого, ионы необходимо нейтрализовать. В конечном счете образуется поток атомов цезия, который беспрепятственно покинет ракету. Нейтрализация ионов обеспечивает также возможность получения большей плотности струи рабочего тела, вытекающей из сопла. Следует также отметить, что при нейтрализации иона, захватывающего электрон, высвобождается примерно в 100 раз большая энергия, чем та, которая может быть получена в ходе химических реакций — наиболее эффективных в энергетическом отношении. И хотя энергия рекомбинации ионов незначительна по сравнению с энергией, приобретаемой ими при разгоне в электрических полях, она все же может быть использована для некоторого дополнительного разогрева вытекающего рабочего тела.

Теоретически ионный двигатель может обеспечить очень большую удельную тягу. Однако на пути практического решения этой задачи возникают серьезные затруднения. Как уже отмечалось, удельная тяга прямо пропорциональна

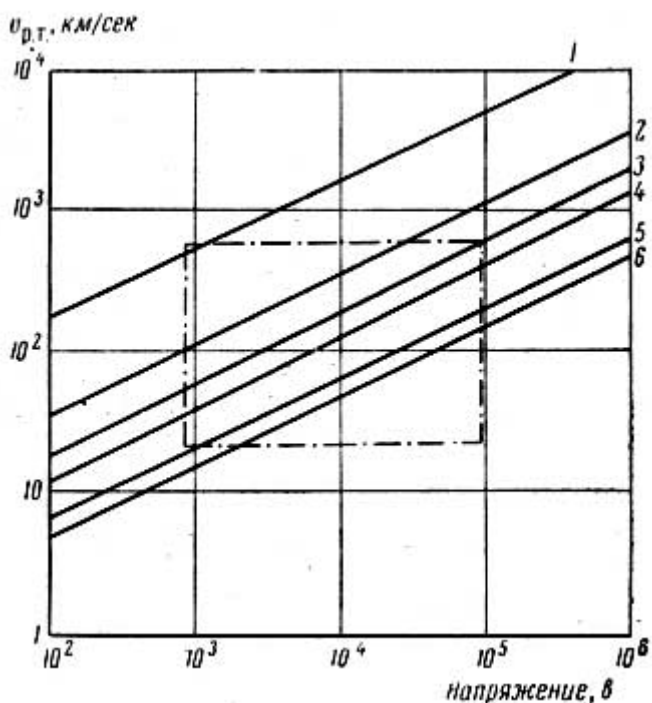


Рис. 14. Зависимость скорости истечения рабочего тела от величины ускоряющего напряжения и массы частиц (пунктиром очерчена область целесообразного применения ионных двигателей)  
 1 — водород ( $\mu=1$ ); 2 — натрий ( $\mu = 23$ ); 3 — свинец ( $\mu = 207$ ); 4 — цезий ( $\mu = 133$ ); 5 — ртуть ( $\mu = 200$ ); 6 — уран ( $\mu = 238$ )

работчих тел с большой массой позволило бы уменьшить площадь тяговой камеры. Однако возможность их использования зависит от того, удастся ли разработать метод для ионизации частиц «тяжелых» работчих тел.

Остановимся подробнее на одном из проектов, в котором предлагается небольшой автоматический космический аппарат — ионолет для облета планет Солнечной системы. Вес этого аппарата, стартующего с орбиты искусственного спутника, на которую он выводится стартовой ракетой, 1,5 т, из них 100 кг приходится на рабочее тело и почти 700 кг на полезный груз (включая приборы для управления на расстоянии). Вес незранированной атомной энергетической установки и электрической системы 520 кг, вес корпуса ионолета 70 кг.

Отсек с исследовательским оборудованием должен выдвигаться от энергетического источника на телескопических стержнях. Приборы, хотя бы с одной стороны, защищаются от излучений реактора. В качестве источника энергии двигателя предусматривается ядерный реактор мощностью около 1000 квт. Тепло от реактора отводится жидким натрием и передается в теплообменнике ртути. Образующиеся пары ртути вращают турбины электрогенератора и затем поступают в конденсатор, где отдают свое тепло натрию, предварительно прошедшему через огромные радиаторы, необходимые для отвода из системы излишнего тепла. Эти радиаторы-излучатели до выведения аппарата на орбиту спутника должны находиться в сложенном виде, подобно антеннам первого советского искусственного спутника Земли, и только при начале работы ионного двигателя под воздействием внутреннего давления должны развернуться. Одновременно с этим отсек с исследовательским оборудованием выдвигается вперед. Электрическая энергия используется для подогрева цезия до температуры 800° и накала вольфрамовых решеток, на которых он ионизируется. Затем в ускорителе поток ионов под действием электрического поля приобретает скорость до 200 км/сек и вытекает с присоединившимся к нему потоком электронов через сопло. Общая сила тяги двух двигателей составит лишь 0,15 кг (их удельный вес  $4,7 \cdot 10^3$ ), и аппарату удастся сообщить ускорение всего 0,01 % от ускорения силы тяжести на Земле.

Столь ничтожные величины тяги и ускорения могут показаться совершенно недостаточными для дальних космических кораблей, ведь даже современные ракеты обладают тягами во много десятков тонн. Но не нужно забывать, что на разгон земной ракеты отводятся десятки секунд, да и движется она в сильном поле

С приближением скорости ионов к скорости света все интенсивнее будет возрастать их масса, а значит и мощность ускорителей, необходимых для разгона. Это практически и ограничивает удельную тягу ионных двигателей.

Высказываются соображения, согласно которым удельные тяги, достижимые при приемлемых весах установок и привычных нам преобразователях тепла в электрическую энергию, могут составить до 20 тыс. кг/кг·сек.

Однако скорости истечения не всегда должны быть самыми большими. Для выполнения каждой задачи, в зависимости от схемы и назначения космического корабля, может быть найдена наиболее выгодная скорость истечения. На рис. 14 показана зависимость скоростей истечения от ускоряющих напряжений для ряда работчих тел с постоянной массой (атомным весом). Специально выделена область оптимальных скоростей истечения и ускоряющих напряжений для двигателей орбитальных, лунных и межпланетных аппаратов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> «Вопросы ракетной техники», 1960, № 10; «Aviation Week», 1959, № 17, p. 68.

Как видно из рисунка, цезий действительно очень выгодно применять для ионного двигателя. Применение

тяготения Земли. Космический корабль будет испытывать значительно меньшее притяжение к небесным телам. Поэтому, даже при столь малой тяге, он постепенно наберет значительную скорость. Это обстоятельство принципиально важно для галактических кораблей, которые, не испытывая на подавляющей части траектории полета притяжения к небесным телам, смогут достигать, даже при малых постоянно действующих ускорениях, скоростей, в десятки тысяч раз превышающих скорости современных ракет.

Как показывают предварительные расчеты, космический корабль-ионолет для доставки на Марс груза в 150 т должен весить при старте около 730 т и иметь на борту около 370 т рабочего тела. Двигательная установка включает несколько тысяч ионизационных камер и размещается в центре тяжести корабля между реакторами и кабинами экипажа. При мощности электрогенератора атомной силовой установки 23 тыс. квт двигатель, в котором ионы разгоняются под действием электрического поля напряжением до 4900 в, смог бы развить тягу до 49,5 кг и сообщить аппарату ускорение порядка 0,0007 м/сек<sup>2</sup>.

Отвод тепла, необходимый для конденсации пара за турбиной, вращающей электрогенератор, предлагается осуществить с помощью огромного диска-излучателя диаметром 115 м, толщиной 6 см в центре и 1 см по краю. Чтобы солнечные лучи не нагревали этот радиатор, он должен всегда поворачиваться ребром к Солнцу.

После достижения наибольшей скорости аппарат должен замедлить свой полет на второй части пути при подлете к Марсу. Продолжительность путешествия в один конец (расстояние от Земли до Марса 78 млн. км) должна составить примерно 400 суток.

Недавно был опубликован оригинальный проект ионолета<sup>1</sup>. Электроэнергию, необходимую для питания его двигателя и оборудования, предполагается получить от двухсот так называемых термоионных преобразователей - специальных устройств, размещенных на поверхности реактора и создающих при нагреве до 2500° электрический ток напряжением 100 в. Реактор мощностью 1000 квт должен содержать 200 кг карбида урана. Поскольку предполагается его буксировать в отдалении от двигателя и аппаратуры на тросе длиной 1800 м, это позволит уменьшить его общий вес (вместе с защитой от излучения) до 3,5 т. Предполагаемое ускорение всей системы, заброшенной в космос, около 0,001 g.

<sup>1</sup> А. Л. Нуснер. Rocketdyne Report, 1959.

Расчеты нескольких вариантов программ полета, позволяющие выяснить возможность использования ионных кораблей для полетов к звездам, приведены ниже в специальном разделе.

За последнее время опубликованы сообщения об испытаниях моделей ионных двигателей очень малых тяг<sup>2</sup>, предназначенных для полетов в пределах Солнечной системы или для управления космическими кораблями. Одна из полноразмерных моделей такого двигателя демонстрировалась в конце 1958 г. Двигатель имел цилиндрическое сопло длиной примерно 60 см и диаметром около 23 см. В качестве рабочего тела могли использоваться четыреххлористый натрий, ртуть, торий, цезий или рубидий. Рабочее тело предварительно превращается в газ и затем поступает в камеру, где с помощью вольтовой дуги создается ионизирующая его высокая температура. После этого ионы разгоняются электростатическим полем до 130-180 км/сек. Тяга двигателя составляет до 0,114 г. Предполагается, что электроэнергию двигатель должен получать от установки с небольшим реактором. Сообщалось о постройке для лабораторных исследований двигателя с тягой 230 г и скоростью ионов 135 км/сек. Важно, что у таких ионных двигателей скорости истечения рабочего тела уже удалось довести примерно до 200 км/сек, т. е. до скорости, почти в 40 раз большей, чем та, которая может быть теоретически достигнута при использовании самого лучшего химического топлива.

<sup>1</sup> См, например, «Aeroplane», 1958, № 2461, p. 906; «Interavia», 1959, № 4220, p. 4.

Следует отметить, что полезная, эффективная площадь струи, отбрасываемой из ионного двигателя, т. е. сечение, которым создается тяга, меньше ее действительной общей площади, поскольку некоторые частицы уходят в сторону от струи.

Специалистами высказывались также соображения о том, что для получения тяги в 1 г/см<sup>2</sup> необходимо разгоняющее напряжение в 40 тыс. в. В этом случае с каждого квадратного метра сечения струи можно будет обеспечить тягу порядка 10 кг, что на начальной стадии разработки таких двигателей представляет интерес,



так как это позволит, например, при площади струи  $1 \text{ м}^2$  получить для аппарата весом  $100 \text{ т}$  ускорение около  $0,0001 \text{ м/сек}^2$ .

В табл. 2 представлены примерные технические данные, которым, как показывают расчеты, должны отвечать ионные силовые установки, используемые для решения различных задач<sup>1</sup>. Эта таблица помогает нам полнее представить себе ионные двигатели будущего.

<sup>1</sup> «American Astronautical Society Meeting Flight», 1960, № 2656, p. 168.

Насколько же близки к осуществлению проекты ионолетов? Современные ускорители разгоняют ионы до многих десятков тысяч километров в секунду, но интенсивность потока разгоняемых в них ионов пока что совершенно ничтожна — миллионные доли грамма в секунду. В то же время сами ускорители весят десятки и сотни тонн. Даже при тех небольших тягах, которые необходимы для ионолетов, требуется повысить мощность ускорителей в огромное число раз, резко снизив при этом их собственный вес, что пока является нерешенной инженерной задачей. Кроме того, все еще слишком много весят источники электрической энергии, необходимой для обеспечения работы тяговой камеры ионолета.

Таблица 2

Технические данные ионных силовых установок, используемых для различных целей \*

| Показатели   | А     | Б    | В    | Г     | Д     | Е     | Ж     |
|--|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Стартовый вес, т                                       |       |      |      |       |       |       |       |
| Полезная нагрузка, т                                   |       |      |      |       |       |       |       |
| Масса рабочего тела<br>$m$ , Т                         | 5     | 72,2 | 136  | 435   | 5,5   | 10,9  | 16    |
| Вес силовой установки                                  | 4,9   | 50   | 100  | 150   | 1     | 1     | 1     |
| $G$ , Т  | 0,006 | 6,7  | 17   | 192   | 2,8   | 5,9   | 8,8   |
| Время работы силовой<br>установки, год                 | 0,04  | 15,5 | 19   | 93    | 1,5   | 4     | 6,2   |
| Мощность, $квт$  | 0,03  | 0,08 | 0,17 | 1,6   | 1,5   | 2,5   | 3     |
| Тяга $P$ , $кг$  | 5     | 4650 | 5700 | 27900 | 450   | 1200  | 1900  |
| Конечная скорость $v_k$ ,<br>$км/сек$                  | 0,027 | 16,9 | 19,7 | 46,8  | 0,75  | 1,36  | 1,9   |
| Скорость истечения $v_p$ ,<br>$км/сек$                 | 0,46  | 6    | 10,5 | 72    | 90    | 140   | 160   |
| Первоначальное<br>ускорение $a \cdot 10^4$ , $м/сек^2$ | 38    | 60   | 60   | 120   | 120   | 180   | 200   |
| Напряжение, $в$  | 0,054 | 2,29 | 1,45 | 1,06  | 1,38  | 1,22  | 1,16  |
| Сила тока, $а$   | 1000  | 2325 | 2420 | 9950  | 10100 | 22200 | 28000 |

\* А - выравнивание орбиты искусственного спутника Земли, Б - перевод искусственного спутника с орбиты на орбиту. Б - полет на Луну, Г - полет на Марс, Д - полет на Юпитер, Е - полет на Сатурн, Ж - летательный аппарат для достижения других планет Солнечной системы.

Таким образом, о реализации проектов ионолетов можно будет говорить лишь после того, как удастся создать легкие малогабаритные и вместе с тем весьма мощные ускорители ионов и компактные источники электроэнергии для таких летающих ускорителей.

Эти устройства должны легко управляться, не бояться повреждений метеоритами, быть приспособленными к работе в космическом пространстве. Наконец, возможное время — ресурс их работы — должно составлять несколько лет.

## Полет на луче

Рассматривая проекты двигателей с очень высокими скоростями истечения рабочего тела, мы подошли к наиболее популярной схеме корабля, связанной с надеждами «оседлать» электромагнитную волну и унести с ее помощью в просторы Галактики: ведь быстрота вылета электромагнитной волны не оставляет желать лучшего. Ее кванты уже при своем возникновении обладают скоростью 300 тыс. км/сек, и заботиться об их разгоне, как это делается в электротермических двигателях, не приходится.

Еще в 1865 г. английский физик Д. К. Максвелл (1831 — 1879) предположил, что свет представляет собой электромагнитную волну. Все электромагнитные волны состоят из взаимно связанных электрических и магнитных полей и распространяются в пустоте с одинаковой скоростью, равной  $c = 2,99776 \cdot 10^5$  км/сек. Однако во всех расчетах, за исключением самых точных, скорость света в пустоте можно принять равной 300 000 км/сек.

В 1901 г. профессор Московского университета П. Н. Лебедев (1866-1912) впервые опытным путем доказал справедливость одного из наиболее смелых предположений электромагнитной теории света о том, что свет способен оказывать давление на тела. Но раз свет оказывает механическое воздействие, нельзя ли использовать это его свойство для движения звездолета? Правда, известно, что сила давления солнечного света крайне мала. На идеально отражающее зеркало площадью 1 км<sup>2</sup>, расположенное от Солнца на том же расстоянии, что и Земля, солнечные лучи давили бы с силой 1 кг (или 1 мг/м<sup>2</sup>); на абсолютно черное тело, поглощающее все лучи, — с половинной силой — 0,5 кг. В результате оказывается, что даже на самолет-гигант размером с ТУ-114, летящий в безоблачном небе, солнечные лучи дают с силой лишь в сотые доли грамма, а на всю нашу планету Землю — с силой около 80 тыс. т<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Поверхность Земли, на которую дают солнечные лучи, в ее проекции на плоскость, перпендикулярную лучам, равна площади ее

$$\Phi = \frac{\pi D_3^2}{4}$$

диаметрального сечения . Примерный диаметр нашей планеты  $D_3 = 12 \cdot 10^3$  км. Альбе́до Земли — параметр, характеризующий, какую часть солнечных лучей отражает Земля,  $R = 0,4$ . Давление лучей Солнца на 1 км<sup>2</sup> поверхности абсолютно черного тела, расположенного на расстоянии Земли,  $p = 0,5$  кг/км<sup>2</sup>. Тогда сила давления солнечных лучей на Землю, согласно

$$F = \frac{\pi D_3^2}{4} p (1 + 0,4) = \frac{3,14}{4} (12 \cdot 10^3)^2 (1 + 0,4) = 795 \cdot 10^3 \text{ т}$$

уравнению (11), будет равна:

Интересно отметить, что такое давление создает солнечное излучение, энергия которого за день примерно равна энергетическим запасам всех горючих ископаемых Земли.

Мысль об использовании давления света — «солнечного ветра», надувающего «паруса» космических кораблей, получила впервые научное подтверждение в расчетах, проведенных в 1925 г. советским ученым Ф. А. Цандером (1887-1933).

Технические расчеты показали, что «парус», представляющий собой зеркальную поверхность из тонких пластинок толщиной в тысячные доли миллиметра, набранных на каркасе из тончайшей проволоки (в космическом пространстве вне интенсивных полей тяготения этого было бы достаточно для сохранения заданной формы зеркала), площадью 1 км<sup>2</sup>, весом около 3 тыс. кг сможет обеспечить получение тяги порядка 0,75 кг, если коэффициент отражения поверхности имеет среднюю величину по сравнению с абсолютно черным и идеально отражающим телом. Но тогда удельный вес двигательной установки составит более 3 т на 1 кг тяги, т. е. ускорение зеркала не сможет превысить  $1/3000$  земного ускорения. В этом случае парусу-спутнику Земли, имеющему орбитальную скорость 8 км/сек, чтобы приобрести вторую космическую скорость 11,2 км/сек, необходимую для путешествия по Солнечной системе, понадобилось бы около месяца.

Интересно, что один из американских специалистов, опираясь на достижения современной технологии получения искусственных пленок, которые могут использоваться в космосе, недавно вновь проанализировал возможности создания звездного парусника. Вес паруса из тончайшей пленки, покрытого отражающей алюминиевой краской, на создание которого можно сейчас технически рассчитывать, оказался вдвое большим, чем тот, который принимал для своего зеркала Ф. А. Цандер. Таким образом, зеркалу из пленки для достижения скорости, позволяющей путешествовать в пределах Солнечной системы, понадобилось бы около

двух месяцев, а для приобретения скорости, обеспечивающей уход из Солнечной системы, — примерно 130 суток.

Давление света в космическом пространстве предполагают использовать французские ученые для увеличения долговечности спутников. После выброса на высоте 500 км или более полиэтиленовой оболочки надувного спутника содержащийся в нем газ расширится и заставит спутник принять обтекаемую форму, близкую к каплевидной, — сочетание зачерненной полусферы и конического обтекателя, выкрашенного в белый цвет, — с четырьмя стабилизаторами площадью  $8 \text{ м}^2$  у вершины конуса. Диаметр полусферы 10 м, общая длина спутника 15 м, поверхность полусферы  $353,4 \text{ м}^2$ , поверхность конуса  $196,4 \text{ м}^2$ . Когда орбита спутника будет лежать в плоскости, перпендикулярной направлению солнечных лучей, отражающая поверхность конуса составит  $50 \text{ м}^2$ , что при давлении света  $0,89 \text{ мг/м}^2$  обусловит создание результирующей силы в направлении движения, равной  $22 \text{ мг}$ . На высоте 500 км, где плотность воздуха  $\rho = 54 \cdot 10^{-15} \text{ кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^2$ , при расчетной скорости полета  $7,7 \text{ км/сек}$  лобовое сопротивление составит всего  $9,5 \text{ мг}$ , т. е. полезная тяга достигнет  $12,5 \text{ мг}$ .

Когда плоскость орбиты станет параллельной направлению солнечных лучей, спутник часть пути будет находиться в тени Земли, но на остальной его части ( $224^\circ$ ) — под воздействием солнечного света.

При движении спутника по орбите, лежащей в плоскости, перпендикулярной направлению солнечных лучей, составляющая тяги в направлении движения создается подобно тяге яхты, идущей под парусами перпендикулярно направлению ветра. Роль килей солнечного парусника выполняют стабилизаторы, поскольку на высоте, где должен двигаться спутник, еще есть следы атмосферы, способные оказывать на них аэродинамическое давление.

При полете в направлении лучей их давление достигнет максимального —  $71 \text{ мг}$ , при встречном движении спутника силы, тормозящие полет, составят лишь  $35 \text{ мг}$ . В результате спутник, имея среднюю тягу  $20 \text{ мг}$ , может практически очень долго, вечно, существовать на заданной ему орбите.

Вероятно, что по мере совершенствования технологии получения легких и хорошо отражающих пленок возможность использования солнечных парусов для передвижения небольших автоматических лабораторий в Солнечной системе будет возрастать. Уже публиковался проект одной из таких солнечных яхт — лаборатории с парусом диаметром 70 м, имеющей земной вес 10 кг и полезный груз 10 кг, предназначенной для путешествия на орбиту Венеры и обратно к Земле<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> «Missiles and Rockets», 1959, vol. 5, № 32, p. 42.

Лаборатория должна набирать вторую космическую скорость, проходя множество витков раскручивающейся спирали, охватывающей Землю. При этом в моменты движения против «солнечного ветра» — давления солнечных лучей ее парус должен сворачиваться (или поворачиваться ребром к Солнцу). Затем, став спутником Солнца, лаборатория с помощью паруса постепенно тормозится, уменьшает скорость. В результате она «падает на Солнце», подобно тому, как снижаются на Землю спутники при их торможении, и по пути выходит на орбиту Венеры. Дальнейшее торможение позволяет лаборатории стать спутником Венеры. После выполнения научных исследований лаборатория, двигаясь по спирали вокруг Венеры, вновь набирает вторую космическую скорость и уплывает, развернув парус, к орбите Земли.

Однако для разгона до скорости, равной  $\frac{1}{3}$  от скорости света, что, как мы знаем, необходимо для «минимального» межзвездного путешествия, только одному сверхлегкому зеркалу Цандера (без учета веса груза, аппаратуры управления и т. д.) понадобилось бы при постоянной наибольшей допустимой тяге более 3 тысяч лет!

Поэтому сразу становится очевидным, что, хотя световое давление способно поддерживать движение спутников специальной формы, использовать свет раскаленных небесных тел для звездолета-парусника, который к тому же должен лететь на больших расстояниях от них, — задача нереальная.

Тогда возникает вопрос, а нельзя ли установить источник электромагнитных волн в самой ракете? Собрав все излучение в пучок с помощью отражающего экрана и «выбросив» его через сопло, мы получим реактивную

силу, которая будет зависеть лишь от мощности источника излучения. Но это лишь идея. А что показывают конкретные расчеты?

Можно отметить, что любой ракетный двигатель является в некоторой степени и квантовым, электромагнитным, ибо нагретое тело всегда излучает электромагнитные волны. Физики используют идеализированное представление об абсолютно черном теле, которое способно излучать и поглощать волны всех частот. К идеальному излучателю близка печь с небольшим отверстием для выхода излучения, а следовательно, в некоторой мере и камера сгорания квантового двигателя с соплом. Характер и интенсивность излучения из такой печи зависят от температуры. Поскольку с ростом температуры в излучении становятся преобладающими кванты все больших энергий (длина волны излучения уменьшается, а частота растет), такой двигатель во все большей степени становится квантовым. По мере роста интенсивности электромагнитного излучения оно может давать более ощутимую тягу. При интенсивности излучения, достигающей 1 млн. ккал на 1 см<sup>2</sup> поверхности, температура черного излучения составит около 150 000°К и давление электромагнитных волн достигнет 1 ат. В таком случае источник волн становится практически пригодным для его использования при создании тяги квантолета.

Давление электромагнитного потока, падающего перпендикулярно на поверхность тела, равно плотности электромагнитной энергии (энергии, заключенной в единице объема) вблизи поверхности. Эта энергия складывается из энергии падающих и энергии отраженных волн. Если мощность электромагнитной волны, падающей на единицу поверхности тела, равна  $N$ , а коэффициент отражения электромагнитной энергии  $R$ , то плотность энергии электромагнитных волн вблизи поверхности равна давлению света на единицу поверхности:

$$F_{\text{ед}} = \frac{N}{c} (1 + R) = p (1 + R). \quad (2.11)$$

Таким образом, давление света возрастает с ростом коэффициента отражения  $R$ , который изменяется от 0 до 1. Совершенно ясно, что экран звездолета должен отражать как можно большую часть энергии падающей на него электромагнитной волны.

При идеально отражающем рефлекторе для получения тяги в 1 т необходим источник излучения мощностью около 1,66 млрд. квт<sup>1</sup>; это примерно мощность 2500 Днепрогэсов. А поскольку для полета в приемлемые сроки потребуются тяги в десятки и даже сотни тонн, понадобятся гигантские мощности излучателей и управление огромными потоками излучения.

Чтобы справиться с таким потоком излучения, сопло квантового звездолета должно иметь огромную поверхность излучателей. Даже если принять, что концентрация потока излучения на экране звездолета в 10 раз больше, чем у поверхности Солнца, то и тогда отражатели излучения должны обладать площадью в несколько квадратных километров.

<sup>1</sup> Соответственно в случае, когда тяга создается за счет «активного» излучения электромагнитных волн с самой поверхности экрана, в котором излучение почти не поглощается, для получения тяги в 1 т необходим источник излучения мощностью около 3 Млрд. квт.

Как отмечал проф. Г. И. Бабат (1911-1960), экран таких колоссальных размеров расплющился бы на Земле под собственной тяжестью подобно киту, выброшенному на сушу. Квантовый двигатель такого звездолета

оказался бы способным вскипятить океаны, сдуть электромагнитным ураганом часть земной атмосферы. Поэтому сооружение гигантского звездолета, его старт и возвращение должны происходить на внеземной базе.

Какими же могут быть электромагнитные излучения,

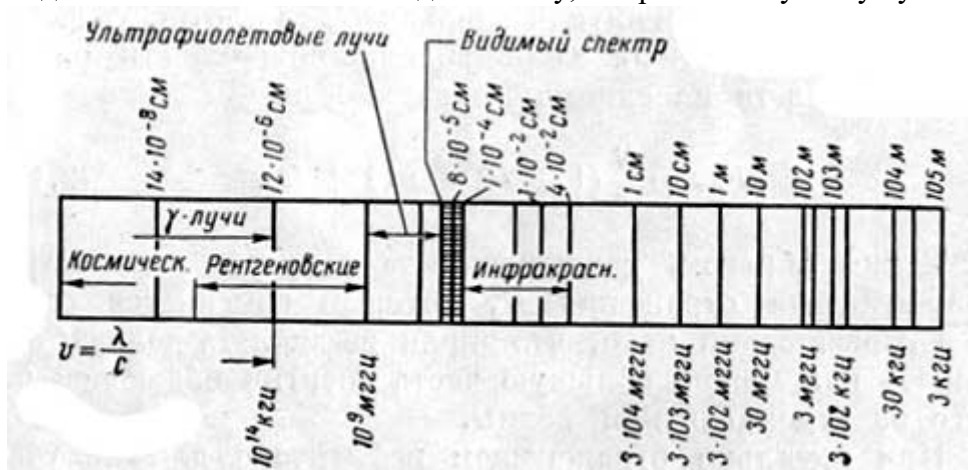


Рис. 15. Спектр электромагнитных волн

отбрасываемые экраном звездолета? У человека нет органов чувств, позволяющих непосредственно исследовать какие-либо электромагнитные волны, кроме волн видимого света. Но известные и изученные с помощью специальных приборов электромагнитные волны занимают огромный интервал длин волн и их частот (рис. 15).

Характерное свойство электромагнитной волны — ее частота, или число колебаний за секунду. Ряд свойств электромагнитных волн можно объяснить только тем, что им присущи свойства ограниченных частиц, или квантов излучения, обладающих определенной энергией и количеством движения. Как энергия кванта, так и его количество движения определяются частотой волны. Чем больше длина волны, тем меньше ее частота, меньше кванты.

Современная физика показала, что поток света имеет прерывистое строение и состоит из отдельных порций (квантов) света, своеобразных атомов излучения — фотонов, обладающих определенными значениями энергии. Это положение было впервые математически сформулировано в 1900 г. немецким физиком Максом Планком (1858-1947). Лишь благодаря малости фотонов и их огромному числу излучение представляется непрерывным процессом. Фотоны отличаются от атомов и электронов — они бывают различны по своим энергетическим характеристикам, что зависит от частоты колебаний. Например, энергия фотона, отвечающего фиолетовому цвету, больше, чем энергия фотона, отвечающего красному. В 1933 г. академик С. И. Вавилов (1897-1951) поставил опыт со световым пучком малой интенсивности, позволившей ему наблюдать если не самые кванты света — фотоны, то их группы по пять — семь фотонов.

Итак, свет не только волновой колебательный процесс, но вместе с тем и поток материальных частиц.

Энергия каждого фотона

$$E = h\nu, \quad (2.12)$$

где  $h = 6,623 \cdot 10^{-27}$  эрг/сек — постоянная Планка;

$\nu$  — частота колебаний.

Известное соотношение, связывающее массу с энергией, полученное впервые А. Эйнштейном (1879-1955):

$$E = mc^2. \quad (2.13)$$

Отсюда

$$mc^2 = h\nu; \quad m = \frac{h\nu}{c^2}$$

Таким образом, фотон характеризуется частотой

$$\nu = \frac{mc^2}{h} \quad (2.14)$$

и, так как для фотонов  $v_{p,r} = c$ , характеризуется импульсом

$$mv_{p,r} = \frac{h\nu}{c} \quad (2.15)$$

На основании учения о колебаниях

$$c = \nu\lambda,$$

или

$$\frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda},$$

где  $\lambda$  — длина волны света. Число фотонов, падающих на единицу площади в единицу времени,

$$n_0 = \frac{E}{h\nu}$$



Подставляя значение  $n_0$  в уравнение (2.15), получим импульс света, который передается на единицу площади экрана в единицу времени:

$$F = \frac{E}{c} \quad (2.16)$$

Если поверхность полностью поглощает все кванты, то этот импульс и будет представлять собой давление электромагнитного потока; если поверхность отражает часть квантов, уносящих импульс обратного

направления, она получит дополнительный импульс  $R \cdot \frac{E}{c}$ , а полный импульс, полученный на основании квантовой теории света, будет определяться той же зависимостью, что и зависимость (2.11), полученная согласно электромагнитной теории.

Для обеспечения энергетических потребностей звездолета необходимо найти, как будет показано ниже, способы интенсивно и нацело превращать ядра атомов в электромагнитное излучение. Такие процессы могут быть получены в результате достижений физики в ряде принципиально возможных направлений.

Одно из них, представляющееся наиболее перспективным, заключается в использовании явления, которое возникает при слиянии частиц с античастицами<sup>1</sup>. Античастицей принято называть такую частицу вещества, которая по заряду противоположна обычной, привычной нам частице, имеющей ту же массу. Например, электрон имеет отрицательный заряд, а его античастица позитрон — положительный. Протон заряжен положительно, а антипротон отрицательно. Нейтрон совсем не имеет заряда, но и для него нашлась частица «навыворот»-антинейтрон, имеющий противоположное направление вращения. Вещество, состоящее из античастиц, и называется антивеществом. Естественно, что господствующее в нашей части Вселенной вещество и антивещество абсолютно равноправны, т. е. каждое из них может считаться антивеществом по отношению к другому. Античастицы в нашем мире недолговечны: столкнувшись с обычными частицами и пройдя цепочку реакций, они аннигилируют — нацело «исчезают» с выделением всей массы и энергии в форме гамма-частиц, фотонов, мезонов и других излучений. При этом на единицу массы, участвующей в физической реакции аннигиляции, выделяется энергия, соответствующая излучению массы покоя вещества или ее части. Направив образующееся излучение в одну сторону пучком, подобным струе из сопла реактивного двигателя, сформировав «реактивный луч», получим так называемый квантовый двигатель.

<sup>1</sup> Принципиальная возможность использования взаимодействия потоков вещества и антивещества для обеспечения энергетических потребностей звездолетов была указана независимо автором и проф. К.П.Станюковичем в 1956 г.

Однако в сколько-нибудь значительных масштабах подобные процессы пока осуществить не удалось. Для квантолета понадобились бы мощные источники — устройства для получения античастиц или большой их запас. Но сегодня еще лишь весьма приблизительно можно представить себе, какими должны быть «баки» для хранения антивещества, которое не будет дожидаться, пока его подадут в камеру сгорания, и мгновенно аннигилирует с веществом самого бака.

Можно предполагать, что если бы, например, удалось создать антижелезо, то его можно было сохранять, удерживая «на весу» в вакууме космического пространства вдали от стенок бака с помощью постоянного магнитного поля. Существует принципиальная возможность удерживать и немагнитные заряженные тела в переменном магнитном поле и с помощью этого же поля обеспечить их сосредоточение в узкий пучок при выбрасывании.

Советский физик А. Дмитриев предполагает, что для хранения антиматерии — позитронов возможно использование «магнитных бутылок», каждая из которых представляет собой систему магнитных полей, создаваемых за счет циркуляции сильных токов по замкнутым катушкам из сверхпроводящих сплавов, что обеспечит прочность «стенок» без дополнительной подпитки катушек энергией. Сверхпроводимость в свою очередь может быть достигнута глубоким охлаждением катушек, что в космическом пространстве, по-видимому, осуществимо. Сквозь невидимые стенки «бутылок» частицы ни изнутри, ни снаружи проникнуть не смогут.

Множество «бутылок», в каждой из которых помещается относительно небольшое количество электронов и позитронов, могут быть расположены попеременно в шахматном порядке, чтобы по возможности уравновесить взаимодействие зарядов. Укрепить равновесие предполагается с помощью электростатических полей, источником которых послужат батареи конденсаторов.

Быть может, такими «бутылками» и будет заполнено хранилище топлива звездного корабля.

Энергия магнитных и электрических полей и «бутылок» по мере их опорожнения, как и материал катушек, также может использоваться для обеспечения энергетических потребностей корабля. Следует, кроме того, иметь в виду, что при попытке осуществления реакции аннигиляции между сколько-нибудь плотными струйками антивеществ реакция, начавшись на соприкасающихся поверхностях, привела бы к мгновенному разбрасыванию остальной части топлива, и в результате его использование было бы ничтожным. Это значит, что материя и антиматерия должны подаваться и взаимодействовать в чрезвычайно разреженном состоянии. Как показывают предварительные расчеты, их плотность не должна составлять более  $10^{-10}$  г/см<sup>3</sup>.

Не менее важно обратить внимание на следующее: при слиянии частиц и античастиц образуются, в частности, настолько жесткие электромагнитные волны ( $\gamma$ -лучи), что для них даже идеально полированные экраны подобны решетке. Вместе с тем значительная часть энергии излучений будет поглощаться веществом экрана. Несколько меньше поглощается веществом экрана и лучше отражается видимый свет — фотоны. Однако и в этом случае даже самое лучшее полированное серебряное зеркало поглощает до 5% энергии падающего на него света.

Ясно, что при огромной мощности источника излучения (например, при излучении мощностью 20 млрд. квт поглощалась бы энергия в 240 млрд. ккал/сек) неизбежно мгновенное испарение экранов и практически всего звездолетного аппарата. Но, может быть, есть возможность увеличить отражающую способность самих экранов, уменьшить поглощение в них энергии электромагнитных волн, либо качественно изменить сами электромагнитные волны, чтобы они лучше отражались от прежних или улучшенных экранов?

В частности, известно, что в определенных условиях аннигиляция позитрона и электрона в магнитных полях большой напряженности может происходить с испусканием не двух квантов, разлетающихся под большими углами в противоположные стороны, а одного (рис. 16). При этом импульс отдачи воспримет поле, в котором произошла

аннигиляция. Такие поля возможно и могли бы сыграть роль зеркала экрана.

Наконец, может быть, окажется возможным сосредоточить значительную часть излучения в виде направленного пучка не с помощью экранов, а используя магнитное кольцевое поле — своеобразный электромагнитный ствол, в какой-то степени подобный камерам плазмотронов и установок, с помощью которых сейчас стараются «приручить» термоядерные реакции. Во всяком случае, для камеры сгорания звездолета вероятна тепловая изоляция такого характера.

Возможны поиски в каждом из этих направлений. Остановимся, однако, несколько подробнее на возможностях экранов-отражателей.

Непосредственное уменьшение поглощающих свойств экранов по отношению к видимому свету представляется менее перспективным<sup>1</sup>. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом носит весьма сложный характер. Упрощенно можно представить, что механизм, за счет которого создается давление света, заключается в следующем: падая на отражающую поверхность, световая электромагнитная волна возбуждает в ней микротоки. Сила взаимодействия этих токов с электромагнитным полем световой волны и есть сила давления света.

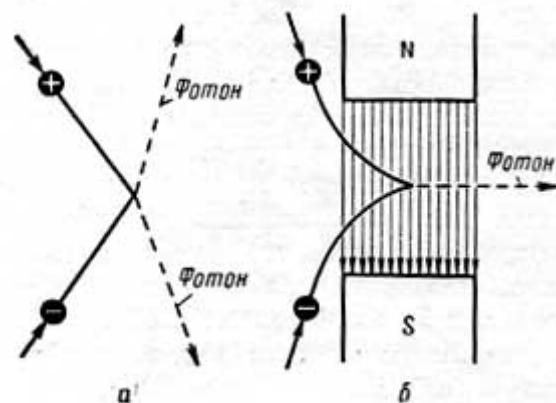


Рис. 16. Схема магнитного зеркала  
а — обычная аннигиляция; б — аннигиляция с испусканием одного фотона, создающего импульс

<sup>1</sup> Возможно некоторое уменьшение поглощения света в экране путем покрытия его специальной пленкой из диэлектрика (по аналогии, например, с просветлением оптики фотоаппарата). Однако очевидно, что это принципиально не изменит положения дела.

Что касается тепла, выделяющегося в экране, на который падает свет, то оно определяется частью энергии, затрачиваемой поверхностными токами на преодоление сопротивления материала экрана, в котором они движутся. Можно предположить, что отражатель, выполненный из материала, находящегося в состоянии сверхпроводимости, нагревался бы значительно слабее, так как меньшая часть энергии поверхностных токов, возбуждаемых при падении излучения на зеркало, затрачивалась на преодоление сопротивления. И хотя сверхнизкая температура космического пространства, по всей видимости, благоприятствует созданию экранов из материала, находящегося в состоянии сверхпроводимости, практическое осуществление такого экрана представляется нам весьма проблематичным. Поэтому предложение непосредственно «оседлать» луч видимого света нам кажется пока нереальным.

Однако остается второй путь, позволяющий рассчитывать на успех в деле создания квантолетов. Коэффициент поглощения энергии в экране

$$\varepsilon = \frac{4\pi\Delta}{\lambda},$$

где  $\lambda$  — длина электромагнитной волны;

$\Delta$  — глубина проникновения этой волны в материал. По мере увеличения длины электромагнитной волны поглощение ее энергии в отражающем экране уменьшается. Так, при длине волны 10 см коэффициент поглощения в меди составляет около одной сотысячной, при длине волны 2 м он примерно в 3 раза меньше. Однако создание экрана технически приемлемых размеров потребовало бы снижения  $\varepsilon$  еще по крайней мере в 2,5 раза. Эта задача представляется особенно сложной, так как для других конструкционных материалов коэффициент поглощения волн одинаковой длины больше, чем у меди (например,  $\varepsilon$  для волны длиной 2 м в железе примерно в 2,5 раза больше, чем в меди).

С дальнейшим «измельчением» квантов возможно удастся добиться того, чтобы подводимая к экрану энергия лишь на  $1/100\,000\,000$  поглощалась в материале отражателя. Это позволило бы рассчитывать на создание квантового звездолета с достаточной тягой без опасности перегрева экрана. Таким образом, в будущем может стать возможным изготовление таких экранов или такое преобразование электромагнитной радиации, которое позволит устранить недопустимое температурное воздействие интенсивных излучений на экран и расположенные за ним элементы конструкции звездолета и направить в то же время электромагнитный луч в сторону, противоположную направлению полета. Для защиты экипажа звездолета от опасных излучений, даже при его расположении на очень большом расстоянии от источника, понадобятся, вероятно, дополнительные, стоящие один за другим отражающие экраны (может быть, для этой цели можно будет использовать покрытые специальными оболочками экраны промежуточных ступеней) и, кроме того, со стороны излучателей специальные защитные многослойные экраны у самих кабин. В противном случае это расстояние должно составлять тысячи километров, что практически неосуществимо.

Примером радиоволн, которые могут успешно направляться экранами и в ничтожной степени поглощаются ими, могут служить волны радиолокации или телевидения. Любая радиолокационная установка, размещенная в космическом пространстве, обеспечила бы, правда неприемлемый, слишком медленный, но все же разгон космического корабля. Она оказалась как бы прототипом выходной части двигателя звездного корабля. Однако естественно, что удельный вес такого двигателя был бы чрезмерно большим, ибо у земных источников все еще чрезвычайно мала эффективность преобразования других видов энергии в энергию радиоволн. Все же, говоря о возможностях использования радиоволн сравнительно большой длины, которые гораздо слабее поглощаются экранами, чем видимый свет, следует отметить, что современная техника уже в состоянии создавать направленные потоки таких радиоволн, обладающие довольно существенными мощностями,

Наконец, и это немаловажное обстоятельство, экраны-отражатели радиоволн можно делать не сплошными, а в виде редкой решетки, что позволит, очевидно, значительно снизить вес двигателя звездолета, Поэтому применение радиоволн, например метрового диапазона, и кажется столь заманчивым.



Получение энергии за счет аннигиляции при взаимодействии материи и антиматерии, по всей видимости, не единственный тип ядерных превращений, при котором вся масса покоя материи излучается. Быть может, будут найдены и другие эффективные способы получения всей энергии, заключающейся в массе покоя вещества.

Высказанные выше соображения о принципиальных возможностях и путях создания звездолета еще не позволяют отчетливо представить себе его технические детали, конструктивные формы. Однако они достаточны для того, чтобы изобразить принципиальные схемы галактических кораблей, представленные на рис. 17.

Развитие науки и техники в области создания летательных аппаратов может привести к другим схемам и формам, лишь отдаленно напоминающим те, что изображены на этом рисунке. Ведь даже первые аэропланы, летающие этажерки, были так не похожи на современные стремительные самолеты.

Сравнивая рисунки и проекты летательных аппаратов будущего, какими их представляли ученые и писатели, жившие сто лет назад, с теми самолетами, которые теперь созданы, мы убеждаемся, что их сходство весьма отдаленно (хотя, как правило, оно все же есть). Поэтому несомненно, что звездолеты будут выглядеть не совсем, а может быть, и далеко не так, как мы можем представить это сегодня. Однако, поскольку создание таких аппаратов принципиально возможно и необходимо, они должны быть созданы.

В 1958 г. проф. К. П. Станюкович выдвинул идею об использовании в качестве рабочего тела для звездолета массы крупного астероида, который при этом служит и основной ступенью звездолета. На него должны быть доставлены соответствующие количества антивещества (скорее, на нем их и следует получать). Гигантский двигатель, способный перерабатывать массу покоя астероида в электромагнитное излучение и с помощью кольцевых магнитных полей выбрасывать реактивный луч, позволил бы перегнать оставшуюся часть астероида из Солнечной системы в систему другой звезды. Мысль об использовании в звездолете материи астероидов представляет несомненный интерес, так как при этом астронавты избавляются от необходимости доставлять запасы материи к космодрому. Следует иметь в виду, что увеличение массы, стартующей к другой звезде, потребует для полета в реальные сроки соответствующего пропорционального увеличения тяги, а значит, и расхода массы. Исходная масса стартующего звездолета определяется абсолютной величиной той массы, которая должна быть возвращена в Солнечную систему после завершения полета. Если возвращающуюся массу принять минимально необходимой, то, как получается в результате самой приближенной оценки, стартующий звездолет может иметь технически приемлемый вес. В этом случае он будет представлять техническую конструкцию, созданную из специальных материалов (для получения минимальной стартующей массы) с наименьшей площадью лобового сечения, чтобы вероятность столкновения с частицами в межзвездном пространстве была наименьшей.

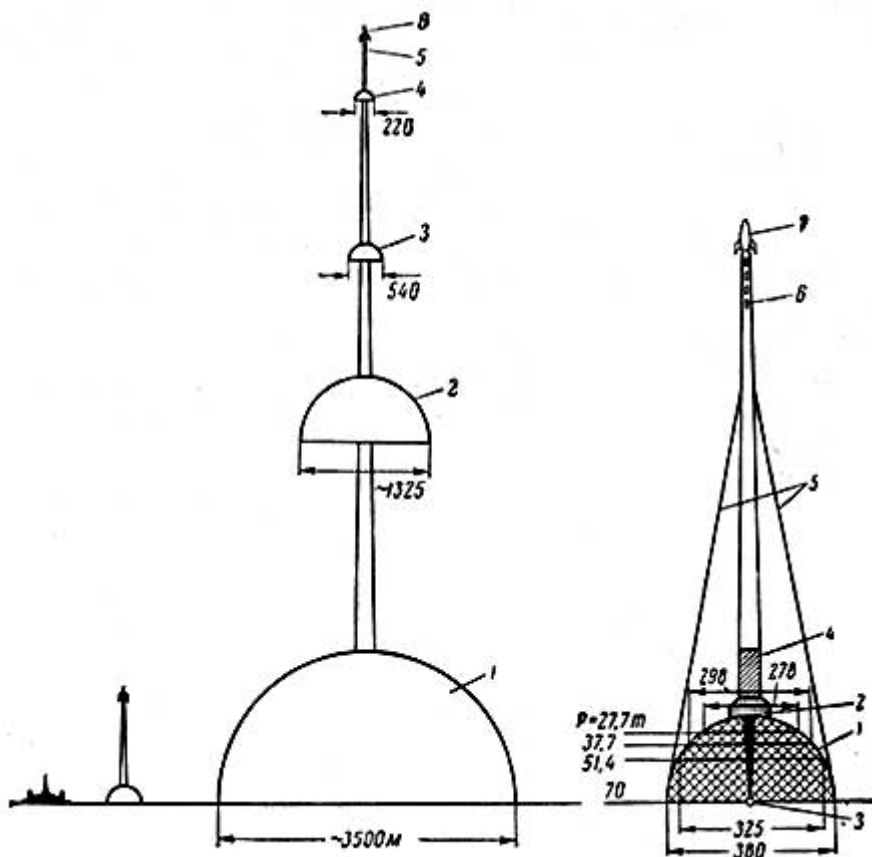


Рис. 17. Возможно, так будут выглядеть звездолеты

слева - примерные размеры «минимального» и «максимального» звездолетов по сравнению со зданием МГУ: 1-4 - экраны первой, второй, третьей и четвертой ступеней; 5 - оранжеи; 6 - межпланетная ракета с кабиной экипажа

справа - «минимальный» звездолет в большем масштабе: 1 - экран-отражатель электромагнитных волн, квантов (показаны первая, вторая и третья части экрана, которые могут сбрасываться, использоваться, в конце каждого последующего участка разгона или торможения); 2 - устройства, обеспечивающие превращение массы покоя вещества в материальное электромагнитное излучение; 3 - излучатель; 4 - запас массы покоя; 5 - элементы крепления; 6 - оранжеи; 7 - межпланетная ракета с кабиной

В связи с этим интересно вспомнить, что в 1950 г. выдвигались проекты атомных самолетов, предусматривающие их минимальный вес около 1000 т. Последующее развитие работ в этой области позволило рассчитывать на значительное снижение веса самолетов. Однако первые смелые проекты, несомненно, сыграли прогрессивную роль, они двинули вперед новое дело, пробудили творческую фантазию и технические дерзания специалистов. Поэтому любые попытки наметить пути преодоления трудностей, неизбежно возникающих на пути создания звездолетов будущего, кажутся нам оправданными.

## От микромира в космос

### Достижимые скорости и время межзвездного путешествия

**II** опробуем с помощью несложных расчетов представить себе энергетические потребности звездных кораблей, скорость которых должна быть сравнима со скоростью света, а в более отдаленном будущем, вероятно, станет и близкой к ней. Оценим прежде всего достижимые скорости, а также время, необходимое для совершения межзвездного путешествия, а затем и запасы топлива, которые могут понадобиться разведчикам Вселенной.

Попробуем также предугадать способы обеспечения энергетических потребностей звездолетов.

Как уже отмечалось, звездолеты — аппараты, для которых в обозримом будущем, по-видимому, будет характерна незначительная величина абсолютной тяги по сравнению с их массой (весом). Ясно, однако, что чем меньше тяга, тем медленнее будет разгоняться звездолет, и время, которое будет затрачено на путешествие, может стать чересчур продолжительным. С другой стороны, наибольшее значение тяги двигателя ограничивается, в частности, тем обстоятельством, что, хотя с ростом тяги сокращается время путешествия, на участке, который можно преодолеть за приемлемое время и без достижения самых больших скоростей, становятся чрезмерными необходимые запасы горючего.

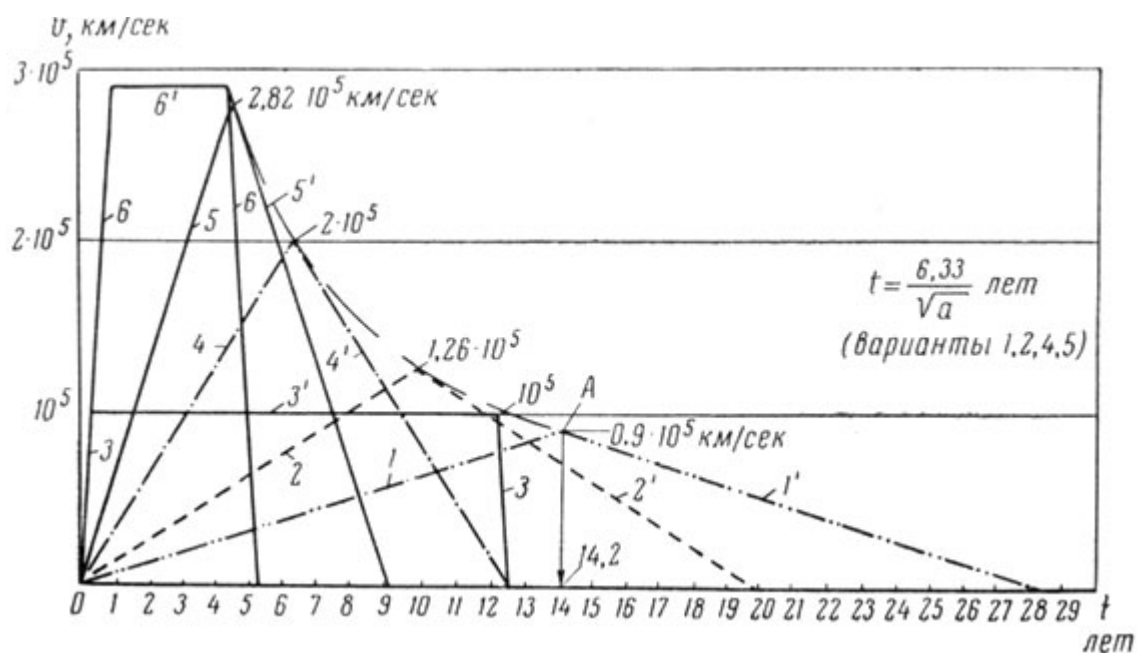


Рис. 18. Некоторые схемы полетов к Проксима Центавра

1-1' — схема полета «минимального» звездолета при  $a = 0,2 \text{ м/сек}^2$ ; 2-2' —  $a = 0,4 \text{ м/сек}^2$  с постоянно-работающим двигателем; 3-3'-3-a =  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  до  $v_k = 10^5 \text{ км/сек}$  с последующим выключением двигателя и новым включением для торможения; 4 — 4' —  $a = 1 \text{ м/сек}^2$  с постоянно работающим двигателем; 5-5'- $a = 2 \text{ м/сек}^2$  с постоянно работающим двигателем; 6-6'-6 —  $a = g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  до  $v_k = 2,9 \cdot 10^5 \text{ км/сек}$  с выключением двигателя и новым включением для торможения

Примем, что ускорение составляет  $0,2 \text{ м/сек}^2$ , для чего тяга двигателя должна составлять примерно  $1/50$  собственной массы звездолета.

Программой полета предусматривается, что разгон продолжается до половины пути с последующим торможением на второй его части, а значит двигатель работает непрерывно (рис. 18, траектория 1-1'). В этом случае возможна сравнительно несложная оценка времени, необходимого для полета, например, к Проксима Центавра с возвращением в Солнечную систему.

Как известно, пройденный путь при равноускоренном движении выражается простой зависимостью:

$$L = \frac{at_a^2}{2} \quad (3.1)$$

где  $a$  — ускорение,  $\text{м/сек}^2$ ;

$t$  — время, сек.

$$t_a = \sqrt{\frac{2L}{a}} \quad (3.2)$$

Отсюда время полета до половины пути с разгоном

Расстояние до Проксима Центавра составляет 4,27 световых лет (напомним, что свет проходит за год  $9,36 \cdot 10^{12} \text{ км}$ ). Половина этого расстояния (до точки А), преодолеваемая с разгоном, равна  $2 \cdot 10^{16} \text{ м}$ , или  $2 \cdot 10^{13} \text{ км}$  (20 триллионов км). Тогда время полета с разгоном составит:

$$t_a = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{16}}{0,2}} = 4,47 \cdot 10^8 \text{ сек.},$$

или, разделив на число секунд в году:

$$\frac{4,47 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^7} = 14,2 \text{ года.}$$

Столько же времени займет последующее торможение ракеты от точки А до входа в систему Проксима. Все время путешествия в один конец составит примерно 28,4 года, а в оба конца с разгоном при возвращении до точки А и торможением до входа в Солнечную систему — 56,8 лет. Таким образом, корабль будет дважды разгоняться и тормозиться.

Наибольшая скорость, которая будет получена к моменту окончания разгона:

$$v_k = at_a = 0,2 \cdot 4,47 \cdot 10^8 = 9 \cdot 10^4 \text{ км/сек.} \quad (3.3)$$

Таблица 3

**К определению характеристик звездолетов, обеспечивающих полет к Проксима Центавра**

| Характер работы двигателя        | Траектория на рис. 18 | Ускорение, $\text{м/сек}^2$ | Наибольшая достигнутая скорость, $v_k$ км/сек | Время путешествия для экипажа $t_e$ годы | Необходимый запас массы покоя на каждые 100 $\text{т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ стартовой массы, $\text{т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ | $\frac{M_0 - M_T}{M_0}$ | $\frac{1}{M} - \frac{M_K}{M_0}$ |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|--|--|-------------------------|---------------------------------|
| Двигатель работает непрерывно    | 1-1'                  | 0,2                         | $0,9 \cdot 10^5$                              | 56,8                                     | 20   | 0,8                     | 0,290                           |
|                                  | 2-2'                  | 0,4                         | $1,26 \cdot 10^5$                             | 40,0                                     | 23   | 0,77                    | 0,164                           |
|                                  | 3-3'                  | 1,0                         | $2 \cdot 10^5$                                | 25,3                                     | 48   | 0,52                    | 0,023                           |
|                                  | 4-4'                  | 2,0                         | $2,82 \cdot 10^5$                             | 18,2                                     | 83   | 0,16                    | 0,007                           |
| Двигатель работает часть времени | 3-3'-3                | 9,81                        | $10^5$  | 26,1                                     | 10,5<br>$\eta_{0,5}=103$   | 0,77                    | 0,160                           |
|                                  | 6-6'-6                | 9,81                        | $2,9 \cdot 10^5$                              | 10,6                                     | $\eta_{0,52}=99,2$<br>$\eta_{0,55}=93,8$   | 0,008<br>0,062          | 0,00036                         |

Аналогично определяется время межзвездного путешествия, если предположить ряд других постоянных ускорений:  $a = 0,4 \text{ м/сек}^2$ ,  $a = 1 \text{ м/сек}^2$ ,  $a = 2 \text{ м/сек}^2$  (см. рис. 18, траектории 2 — 2', 4 — 4' и 5 — 5'). Результаты этих расчетов сведены в табл. 3.

Предположим далее, что возможное постоянное ускорение составляет  $9,81 \text{ м/сек}^2$ , т. е. тяга аппарата равна его массе. По всей вероятности, достижение такого отношения тяги к массе невозможно в сколько-нибудь обозримом будущем, так как предлагавшиеся до сих пор двигатели галактических кораблей в их осуществимых вариантах — двигатели принципиально малых тяг. Если ракета с ускорением  $9,81 \text{ м/сек}^2$  разгоняется до  $10^5 \text{ км/сек}$  (см. рис. 18, траектория 3 — 3' — 3), затем часть пути летит с выключенным двигателем (участок 3') и вновь включает его для торможения перед входом в планетную систему Проксима Центавра, то время разгона до скорости  $10^5 \text{ км/сек}$  составит

$$t_a = \frac{v_k}{a} = \frac{10^5 \cdot 10^3}{9,81} = 1,02 \cdot 10^7 \text{ сек., или } 0,32 \text{ года}$$

Следовательно, на разгон и торможение будет затрачено при полете в одном направлении примерно 0,64 года. За время одного разгона, либо торможения, ракетой будет пройден путь:

$$L_a = \frac{at_a^2}{2} = \frac{9,81 (1,02 \cdot 10^7)^2}{2} = 4,9 \cdot 10^{14} \text{ м}$$

Оставшийся путь  $L_{v_{const}} = L - 2L_a = 400 \cdot 10^{14} - 9,81 \cdot 10^{14} - 3,9 \cdot 10^{16} \text{ м}$  будет пройден со скоростью  $v_{const} = 10^5 \text{ км/сек} = 10^8 \text{ м/сек}$  за время:

$$t_{v_k} = \frac{L_{v_{const}}}{v_{const}} = \frac{3,9 \cdot 10^{16}}{10^8} = 3,9 \cdot 10^8 \text{ сек., или } 12,4 \text{ года.}$$

Таким образом, полет в один конец займет всего  $12,4 + 0,64 = 13$  лет, а на все путешествие должно быть затрачено 26 лет (см. рис. 18, траектория 3 — 3' — 3). Аналогично выполняется расчет при том же ускорении и разгоне до  $2,9 \cdot 10^5 \text{ км/сек}$  (траектория 6 — 6' — 6).

Однако, поскольку в этом случае скорость полета близка к скорости света, при оценке срока путешествия для земного наблюдателя необходимо учесть изменение хода времени на Земле ( $t_0$ ) по сравнению с временем, проходящим для путешественников в ракете ( $t_c$ ). К этой в другим особенностям полетов на околосветовых скоростях мы еще вернемся, чтобы рассказать о них подробнее.

Для определения наименьшей возможной продолжительности путешествия следует естественно оценить наибольшую скорость, которая при определенных условиях может быть достигнута галактическим кораблем. Прежде всего напомним, что создание ракеты, летающей со скоростью, равной скорости света, либо превышающей ее, абсолютно невозможно. Ведь только в том случае, когда вся масса некоторого тела превращается в электромагнитное излучение, в кванты, может достигаться световая скорость. Поскольку для корабля остается масса его конструкции, экипажа, груза, световая скорость не может быть им достигнута. Это становится еще более очевидным, если мы вспомним, что звездолетный аппарат предназначается не просто для достижения максимальной скорости, возможной в нашем мире, а в качестве транспортного средства. Разгон и торможение на пути к другому миру и снова разгон и торможение на обратном пути — обязательные элементы его траектории.

Сказанное означает, что на двукратный разгон до скорости света и на двукратное фактически полное торможение понадобилось бы полных четыре массы покоя (собственных масс) звездолета. Принципиальная неразрешимость этой задачи совершенно очевидна. На сколько же может приблизиться скорость квантового корабля к скорости света? Чтобы ответить на этот вопрос, воспользуемся обобщенным уравнением К. Э. Циолковского<sup>1</sup>, которое может быть использовано в случае, когда аппарат движется со скоростью порядка

скорости света. Это уравнение (полученное в приведенном виде наиболее простым способом проф. К. П. Станюковичем) понадобится нам в дальнейшем.

$$\frac{M_K}{M_0} = \left( \frac{1 - \frac{v_K}{c}}{1 + \frac{v_K}{c}} \right)^{\frac{c}{2v_{p.t}}}, \quad (3.4)$$

где  $v_K$  — конечная скорость ракеты (скорость в данный момент);

$c$  — скорость света;

$v_{p.t}$  — скорость истечения рабочего тела (для электромагнитной ракеты при  $v_{p.t} = c$  степень выражения, стоящего в скобках, будет равна  $\frac{1}{2}$ ).

<sup>1</sup> В частном случае, когда скорость полета и скорость истечения существенно меньше скорости света, из этого уравнения разложением в ряд и последующим суммированием можно получить формулу К. Э. Циолковского для полетов с относительно малыми скоростями.

Важно отметить, что, подставив в уравнение (3,4) зависимость, позволяющую найти Лоренцево сокращение времени, после простых преобразований получаем выражение, связывающее интервалы времени, проходящие на Земле  $t_0$  и в звездолете  $t_e$ :

$$t_e = t_0 \frac{2 \frac{M_K}{M_0}}{1 + \left( \frac{M_K}{M_0} \right)^2}.$$

Из этого выражения видно, что когда конечная масса аппарата  $M_K$  по сравнению со стартовой не изменяется, на нем проходят те же интервалы времени, что и на Земле. Для того чтобы время на аппарате

«остановилось», что характерно для движения со скоростью света, надо, чтобы  $\frac{M_K}{M_0} = 0$ , т. е. необходимо полное излучение массы покоя звездолета. Приведенное рассуждение еще раз подтверждает, что скорость звездолета не может сравниться со скоростью света.

Итак, принимая скорость истечения рабочего тела из сопла двигателя ракеты равной скорости света

$\left( \frac{c}{2v_{p.t}} = \frac{1}{2} \right)$ , и подставляя в уравнение (3.4) ряд отношений масс  $\frac{M_K}{M_0} = \bar{M}$ , отвечающих случаю одного набора скорости (одного разгона) при равноускоренном движении, получим соответствующие каждому из них наибольшие достижимые скорости движения  $v_K$  (рис. 19, кривая  $\Lambda$ ). Для звездного корабля за время путешествия с возвращением можно считать обязательным разгон с последующим торможением на пути к цели и снова разгон с последующим торможением на обратном пути. В каждом таком случае разгоняющаяся или тормозящаяся (отрицательное ускорение) ступень корабля для получения необходимой конечной скорости при достигнутой постоянной скорости истечения рабочего тела должна иметь определенное отношение масс.

Поскольку необходимо преодолеть четыре таких участка, следует учесть отношение масс, т. е.

определить величину отношения  $\left( \frac{M_K}{M_0} \right)^4$ , которое и будет показывать отношение масс для всего корабля от момента старта из Солнечной системы до момента возвращения в нее.



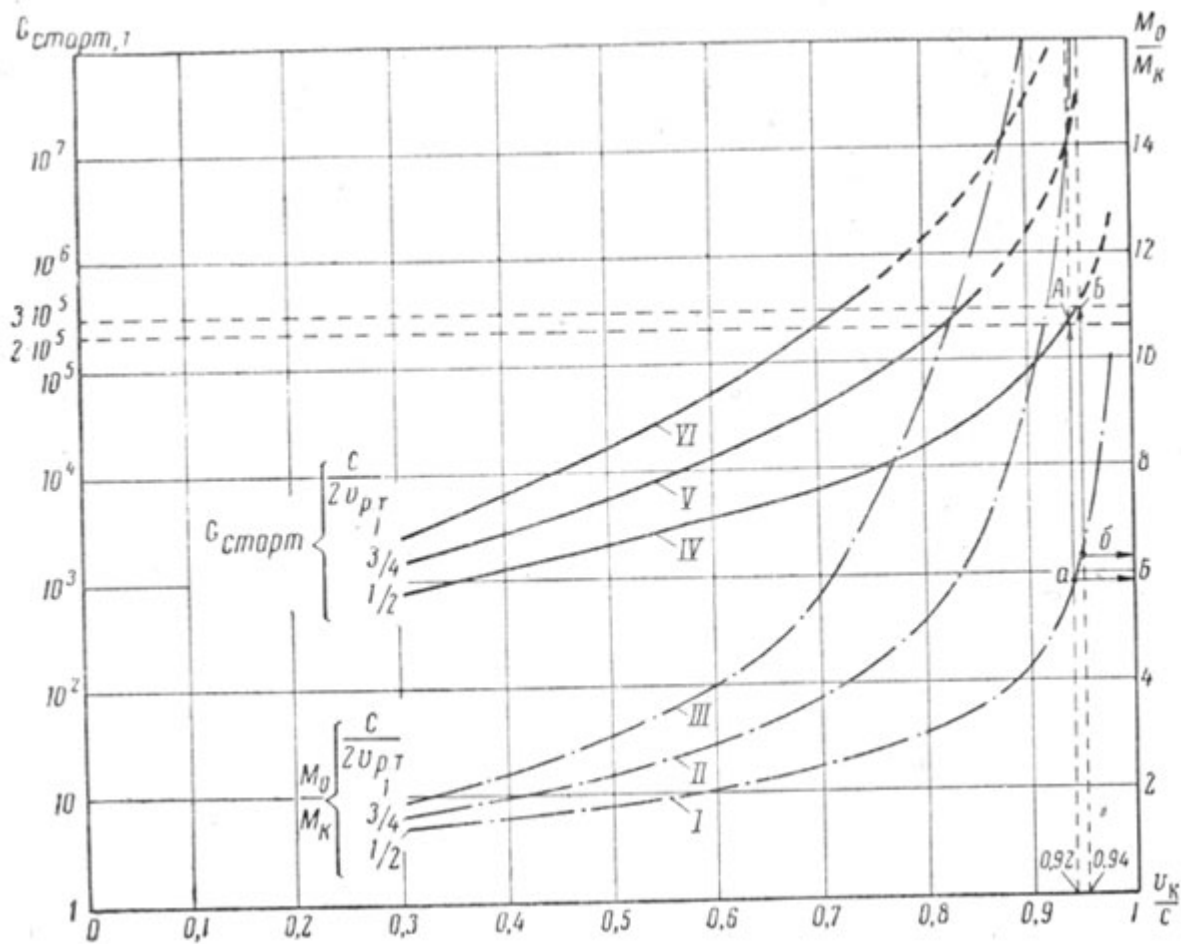


Рис. 19. Зависимость отношения масс  $\frac{M_0}{M_K}$  для четырехступенчатого галактического корабля и его

стартового «земного» веса (при возвращаемом весе 200 т) от наибольшей скорости  $\frac{v_K}{c}$ . Зависимости получены для ряда скоростей истечения (параметр  $\frac{c}{2v_{p.т}}$ ) при «балластировании» реакции аннигиляции

Таким образом, в рассмотренном случае, когда  $\frac{c}{2v_{p.т}} = \frac{1}{2}$ , для достижения конечной скорости  $v_K$ , отвечающей 0,94 % от скорости электромагнитного излучения (света), нужно на каждом из этапов разгона или

торможения обеспечить отношение масс, отмеченное точкой а, т. е.  $\frac{M_K}{M_0} = \frac{1}{6}$ . Условившись, что для галактического корабля такое отношение масс (близкое к отношению масс для современных одноступенчатых химических ракет) удастся обеспечить в одной ступени, приходим к выводу, что ракета должна состоять из четырех ступеней и, кроме того, в ее головной части необходимо разместить грузы,

продовольствие, снаряжение и экипаж. Тогда общее отношение масс для нее составит  $\left(\frac{1}{6}\right)^4 \approx \frac{1}{1300}$ . Лишь столь ничтожная часть первоначально стартовавшей массы корабля вернется в систему Солнца, проделав путь сквозь бездны космоса.

Результаты расчетов для  $\frac{c}{2v_{p.т}} = \frac{1}{2}$  сведены в табл. 4.

## Оценка «технически достижимых» максимальных скоростей звездолета

| $\frac{1}{M}$   | $\left(\frac{M_K}{M_0}\right)^4 = \left(\frac{1}{M}\right)^4$ | $v_K$ , тыс. км/сек | $\frac{v_K}{c}$ |
|-----------------|---|---------------------|-----------------|
| $\frac{1}{3}$   | $\frac{1}{81}$  | 240,0               | 0,800           |
| $\frac{1}{4,5}$ | $\frac{1}{410}$   | 272,3               | 0,905           |
| $\frac{1}{5}$   | $\frac{1}{625}$   | 277,0               | 0,925           |
| $\frac{1}{6}$   | $\frac{1}{1300}$  | 283,3               | 0,945           |
| $\frac{1}{6,5}$ | $\frac{1}{1800}$  | 285,3               | 0,955           |
| $\frac{1}{10}$  | $\frac{1}{10\ 000}$   | 293,8               | 0,980           |

Аналогичные расчеты выполнены и для тех случаев, в которых скорость истечения рабочего тела меньше скорости электромагнитного излучения, т. е. когда в гипотетическом случае «балластирования» реакции аннигиляции образуется поток частиц, например мезонов, и скорость их сфокусированного пучка меньше

скорости света (значения параметра  $\frac{c}{2v_{р.т}} > \frac{1}{2}$  — и равны  $\frac{3}{4}$  и 1 — кривые II и III на рис. 19). Как видно из рисунка, уменьшение скорости истечения частиц реактивного луча приводит к необходимости значительного увеличения отношения масс для достижения той же наибольшей скорости  $v_K$ .

Чтобы дать представление не об относительной, а об абсолютной массе корабля, стартующего на наибольшую технически представимую сегодня дальность, на рис. 19 приведены кривые IV — VI, показывающие зависимость начального веса (массы) четырехступенчатого галактического корабля от того

значения  $\frac{v_K}{c}$  которое должно быть достигнуто. Эти кривые нанесены в предположении, что при возвращении в Солнечную систему последняя ступень звездолета с экипажем, аварийными запасами и оставшимся снаряжением будет иметь на Земле вес всего 200 т<sup>1</sup>. Как видно из графика, даже при  $v_{р.т} = c$  (точка А) для достижения 94% от скорости света вес звездолета при старте должен составлять около 210 тыс. т, а при 95% от скорости света (точка Б) уже 300 тыс. т! Последний стартовый вес, вероятно, можно считать уже неприемлемым. Таким образом, в технически обозримом будущем максимальная скорость звездолетов едва ли превысит 90 — 94% от скорости света.

<sup>1</sup> Эта цифра представляется минимально вероятной, если принять, что после того, как звездолет стал спутником другой звезды и имевшаяся на нем малая вспомогательная ракета для полетов экипажа на планеты выполнила свои задачи, она не берется в обратный рейс. Возвращение экипажа на Землю с последней ступени, пришедшей в Солнечную систему, должно осуществляться обычными межпланетными ракетами.

### Энергетические потребности и «топливо» галактических кораблей

Если поместить в космосе обычный зажженный карманный фонарик, то выбрасываемый им световой луч разгонит фонарик к моменту израсходования энергии батарейки всего до  $v_K = 10^{-10}$  м/сек, а уменьшение массы по отношению к первоначальной составит всего  $10^{-11}$ . Ясно, что применение двигателя со столь ничтожной

интенсивностью луча и к тому же так мало обеспеченного энергией бессмысленно. Каковы же действительные энергетические потребности звездолетов и способы, которые позволили бы их обеспечить?

Рассмотрим конкретный пример.

Предположим, что звездный корабль имеет при старте массу  $M_0 = 100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м} = 10^5 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ , что отвечает земному весу  $G = 9,81 \cdot 10^2 \text{ т}$ , т. е. всего около  $1000 \text{ т}^1$ . Это примерно вес половины обычного груженого железнодорожного состава.

<sup>1</sup> Поскольку звездолет должен стартовать, например, с орбиты, где он до этого находился на положении спутника, т. е. в состоянии невесомости, термин «вес» используется, чтобы получить земное представление о масштабах корабля, а также о весе конструкции, которые, возможно, придется доставить с Земли для его сборки в космическом пространстве. Масса  $M$  выражается в технической системе единиц (MKS).

Наши ориентировочные расчеты могут, естественно, относиться и к каждой тысяче тонн земного веса звездолета, всеящего в действительности в любое число раз больше.

Предположим, что постоянное ускорение аппарата  $a = 0,2 \text{ м/сек}^2$ . Примем также при первоначальной очень грубой оценке, что дополнительное возрастание скорости вследствие неизбежного уменьшения массы аппарата в связи с ее расходом за время разгона относится в запас расчета (например, в запас, нужный для совершения маневров, обеспечения безопасности и пр.). Тогда, согласно известной зависимости, постоянная тяга, создаваемая двигателем, должна составлять:

$$F = M_0 \cdot a = 10^5 \cdot 0,2 = 20 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

Если принять далее, что двигатель работает, создавая постоянную тягу, в течение всего времени путешествия к Проксима Центавра и обратно, то суммарный расход энергии (тепла) составит:

$$E_{\Sigma} = \frac{2FL}{427} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 9,36 \cdot 10^{12} \cdot 10^3 \cdot 4,27}{4,27 \cdot 10^2} = 3,47 \cdot 10^8 \text{ ккал},$$

где  $L = 4,27$  световых лет — расстояние до Проксима Центавра (мы уже знаем, что за год свет проходит  $9,36 \cdot 10^{15} \text{ м}$ ).

Энергетические возможности всех химических горючих ископаемых Земли оцениваются примерно в  $23,5 \cdot 10^{15} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ , или  $E_T = 20,4 \cdot 10^{18} \text{ ккал}$ . Следовательно, вычисленное необходимое количество энергии составляет более  $1/5$  всех энергетических запасов химического топлива, разведенного на Земле (и то лишь на  $1000 \text{ т}$  земного веса корабля при старте).

Если предположить, что в качестве горючего для галактического корабля используется такое широко известное ракетное химическое топливо как смесь спирта с кислородом ( $1 \text{ кг}$  такой смеси отдает при сгорании примерно  $2 \cdot 10^3 \text{ ккал}$ ), то, принимая коэффициент полезного действия источника энергии  $\eta_{\text{дв}} = 0,5$ , можно оценить весовой запас химического топлива, которое должно быть доставлено с Земли на звездолет:

$$G = \frac{E_{\Sigma}}{\eta_{\text{дв}} E_T} = \frac{3,74 \cdot 10^{18}}{0,5 \cdot 2 \cdot 10^3} = 3,74 \cdot 10^{15} \text{ кг} = 37,4 \cdot 10^{11} \text{ т}.$$

Полученный вес необходимого топлива в  $38 \cdot 10^8$  раз превышает принятый в начале расчета стартовый вес всего галактического корабля и поэтому не может быть взят на борт.

При удельном весе смеси примерно  $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$  объем необходимого топлива составит  $3800 \text{ км}^3$ . Такой объем воды Волга выносит в море примерно за 150 лет. А поскольку, как отмечалось выше, полет при ускорении  $0,2 \text{ м/сек}^2$  должен продолжаться (в оба конца) около 50 лет, значит, что все это время в камеру сгорания ракеты должна непрерывно поступать река топлива втрое полноводнее Волги. Шар, вмещающий такое количество жидкости (в действительности указанные составляющие смеси пришлось бы хранить в отдельных баках), имел бы диаметр почти 20 км.



При том же коэффициенте полезного действия необходимый запас ядерного горючего, например U-235, был бы значительно меньшим, так как 1 кг его может дать около 20 млн. *квт-ч*, или  $1,96 \cdot 10^{10}$  *ккал*. Запасы ядерного горючего, далеко не полностью учтенные, определяются цифрой  $519 \cdot 10^{15}$  *квт-ч*, т. е. они примерно в 22 раза превышают энергетические запасы химического топлива.

Таковы количества различных видов топлива, которыми должен быть снабжен «минимальный» звездолет на каждую тысячу тонн стартового веса.

Потребный весовой запас U-235, имеющего «калорийность»  $E_t = 1,96 \cdot 10^{10}$  *ккал/кг* при к. п. д. источника энергии  $\eta = 0,5$ , составит в земном весе  $3,8 \cdot 10^5$  *т*.

Как видно, и в этом случае вес необходимого запаса горючего примерно в 400 раз превышает вес звездолета, принятый при расчете за исходный, т. е. примерно во столько же раз, во сколько яблоко тяжелее своего семени. Необходимый объем металлического U-235, имеющего удельный вес  $\gamma = 18,7$  *т/м³*, составит «всего»

$$V = \frac{E_{\Sigma}}{\gamma} = \frac{3,74 \cdot 10^5}{18,7} = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^3.$$

Бак для ядерного горючего в этом случае должен представлять собой шар диаметром 33,7 м (с соответствующими изолирующими перегородками между отдельными частями горючего для предотвращения взрывной цепной реакции). Совершенно ясно, что ядерное горючее не может обеспечить энергетических потребностей звездолета.

Оценим возможность обеспечения потребностей звездолета за счет использования энергии, получаемой в ходе термоядерной реакции в результате синтеза легких элементов, когда происходит слияние двух легких ядер в одно более тяжелое ядро. Одним из легких элементов, которые можно использовать в этом процессе, является изотоп водорода — дейтерий.

Поскольку из единицы веса исходного сырья при термоядерной реакции принципиально возможно получение примерно в 8 раз большего количества энергии, чем при использовании единицы ядерного горючего U-235, потребный весовой запас горючего может быть соответственно уменьшен до  $4,67 \cdot 10^4$  т, т. е. даже в этом случае необходимый весовой запас топлива почти в 50 раз превышает принятый вес звездолета.

Предположив, что удельный вес горючего  $\gamma = 2$  т/м<sup>3</sup>, получим, что необходимый объем баков составляет  $2,23 \cdot 10^4$  м<sup>3</sup>. Бак, вмещающий такое количество дейтерия, должен иметь диаметр 35 м. Любопытно, что в этом случае объем бака для размещения исходного сырья, необходимого для термоядерной реакции, почти не изменился по сравнению с размерами бака для U-235 из-за низкого удельного веса дейтерия по сравнению с U-235. Поскольку, как было показано, весовой запас исходного сырья для получения термоядерной энергии в количестве, необходимом для обеспечения минимального межзвездного полета, также в 50 раз больше стартового веса звездолета, придется отказаться от использования и этого «топлива».

Наконец, обратимся к возможностям использования предполагаемой реакции, о которой мы уже упоминали, реакции, в ходе которой масса покоя вещества полностью излучается.

Еще в 1871 г. Д. И. Менделеев (1834—1907) утверждал, что масса атома не обязательно должна равняться сумме масс составляющих его частиц. По разнице между массой частиц и массой образованных атомов, в частности, судят об энергии, выделяющейся в ходе ядерных реакций.

На пути увеличения выхода энергии из вещества физика наших дней совершает лишь первые шаги. Известно, что при цепной реакции на ядрах U-235 в световое излучение превращается лишь  $1/1000$  доля массы, участвовавшей в реакции. Всего около  $1/100$  составляет убывание (дефект) массы термоядерной реакции, за счет которой выделяется энергия Солнца. Но представим себе, что сложнейшая проблема полного превращения массы покоя в свет решена. Тогда, согласно соотношению

$$E = mc^2,$$

можно оценить полную энергоемкость в килокалориях на килограмм вещества:

$$E_{\text{ед}} = \frac{mc^2}{A} = \frac{Gc^2}{gA} = \frac{1(3 \cdot 10^8)^2}{9,81 \cdot 427} = 2,145 \cdot 10^3 \approx 2,15 \cdot 10^{13} \text{ ккал / кг}$$

Как видно, энергоемкость единицы массы покоя в  $10^{10}$  раз больше, чем у единицы самой высокосортной горючей химической смеси. Таковы удивительные возможности горючего «наивысшей калорийности».

Учитывая часть энергии, используемой для создания тяги звездолета, с помощью коэффициента  $\eta = 0,5$ , который принимался и ранее, оценим расход массы покоя на каждые  $100$  т·сек<sup>2</sup>/м массы звездного корабля при полете от Земли к Проксима Центавра:

$$G_{\text{г}} = \frac{E_{\Sigma}}{\eta E_{\text{ед}}} = \frac{3,74 \cdot 10^{18}}{0,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{13}} = 3,48 \cdot 10^5 \text{ кг} = 348 \text{ т},$$

или  $m = 35,5$  т·сек<sup>2</sup>/м массы покоя.

Все предыдущие расчеты не нуждались в уточнении, поскольку потребное количество «топлива» многократно превышало собственный — стартовый вес аппарата. А это означало, что оно принципиально не



может быть использовано даже и в варианте многоступенчатой ракеты, ибо ясно, что аппарат не может весить больше самого себя. Поэтому ранее рассмотренные варианты были заведомо неосуществимыми.

В последнем же случае, когда масса аппарата и запасы массы покоя, необходимые для обеспечения его энергетических нужд, оказались соизмеримыми, следует уточнить расход массы покоя. Естественно, что он будет меньшим, чем предварительно вычисленный, в связи с тем, что масса разгоняемого аппарата будет уменьшаться от начала до конца пути по мере выработки «топлива» и сбрасывания промежуточных ступеней.

Воспользуемся обобщенным уравнением Циолковского. Подставляя в него вычисленную выше максимальную скорость, которая может быть достигнута при ускорении  $0,2 \text{ м/сек}^2$  за время преодоления половины расстояния в конце первого участка разгона, получим при  $v_{p.т} = c$  (для электромагнитной ракеты скорость истечения рабочего тела — электромагнитных волн — равна скорости света):

$$\frac{M_K}{M_0} = \left( \frac{1 - \frac{0,9 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^5}}{1 + \frac{0,9 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^5}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,733.$$

Условимся, что ускорение на всем протяжении полета остается постоянным (см. рис. 18, траектория  $I-I'$ ) и лишь четыре раза меняется по знаку по мере выработки «топлива». Поэтому с уменьшением массы звездолета в связи с расходом «топлива» и отбрасыванием частей ракеты будут также соответственно уменьшаться как потребная тяга двигателя, так и расход рабочего тела. В расчете первого приближения это обстоятельство не учитывалось, так как ставилась задача определить лишь порядок величины расхода горючего.

Осредненные значения массы звездолета и соответственно тяги его двигателя в характерных точках по траектории всего полета нетрудно вычислить, воспользовавшись найденным значением  $\frac{M_K}{M_0}$  и отношением массы к тяге, необходимым для получения принятого ускорения.

Ракета дважды разгоняется, и дважды тормозится. В каждом из этих случаев понадобится обеспечить отношение масс  $\frac{M_K}{M_0} = 0,733$ , вычисленное выше, т. е. для всего полета в оба конца  $\left(\frac{M_K}{M_0}\right)^4 = 0,733^4 \sim 0,29$  (напомним, что столь небольшое отношение масс объясняется тем, что предполагаемая скорость истечения рабочего тела равна скорости света).

Известно, что потребная тяга связана с массой и ускорением простым соотношением:

$$F = M(t) \frac{dv}{dt}, \quad (3.5)$$

$$\frac{dv}{dt} = a = \text{const.}$$

здесь принято

Поскольку  $a = \text{const}$  и масса аппарата по времени изменяется линейно, то и тяга будет изменяться линейно, т. е.

$$F = M_0 - kt, \quad (3.6)$$

где  $k = \frac{M_0 - M'}{t}$



( $M'$  — масса аппарата в конце участка, для которого определяется средняя тяга).

Следовательно, средняя тяга, необходимая для определения запасов рабочего тела, «топлива», может быть определена из уравнения:

$$F_{\Phi} = \frac{F_0 + F_k}{2},$$

где  $F_0$  и  $F_k$  — начальное и конечное значения тяги.

Принимая на каждом из участков  $F_{\Phi}$  (относимое при вычислении запаса горючего для аппарата ко всему участку) равным полусумме потребных тяг на его концах, получим, например на участке 1 (см. рис. 18), т. е. при разгоне на первой половине пути к Проксима Центавра, необходимый расход энергии на каждые 100  $m \cdot \text{сек}^2/m$  стартовавшей массы ракеты:

$$E_{0-I} = \frac{F_{\Phi} L}{427 \cdot 2} = \frac{17,35 \cdot 10^3 \cdot 9,36 \cdot 10^{12} \cdot 10^3 \cdot 4,27}{4,27 \cdot 10^2 \cdot 2} = 0,81 \cdot 10^{18} \text{ ккал}$$

и необходимый запас массы покоя:

$$M_T = \frac{0,81 \cdot 10^{18}}{0,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{13} \cdot 9,81} = 7,7 \text{ м} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}.$$

Аналогично вычисляются затраты массы покоя на остальных участках траектории (табл. 5).

Таблица 5

**Запасы массы покоя, необходимые для обеспечения энергетических потребностей «минимального» звездолета**

| Участок    | Тяга $F_{\Phi}$ , т | Расход энергии $E \cdot 10^{-18}$ , ккал | Запас массы покоя $M_T$ , $m \cdot \text{сек}^2/m$ |
|------------|---------------------|--|--|
| 0-I        | 17,35               | 0,81                                     | 7,7  |
| I-II       | 12,7                | 0,59                                     | 5,57   |
| II-III     | 9,3                 | 0,44                                     | 4,16   |
| III-0      | 6,8                 | 0,32                                     | 3,04   |
| Итого .... |                     | 2,16                                     | 20,5   |

Окончательно потребное количество массы покоя при ее использовании с к.п.д.  $\eta = 0,5$  при движении по траектории  $I - I'$  составит:

$$M_T = \frac{2,16 \cdot 10^{18}}{0,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{13} \cdot 9,81} = 20,5 \text{ м} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}.$$

Таким образом, запас массы покоя, необходимый для обеспечения энергетических потребностей «минимального» звездолета при использовании всего запаса внутренней энергии вещества, представляется приемлемым. Если иметь в виду, что не исключена возможность хотя бы частичного набора «топлива» — расходуемой массы покоя, необходимой для обратного путешествия, на достигнутой планете, можно считать, что решение задачи дополнительно облегчается.

Аналогично вычисляются затраты массы покоя при разгонах с другими ускорениями и вариантами траекторий, показанными на рис. 18, отвечающими как случаям работы двигателя в течение всего времени путешествия, так и таким, когда после разгона до некоторой скорости галактический корабль часть пути преодолевает с выключенным двигателем, а затем вновь включает его для торможения.

Результаты расчетов внесены в табл. 3.

Следует отметить, что определение запасов массы покоя, необходимых для обеспечения движения по траектории  $b-b'-b$ , показало, что даже при использовании полной энергии вещества для получения тяги с коэффициентом преобразования  $\eta = 0,5$  расходуемая масса покоя должна быть больше стартовой ( $M_T = 103 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ), что обеспечить невозможно. Только при условии возрастания к.п.д. преобразования энергии в тягу до  $\eta = 0,52$  и выше появится возможность обеспечить энергетические потребности галактического корабля, разгоняющегося с ускорением  $a = 9,8 \text{ м/сек}^2$  до скорости  $v = 2,9 \cdot 10^5 \text{ км/сек}$ .

Чтобы представить себе, как велико наименьшее количество энергии, потребное для этого полета, достаточно сказать, что за двадцать последних веков человечество использовало для своих нужд столько энергии, сколько можно получить при аннигиляции половины массы ионов ( $10 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ), необходимой для полета «минимального» звездолета к Проксима Центавра.

Итак, только проникновение в самые сокровенные глубины материи, овладение процессами получения энергии за счет излучения массы покоя вещества, проникновение в тайны микромира открывает человеку путь к самым крупным материальным системам — другим звездным мирам и галактикам. От микромира в макрокосмос — таков единый поток человеческого познания.

### **Можно ли использовать для звездолета ионный двигатель!**

Уточним возможность использования ионного двигателя для галактического корабля и, в частности, для звездного путешествия минимальной протяженности — к Проксима Центавра. Это позволит нам одновременно выявить некоторые характеристики и особенности ионолета.

Предположим первоначально, что скорость истечения рабочего тела из сопел двигателя аппарата весьма высока:  $v_{p.t} = 5 \cdot 10^4 \text{ км/сек}$ <sup>1</sup>, т. е.  $\frac{1}{6}$  от скорости света. Этого условия достаточно, чтобы оценить отношение масс и наименьшее число ступеней, при которых может быть достигнута минимальная необходимая скорость звездолета в конце участка разгона, позволяющая, как было показано выше, совершить межзвездное путешествие за срок жизни человека и равная  $10^5 \text{ км/сек}$ <sup>2</sup>. Воспользовавшись для самой предварительной оценки классическим уравнением К. Э. Циолковского [уравнение (2.7)] и подставив в него известные величины — скорость истечения и конечную скорость полета (в конце участка разгона), получим, что на каждом из участков разгона или торможения потребуется обеспечить отношение масс:

$$\frac{\bar{M}}{M_K} = \frac{M_0}{M_K} = 7,5 \quad \text{или} \quad \frac{1}{M} = 0,133.$$

<sup>1</sup> Эти и еще более высокие скорости истечения «тяжелых» ионов в практически значительном количестве для создания тяги пока неосуществимы и принимаются лишь для принципиальной оценки возможностей ионного двигателя.

<sup>2</sup> В случае, рассмотренном ранее и представленном на рис. 18 (траектория I-I'), скорость  $v_K = 9 \cdot 10^4 \text{ км/сек}$ . В настоящем приближенном расчете для упрощения принимается  $v_K = 10^5 \text{ км/сек}$ , а срок полета сохраняется прежним. Принятое изменение  $V_K$  не может заметно сказаться на конечных результатах расчета.

Как уже отмечалось, для реальных конструкций отношение масс для одной ступени ракеты в наши дни лежит в интервале 3,5—10. Принимая его равным 7,5, получим, что при скорости рабочего тела  $v_{p.t} = 5 \cdot 10^4 \text{ км/сек}$  для всего полета по маршруту от Солнечной системы до системы Проксима Центавра и обратно, т. е. на два разгона и два торможения, понадобится по крайней мере четырехступенчатый аппарат.

Используя для уточнения приведенной выше оценки уравнение К. Э. Циолковского в форме, описывающей случай движения с околосветовой скоростью [уравнение (3.4)], получим для любого из участков разгона или

торможения уточненное обратное отношение масс  $\frac{1}{M} = 0,125$ , т. е. лишь на 6% меньшее, чем вычисленное прежде по уравнению (2,7).

Как видно, даже при скорости полета, достигающей  $\frac{1}{3}$  скорости света, еще не происходит принципиального изменения потребного соотношения масс по сравнению с вычисленным по классической формуле.

$$\frac{1}{M} = 0,125$$

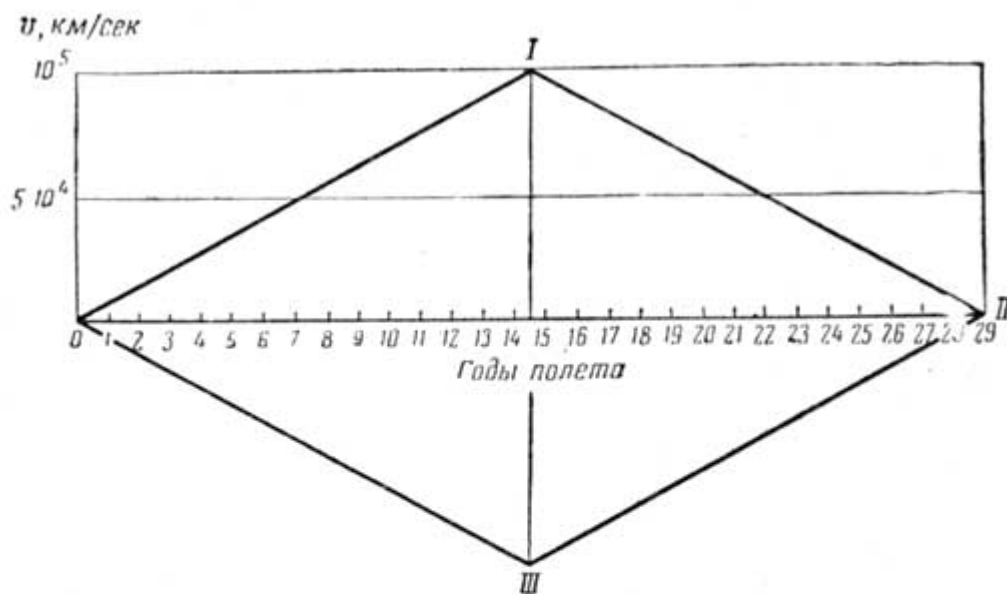
Итак, вычисленное значение  $\frac{1}{M}$ . Следовательно, к моменту завершения каждого очередного разгона, либо торможения масса звездолета должна уменьшиться в 8 раз по сравнению с той, которую корабль имел в начале этого участка. В результате масса звездолета на всем протяжении рейса должна изменяться, как показано на рис. 20. Последовательно должны сбрасываться три ступени, и лишь груз четвертой может возвратиться к месту старта. Таким образом, к месту старта возвращается  $0,125^4$ , т. е. примерно лишь  $\frac{1}{10000}$  от стартовавшей массы корабля, в то время как для квантовой ракеты с той же наибольшей скоростью в Солнечную систему вернулась бы почти  $\frac{1}{3}$  стартовавшей массы. По-прежнему предполагается, что энергетические потребности двигателя обеспечиваются в результате использования энергии, полученной за счет излучения массы покоя. Кроме того, как и раньше, принимается, что лишь половину выделившейся из вещества энергии удается использовать для ионизации и разгона рабочего тела.

Расход массы покоя на обеспечение энергетических нужд звездолета на участке разгона  $0-I$  составит

$$G = \frac{\left(\frac{F_0 + F_I}{2}\right) L}{427 \cdot \eta E_{\text{ед}}} = \frac{\left(\frac{20 + 2,5}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 9,36 \cdot 10^{15} \cdot 4,27}{4,27 \cdot 10^2 \cdot 0,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{13} \cdot 2} = 4,9 \cdot 10^4 \text{ кг,}$$

$$m_s = \frac{4,9 \cdot 10^4}{9,81} = 0,5 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м.}$$

Напомним, однако, что в рассматриваемом варианте двигателя вычисленная масса покоя, взятая на борт летательного аппарата и служащая лишь источником энергии, не используется непосредственно для отбрасывания, для получения реактивной тяги. Реактивный эффект должен создаваться за счет отбрасывания струи предварительно разогнанных атомов и молекул некоторого вещества, дополнительно взятого на борт. Поэтому необходимо оценить потребный запас также и этого рабочего тела.



|       | 0                                   | I   | II   | III  | 0     |                                     | 0    | I   | II  | III | 0    |
|-------|-------------------------------------|-----|------|------|-------|-------------------------------------|------|-----|-----|-----|------|
|       | 1-е приближение $v_{p.t.} = 17\% c$ |     |      |      |       | 2-е приближение $v_{p.t.} = 22\% c$ |      |     |     |     |      |
| $G_T$ | 1000                                | 125 | 15,6 | 1,95 | 0,22  |                                     | 1000 | 200 | 40  | 8   | 1,6  |
| $F_T$ | 20                                  | 2,5 | 0,31 | 0,39 | 0,045 |                                     | 20   | 4   | 0,8 | 16  | 0,03 |

Рис. 20. К возможностям использования ионного двигателя для звездолета. Схема движения ионолета (в таблице представлено изменение «земного веса»  $G_T$  и тяги  $F_T$  в характерных точках на схеме)

По мере использования «топлива» и рабочего тела, а также сбрасывания излишних частей конструкции будет уменьшаться и тяга, необходимая для получения постоянного ускорения  $a = 0,2 \text{ м/сек}^2$ . Значения потребной тяги в конце каждого участка разгона и торможения приведены на рис. 20 (первое приближение).

Масса «топлива», расходуемого на первом участке (участок  $0-I$ ), оценивается с использованием простой зависимости:

$$m_{\Sigma_{0-I}} = m_{\text{сек}} \cdot t_{\text{сек}} = \frac{F_{0-I} t_{0-I}}{v_{\text{р.т}}} = \frac{F_0 + F_I}{2} \frac{t_{0-I}}{v_{\text{р.т}}} \quad (3.8)$$

Подставляя в последнюю зависимость известные исходные данные и, в частности, время работы двигателя на участке  $0-I$ , оцененное ранее и равное 14,2 года, получим:

$$m_{\Sigma_{0-I}} = \frac{11,25 \cdot 10^3 \cdot 14,2 \cdot 3,15 \cdot 10^7}{5 \cdot 10^4 \cdot 10^3} = 10^5 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$$

Вся масса рабочего тела и массы покоя, служащая для обеспечения энергетических потребностей звездного корабля, составит:

$$m_{\Sigma} = 10 \cdot 10^4 + 0,5 \cdot 10^4 = 10,5 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м} = 105 \text{ т} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$$

Как видно, потребная масса рабочего тела получилась большей, чем стартовая масса аппарата, взятая за исходную при расчете  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$ . Это значит, что при скорости истечения рабочего тела, принятой выше, создание такого звездолета невозможно.

Обратимся к определению наименьшей скорости истечения рабочего тела, при которой принципиально может быть обеспечено создание «минимального» звездного ионолета.

В конце участка  $0-I$ , как было установлено, масса ступени должна уменьшиться с  $10^5$  до  $0,125 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$ . Тогда, если принять, что масса конструкции ступени  $M_K$  составляет  $1/7$  от массы вмещающегося в нее рабочего тела и горючего  $M_E$ , получим возможную массу  $M_B$  отбрасываемого рабочего тела:

$$M_{B_{0-I}} = \frac{6}{7} (M_0 - M_E - M_K) = \frac{6}{7} M_0 \left( 1 - \frac{M_E}{M_0} - \frac{M_K}{M_0} \right)$$

Подставляя известные величины, получим:

$$M_{B_{0-I}} = \frac{6}{7} \cdot 10^5 (1 - 0,05 - 0,125) = 7,9 \cdot 10^4$$

Возможный секундный расход отбрасываемой массы составит:

$$m_{\text{сек}} = \frac{M_{B_{0-I}}}{t_{\text{сек}}} = \frac{7,9 \cdot 10^4}{14,2 \cdot 3,15 \cdot 10^7} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}$$

Тогда необходимая скорость истечения рабочего тела должна по крайней мере составлять:

$$v_{\text{р.т}} = \frac{F_{\text{ф}}}{m_{\text{сек}}} = \frac{11,2 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 10^{-4}} = 66 \cdot 10^5 \text{ м/сек} = 6,6 \cdot 10^4 \text{ км/сек}$$

Как видно,  $v_{p,r}$  должна быть очень большой и составлять не менее 22% от скорости света.

В результате расчета второго приближения с введением в обобщенное уравнение К. Э. Циолковского вычисленного значения  $v_{p,r} = 6,6 \cdot 10^4$  км/сек получим отношение масс в каждой ступени

$$\frac{M_0}{M_K} \approx 5$$

Таким образом, отношение конечной массы звездолета к начальной его массе с учетом двух разгонов и торможений даже при минимальном приемлемом ускорении  $a = 0,2$  м/сек составит:

$$\frac{M_K}{M_0} = \frac{1}{5^4} = \frac{1}{625} \approx 1,6 \cdot 10^{-3}.$$

В то же время для квантовой ракеты при том же времени путешествия отношение масс стартовой к конечной почти в 100 раз больше. С другой стороны, минимальная квантовая ракета с таким же отношением масс, какое нами определено для минимальной ионной ракеты (см. табл. 3), могла бы достичь скорости, равной 0,96 с, т. е. в 3 раза большей, чем ионная ракета.

Если принять, что вес кабины корабля вместе с экипажем, продовольствием и научным оборудованием ионного аппарата может составлять всего 20 т·сек<sup>2</sup>/м (около 200 т «земного» веса), получим, что масса ионолета при старте с орбиты спутника должна быть около 7500 т·сек<sup>2</sup>/м. А это значит, что вес грузов, доставленных с Земли к месту сборки звездолета, должен составлять около 740 тыс. т.

Столь грандиозный исходный вес ионолета, который сможет решить лишь первую задачу — осуществить путешествие к Проксима Центавра и к тому же при условии трудно достижимой скорости рабочего тела, свидетельствует о том, что ионный аппарат значительно менее перспективен для звездных полетов, чем «чисто электромагнитный» — квантовый, для которого при тех же ускорениях можно уложиться в существенно меньший стартовый вес, либо добиться больших ускорений при стартовом весе, равном весу минимального ионолета.

В заключение следует упомянуть, что возможности ионолета несколько расширятся в случае, если удастся использовать в качестве дополнительного рабочего тела инертной отбрасываемой массы — дополнительно разгоняемые частицы межзвездного газа или отбрасывать часть рабочего тела, имеющегося на борту, через сопло-эжектор с подсосыванием частиц межзвездного газа для увеличения отбрасываемой массы и, в конечном итоге, некоторого увеличения тяги при прежнем крайне ограниченном запасе инертной массы на борту аппарата.

Поскольку ионные двигатели, вероятно, будут широко применяться для полетов в пределах Солнечной системы, возможны и попытки их использования для звездолетных аппаратов. Однако, как было показано, при этом неизбежно встретятся затруднения, которые, по всей вероятности, заставят сосредоточить все усилия на создании квантолетов.

**Межзвездная среда —  
опасность или источник энергии?**

Неторопливо, со скоростью всего 30 км/сек, плывет в межпланетном пространстве вокруг Солнца наша Земля. Почти в 8 раз быстрее, преодолевая около 240 км/сек, величественно перемещается в межзвездной материи вокруг центра Галактики Солнечная система. Мы говорим о величественной неторопливости, ибо их скорость в несколько тысяч, или по крайней мере в тысячу раз, меньше скоростей, которыми должны обладать стремительные, как луч света, галактические ракеты.

Опасения столкновений космического корабля с метеоритами, которые прежде считались одной из главных преград для космических путешественников, оказались чрезмерными. В этом позволили убедиться эксперименты, поставленные на первых искусственных спутниках Земли и первой советской космической ракете. Во всяком случае, по-видимому, лишь один из небольших американских искусственных спутников был преждевременно выведен из строя из-за столкновения с метеоритами или метеорной пылью.

Но не часы или месяцы, а многие годы, десятилетия, и при том со скоростью, достигающей по крайней мере до 100 тыс. км/сек, будут мчаться ракеты среди звезд. Естественно, что прежде всего им предстоит преодолеть пространства Солнечной системы.

За последнее время сильно изменились представления о характере межпланетного газа. Совсем недавно его плотность считалась ничтожной. Предполагалось, что на каждый кубический сантиметр газа приходится лишь несколько частиц. Ныне высказывается предположение о том, что в межпланетном пространстве нет сплошной, равномерно распределенной газовой среды. Его пронизывают отдельные потоки сильно ионизированного газа, состоящие из электронов и протонов, выбрасываемые с поверхности Солнца и текущие со скоростью нескольких тысяч километров в секунду, потоки межпланетной плазмы. Много нового дали в изучении межпланетного газа искусственные спутники Земли. Эти сведения важны не только для межпланетных, но и для межзвездных полетов, тем более что и межпланетные ракеты смогут, хотя и неглубоко (за время жизни одного поколения), проникать в межзвездное пространство околосолнечной системы.

Можно провести некоторую аналогию между ракетой на химическом топливе, которая, пронизывая земную атмосферу, уносится в межпланетное пространство, и галактическим кораблем, покидающим внеземную станцию — спутник. Для такого корабля межпланетный газ и будет той первой «атмосферой», пронизав которую, он уйдет в межзвездное пространство. Так же как атмосфера Земли, следы которой имеются до высоты нескольких тысяч километров, по сравнению с протяжением межпланетного путешествия не больше, чем, например, пленка нефти на поверхности глубокой реки, так и межпланетный газ, заполняющий нашу Солнечную систему, не более чем молекулярная пленка на поверхности океана — межзвездного пространства, которое будут пересекать галактические корабли.

Будем надеяться, что опыт, накопленный в ходе межпланетных полетов, поможет галактическому кораблю преодолеть пространство Солнечной системы (как при старте, так и при его возвращении в нее), тем более, что на этих этапах его скорость будет еще относительно небольшой — ведь звездолет только начнет разгоняться или уже значительно затормозится. Наконец, можно представить себе, что старт галактического корабля осуществляется из района крайней планеты Солнечной системы, например Плутона. Вместе с тем можно предположить, что задача возвращения — обратного входа в систему Солнца или в планетную систему другой звезды — будет осуществляться для галактического корабля (так же как теперь задача возвращения искусственных спутников и космических кораблей на Землю) с меньшими трудностями, чем старт. Однако несомненно, что главные и неизведанные опасности, все своеобразие и особенности которых сейчас еще трудно предвидеть, ожидают галактические корабли в самом межзвездном пространстве.

Важно также выяснить, существует ли возможность использования межзвездной материи для снабжения галактического корабля массой покоя, обеспечивающей его энергетические потребности.

При нашем приближенном рассмотрении мы не будем принимать во внимание собственную скорость межзвездного газа, которая весьма мала по сравнению со скоростью аппарата. Кроме того, поскольку, как уже отмечалось, в обозримом будущем технически можно рассчитывать на достижение собственных скоростей лишь одного порядка со скоростью света, мы ограничимся пока рассмотрением этой области скоростей полета<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Некоторые вопросы, связанные с полетами на больших околосветовых скоростях и собственных очень высоких скоростях, изложены ниже.

С чем же будут сталкиваться, или взаимодействовать, галактические корабли на своем пути? Какие опасности их ожидают? Попробуем ответить на этот вопрос.



Исследования последних лет<sup>1</sup> показывают, что пространство, которое должны пересечь звездолеты, заполнено реальным веществом — межзвездной средой, а также электромагнитными излучениями и гравитационными полями. Из всей массы нашей Галактики, составляющей примерно  $26 \cdot 10^{38} \text{ т}$ , существенная часть приходится на межзвездный газ, пыль и т. п. Звезды словно погружены в туман из газа и мелких пылинок, имеющих размеры порядка одной десятитысячной доли миллиметра и расположенных одна от другой на расстоянии десятка метров.

Средняя плотность межзвездной материи, если бы она была распределена равномерно, составляла бы ничтожную величину<sup>2</sup>:  $\rho_e = 10^{-23,5 \pm 1} \text{ г/см}^3$ . Это отвечает наличию от 0,2 до 20 атомов в  $1 \text{ см}^3$  пространства.

<sup>1</sup> Советскими учеными внесен особенно большой вклад в изучение межзвездной среды. П. П. Паренаго показал, что эта среда концентрируется в плоскости Млечного пути еще сильнее, чем звезды большинства типов. К. Ф. Огородников разработал наиболее общий метод учета поглощения света облаками межзвездной среды. В. А. Амбарцумян, Б. Р. Кукаркин, П. П. Паренаго, Б. Е. Маркарян и другие определили впервые средние физические характеристики таких облаков.

<sup>2</sup> В физической системе единиц (CGS).

Однако межзвездная материя распределена весьма неравномерно, она концентрируется к плоскости Млечного пути и собирается в облака различных размеров и плотности, которая примерно в несколько раз выше средней плотности межзвездной среды. В более плотных образованиях — газово-пылевых туманностях — концентрация межзвездной материи в  $10^3$ — $10^4$  раз превышает среднюю плотность межзвездного газа. В этих облаках пыль перемешана с газовыми частицами, которых в 100 раз больше по массе, чем пыли. Принимается, что около 90% межзвездного газа — атомарный водород, остальное — натрий, калий, кальций и титан. Облака межзвездной материи перемещаются со скоростью от нескольких километров до десятков километров в секунду, а это значит, что звездный корабль будет входить в них словно самолет в облачность атмосферы. И так же как самолет поджидают в облаках опасности, например обледенение, так и галактические корабли, встречающиеся с частицами межзвездной среды, подвергаются опасности.

Прежде всего, как мы поступали и ранее, сделаем самую приближенную оценку того количества межзвездной материи, которая может взаимодействовать с ракетой за время ее полета, например, от Земли к Проксима Центавра.

Предположим, что диаметр ракеты в месте ее наибольшего поперечного сечения составляет 12 м (при длине 85 м и стартовой массе  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  осредненная масса, приходящаяся на  $1 \text{ м}^3$  объема звездолета, составит около  $4,5 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ). Тогда площадь лобового сечения ракеты (или площадь, приходящаяся на каждые  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  ее массы)  $\Phi = 1,13 \cdot 10^6 \text{ см}^2$ .

Подсчитаем массу межзвездной материи, заключенной в столб, у которого основание равно  $1 \text{ см}^2$ , а длина — расстоянию между Землей и Проксима Центавра. Поскольку расстояние между ними  $L = 4 \cdot 10^{18} \text{ см}$ , а средняя плотность межзвездной среды  $\rho_e$  —  $10^{-23,5} \text{ г/см}^3$ , в первом приближении можем написать:

$$m = \rho_e L = 4 \cdot 10^{-5,5} \text{ г/см}^2. (3.9)$$

Тогда масса столба межзвездного газа, который пройдет через поперечное сечение ракеты за весь путь в один конец, составит всего:

$$m' = m\Phi = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,13 \cdot 10^6 = 4,5 \text{ г}. (3.10)$$

Даже при диаметре ракеты около 0,8 км, или когда  $1 \text{ км}^2$  площади поперечного сечения приходится на каждые  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  ее массы, через поперечное сечение ракеты прошло бы лишь немногим менее  $13 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  межзвездной материи.

Как видно, масса межзвездной среды, попадающая в аппарат, несоизмерима даже с наименьшей массой покоя ( $20 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ), которая, как было показано выше, минимально необходима для обеспечения энергетических потребностей звездолета (на каждые  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  его массы) при полете к ближайшей звездной системе.

Оценим несколько более точно влияние межзвездной материи на движение ракеты, летящей с околосветовыми скоростями. При условиях, приведенных выше, в случае, когда скорость движения межзвездного газа, имеющего собственную плотность по отношению к ракете  $\rho_e$ , равна  $v_r$ , для экипажа ракеты плотность этого газа будет большей, чем  $\rho_e$ . Это закономерно<sup>1</sup>, так как, с одной стороны, масса, содержащаяся в единице объема преодолеваемого звездолетом пространства, для экипажа представляется

$$\frac{m}{m_e} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2}}$$

увеличенной в отношении

$$\frac{L}{L_e} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2}}$$

направлении движения в соотношении экипажа при движении ракеты будет равна:

$$\rho'_e = \frac{mL}{m_e L_e} = \frac{\rho_e}{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2} \quad (3.11)$$

Тогда масса газа, попадающая на поперечное сечение ракеты  $\Phi$ , за собственную секунду ее полета составит:

$$\frac{dm'_e}{dt_e} = \frac{\rho_e \Phi v_r}{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2} \quad (3.12)$$

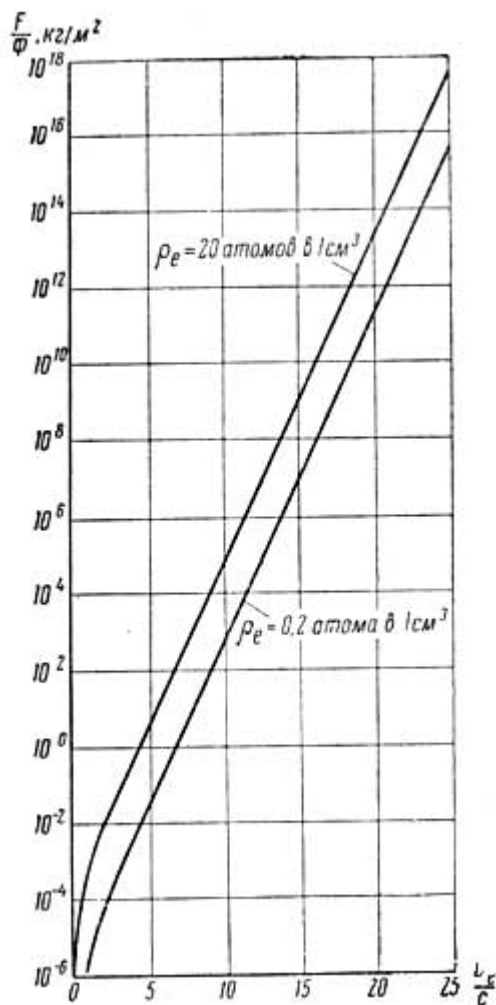


Рис. 21. Тормозящее давление масс

<sup>1</sup> Собственная скорость полета для экипажа ракеты  $v_e$  с учетом релятивистского

$$v_e = c \operatorname{arctanh} \frac{v_r}{c}$$

сокращения расстояния может быть больше единицы, так как за собственную секунду принимается скорость, вычисленная по времени, прошедшему на ракете, и пройденному ракетой расстоянию, замеренному с Земли. Ниже мы остановимся на возможных значениях  $v_e$  и других приведенных здесь соотношениях несколько подробнее.

Таким образом, тормозящий импульс, приходящийся на поперечное сечение ракеты  $\Phi$ , равен:

$$\frac{dI_1}{dt_e} = \frac{dm'_e}{dt_e} = \frac{\rho_e \Phi v_r^2}{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2} \quad (3.13)$$

Это и будет давление масс, препятствующих движению ракеты или (если стремиться использовать межзвездные массы для обеспечения ракеты энергией и, следовательно, для приведения ее в движение)

принимаемых внутрь ракеты. При  $\frac{v_e}{c} \ll 1$  последние уравнения переходят в классические зависимости:

$$m = \rho_e v \text{ и } F_e = \rho_e v^2.$$

Результаты вычислений по уравнению (3.13) после введения в него собственной скорости полета ракеты  $v_e$  представлены для ряда значений — на рис. 21.

Если тяга ракеты создается за счет масс, принимаемых в нее из межзвездной среды, то полезная тяга составит:

$$F_e = \frac{dl_2}{dt_e} - \frac{dl_1}{dt_e} = \frac{dm'_e}{dt_e} = \frac{\rho_e \Phi v_r}{1 - \left(\frac{v_r}{c}\right)^2} \cdot (c \eta_r - v_r), \quad (3.14)$$

т. е. будет равна разности между тормозящим и разгоняющим импульсом, причем последний будет зависеть от того, какую часть отбрасываемой массы, которой сообщена скорость света, удастся полезно использовать для создания тяги в направлении движения (что учитывается коэффициентом  $\eta_r$ ). После введения в уравнение (3.14) вместо относительной скорости  $v_r$  собственной скорости движения ракеты  $v_e$  вычислим значения тяги, приходящейся на единицу поверхности, принимающей межзвездную

материю, в зависимости от  $\frac{v_e}{c}$  для случая полного превращения массы покоя в материальное излучение. Результаты соответствующих вычислений представлены на рис. 22.

Как видно из графика, абсолютные значения тяги, вычисленные при средней плотности межзвездной среды, незначительны и не превышают  $10^{-4}$  кг на  $1 \text{ м}^2$  поверхности поперечного сечения ракеты. Это позволяет считать, что получаемая тяга ни в коей мере не может обеспечить энергетических потребностей звездолета. Кроме того, из рис. 22 видно, что, когда скорость ракеты с точки зрения внешнего

наблюдателя во много раз превышает скорость света  $\frac{v_e}{c} \gg 1$  (вследствие фактического сокращения расстояния для тела, движущегося с околосветовой скоростью), тяга остается постоянной.

Это происходит потому, что, хотя с ростом  $\frac{v_e}{c}$  массы, пропускаемые через ракету, растут, разность скоростей между массами, набегающими со скоростью немного меньшей, чем скорость света, и

выбрасываемыми со скоростью света, соответственно уменьшается. Напротив, как видно из рис. 21, когда  $\frac{v_e}{c} \gg 1$ , торможение ракеты в межзвездной среде должно становиться значительным.

В этом случае единственный способ компенсации сопротивления состоит в том, чтобы, принимая эту среду в ракету, затем непрерывно ее выбрасывать со скоростью света при полном превращении энергии набегающей массы в излучение.

Специальные вычисления, выполненные Зенгером, показывают теоретическую возможность компенсации сопротивления межзвездной среды путем использования эффекта «прямоточного двигателя». При этом основное движение ракеты будет происходить словно в пространстве, свободном от препятствующего ей газа, но разгон или торможение могут все же осуществляться лишь в результате работы электромагнитного (квантового) двигателя, использующего собственные массы, хранившиеся до этого в ракете.

Так обстоит дело с точки зрения использования межзвездного газа. Что же касается опасности контакта с ним, соударений, то она бесспорно существует. В самом деле, скорость движения уже первых галактических кораблей должна быть порядка световой, а это значит, что скорость встречи внешних стенок ракеты с частицами пыли и межпланетного газа будет близка к скоростям проникновения бомбардирующих частиц в ядра атомов конструкционных материалов ракеты.

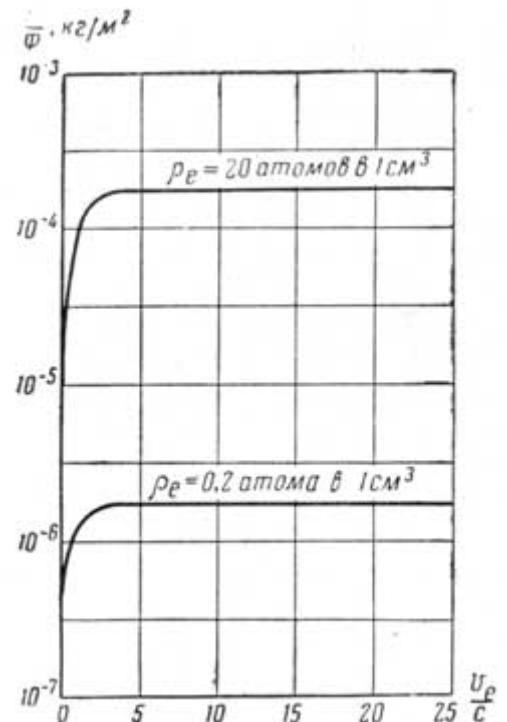


Рис. 22. Полезная тяга, создаваемая за счет принимаемой в ракету межзвездной среды в

зависимости от  $\frac{v_e}{c}$  при двух значениях плотности

$\frac{v_e}{c}$

Таким образом, помимо эрозии и взрывного взаимодействия оболочки ракеты с мельчайшими пылинками, энергия которых будет стремительно расти со скоростью полета, а также неизбежного взаимодействия с атомами газа (становящегося особенно угрожающим при их тангенциальном попадании на стенки), появляется опасность изменения свойств материала оболочки в связи с бомбардировкой ядер его атомов. Все эти воздействия могут оказаться весьма разрушительными и привести к размыванию оболочки аппарата<sup>1</sup> и возникновению ливней частиц, губительных для экипажа и аппаратуры. Столь же разрушительным будет воздействие космических частиц — лучей из мировых глубин.

<sup>1</sup> Взаимодействия такого рода были бы особенно опасны, например, для сравнительно тонкостенных оранжевых звездолета, которые, вероятно, придется использовать для обеспечения экипажа продовольствием.

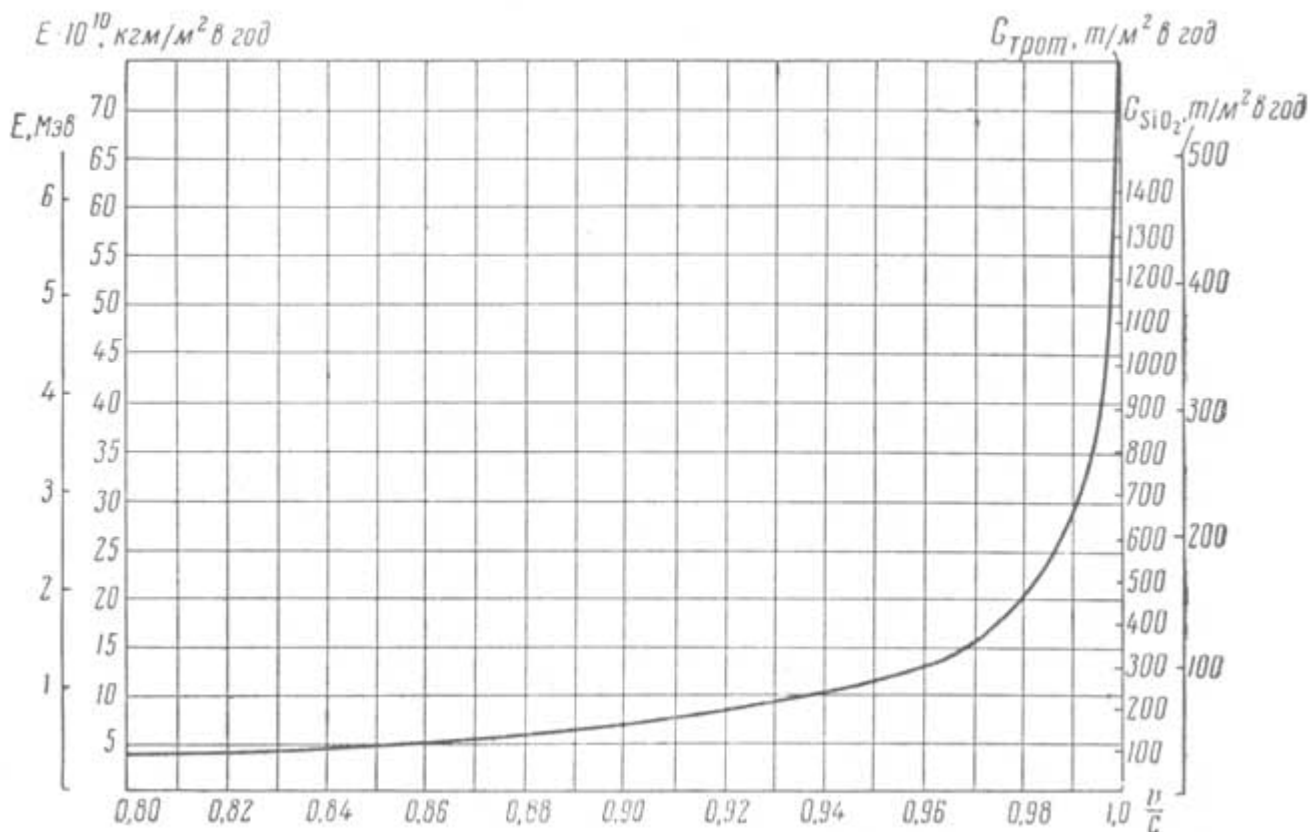


Рис. 23. Энергия частиц, соударяющихся с ракетой, и необходимые массы защитной «брони» ракеты в зависимости от скорости ее полета

В этом нетрудно убедиться, познакомившись с графиком на рис. 23. По горизонтальной оси графика отложена скорость полета, отнесенная к скорости света. На первой вертикальной шкале слева энергия одного протона, встречающегося с оболочкой ракеты, на второй шкале — энергия протонов межзвездного газа, приходящаяся за год полета на  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения ракеты (при плотности межзвездного газа  $\rho = 10^{-24} \text{ г/см}^3$ ).

На первой вертикальной шкале справа показано весовое количество тринитротолуола, которое должно быть «взорвано» на  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения лобовой брони ракеты, чтобы выделилось столько же энергии, сколько выделяется на этой же площади при соударении с атомами межзвездного водорода. На второй шкале справа показаны примерные количества карбида кремния, которые могут испариться с  $\text{м}^2$  лобовой брони ракеты в результате столкновений с частицами межзвездного газа (при условии, что оболочке передается вся энергия встречного газа).

Таким образом, график позволяет судить о массе тугоплавкого карбида, например, бериллия или других металлов, которую нужно использовать для защиты звездного корабля, если его оболочка сублимируется — возгоняется при столкновении с атомами межзвездного газа.

Возможности защиты галактического корабля от сокрушительного взаимодействия с межзвездным газом представляются по-разному в зависимости от скорости его движения: защита при скорости примерно на порядок (в десять раз) меньшей, чем скорость света, при скорости того же порядка, что и световая, но существенно меньшей, и, наконец, при скорости, вплотную приближающейся к скорости света.

Проф. Чудаков писал о том, что защита от радиации при скорости корабля 30 тыс. км/сек легко осуществима. Каждый из встречных протонов будет в таком случае обрушиваться на ракету с энергией около 2,5 тыс. эв. Протоны и электроны с такой энергией не создают сильного проникающего излучения, Кроме того, протоны, контактируя с броней ракеты, не вызывают и электромагнитного излучения. При увеличении скорости до 100 тыс. км/сек (напомним, что эта скорость близка к наибольшей для «минимального» звездолета) вес необходимой защиты возрастет, но все же будет приемлемым. При взаимодействии межзвездного газа с ракетой при скоростях, близких (но не предельно) к световой, например при скорости 290 тыс. км/сек, масса частиц, соударяющихся с броней ракеты в единицу времени, еще относительно мала.

С того момента, когда скорость достигнет такой величины, начиная с которой на поверхности брони будут происходить ядерные процессы (примерно с 1000 км/сек), приблизительно тысячная часть соударяющейся массы газа будет переходить в излучение, а остальная энергия пойдет на разогрев и разрушение брони.

Чтобы представить себе объем «брони», который испарится и разрушится под воздействием частиц, удобно сравнить последствия космического взаимодействия с воздействием на броню определенных количеств известного взрывчатого вещества — тротила.

Пусть на 1 м<sup>2</sup> в секунду падает масса  $m$  со скоростью  $u$ . Тогда при  $u$ , близкой к скорости света  $c$ , энергия, идущая на разрушение, будет порядка  $mc^2$ . Величина  $mc^2 = 9 \cdot 10^{20}$  эрг/г. При взрыве 1 г тротила выделяется 1 кал =  $4 \cdot 10^{10}$  эрг — примерно в 22 млрд. раз меньше. Таким образом, 1 г массы, соударившейся с кораблем, вызовет при взаимодействии примерно такой же эффект, что и 22 тыс.  $m$  тротила.

Чтобы 1 см<sup>2</sup> поверхности «брони» встретил 1 г вещества при его плотности в пространстве  $10^{-24}$  г/см<sup>3</sup>, ракета должна пройти путь в  $10^{24}$  см. Поскольку расстояние до Проксима Центавра примерно в 300 тыс. раз меньше ( $\sim 3 \cdot 10^{18}$  см), 1 см<sup>2</sup> поверхности ракеты встретит на этом пути всего лишь три миллионных грамма межзвездного вещества, что эквивалентно воздействию 60 кг тротила за 10 лет полета. Полет будет продолжаться около 10 лет ( $3 \cdot 10^{18}$  сек), следовательно, каждую секунду на поверхность ракеты как бы будет воздействовать  $2 \cdot 10^4$  г тротила, т. е. за 1,5 часа на 1 см<sup>2</sup> взорвется всего 1 г тротила.

Конечно, приведенное рассуждение носит весьма приближенный характер. Однако можно полагать, что для защиты от воздействия межзвездного газа, помимо специальных щитов — экранов, которые предлагались инженером Ф. Ясинским<sup>1</sup>, можно будет с успехом использовать многослойные экраны, поглощающие энергию взрыва, а также  $\gamma$ -лучи, образующиеся при ядерных взаимодействиях, и даже античастицы. Такие экраны могут заменяться по мере их израсходования.

<sup>1</sup>Предлагался подвижный щит — «космический зонтик», который можно устанавливать в некотором отдалении от космического корабля и даже смещать в ту сторону, с которой метеорные потоки наиболее интенсивны. Толщина щита должна быть такой, чтобы опасный метеорит пробил его. Тогда за щитом образуется газовый сгусток, который до подхода к обшивке корабля успевает остыть и частично рассеяться, превратившись в неопасное для корабля газовое облако. Высокие скорости полета, больше чем скорость хаотического движения метеоров, обеспечат создание за щитом тени, в которой космический корабль будет защищен от прямого попадания метеоритов, как человек, прячущийся от дождя под зонтом.

Приведем еще один пример, свидетельствующий о принципиальной возможности защиты ракеты от размывания межзвездной средой при скоростях порядка скорости света.

Абсолютно ясно, набегают ли частицы на звездный корабль или корабль «налетает» на неподвижные частицы, — результат один и тот же.

Положим, что на 1 см<sup>2</sup> поверхности ракеты, взаимодействующей с 1 г межзвездного вещества, приходится в 10 тыс. раз большая масса корпуса ракеты, т. е. 10 кг (такое соотношение, по-видимому, может считаться заниженным). Это означает, что, использовав всего 1/10 000 часть массы корабля, можно уничтожить космические частицы, препятствующие его движению, исключить их непосредственное взаимодействие с

кораблем. Установка маломощного сравнительно с основным двигателем излучателя — квантового прожектора, бросающего перед собой электромагнитный луч, — еще один вариант активной защиты, позволяющей расчистить дорогу в межзвездном пространстве для галактического корабля.

Возможны и другие приемы. Например, целесообразно сооружение ракет с двойной оболочкой. Такая оболочка может иметь промежуточный самозатягивающийся слой, например из специальной пластмассы, в какой-то степени подобный защитному слою (протектору) из сырого каучука, который наносится на поверхности баков многих современных самолетов. При попадании на него из пробойны бензина протектор, частично растворяясь, закупоривает пробойну. Быть может, удастся создать и электромагнитную защиту. Эта защита представляется как специально возбуждаемое при прохождении опасных зон магнитное поле. Такая невидимая броня отклонит в сторону встречные заряженные частицы. Частицы же, не несущие заряда, могут быть предварительно ионизированы частью излучения, направленного вперед, и затем также отклонены с пути корабля.

Несомненно, на пути корабля может встретиться метеорит, обладающий такой энергией, что броня будет им пробита. В этом случае, может быть, удастся своевременно отклонить корабль от курса, избежав опасной встречи, и затем вновь вернуть его на курс. Авторы научно-фантастических рассказов часто описывают именно такой способ сохранения корабля невредимым. Отметим, что технически эта задача весьма сложна и, пожалуй, современными средствами радиолокации еще не может быть решена. Почему же ее решение столь сложно? Предположим, что к кораблю приближается метеорит и его скорость относительно корабля составляет 60 км/сек. Метеорит имеет массу 0,5 кг, его эффективная отражающая поверхность около 0,01 м<sup>2</sup>. Весьма совершенная радиолокационная станция мощностью 100 квт, с площадью зеркала антенны 1 м<sup>2</sup> и длиной волны 4 мм, обнаружит метеорит на расстоянии всего около 40 км. Это означает, что на определение курса метеорита, вычисление и осуществление маневра корабля останется лишь менее секунды! Практически «мгновенное» отклонение корабля осуществить невозможно.

Метеорит в 1000 раз большей массы в 500 кг может быть обнаружен той же станцией всего за 500 км, т. е. на маневр останется менее 10 сек., чего, по-видимому, также совершенно недостаточно.

С возрастанием скорости корабля все труднее осуществить его даже самое незначительное отклонение от курса, так что при скорости порядка скорости света, по-видимому, придется искать пути уничтожения метеоритов, а частицы межзвездного газа принимать на защитные экраны и броню галактического корабля.

Естественно, что в ходе преодоления трудностей, связанных с размыванием материала ракеты и изменением его свойств, могут быть и будут найдены такие принципиально новые материалы, конструктивные и технологические решения, которые сейчас предсказать невозможно. Все это несомненно поможет преодолеть околосветовой барьер.

Наконец, остановимся на возможностях защиты корпуса ракеты при скорости, вплотную приближающейся к скорости света. Эта задача представляет сейчас лишь академический интерес, однако парадоксальный на первый взгляд вывод, к которому приводит ее рассмотрение, очень любопытен.

Можно ожидать, что в этом случае при взаимодействии корпуса ракеты с частицами межзвездного газа (масса которых согласно теории относительности резко возросла) возникнет излучение, исходящее из брони ракеты и направленное вперед. Этот луч будет воздействовать на новые частицы, летящие навстречу ракете, и они в свою очередь превратятся в излучение. Весьма быстро установится такой режим обтекания ракеты потоком частиц, когда на некотором расстоянии от нее практически вся масса встречного газа будет переходить в излучение.

Для поддержания подобного режима самоэкранировки достаточно, чтобы на поверхность ракеты падала ничтожнейшая (всего 1/100 000) часть встречных частиц, так как уже при скорости 1000 км/сек начинаются ядерные процессы, поддерживающие такой режим.

Поверхность, где совершается «переработка» космических частиц в излучение, будет находиться на большом расстоянии от звездного корабля, и поэтому общее количество излучения, дошедшее до него, по-видимому, будет в сотни тысяч раз меньше, чем при непосредственном воздействии частиц на «броню» ракеты. Если



перед кораблем расположить сравнительно тонкий свинцовый зонт, звездолет подвергнется умеренному воздействию межзвездной материи.

Рассказывая о распределении межзвездного газа и пыли в пространстве, мы отмечали, что, наряду с областями, в которых плавают облака с повышенной концентрацией материи, есть и такие, где концентрация межзвездного вещества мала, — своеобразные прозрачные дороги. Разумеется, что по ним и должны будут направляться звездные корабли.

Нами были описаны решения проблем, которые на первый взгляд могут показаться неразрешимыми. Приемы, которые сегодня удастся наметить, конечно не единственные, и это само по себе еще раз показывает, что и другие препятствия, стоящие на дороге к звездам, будут успешно преодолены.

В частности, целый комплекс задач возникнет в связи с необходимостью создать в условиях длительной невесомости привычные условия для жизни и работы astronauts, необходимостью обеспечить защиту кабины и самих astronauts от космических частиц, от излучений энергетического источника звездолета и других внешних воздействий. На некоторых особенностях этих проблем, в известной степени специфических для звездолетов, мы вкратце и остановимся.

## Человек в звездолете

Люди перемещаются в мировом пространстве вместе с Солнечной системой с постоянной скоростью более 70 тыс. км/час, даже не замечая этого. Постоянные скорости передвижения не оказывают, как известно, никакого влияния на организм человека. На него воздействуют лишь те силы, которые вызывают изменение скорости.

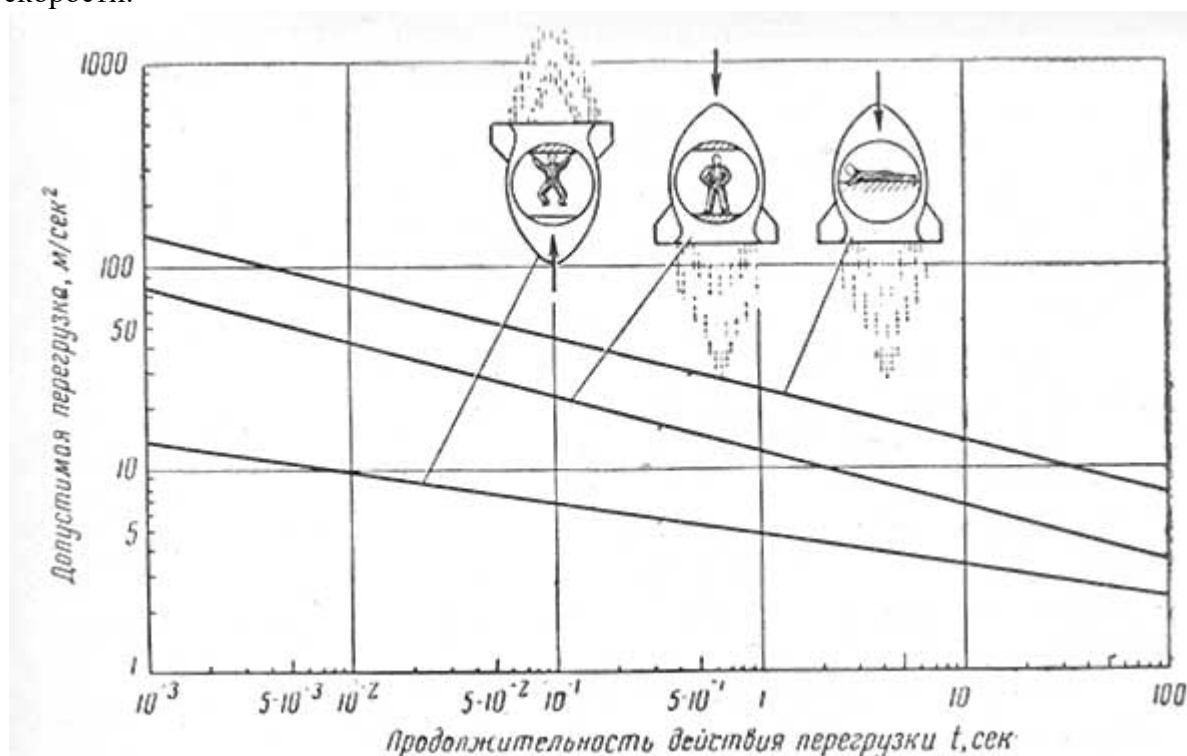


Рис. 24. Допустимые перегрузки и их возможная продолжительность в зависимости от положения человека в ракете. Направление действия перегрузки показано стрелками

Взлет космического корабля с Земли, а также его торможение с использованием двигателей и сопротивления атмосферы при возвращении на Землю связаны со значительными ускорениями, т. е. с существенными изменениями скорости по величине и направлению. Это неизбежно сопровождается воздействием на весь летательный аппарат, его оборудование и находящихся в нем людей механических сил, которые вызывают и определяют величину перегрузки, т. е. отношение силы, с которой тело давит на опору, к весу этого тела.

Опыт, накопленный в авиационной технике, свидетельствует о том, что наибольшие нагрузки, которые может вынести человек без вреда для здоровья, зависят как от его положения в разгоняющемся аппарате, так и от продолжительности действия перегрузки. График, показывающий ориентировочные допустимые перегрузки в зависимости от положения человека, приведен на рис. 24. Из этого рисунка, в частности, видно, что организм значительно лучше переносит поперечную перегрузку, чем продольную. Если перегрузка действует вдоль тела человека, то, чтобы поднять «тяжелую» кровь на необходимую высоту, сердце совершает большую работу. Если же человек «лежит», перегрузка действует поперек тела, высота меньше и сердце успешнее справляется со своей задачей.

Задачи выбора соотношения длительности и величины перегрузок, которые не будут вредно отражаться на здоровье человека, решаются сейчас и будут решаться уже в процессе создания обитаемых спутников-станций.

Для «минимальных» звездолетов, стартующих со спутников, будут, вероятно, характерными весьма малые постоянные ускорения. Когда же наступит время создания несколько более совершенных аппаратов, они будут двигаться на значительной части пути с выключенными двигателями, а значит без ускорений и без ощущения «веса» у находящихся в них людей, и для восстановления хотя бы части веса понадобятся специальные приемы.

Только в весьма отдаленном будущем при достижении скоростей, вплотную приближающихся к скорости света, на аппаратах с практически неограниченными энергетическими возможностями, способных преодолевать расстояния в сотни световых лет с большими ускорениями и относительно ничтожным собственным временем полета, снова, как для современных ракет, стартующих с Земли, возникнет проблема разгона с максимальными перегрузками.

Итак, поскольку в обозримом будущем для экипажей звездолетов могут быть характерными именно малые перегрузки, остановимся вкратце на проблеме воздействия на человека невесомости, которую К. Э. Циолковский начал изучать еще в 1876 г.<sup>1</sup>

На звездолет, удаляющийся от Земли, ее притяжение практически перестает действовать уже с расстояния 1 млн. км, а поскольку гравитационные поля в межзвездном пространстве ничтожны, все тела в нем окажутся в положении так называемой статической невесомости<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> К. Э. Циолковскому принадлежит особое место в создании космической медицины. В 1876—1878 гг. он провел опыты, в ходе которых пытался решить некоторые медико-биологические проблемы полетов за пределы Земли.

<sup>2</sup> В случае, когда спутник движется по круговой орбите со скоростью, например, около 8 км/сек и центробежная сила полностью уравновешивает силу притяжения, потеря веса обуславливается скоростью спутника и называется поэтому динамической невесомостью.

Потеря веса не означает, однако, потери массы. Инертность тел остается, и, значит, для изменения скорости корабля всегда потребуется приложить к нему силу тяги.

Первые достоверные сведения о продолжительном воздействии невесомости на живой организм были получены при запусках спутников с животными, в частности, в ходе успешного полета Лайки на втором советском искусственном спутнике Земли. Как известно, Лайка быстро освоилась с невесомостью и чувствовала себя нормально.

Поскольку при движениях в условиях невесомости человеку требуется, например, преодолевать вес рук и ног, первоначально, как свидетельствуют специально проведенные экспериментальные исследования, происходит нарушение координации точности движений. Однако опыты показывают, что предварительная тренировка позволяет человеку быстро освоиться с новыми условиями.

Юрий Гагарин рассказал, что в ходе своего полета после наступления невесомости он не ощущал ничего неприятного. Важно было выяснить, можно ли привыкнуть к более длительному пребыванию в условиях невесомости. Герман Титов провел в таких условиях сутки и чувствовал себя отлично. Кровообращение, координация движений, сон, прием пищи были нормальными.

Можно надеяться, что люди, пройдя школу невесомости на первом этапе освоения космоса в течение многомесячных путешествий в Солнечной системе, сумеют решить эту проблему и для десятков лет полета в межзвездном пространстве. Наконец, в случае необходимости весомость может быть, как известно, получена искусственно, путем равномерного вращения кабины галактического корабля вокруг продольной оси. Кроме того, на первых порах, до выработки необходимых навыков, для облегчения движения людей в условиях невесомости можно будет использовать магнитный пол, резиновые присоски на обуви и другие подобные средства.

Все же следует иметь в виду, что первые межзвездные полеты, связанные с оторванностью не только от Земли, но и от Солнечной системы, необычайность самого путешествия, предстоящие величайшие открытия создадут своеобразное психологическое состояние экипажа.

## Перед стартом к звездам

### О размерах экрана-отражателя электромагнитных волн

**К**онечно, время технического конструирования галактических кораблей еще не пришло. Однако хочется, чтобы рисунки галактических кораблей, которые публикуются в популярной литературе, были не только созданием творческой фантазии художника, но, хотя бы в небольшой части, также и результатом сугубо ориентировочных технических расчетов.

Если предположить, что мечты астронавтов сбылись — сложные теоретические и экспериментальные проблемы решены и постройка галактических кораблей стала технически осуществимой задачей, — можно попытаться оценить хотя бы масштабы галактического корабля и, прежде всего, его экрана, отражающего узким пучком поток электромагнитных волн, обеспечивающих создание тяги.

В радиолокационной технике для определения диаметра антенны (экрана) пользуются зависимостью

$$D_3 = \frac{\lambda}{\varphi_{\Pi}} \quad (4.1)$$

где  $\varphi_{\Pi}$  — ширина диаграммы направленности в радианах, взятая на уровне половинной мощности  $N$  (рис. 25), т. е. при таком изменении направления от максимума (от оси антенны), при котором мощность излучения падает наполовину (значением  $\varphi_{\Pi}$  обычно задаются).

Поглощение мощности в экранах обычных радиолокационных станций в тех случаях, когда производится локация целей, столь ничтожно, что оно не учитывается при проектировании антенн. Поскольку паузы между импульсами радиолокационных станций многократно превышают продолжительность самих импульсов, экран сколько-нибудь существенно не нагревается даже при импульсе в несколько тысяч киловатт<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> По данным зарубежной печати, локация Луны выполнялась в диапазоне длин волн от 13,6 до 10 см. Для работ в метровом диапазоне применялась параболическая антенна, представляющая собой чашу диаметром 80 м, заасфальтированную внутри и выложенную металлической отражающей сеткой. Мощность генератора составляла более 2 тыс. квт при длительности импульса в несколько микросекунд.

Напротив, при использовании квантолетов абсолютная величина мощности, потерянной в экране, может быть значительной и даже определяющей при выборе размеров экрана.

Поэтому после определения размеров экрана, исходя из потерянной в нем мощности, уравнение (4.1) может быть использовано лишь для определения угла раствора луча. Естественно, что чем меньше угол раствора луча, тем меньше дополнительные потери тяги. Далее мы

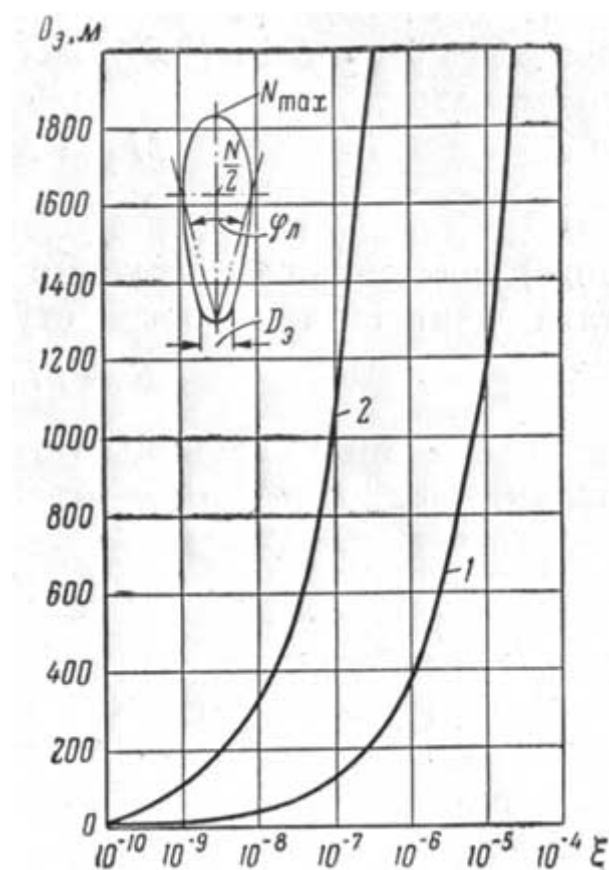


Рис. 25. Примерная зависимость размеров экрана первой ступени галактического корабля от коэффициента поглощения энергии  $\xi$  в материале экрана  
1 — «минимальный» звездолет; 2 — «максимальный» звездолет (с предполагаемой максимальной скоростью  $v_k = 94\% c$ )

будем принимать, что угол луча не должен превышать  $1^\circ$ . Обратимся к приближенному определению размеров экрана квантолета.

При отношении масс аппарата  $M$ , определенном с помощью уравнения (3.4), масса аппарата на старте должна составлять:

$$M_0 = M_k \cdot \bar{M}. \quad (4.2)$$

Для сообщения звездолету необходимого (выбранного) постоянного ускорения  $a$  в начале участка  $O — I$  тяга двигателя (первой ступени) должна составлять:

$$F = M_0 \cdot a. \quad (4.3)$$

Для создания единицы тяги за счет электромагнитного излучения при идеально отражающем экране нужно располагать мощностью

$$N = Fk, \quad (4.4)$$

где  $k$  — коэффициент преобразования мощности источника излучения в тягу (как было отмечено выше, для получения тяги, равной  $1 \text{ т}$ , необходима мощность около  $3 \text{ млрд. квт}$ ).

Обозначив коэффициент поглощения мощности в экране через  $\xi$ , получим, что тепловыделение в экране может быть определено из зависимости:

$$N_s = F \cdot k \cdot \xi \quad (4.5)$$

Звездолет представляет собой по существу небесное тело, находящееся в лучистом теплообмене с окружающим пространством. Будем считать, что в связи с очень продолжительным временем работы экрана его собственная теплоемкость может практически не учитываться. Кроме того, поскольку звездолет, летящий от Солнца к Проксима Центавра, может стартовать с отдаленного от Солнца космодрома в нашей Солнечной системе и большую часть времени находиться в межзвездном пространстве, вдали от обеих звезд, влияние их тепловой радиации на экран не учитывается. Отметим также, что давление лучей Солнца на экран уходящего от Солнечной системы галактического корабля будет создавать очень небольшую дополнительную тягу.

Тогда, задавшись допустимой температурой экрана  $T$  (по Кельвину), с учетом закона Стефана-Больцмана, позволяющего оценить полную энергию излучения черного тела (из условия, чтобы температура экрана не превысила допустимой), можем написать:

$$N_s = N\xi = C_0 T^4 \varepsilon \Phi \quad (4.6)$$

откуда поверхность излучателей экрана равна:

$$\Phi = \frac{N_s \varepsilon}{C_0 T^4}, \quad (4.7)$$

где  $C_0$  — коэффициент испускания абсолютно черного тела (в нашем случае стержней конструкции экрана);

$\varepsilon$  — коэффициент собственного излучения стержней экрана. Как и для всякого другого тела, обладающего сравнительно низкой температурой, это излучение лежит в инфракрасной области спектра (длина волн около  $10 \text{ мк}$ )

$\Phi$  — площадь поверхности стержней, составляющих экран.

$$h = \frac{\lambda}{10}$$

При длине волны  $\lambda$ , ширина ячейки экрана должна составлять примерно  $\frac{\lambda}{10}$ . Принимая, что экран собирается из стержней (трубок) с диаметром  $d$  и поверхностью стержня, составляющего одну сторону

$$f = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\lambda}{10} \approx 0,08 d^2 \lambda,$$

ячейки можем написать зависимость для определения числа квадратных ячеек экрана:

$$n = \frac{\Phi f}{3f} = 0,33 \left( \frac{\Phi}{0,08 d^2 \lambda} - 1 \right) \quad (4.8)$$

Принимая экран плоским, квадратным и зная число его ячеек, нетрудно написать выражение для определения размера стороны экрана:

$$H = 0,1 \lambda \sqrt{n}$$

или, в свою очередь,

$$D_{\text{э.ф.}} = 0,8 H,$$

где  $D_{\text{э.ф.}}$  — диаметр полусферы той же поверхности, что и квадратный экран (эквивалентная поверхность полусферического экрана).

Подставив все найденные промежуточные величины в уравнение для определения диаметра полусферического экрана, получим обобщенное уравнение для оценки  $D_{\text{э.ф.}}$

$$D_{\text{э.ф.}} = 9,2 \sqrt{\frac{N \xi}{0,0785 \lambda C_0 \varepsilon T^4 d^2} - 1} \quad (4.9)$$

или из уравнений (4.2)-(4.5):

$$D_{\text{э.ф.}} = 9,2 \sqrt{\frac{M_{\text{к}} \cdot \overline{M} a \xi}{0,0785 \lambda \cdot C_0 \varepsilon T^4 d^2} - 1} \quad (4.10)$$

Воспользуемся последним уравнением для определения диаметра экрана «минимального» звездолета, т. е. такого, который позволяет осуществить полет с минимальным ускорением из условия завершения полета в пределах жизни одного поколения ( $a = 0,2 \text{ м/сек}$ ). Схема полета в этом случае представлена на рис. 18. Примем, что груз (пассажирская кабина, экипаж, научное оборудование и пр.), который должен быть возвращен в Солнечную систему, имеет массу<sup>1</sup>  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ . Тогда, как это следует из расчетов, приведенных

$$\overline{M} = \frac{1}{0,287} = 3,5$$

выше, отношение масс должно составлять  $3,5$ , а значит, минимальная масса аппарата при отлете с космодрома в Солнечной системе должна составлять около  $350 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  (земной вес равен примерно  $3500 \text{ т}$  — вес железнодорожного состава).

<sup>1</sup> Естественно, что приводимая оценка справедлива для любого числа масс по  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ , возвращающихся в Солнечную систему. Принципиально же столь большой вес возвращающейся части корабля (ранее мы принимали минимально возможную массу возвращающейся части корабля  $20 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ ) взят ввиду крайне продолжительного рейса и вероятного несовершенства силовой установки квантового корабля «первой очереди».

Для сообщения звездолету ускорения  $0,2 \text{ м/сек}^2$  в начале участка  $O — I$  тяга должна составлять:

$$F = M_0 a = 350 \cdot 0,2 = 70 \text{ т}.$$

Наибольший размер экрана и будет соответствовать условию создания такой тяги.

Поскольку, как отмечалось ранее, для создания  $1 \text{ т}$  тяги за счет электромагнитного излучения при идеально отражающем экране нужно располагать мощностью около  $3 \text{ млрд. квт}$ , общая необходимая мощность согласно уравнению (4.4) должна составлять  $210 \text{ млрд. квт}$  и соответственно тепловыделение в материале экрана  $210 \text{ млрд. квт}$ . Необходимые размеры экрана будут зависеть от значения  $\xi$  — коэффициента потерь,



от поглощения мощности в экране. Естественно, что по мере уменьшения коэффициента потерь мощности размеры экрана будут уменьшаться.

Оценка размеров экрана выполняется при ряде значений  $\xi$ . Очевидно, что придется добиваться такого значения  $\xi$ , чтобы размеры экрана оставались технически приемлемыми, или, напротив, при большом значении  $\xi$ , если не удастся его уменьшить, изыскивать такие конструктивные способы создания экрана, которые позволили бы сохранить его прочность и работоспособность<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> По мере выработки массы звездолета для сохранения  $a=\text{const}$  тяга должна уменьшаться, а значит могут уменьшаться и размеры экрана. Эта задача может решаться, например, путем постепенного сбрасывания внешних кольцевых частей экрана звездолета.

Для дальнейшего расчета воспользуемся уравнением (4.9). В этом уравнении могут быть приняты следующие значения ряда величин. Согласно вычисленному выше,  $N = 210$  млрд.  $\text{квт} = 210 \cdot 10^{12} \text{ вт} = 5 \cdot 10^{13} \text{ кал/сек}$ ;  $\lambda = 200 \text{ см}$ ;  $C_0 = 1,36 \cdot 10^{-12}$ ;  $\varepsilon = 1$ ;  $T = 573^\circ\text{К}$ .

С ростом абсолютной температуры стержней, составляющих решетку экрана, возрастает и его нагрев вследствие увеличения коэффициента поглощения. Ввиду этого мы и остановились на ориентировочной величине допустимого подогрева  $T = 300^\circ \text{С} = 573^\circ\text{К}$ . Диаметр стержней предварительно принят равным  $1,12 \text{ см}$ , при этом на единицу его длины приходится поверхность в  $1 \text{ см}^2$ . Вероятно, целесообразно использовать не стержни, а трубки того же диаметра, что позволит уменьшить массу конструкции экрана без существенного ущерба для его прочности. Напомним также, что экран находится в состоянии невесомости и нагружается только равномерно распределенной нагрузкой — силой тяги  $F = 70 \text{ т}$ .

Приняв в первом случае  $\xi = 10^{-9}$  и подставляя известные величины в уравнение (4.10), получим диаметр экрана, равный  $12 \text{ м}$ . При увеличении коэффициента  $\xi$  размер экрана будет расти согласно зависимости:

$$D_{\xi} = D_{\xi_1} \sqrt{\frac{\xi_{\xi}}{\xi_{\xi_1}}} \quad (4.11)$$

Результаты соответствующего расчета сведены в табл. 6; на рис. 25 построена кривая  $D = f(\xi)$ .

Таблица 6

**Размеры экрана при различных значениях коэффициента потерь  $\xi$**

| Коэффициент потерь $\xi$ | «Минимальный» звездолет $F_0 = 70 \text{ т}$ |                       | «Максимальный» звездолет $F_0 = 5200 \text{ т}$ |                       |
|--------------------------|--|-----------------------|---|-----------------------|
|                          | диаметр, м                                   | площадь, $\text{м}^2$ | диаметр, м                                      | площадь, $\text{м}^2$ |
| $10^{-9}$                | 12   | 226                   | 103   | $17,2 \cdot 10^3$     |
| $10^{-8}$                | 37,8   | $2,26 \cdot 10^3$     | 325   | $17,2 \cdot 10^4$     |
| $10^{-7}$                | 120  | $2,26 \cdot 10^4$     | 1 030   | $17,2 \cdot 10^5$     |
| $10^{-6}$                | 358  | $2,26 \cdot 10^5$     | 3 250   | $17,2 \cdot 10^6$     |
| $10^{-5}$                | $1,2 \cdot 10^3$                             | $2,26 \cdot 10^6$     | 10 300  | $17,2 \cdot 10^7$     |

Обратимся к оценке размеров экранов ступеней «максимального» квантолета, развивающего скорость порядка 95% от световой, чему отвечает, согласно уравнению (3.4),  $\bar{M} = 1300$ . Задаемся массой, возвращающейся в Солнечную систему, равной  $20 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$ . Тогда исходная масса звездолета при старте равна  $26 \cdot 10^3 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  (земной вес порядка 260 тыс.  $\text{т}$ ), а тяга и мощность двигателя первой ступени звездолета для получения ускорения  $a = 0,2 \text{ м/сек}^2$  соответственно равны  $F_0 = 5,2 \cdot 10^3 \text{ т}$ ;  $N = 15,6 \cdot 10^3$  млрд.  $\text{квт}$ .

В результате для ряда значений  $\xi$  получим размеры (диаметр и поверхность экрана), также представленные в табл. 6 и на рис. 25. Как видно, коэффициент потерь следует уменьшать по возможности до  $\xi = 10^{-8}$ . В наше время экранов с такими ничтожными коэффициентами поглощения не существует. Как отмечалось ранее, достигнутое значение  $\xi$  для медного экрана при  $\lambda = 2 \text{ м}$  составляет  $0,310^{-5}$ . Получение  $\xi = 10^{-8}$  несомненно

будет связано с преодолением больших трудностей. При этом желательно увеличить диаметр стержней, из которых собран экран; это будет больше соответствовать конструктивным размерам звездолета и позволит несколько уменьшить исходную массу экрана.

Вторая ступень рассматриваемого звездолета имеет массу, равную  $\frac{1}{6}$  первой, и поверхность экрана ее двигателя составляет  $\frac{1}{6}$  поверхности экрана первой ступени. Диаметр ее экрана равен  $D_2 \approx 0,3\sqrt{S_1}$ . В том же отношении к поверхности экрана второй ступени находится экран третьей ступени, и наконец, к экрану третьей ступени — экран последней, четвертой ступени. В результате последняя, четвертая ступень и ее экран оказываются близкими по размерам к тем, которые необходимы «минимальному» звездному кораблю.

В освоении Вселенной огромна роль радиотехники. По-видимому, она должна будет сказать решающее слово и при создании экрана-излучателя — одного из основных узлов двигателей галактических кораблей.

### **Некоторые особенности сборки звездолета и связи с ним**

Создание звездолета в космическом пространстве на орбите спутника Земли потребует точного вывода на эту орбиту деталей, частей галактического корабля и сосредоточения их в одном месте для сборки. Такая круговая орбита может, например, находиться на расстоянии  $\sim 36,8$  тыс. км от Земли. На этой высоте спутник обращается вокруг Земли ровно за сутки, а значит, имеет такую же угловую скорость, как и Земля. Это обеспечит постоянное расположение места монтажа над одним и тем же участком местности, а значит, в известной мере облегчит наблюдение за ходом сборки и связь с Землей, связь земной и космической строительных площадок.

Поскольку техническое создание звездолета предполагается как этап, следующий за глубоким всесторонним овладением околосолярным пространством, доставка частей звездолета к месту сборки, вероятно, будет успешно осуществлена. Таким образом, галактический корабль может быть собран подобно тому, как ныне собирают стандартные дома, пользуясь крупными блоками, панелями, заранее изготовленными и испытанными на предприятиях. Вероятно, к этому времени многие детали солнечных ракет и доставляемые ими грузы будут стандартизированы, как сейчас стандартизированы, например, элементы сборочных ступеней на предприятиях и стройках, а также размеры и веса грузов, перевозимых железными дорогами. Эти стандартизированные узлы, кабины, пустые топливные баки, корпуса последних ступеней ракет, доставляемые на орбиту в определенное место, и послужат основой конструкции звездолета. Лишь часть элементов будет изготавливаться специально для данного корабля. Возможно также использование в качестве строительного материала элементов ранее созданных спутников, выполнивших свои задачи.

Известные трудности возникнут в связи с тем, что сборщики звездолетов должны будут работать в условиях космического пространства. В качестве защиты от воздействия холода и опасных излучений, по-видимому, будут использоваться специальные костюмы. Возможно также применение кабин, в некоторой степени напоминающих кабины современных подъемных кранов, но снабженных необходимыми средствами защиты, а также небольшими реактивными двигателями и манипуляторами для проведения внешних работ. Такие манипуляторы могут быть подобны тем, которые используются для работы с радиоактивными веществами.

Кроме того, например для получения плотных сварных швов, вероятно, потребуется создание искусственной силы тяжести путем придания вращения элементам, подлежащим сварке (вместе со сварщиком). Однако все эти трудности технического порядка можно преодолеть.



С другой стороны, какое благодатное поле для строительства — свободное от тяжести пространство, где самые крупные детали можно будет передвигать с помощью небольших устройств, создающих реактивную тягу.

Изогнутые стекла и компактные линзы, концентрирующие солнечные лучи, станут универсальными сварочными аппаратами космических сварщиков, использующих достижения гелиотехники. Сварочные швы, полученные в условиях глубочайшего вакуума космического пространства, обеспечат полную и столь необходимую герметизацию каждого из отсеков звездолета. После того как отсек герметизирован, монтаж его внутренних узлов может выполняться в искусственно созданной атмосфере без специальных костюмов.

---

Может быть так будет выглядеть межзвездный корабль, отправляющийся в путь к далеким мирам.

---

Следует подчеркнуть, что при постройке галактического корабля как бы моделируется звезда (двигатель корабля) с планетным миром (кабина экипажа), в котором обеспечивается физико-химический круговорот вещества. К. Э. Циолковский предлагал создавать на звездолетах оранжереи — растительные миры этих микропланет.

Проведенное в последние годы изучение одноклеточной зеленой водоросли хлореллы показало, что, потребляя углекислый газ, она способна служить своеобразной фабрикой кислорода. Литр суспензии

хлореллы выделяет за сутки 10 л кислорода. Она состоит наполовину из полноценного белка, жиров, углеводов, витаминов и размножается с изумительной быстротой. По всей вероятности, хлорелла будет ценным спутником космонавтов.

Представляется целесообразным отправлять даже в первое межзвездное путешествие не один, а одновременно несколько галактических кораблей, движущихся в пространстве возможно ближе один к другому с одинаковыми скоростями. Это позволит оказать помощь любому из кораблей в случае аварии, увеличит шансы благополучного исхода экспедиции. Наконец, у каждого из астронавтов не будет столь острого чувства оторванности от родного мира. Следует отметить и некоторые другие обстоятельства, специфические для звездолета.

Задача поддержания заданного теплового режима элементов силовой установки и, главное, кабин экипажа усложняется тем, что галактический корабль уходит из системы одной звезды, а попадает в систему другой или других звезд, отличающихся по характеру и силе излучения от нашего Солнца. И хотя, по всей видимости, звездолет будет направляться к звездным системам, сходным с Солнечной, все же его оборудование для поддержания теплового режима и средства защиты экипажа от излучений должны быть рассчитаны на значительно больший интервал воздействий, чем у спутника Земли, либо у космического корабля, предназначенного для полетов внутри Солнечной системы.

Силовая установка звездолета должна работать многие годы (для «минимального» звездолета — все годы полета). Трудности обеспечения этого требования становятся особенно очевидными, если мы вспомним, что двигатели и, в частности, камеры сгорания, даже если сложить вместе время работы двигателей всех ступеней современных многоступенчатых ракет, работают лишь в течение нескольких сот секунд. А ведь, например, устройства для получения энергии из вещества будут, вероятно, куда более напряженными в тепловом отношении, чем камеры сгорания. Кроме того, вся бортовая аппаратура, приборы, оборудование галактического корабля должны быть рассчитаны на очень длительный срок (как мы условились, по крайней мере на 50 лет) бесперебойной эксплуатации. Они должны сохранять надежность в условиях очень продолжительной работы при различных ускорениях (для «минимальных» звездолетов — в основном малых). Столь же долговечными должны быть энергетические источники питания аппаратуры. Очевидно, придется предусматривать обеспечение питанием наиболее ответственных узлов звездолета от двух источников: от основной двигательной установки и от специального аварийного источника энергии, не зависящего от основного двигателя, например — автономной атомной энергетической установки, позволяющей обеспечить работу механизмов корабля при необходимости останова его основного двигателя.

Совершенно обязательно также создание надежной двухсторонней связи минимального звездного корабля с пославшей его цивилизацией.

Такая связь нужна не только для передачи информации, но и для того, чтобы ослабить состояние оторванности от Земли, которое будет испытываться экипажем. Максимальная дальность радиосвязи, достигнутая к настоящему времени, около 35 млн. км. Несомненно, что радиосвязь с кораблями, трасса которых лежит в пределах Солнечной системы, будет обеспечена. Неизмеримо труднее создать средства связи с галактическим кораблем на межзвездных расстояниях. Даже если такую связь удастся осуществить, она будет удивительно неоперативной — на двухсторонний обмен телеграммами между кораблем, находящимся, например, в районе Проксима Центавра, и Землей уйдет 8,54 года. Так долго будут путешествовать в оба конца радиоволны. Кроме того, им придется преодолевать многочисленные преграды.

В атмосфере Земли есть окно прозрачности, через которое проникают электромагнитные излучения; чрезвычайно разнообразны атмосферы (а значит и ограниченные окна прозрачности) есть и у некоторых других планет. Это первое «припланетное» препятствие, ограничивающее выбор радиоволн, пригодных для связи. Межзвездные облака также являются преградами для радиоволн. Содержащиеся в таких облаках свободные электроны создают своеобразные межзвездные ионосферы, поглощающие и отражающие радиоволны.

Потоки космического радиоизлучения, заполняющие пространство вокруг каждой звезды, радиоизлучение межзвездного газа и соседних галактик — источники помех для приемных устройств. Наконец, пояса

повышенной радиации, подобно ореолу окружающие Землю и имеющие просветы только в приполярных областях, могут оказывать вредное влияние на работу радиоустройств и, в частности, полупроводниковых приборов.

Для успеха галактического путешествия необходимы не только станции радиосвязи с кораблем, но также и между кораблями, станции, обеспечивающие обнаружение метеоров, решение задач навигации и других вопросов.

Сегодня могут быть намечены пути, позволяющие преодолеть или обойти некоторые из трудностей, препятствующих организации двухсторонней радиосвязи в галактике. Прежде всего для посылки радиосигналов на межзвездные расстояния необходимы сверхмощные передатчики и антенны с огромным усилением. Для этого нужны антенны высокой направленности, излучающие узкий пучок радиоволн. Это, в свою очередь, заставляет точно наводить антенну и, кроме того, требует, чтобы корреспондирующие пункты находились на линии прямой видимости, либо чтобы использовались промежуточные станции, ретранслирующие сигналы от одной цели к другой.

Радиоастрономия, создавшая гигантские подвижные и неподвижные антенны, внесла неоценимый вклад в космическую радиотехнику. Радиотелескопы — это сверхчувствительные радиоприемники космической радиолинии. Крупнейшая из современных подвижных антенн, установленная в Джодрелл Бенк (Англия), имеет параболическое зеркало диаметром 73 м. Неподвижная антенна Пулковской обсерватории протянулась в горизонтальном направлении на 120 м. Она способна принять космическое радиоизлучение даже на волне 3 см. Отметим, что диаметр антенн, которые могут располагаться на планетах с атмосферами, ограничен в связи с искажением фронта волны в атмосфере. Так, при длине волны 3 см наибольший диаметр параболлоида в условиях земной атмосферы 150 м.

По-видимому, целесообразно выносить станции связи за атмосферу планет на искусственные спутники или космические тела, подобно Луне не обладающие атмосферой. Но во всех случаях основной передатчик, расположенный на базе, должен быть наиболее мощным и совершенным, что позволит увеличить дальность при ограниченной мощности бортовых устройств. Возможно, что для аппаратуры радиосвязи, действующей на галактических кораблях в космическом пространстве, где господствует почти идеальный вакуум, удастся создать сверхэкономичные сверхмощные передатчики. Правда, это может быть сделано лишь при умеренных скоростях движения кораблей, так как с приближением скорости полета к скорости света увеличивается «плотность» потока частиц, набегающего на галактический корабль.

С ростом расстояний, на которых должна осуществляться радиосвязь, «энергетический голод», испытываемый радиоустройствами, будет возрастать, а следовательно, размещенные на борту энергетические мощности должны увеличиваться. Следует иметь в виду и то, что мощность, необходимая для работы передатчиков, растет с усложнением их задач. Так, для передачи на Землю телевизионных изображений нужна мощность в 1000 раз большая, чем для простой пеленгации. Несомненно, что с решением главной задачи — обеспечения энергетических потребностей квантового двигателя — можно будет выделить для средств связи десятки тысяч киловатт.

Но именно в случае полета со скоростями порядка скорости света, и особенно с приближением к световой скорости, т. е. скорости распространения самих радиоволн, закономерно возникнут эффекты, ограничивающие возможности надежной радиосвязи. Например, при удалении от нашей планеты истинная мощность сигнала, принимаемая на Земле, будет ослаблена больше, чем если бы это уменьшение обуславливалось только увеличением расстояния. Так, при скорости удаления, составляющей половину скорости света, мощность сигнала уменьшится в пять раз. Естественно, что отношение мощности сигнала к мощности «шума» галактики, остающегося примерно постоянным и связанным с пронизывающими ее излучениями, будет уменьшаться, и «шум» будет мешать все сильнее<sup>1</sup>. Корабль сможет поддерживать двухстороннюю связь с Землей, только обладая достаточно мощными приемниками и передатчиками высокой чувствительности с ничтожными собственными шумами. Радиостанции, созданные в настоящее время на базе квантовых усилителей, позволяют увеличить чувствительность аппаратуры в сотни раз. С их помощью, по-видимому, удастся получить тонкие как игла и чрезвычайно мощные пучки электромагнитных волн и световых лучей и осуществить радиосвязь на расстояниях в несколько световых лет.



<sup>1</sup> Постоянный уровень «шума» галактики установится, когда корабль удалится от Солнца в межзвездное пространство. Он будет вновь расти с приближением к любой из звезд.

При «убегании» корабля от Земли со скоростью порядка скорости радиоволн сдвинется и частота сигнала, приходящего на Землю. Например, голос, принимаемый с корабля, будет звучать так, словно его запись воспроизводится все более замедленно.

В решении задачи межзвездной радиосвязи может помочь интересная особенность, отмеченная А. И. Зенковским<sup>2</sup>. Она состоит в том, что время, которое необходимо галактическому кораблю даже для достижения ближайших звездных миров, соизмеримо с временем, необходимым ученым Земли для создания и усовершенствования новых средств связи. Это означает, что можно запустить галактический корабль, располагая средствами связи лишь на части маршрута. Например, при полете к Проксима Центавра специалисты располагали бы примерно 16,6 годами для разработки аппаратуры, позволяющей поймать сообщение с полпути к Земле. В самом деле, только через 14,5 лет после старта минимальный звездолет пройдет половину пути в один конец и пошлет сообщение, которое будет 2,15 года «добираться» до Земли. С очень большим приближением скорости галактического корабля, уносящегося из Солнечной системы, к скорости света связь станет односторонней. Сигналы с Земли слишком долго будут догонять звездолет. В то же время с корабля можно будет посылать радиосообщения на Землю. При этом, наряду с автоматическими — телеметрическими системами, передающими ряд сведений на Землю (возможно, через промежуточные ретранслирующие космические станции) независимо от экипажа, должна предусматриваться также разумная передача новых сообщений и сведений самими астронавтами. Таким образом, возможно сочетание радиотелеметрических и радиосредств связи.

<sup>1</sup> См. А. И. Зенковский. Радиотехника и космические полеты. Энергоиздат, 1960.

На части пути, пока поток квантов, отбрасываемых экраном-отражателем двигателя, будет направлен в сторону Солнечной системы, возможно удастся осуществить передачи, накладывая закономерные колебания на этот поток. Во всяком случае, прием этого луча радиоустройствами, расположенными в системе Солнца, будет свидетельствовать о том, как работает двигатель корабля.

Но не только радиосвязь позволит обеспечить передачу сообщений на Землю или на базу-спутник в Солнечной системе. Экипаж звездолета, например в начале пути, сможет образовывать искусственные сигнальные кометы (успешный опыт автоматического создания такой кометы был проведен при запуске первой советской космической ракеты). Наконец, не исключено, что в Солнечную систему будут отправляться автоматические «возвратные» ракеты с наиболее ценными сообщениями, снабженные относительно небольшими квантовыми двигателями. Возможно, при сборке таких ракет экипажу галактического корабля удастся использовать элементы конструкции тех ступеней, которые как излишняя масса должны быть сброшены при разгоне или торможении звездолета.

## Вселенная из окна звездолета

Подобно тому как с приближением источника звука высота тона повышается (например, паровозного гудка с приближением локомотива), при сближении с источником света, согласно известному эффекту Допплера, наблюдается смещение спектральных линий к фиолетовому концу спектра — увеличение частоты и уменьшение длины волны. Напротив, при удалении источника света линии спектра смещаются в сторону длинных волн — к красному концу спектра. На Земле такие эффекты наблюдаются, например, при отражении света от быстро вращающегося зеркала. В астрофизике смещение спектральных линий позволяет оценить относительную скорость Земли и звезд. Наблюдаемое красное смещение в спектрах внегалактических туманностей позволяет утверждать, что совокупность скоплений галактик, расположенных в некотором объеме вокруг Солнца, удаляется от нас со скоростями, приблизительно пропорциональными их расстоянию.

Естественно, что при движении звездолета с очень большими скоростями эффект Допплера может приводить к смещению в спектрах звезд как тех, к которым звездолет приближается, так и тех, от которых он удаляется. Определенным образом должны изменяться и спектры звезд, расположенных сбоку от звездолета.



Напомним, что частота видимого света равна приблизительно  $10^{15}$  *гц* (колебаний в секунду). Длины волн видимого света, т. е. волн, вызывающих световые ощущения в органе зрения человека, измеряются обычно в сантиметрах или ангстремах ( $1\text{Å} = 10^{-8}$  *см*). Интервал длин волн видимого света  $\lambda = 7,6 \cdot 10^{-5} \div 4 \cdot 10^{-5}$  *см* (см. рис. 15).

Исследование волн длиннее, чем  $10^{-3}$  *см*, выполняется с помощью тепловых методов, волн  $10^{-3} \div 1,8 \cdot 10^{-5}$  *см* — фотографическим, фотоэлектрическим и тепловым методами. Можно ожидать, что некоторые объекты, расположенные в пространстве определенным образом по отношению к звездолету, движущемуся на больших скоростях, перестанут быть видимыми в тех световых волнах, которые позволяли их наблюдать при малых скоростях движения корабля. Остановимся подробнее на этом вопросе.

Если линия, соединяющая источник и наблюдателя, составляет с направлением скорости перемещения угол  $\varphi$  (устанавливаемый наблюдателем), то

$$\lambda_{\text{набл}} = \lambda_{\text{ист}} \frac{1 + \frac{v}{c} \cos \varphi}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (4.12)$$

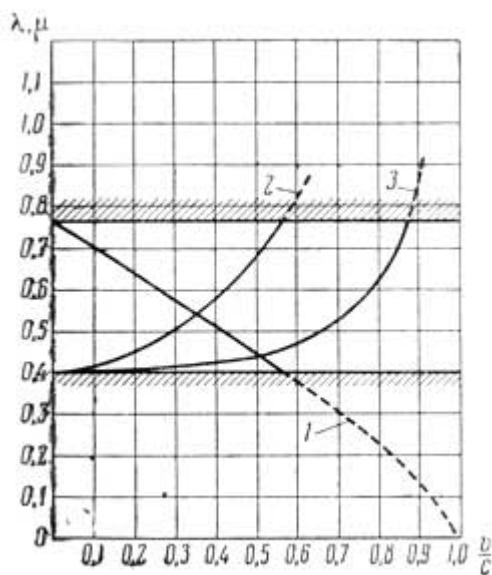


Рис. 26. Так сдвигаются частоты электромагнитных волн с ростом

отношения  $\frac{v}{c}$

1 — для впередсмотрящего, 2 — для наблюдателя, смотрящего назад, 3 — для бокового наблюдателя

Представим себе впередсмотрящего на ракете, движущейся к звезде (наблюдатель движется навстречу источнику света). В этом случае для  $\varphi = 0$  из уравнения (4.12) получаем соотношение длины волны, преобразованной, наблюдаемой по лучу зрения  $\lambda_{\text{набл}}$ , и длины волны  $\lambda_{\text{ист}}$ , излучаемой источником:

$$\lambda_{\text{набл}} = \lambda_{\text{ист}} \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} \quad (4.13)$$

Скорость движения корабля считается положительной при удалении источника и отрицательной при его приближении. Для впередсмотрящего после подстановки отрицательного значения  $v$  под корень получим:

$$\lambda_{\text{набл}} = \lambda_{\text{ист}} \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

Это значит, что по мере роста скорости длина наблюдаемых волн будет постепенно уменьшаться и свечение будет видимым до тех пор, пока наибольшая длина излучаемой объектом световой волны не измельчится до

нижнего порога видимости ( $0,4$  *мк*). Результаты вычисления  $\lambda_{\text{набл}}$  в зависимости от  $\frac{v}{c}$  (если принять, что исходная длина волны источника, при которой можно вести визуальное наблюдение, составит  $0,76$  *мк*, т. е.  $\lambda_{\text{ист}} = 0,76$  *мк*) представлены на рис. 26 (кривая 1). Как видно, вследствие смещения наблюдаемой частоты в

ультрафиолетовую сторону уже при достижении  $\frac{v}{c} = 0,57$  звезда, к которой совершается полет, перестанет быть видимой в диапазоне волн, излучаемых ею, для визуального обозрения неподвижным наблюдателем. На первый взгляд можно заключить, что это приведет к полному почернению пространства перед звездолетом. Но это, разумеется, не так. Очевидно, могут стать видимыми другие, более длинноволновые области спектрального излучения светила. В случае, когда звездолет удаляется от Земли, астронавты, глядя в сторону родной планеты, могут потерять ее из виду раньше, чем улетят на расстояние, где отраженный ею обычно видимый свет становится неразличимым.

Это может произойти потому, что уже при  $\frac{v}{c} = 0,57$  нижний край спектра световых волн, приходящих к удаляющемуся звездолету сзади, согласно зависимости (4.13), сдвинется в область ультрафиолетового свечения, которое у Земли весьма слабо (см. кривую 2 на рис. 26).

Согласно частной теории относительности, по мере набора скорости изменились бы также и частоты световых волн, приходящих к кораблю с боков, т. е. при наблюдении через боковые иллюминаторы ракеты.

Как это явствует из уравнения (4.12), например при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , вследствие «поперечного» эффекта Доплера длина волн, приходящих сбоку, увеличивается по сравнению с длиной волн источника согласно зависимости:

$$\lambda_{\text{набл}} = \frac{\lambda_{\text{ист}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (4.14)$$

Результаты расчетов с использованием этой зависимости представлены на рис. 26, кривая 3. Итак, при  $\frac{v}{c} = 0,856$  приходящие сбоку световые волны, видимые неподвижным наблюдателем, перестанут визуально наблюдаться в ракете, и, напротив, у астронавтов создастся возможность визуального наблюдения более коротких волн, приходящих от боковых источников излучения.

Таким образом, при сближении звездолета со звездным миром визуальную длину для наблюдателя приобретут излучаемые астрономическими телами волны красной области спектра. Во Вселенной позади звездолета станут видимыми излучаемые астрономическими телами волны ультрафиолетовой области спектра. С дальнейшим приближением скорости полета к скорости света будут становиться визуально наблюдаемыми все более короткие из волн, излучаемых источником, расположенным сзади.

Естественно, что картина мира как перед наблюдателем, так и за ним изменится. При определенной скорости некоторые из звезд, расположенных позади звездолета, ультрафиолетовая область собственного спектра которых мало интенсивна, вообще перестанут наблюдаться, другие — интенсивные красные звезды, расположенные перед звездолетом, бывшие ранее вообще невидимыми, можно будет рассмотреть.

Поскольку большинство видимых звезд имеет максимум излучения в ультрафиолетовой области, можно ожидать, что позади звездолета число видимых звезд, ярких в визуальной области спектра, увеличится.

Уравнение (4.13) свидетельствует о том, что по мере роста скорости угол, под которым могут наблюдаться из звездолета волны, излучаемые с частотой обычного видимого света, будет постепенно уменьшаться, а значит, и картина звездного мира вокруг ракеты будет изменяться постепенно, и при взгляде в разные стороны пространства — по-разному. Привычный для жителей Земли вид звездного неба будет меняться также и вследствие явления абберации. Ведь для наблюдателя, движущегося с очень большими скоростями, свет отдаленных звезд приходит под несколько иным углом, чем для неподвижного. Звезды будут сбегаться, сгущаться перед звездолетом и разрежаться позади него. Например, при скорости 260 тыс. км/сек вся передняя полусфера земного наблюдателя размещается для астронавта в конусе с углом раствора всего 30°. Во всяком случае астронавтам придется иметь в виду все эти обстоятельства и заранее предвидеть возможные изменения.

С другой стороны, можно вести наблюдения с помощью следящих приборов (например, тепловых, фотометрических), настраиваемых с поправкой, которая автоматически изменяется со скоростью так, чтобы улавливались «уходящие длины волн» спектра и, таким образом, восстанавливалась прежняя визуальная картина мира. Вместе с тем величина необходимых поправок позволит судить о скорости движения звездолета.

# Путешествие во времени

Сквозь панцири времени  
и расстояния

**П**о образному выражению К. Э. Циолковского, путь во Вселенную преграждают человеку главным образом панцирь тяготения и панцирь атмосферы.

Теперь, когда с помощью многоступенчатых ракет, использующих химическое топливо, удалось протаранить эти препятствия, можно говорить и о преодолении, хотя бы в обозримом будущем, еще двух, казалось бы, несокрушимых препятствий — панцирей времени и межзвездных расстояний. Ведь именно они мешают человеку совершать полеты к отдаленным звездным мирам в пределах жизни одного поколения.

Когда будет создана лучевая ракета, человечество совершит новый шаг в овладении не только пространством, но и временем. Согласно одному из выводов частной теории относительности А. Эйнштейна, ход времени зависит, в частности, от того, с какой постоянной скоростью перемещается некоторое тело относительно другого тела. Чем быстрее движется тело, тем медленнее течет время для наблюдателя, находящегося на нем, по сравнению со временем для неподвижного наблюдателя. Движущиеся часы отстают от покоящихся, мимо которых они проносятся. Парадокс хода времени на движущемся теле значителен только при скоростях, очень близких к скорости света. Поэтому в повседневной жизни на Земле мы его не замечаем. Однако только это проявление законов природы и позволяет рассчитывать на то, что человеку удастся проникнуть в глубины мирового пространства, удаленные от нас на многие сотни световых лет. В противном случае, двигаясь даже с огромными скоростями, человек в течение своей жизни смог бы посетить лишь очень ограниченное число ближайших планетных систем.

В основе частной теории относительности лежит принцип относительности Эйнштейна, гласящий, что законы электромагнитных, тепловых, механических и других явлений тождественны во всех инерциальных системах, т. е. находящихся в состоянии абсолютного равномерного и прямолинейного движения. Это значит, что никакие физические эксперименты не позволяют установить, находится ли такая система в движении или нет. Этого не удастся сделать и изучая электромагнитное поле (свет тоже электромагнитное поле), ибо оно распространяется в любой инерциальной системе, в пустоте во всех направлениях с одной скоростью — примерно 300 тыс. км/сек. Примем это положение и рассмотрим некоторые следствия частной или специальной теории относительности, которые кажутся парадоксальными, ибо связаны с радикальной ломкой сложившихся представлений о свойствах пространства, времени и движения.

Представим себе, что с некоторого космодрома стартовал звездолет, у которого сохраняется постоянным отношение его массы к силе тяги двигателя.

Для земного наблюдателя межзвездные расстояния остаются постоянными. В то же время по мере приближения звездолета к предельной скорости в нашем мире — скорости света в пустоте — наблюдатель на Земле заключил бы, что звездолет получает все меньший прирост скорости, его ускорение падает. Однако бесспорно, что для самого звездолета (т. е. в той системе отсчета, в которой ракета неподвижна) уменьшения

$$\frac{M}{F} = const.$$

ускорения не происходит, так как  $\frac{M}{F} = const.$  Значит, уже для логической увязки этих двух событий наблюдатель на Земле должен предположить и принять, что по мере фактического разгона звездолета в его собственной — земной системе отсчета проходят все большие интервалы времени относительно интервалов времени, протекающих на звездолете. Иными словами, все больше интервалов времени, проходящих на

звездолете, укладывается внутри интервалов времени наблюдателя. Только в этом случае можно логически обосновать наблюдаемое замедление темпа прироста скорости звездолета. Что касается физических, биологических и других процессов, происходящих внутри каждого из интервалов времени, то они идут в том же темпе, что и прежде.

С другой стороны, как уже отмечалось, наблюдателю, находящемуся в звездолете — системе с постоянным ускорением, — нет никаких причин ожидать, чтобы темп прироста его скорости, а следовательно, и сама скорость перестали непрерывно и равномерно возрастать по времени.

Но ведь теоретически возможная предельная скорость полета не может превысить скорости света в пустоте. Двигаться быстрее света нельзя. Значит, с приближением к скорости света при постоянном ускорении должны начать сокращаться расстояния. Только в этом случае можно объяснить преодоление галактическим кораблем определенных расстояний за все меньшие собственные промежутки времени и по действительному времени полета вычислить количество горючего, необходимое для полета. Вот почему земной наблюдатель, определяя скорость по замеренным с Земли расстояниям, узнав о действительном сроке (промежутке времени) полета, измеренном по часам звездолета, мог бы заключить, что тот двигался «в несколько раз быстрее скорости света». На самом деле скорость света не была превышена, сократились лишь расстояния, преодолеваемые самим кораблем.

Чрезвычайно трудно на основе привычных нам представлений почувствовать непреложность фактов, следующих из теории относительности.

В качестве чисто условной попытки, не выражающей сути рассматриваемых явлений, а служащей лишь для пояснения некоторых следствий этой теории, можно предложить следующую грубую аналогию. Условимся, что мы располагаемся в криволинейном пространстве, на криволинейной поверхности. В некоторой удаленной от нас точке этой поверхности находится звездная система, к которой отправляется звездолет. Примем, что при собственных и, во всяком случае, досветовых скоростях аппарат должен лететь вдоль нашей криволинейной поверхности, совершая наибольший по длине путь. Предположим далее, что с приближением собственной скорости звездолета к скорости света или по мере того, как скорость звездолета, оцениваемая, исходя из пройденных им расстояний, определенных в земной (инерциальной) системе координат и по часам на звездолете, «превысит» скорость света, движение аппарата к цели будет происходить по пути со все меньшей кривизной, т. е. путь будет сокращаться. Так галактический корабль начнет двигаться как бы сквозь пространство и время. При этом наблюдатель в корабле сможет убедиться в таком характере движения лишь при возвращении в инерциальную систему.

Приведенный пример чисто условен, однако он помогает как бы ощутить, почему приближение скорости полета к скорости света может сопровождаться рядом событий, парадоксальных с точки зрения наших привычных представлений.

Следует в то же время подчеркнуть, что в теории относительности, как уже отмечалось, постулируется постоянство максимальной скорости света в пустоте для любой инерциальной системы, и она вовсе не обязана объяснить, почему происходят те или иные явления как следствие из этого открытого Эйнштейном закона природы.

Академик П. Л. Капица однажды сказал, что для физика интересны не столько сами законы, сколько отклонения от них, ибо, исследуя эти отклонения, физики вскрывают новые закономерности.

В ходе объяснения отклонений наблюдаемых физических процессов от ранее известных положений родилась и теория относительности.

В связи с этим утверждением можно привести еще один пример, чтобы помочь читателю внутренне убедиться в том, что привычные представления о постоянстве хода времени и неизменности расстояний в известных случаях оказываются ниспровергнутыми, убедиться в том, что в этой области явлений постепенное количественное изменение параметра может привести к качественному его изменению при приближении к критическому значению этого параметра.

В самом деле, скачки уплотнения в воздухе перед летящим телом прежде, при движении с очень малыми скоростями, вообще не наблюдались. Теперь мы знаем и убедились в этом на практике, что если скорость самолета приблизилась к скорости звука и затем сравнялась с нею, то на передних частях — на носу фюзеляжа, передних кромках крыльев образуются скачки уплотнения — постоянно обновляющаяся шапка сжатого воздуха. Нечто подобное происходит при приближении скорости движения тела к скорости света. Пространство и время для него «уплотняются» по сравнению с их значениями в инерциальной системе.

Хочется отметить и то, что еще совсем недавно приходилось пояснять, почему и как возникают скачки уплотнений перед телом, летящим с околосвуковой и звуковой скоростью. Характерно, что это, ныне понятое и всеми принятое явление, само теперь уже привлекается для пояснения неизмеримо более сложных эффектов, возникающих при околосветовых скоростях и описанных частной теорией относительности.

Приведем, видоизменив его применительно к рассматриваемым нами вопросам, пример, предложенный академиком Л. Д. Ландау и профессором Ю. Б. Румером.

Представим себе, что в космическом пространстве на относительно небольшом расстоянии от Земли движутся в одну сторону на параллельных курсах с одинаковой очень большой скоростью два галактических корабля (рис. 27). Постоянное расстояние между ними сохраняется равным 384 тыс. км — среднему расстоянию между центрами Земли и Луны, т. е. примерно тридцати кругосветным путешествиям вокруг Земли. Представим себе далее, что на одном из кораблей включили световой прожектор, чтобы подать сигнал другому. Луч света достигает рефлектора, установленного на втором корабле, и возвращается обратно. Путь луча, каким его увидят экипажи параллельно перемещающихся аппаратов, показан на рисунке двумя прямыми линиями *аб*.

Совсем другим увидели бы его мы, наблюдатели Земли. Ведь пока луч летел к рефлектору второго корабля, тот переместился на некоторое расстояние. За время возвращения отраженного луча первый корабль переместится на такое же расстояние. Таким образом, путь луча, наблюдаемый с Земли, будет описываться кривой *AB'A''* (см. рис. 27).

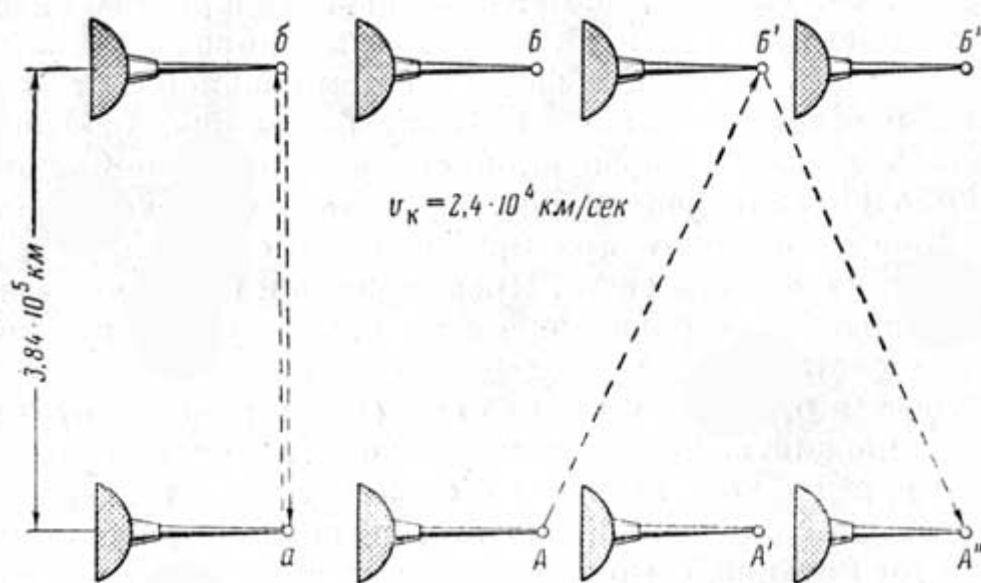


Рис. 27. Для экипажей звездолетов и инерциального-земного наблюдателя путь луча света будет различным  
справа — путь луча для экипажа звездолета; слева — путь луча для инерциального наблюдателя

Итак, мы убеждаемся в том, что с нашей точки зрения, т. е. для нас, стационарных наблюдателей, свет действительно успел пройти большее расстояние, чем он прошел для пассажиров кораблей. С другой стороны, мы знаем, что скорость света всегда одинакова как для экипажей кораблей, так и для нас, находящихся на Земле.

Чем же можно объяснить расхождение наших наблюдений? Только одним: на Земле между отправлением и возвращением луча прошло больше времени, чем на каждом из галактических кораблей.

Вычислим отношение обоих

времен. Для экипажа корабля посланный и отразившийся свет прошел путь:

$$2ab = 2 \cdot 3,84 \cdot 10^5 = 7,7 \cdot 10^5 \text{ км.}$$

Для этого свету понадобилось время:

$$t_c = \frac{2ab}{c} = \frac{7,7 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} = 2,6 \text{ сек.}$$

Какое же расстояние прошел свет с точки зрения земного наблюдателя?

Предположим, что скорость кораблей 240 тыс. км/сек. Тогда за время, пока свет двигался от одного корабля к другому, последним было пройдено расстояние:  $BB' = vt = 2,4 \cdot 10^5 \cdot 1,3 = 3,12 \cdot 10^5$  км. Из треугольника  $AB'A''$  ясно, что  $AB' = B'A''$ . Нетрудно определить, что  $AB' = 4,9 \cdot 10^5$ . Тогда за время путешествия луча с точки зрения земного наблюдателя должно было пройти:

$$t = \frac{2AB'}{c} = \frac{2 \cdot 4,9 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} = 3,3 \text{ сек.}$$

Таким образом, на корабле должно пройти:

$$\frac{t_c}{t} = \frac{2,6}{3,3} = \frac{ab}{AB'} = \frac{3,84}{4,9} = 0,78$$

интервала времени, прошедшего на Земле.

Чем выше скорость корабля, тем больше пройденный им путь (катет  $BB'$ ) и тем больше путь, пройденный светом (гипотенуза  $AB'$ ). А это значит, что уменьшается отношение катета  $AB$  к гипотенузе  $AB'$ , которое и характеризует собой отношение времени, прошедшего в ракете, ко времени, прошедшему на Земле. Так, при скорости корабля, равной 94% от скорости света, на нем будет проходить 0,34 земного времени. С дальнейшим приближением скорости звездного корабля к скорости света это отношение будет уменьшаться.

На рис. 28 представлен график, показывающий отношение разницы между временем, проходящим на Земле и

в звездолете, ко времени, проходящему на Земле  $\left( \frac{t - t_k}{t} \cdot 100\% \right)$ , в зависимости от  $\frac{v_k}{c}$ . Подчеркнем, что система инерциального наблюдателя, такого, как, скажем,

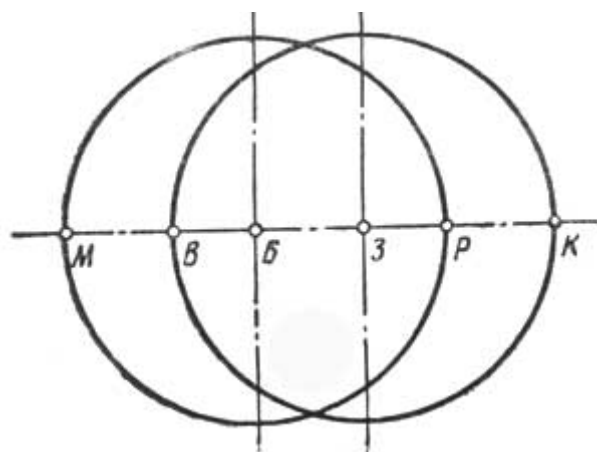


Рис. 29. События, одновременные в одной системе отчета, могут быть не одновременны в другой

представляют собой концентрические сферы с центром в точке Б. В системе звездолета такие сферы имеют центр в точке З. Поскольку у сфер разные центры, они пересекаются. Таким образом, получается, что в системе базы Б волна сначала достигает точки В, потом одновременно точек М и Р, а еще позже точки К. В системе звездолета З — сперва Р, затем одновременно Б и К и позже всего точки М. Однако это невозможно, так как световая волна, достигшая всех точек одной сферы, не может одновременно достигнуть всех точек другой, не совпадающей с ней сферы. Это противоречивое положение может быть устранено, только если принять, что одновременность относительна и события, одновременные в одной системе отсчета, не одновременны в другой. Итак, кажущиеся парадоксальными следствия теории относительности объясняются тем, что километры и секунды в разных системах отсчета могут быть различными, т. е. расстояние между

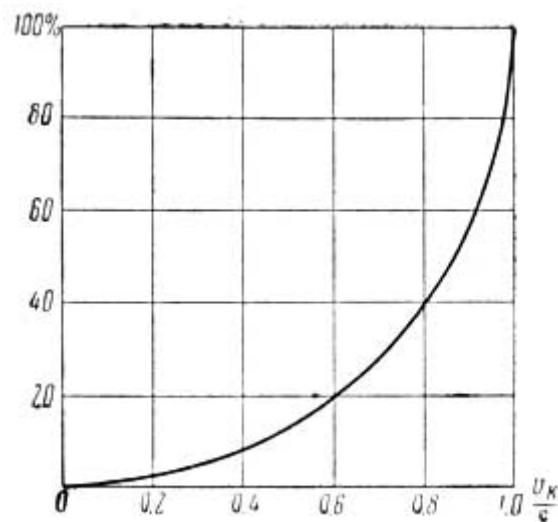


Рис. 28. К определению времени, проходящего на Земле и в звездолете

одними и теми же материальными точками и промежутки времени между одними и теми же событиями различны в разных системах и преобразуются по определенному закону при переходе от одной системы к другой.

Представление об относительности времени естественно сложнее, чем об относительности пространства. Как уже отмечалось, при встречающихся до сих пор в природе скоростях тел изменение промежутков времени всегда было ничтожным. Промежуток времени между двумя событиями, происшедшими на Земле, определенный в системе Земли, вследствие дополнительной скорости Земли вокруг Солнца меньше промежутка времени между теми же событиями на Солнце всего на половину стомиллионной доли.

Однако в наши дни парадокс хода времени, связанный со скоростью, уже подтвержден огромным количеством наблюдений над превращениями в микромире и, в частности, с космическими частицами, движущимися со скоростью, близкой к скорости света. Так, для космических частиц, пролетающих земную атмосферу с околосветовыми скоростями, промежутки времени, например между их столкновениями, могут быть в тысячи раз меньше промежутков времени между этими же столкновениями в системе Земли, что приводит к многочисленным особенностям поведения таких частиц. Срок жизни, или иными словами, интервал времени, в течение которого существуют космические частицы, падающие на Землю, также зависит от скорости их движения, что подтверждается экспериментально. Теория относительности не только подтверждена экспериментально, но и нашла инженерно-техническое применение. Ни один из ускорителей атомных частиц и ядерных реакторов не смог бы работать, если бы положения теории относительности оказались несправедливыми, ибо они рассчитываются на основе этой теории. При уже достигнутых скоростях движения тел, например искусственных спутников Земли, можно экспериментально уловить парадокс времени. Правда, часы, находящиеся на близком к Земле спутнике, движущемся со скоростью около 8 км/сек, отстанут от земных часов всего на одну сотую долю секунды за год. Однако с помощью молекулярных часов, позволяющих измерять время с точностью до миллиардных долей секунды, можно было бы поставить такой эксперимент на спутнике уже и в макромире.

По формулам частной теории относительности путь  $l$  и время  $t$  преобразуются в зависимости от скорости движения следующим образом<sup>1</sup>:

$$l = \frac{l_0 + v_k \cdot t_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_k}{c}\right)^2}}, \quad (4.15)$$

$$t = \frac{t_0 + \frac{v_k}{c} \cdot t_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_k}{c}\right)^2}}, \quad (4.16)$$

где  $l$  и  $t$  — путь и время в системе покоящегося наблюдателя (на Земле);  $l_k$  и  $t_k$  — в системе движущегося наблюдателя (в ракете);  $v_k$  — скорость в системе движущегося наблюдателя (относительно Земли).

<sup>1</sup> Эти закономерности были впервые сформулированы Лоренцем (1853-1928) и Пуанкаре (1854-1912), а в более общей и уточненной форме — Эйнштейном (1879-1955), наполнившим их физическим смыслом.

Если  $l_0 = 0$  в системе координат, относительно которой происходит равномерное движение, то приведенные выше зависимости упрощаются:

$$l = \frac{v_k \cdot t_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_k}{c}\right)^2}}, \quad (4.17)$$

и соответственно интервалы времени, прошедшие в системах покоящегося  $t$  и подвижного  $t_k$  наблюдателей.



$$t = \frac{t_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_k}{c}\right)^2}} \quad (4.18)$$

Отсюда видно, что для покоящегося наблюдателя звездолет пройдет путь  $l = v_k t$  и для него (на Земле) проходят большие интервалы времени, чем на звездолете.

По мере роста скоростей межпланетных аппаратов, летающих в Солнечной системе, может возникнуть необходимость расчетов времени с точностью до долей секунды за год (в году примерно 30 млн. сек.). Это потребует учета особенностей хода времени, вытекающих из частной теории относительности. Что же касается звездных кораблей, то уже при скорости 94% от скорости света, которую некоторые специалисты считают предельной реально достижимой в обозримом будущем, за год полета корабля на этой постоянной скорости на Земле пройдет более 2,9 года.

До сих пор, пользуясь положениями частной теории относительности, мы рассмотрели непреложность некоторых ее следствий. Однако, если связывать систему координат, систему отсчета наблюдателя не с инерциальным телом — в нашем случае с Землей, а со звездным кораблем, то для выявления особенностей хода времени в этих двух системах необходимо обратиться к общей теории относительности.

Общая теория относительности устанавливает значительно более глубокую связь между материей, пространством и временем, чем ньютоновская физика. В последней пространство и время не зависели от плотности материи. Общая теория относительности устанавливает, что геометрические свойства пространства и само течение времени определяются плотностью материи в любой области пространства. Там, где имеется скопление масс, и, следовательно, интенсивное гравитационное поле — поле тяготения, пространство и время деформируются, искривляются, ход времени замедляется.

Так, промежуток времени между двумя событиями, происходящими в системе Солнца, меньше промежутка времени между теми же событиями на Земле в связи с тем, что гравитационная масса Солнца значительно больше земной и сокращение времени на Земле, обусловленное ее движением относительно Солнца, вдвое уступает сокращению времени на Солнце, обусловленному гравитацией.

Гравитация и деформация пространства возникают всегда совместно при наличии массивных тел.

Земля притягивается к Солнцу, как бы стремясь скатиться в гравитационную яму, образованную им в пространстве. Конечно, это лишь внешняя аналогия, так как в действительности происходит деформация пространства и времени, которую наглядно нельзя себе представить.

Собственное время в системе течет тем медленнее, чем больше абсолютная величина гравитационного потенциала  $\phi$  (где  $\phi < 0$ ), чем сильнее в данной точке гравитационное поле. Показания часов  $\tau$ , находящихся в гравитационном поле, связаны с показанием часов  $t$ , находящихся вне поля, уравнением:

$$\tau = t \sqrt{1 + \frac{2\phi}{c^2}} \cong t \left(1 + \frac{\phi}{c^2}\right)$$

Итак, от величины гравитации зависят пространство и время. Так называемый принцип эквивалентности Эйнштейна гласит, что все физические процессы протекают одинаково (при одинаковых условиях) в инерциальной системе отсчета, находящейся в однородном постоянном поле тяжести (гравитационное поле), и в системе отсчета, движущейся поступательно с постоянным ускорением, при отсутствии гравитационного поля.

Иными словами, инерционные силы тождественны силам тяготения. Отсюда следует, что, например, разгоняя корабль в космосе, можно «создать» в нем искусственное гравитационное поле. Напротив, если дать возможность кораблю свободно падать в однородном гравитационном поле, можно искусственно это поле «уничтожить». Поэтому и наблюдается, например, невесомость в искусственном спутнике Земли.

Таким образом, при разгоне или торможении (отрицательном ускорении) корабля гравитационный потенциал в месте его расположения изменяется. При этом истинные гравитационные поля, вызванные наличием больших масс, исчезают на большом расстоянии от них, в то время как искусственные, фиктивные поля, обусловленные ускорениями, не обладают этим свойством.

Там, где потенциал гравитации больше, часы идут медленнее. Разность потенциалов зависит от величин сил и расстояния между точками их приложения. Потенциал растет в ту сторону, куда направлена сила инерции. Это означает, что сила тяготения, действующая на галактический корабль, противоположна направлению, в котором он разгоняется, или направлению, в котором происходит отрицательный разгон — торможение.

Рассмотрим течение времени на Земле с точки зрения наблюдателей «минимального» звездного корабля, отправляющегося к Проксима Центавра,

На первой части пути, при разгоне корабля, уходящего от Земли и разрывающего цепи земного тяготения, сила инерции, препятствующая разгону, направлена к Солнечной системе и, следовательно, потенциал этой силы больше там, где располагается Земля, а значит, река времени на Земле течет медленнее. Однако расстояние, а следовательно, и разность потенциалов между Землей и кораблем относительно небольшие, поэтому невелико и замедление часов. Но вот половина пути до Проксима Центавра пройдена, пора тормозить. Корабль поворачивается соплами двигателей в сторону Центавра. Теперь силы инерции, препятствующие торможению, направлены от Солнечной системы, от Земли к кораблю (потенциал этой силы больше в системе корабля, и время на корабле по сравнению с Землей течет медленнее). В то же время расстояние между кораблем и Землей огромно и река времени на Земле становится стремительным потоком, смывающим, скажем, недели земной жизни за дни полета тормозящегося корабля. На обратном пути изменение хода времени повторяется в обратном порядке.

На большом расстоянии от Солнечной системы разгон будет осуществляться в ее сторону, а значит, сила будет направлена от нее (инерция тождественна гравитации), и время на корабле будет в связи с большим расстоянием течь значительно медленнее, чем на Земле,

На следующем этапе, при торможении; на обратном пути при подходе к Земле, течение времени на Земле замедляется по сравнению с корабельным, но корабль относительно близок к ней, разность потенциалов мала, и убежавшее далеко вперед земное время не успевает выравняться с корабельным. В результате на Земле проходит значительно больше времени, чем на звездолете. Принимая Землю и звездолет равноправными системами и считая (теперь уже на основе общей теории относительности), что наблюдатель находится на Земле, придется принять, что, например, на втором участке пути к Проксима Центавра, при торможении корабля, Земля «падает» на него под действием поля тяготения. На падающей Земле ход времени должен ускоряться. Таким образом, при оценке тех же явлений с точки зрения земных наблюдателей изменение времени на Земле вышло бы таким же, как то, которое получается с точки зрения экипажа корабля.

Подобно тому как ряд экспериментов позволяет непосредственно убедиться в справедливости положений частной теории относительности, могут быть поставлены эксперименты также и для подтверждения общей теории относительности.

До недавнего времени такая проверка проводилась только с помощью астрономических наблюдений по отклонению лучей света в поле тяготения Солнца, по движению перигелия (точки наибольшего удаления от звезды) орбит планет<sup>1</sup>. Наконец, общая теория относительности подтверждается изменением частоты спектра определенного элемента (например, водорода), испущенного на звезде и воспринятого земным наблюдателем. (Поскольку частоты спектра увеличиваются при возрастании абсолютной величины гравитационного потенциала, частота света, испущенного звездой, будет больше частоты, воспринятой земным наблюдателем, т. е. весь спектр сдвинется в красную сторону.)

<sup>1</sup> Большие полуоси траекторий — орбит планет, представляющие собой эллипсы, медленно вращаются в плоскости эллипса. Так, для Меркурия этот угол поворота достигает 43" за столетие.

Создание искусственных спутников предоставляет дополнительные возможности для проверки общей теории относительности. При их запуске на орбиту с большим эксцентриситетом можно увеличить угол вращения перигелия орбиты более чем в 30 раз по сравнению с Меркурием. По-видимому, такое смещение перигелия, связанное с общей теорией относительности, со временем удастся выявить и выделить из смещений, вызываемых другими эффектами. Изменение частоты радиоволн на спутнике для земного наблюдателя в фиолетовую сторону (потенциал тяготения спутника с подъемом на высоту растет) в противоположность красному смещению из-за скорости движения, сообщенной спутнику, как показывают расчеты, уже теперь доступно измерению для случая приема сигналов далеких от Земли и, следовательно, медленных спутников. Однако это смещение должно быть выделено из смещения, связанного с эффектом Доплера.

Во всяком случае, теория относительности теперь так же непреложна, как, например, закон сохранения энергии. Следствия теории относительности проверены практикой, экспериментом. Теория относительности — краеугольный камень современной физики.

Придет время и человечество будет встречать первых галактических путешественников, как мы встречали первых пилотов-космонавтов Гагарина и Титова. Тогда огромное большинство людей, убедившись на практике в справедливости положений теории Эйнштейна, привыкнет к закономерным изменениям интервалов времени и сжатию, или, как иногда говорят, стиранию пространства, происходящему при околосветовых скоростях и определенных значениях потенциала тяготения. Привыкнут настолько, что сегодняшнее непонимание этих эффектов покажется парадоксальным. И это будет утверждением человечества на новой ступени знаний.

«Идя очень далеко в пространстве или же очень далеко во времени, мы можем найти наши обычные правила совершенно опрокинутыми; и эти большие пертурбации помогут нам лучше подметить или лучше понять маленькие изменения, происходящие более близко к нам, в маленьком уголке мира, в котором мы призваны жить и действовать. Мы поймем лучше наш уголок, отправляясь путешествовать в другие отдаленные страны, куда вовсе не призывает нас наша обыденная практика»<sup>1</sup>, — писал А. Пуанкаре. Межзвездные полеты и будут той областью деятельности людей, которая позволит необыкновенно расширить познания человечества о природе и сделает привычными эффекты теории относительности.

<sup>1</sup> А . Пу а н к а р е . Наука и метод. СПб., 1910, стр. 12.

### **Максимальная дальность при ограниченных скорости и времени полета**

Для того чтобы стала вероятной встреча с обитателями планеты иной звездной системы, человечеству нужно располагать возможностью посетить очень большое число планет — десятки тысяч звездных миров. Это вовсе не означает, что на каждую из этих звездных систем потребуется совершить разведывательный полет. Речь идет всего лишь о том, что достижимыми должны быть по крайней мере несколько десятков тысяч звездных систем. Необходимость полета к значительной части из них сразу же отпадет, когда предварительные исследования их движения с Земли покажут, что они «беспланетны», либо в ходе пристального изучения с Земли их особенностей можно будет установить, что планеты у систем есть, но они явно безжизненны. Из миллиона звездных систем, после предварительного отбора, останутся, пожалуй, тысячи, либо «лишь» сотни, на которых можно будет предполагать существование жизни. И вот к ним-то и должны будут в первую очередь устремиться корабли разведчиков Вселенной.

Попробуем оценить минимальные летные данные галактического корабля, способного обеспечить решение этой главной задачи.

Условимся, что одному кораблю с одним экипажем совсем не обязательно облетать все звездные системы, на которых ожидается наличие жизни. Таких экспедиций может быть множество. Нужно лишь, чтобы в сфере достижения вокруг Земли, т. е. в сфере, крайних областей которой может достичь каждый такой звездолет, находилось несколько сот тысяч звездных систем. Условимся также и о том, что экипаж разведывательного корабля после обнаружения населенной планеты может сразу же отправиться в обратный путь, не

задерживаясь для изучения открытого им мира, поскольку его задача заключается лишь в том, чтобы найти обитаемый мир и возвратиться в систему Солнца — на Землю. Последнее позволяет условиться также и об ограничении собственного срока путешествия ракеты. Примем, что этот срок равен 50 годам — примерному сроку творческой жизни человека. Можно не сомневаться, что срок творческой жизни человека по мере дальнейшего упорядочения социальных условий будет возрастать<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Известно, что, по мнению И. И. Мечникова, нормальный срок человеческой жизни может составлять до 150 лет.

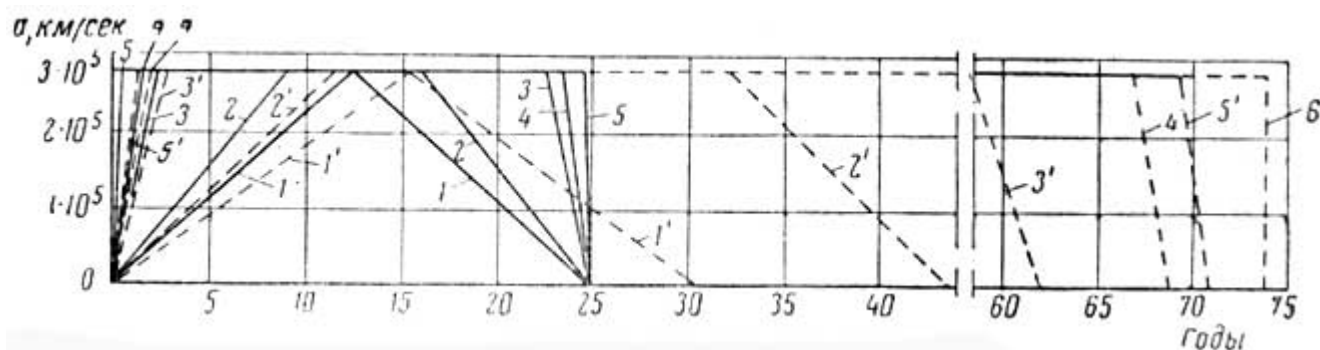
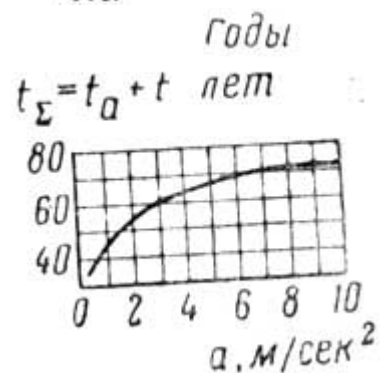


Рис. 30. Схемы полетов по времени, проходящему на Земле и в звездолете в зависимости от достижимых ускорений при  $t_k = 50$  лет (25 лет в один конец) и  $v_k = 94\% c$

Сплошными линиями обозначена скорость по времени, проходящему в звездолете, пунктирными — на Земле 1—1'- $a=0,715 \text{ м/сек}^2$ ; 2-2'- $a=1 \text{ м/сек}^2$ ; 3-3'- $a=4 \text{ м/сек}^2$ ; 4-4'- $a=6 \text{ м/сек}^2$ ; 5-5'- $a=9,81 \text{ м/сек}^2$ ; б - гипотетический случай  $a=\infty$   
График внизу — время, прошедшее на Земле при рассмотренных схемах полетов за 25 лет, проходящих на звездолете в зависимости от ускорения при разгоне



Наконец, предположим, что максимальная скорость, которую может развить звездолет, не превысит 94% от скорости света, т. е. будет составлять 281,8 тыс. км/сек. После достижения такой скорости двигатель выключается и дальнейший полет совершается по инерции вплоть до того момента, когда будет пройдена большая часть пути и начнется торможение при подходе к системе другой звезды.

С учетом всех введенных условий схема путешествия, построенная в координатах ракеты, выглядит, как это показано на рис. 30 (например, кривая 2).

Как мы уже знаем, наклон кривой при разгоне определяется величиной обусловленного нами постоянного ускорения, или отношением тяги к весу. При полете на максимальную дальность желательна наибольшая достижимая величина ускорения ракеты. Ясно, что чем меньше времени занимают разгон и торможение ракеты, тем большее расстояние она сможет преодолеть, двигаясь затем на постоянной максимальной скорости при полете в один конец за 25 лет собственной жизни астронавтов, или за ограниченный 50-ю годами общий срок путешествия.

Выше мы отмечали, что человек, сидящий в аппарате лицом по направлению полета, может продолжительно переносить примерно трехкратные перегрузки. Однако следует учитывать, что длительность перегрузок, воздействующих сейчас в авиации, — минуты, что несоизмеримо с десятками лет путешествия в звездолете, где, кроме того, человек должен свободно передвигаться, работать, вести научные наблюдения. До получения более обширных опытных данных можно принять, что в этом случае наибольшая допускаемая длительная перегрузка, ограничиваемая физиологическими свойствами человеческого организма, не должна превышать 2g.

Естественно, что наиболее благоприятной будет перегрузка, создающая вес, равный земному, и соответственно ускорение  $a = 9,81 \text{ м/сек}^2$ , т. е. равное ускорению силы тяжести на Земле.

С другой стороны, как уже отмечалось, возникают ограничения в связи с особенностями звездолетных двигателей, которые должны создавать тягу за счет выбрасывания потоков электромагнитных волн, что для получения значительных тяг требует излучений огромной мощности. Это ограничение, вероятно, может быть принципиально снято в ходе развития науки и техники, однако в обозримом будущем именно им будут диктоваться максимально достижимые ускорения звездолетов. Поэтому при нашей оценке максимальной дальности полета мы первоначально исходим из относительно очень небольших ускорений.

Начнем наш расчет с ускорения  $a = 1 \text{ м/сек}^2$  и будем увеличивать его до ускорения  $9,81 \text{ м/сек}^2$  — равного земному.

При  $a = 1 \text{ м/сек}^2$  для разгона до скорости  $v_k = 0,94c = 28,18 \cdot 10^7 \text{ м/сек}$  понадобится время:

$$t_k = \frac{v_k}{a} = 28,18 \cdot 10^7 \text{ сек.},$$

$$\text{или } \frac{28,18 \cdot 10^7}{3,15 \cdot 10^7} = 9 \text{ лет.}$$

На разгон и торможение придется 18 лет, и на полет с максимальной скоростью останется 7 лет.

Сколько же времени пройдет за это время на Земле? На какое расстояние, измеряемое астрономами с Земли, успеют улететь звездные путешественники?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего определить, сколько времени пройдет на Земле за время одного разгона (торможения) звездолета.

Эту задачу нельзя решать так, как ее иногда преподносят в популярной литературе, непосредственно используя для расчетов земного времени на этапах движения с ускорением уже известную читателю зависимость, позволяющую найти Лоренцово сокращение времени

$$t = \frac{t_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_k}{c}\right)^2}}.$$

, где  $t$  — время на Земле;

$t_k$  — время полета ракеты для экипажа.

В самом деле,  $v_k$  — это конечная скорость полета ракеты относительно Земли, и непосредственное использование этого уравнения возможно лишь тогда, когда ракета движется с этой постоянной скоростью. При разгоне же звездолета  $v_k = at_k$ , где первоначально  $v_k$  очень мала, и поэтому неизбежно значительное преувеличение при определении времени, прошедшего на Земле, при использовании приведенной зависимости. Для получения правильного результата она должна быть проинтегрирована:

$$t = \int_0^{t_k} \frac{at_k}{\sqrt{1 - \left(\frac{at_k}{c}\right)^2}} dt, \quad (4.19)$$

где  $t_a$  — время, прошедшее на Земле за время разгона до скорости  $t_k$ .

После замены переменной  $x = \frac{at_k}{c}$  и простых преобразований получаем:

$$t_a = \frac{c}{a} \int_0^{t_k} \frac{at_k}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{c}{a} \operatorname{arcsin} \frac{at_k}{c}. \quad (4.20)$$

Последняя зависимость и используется далее для определения времени, прошедшего на Земле при разгоне.

В случае, когда  $a = 1 \text{ м/сек}^2$

$$t_a = \frac{2,988 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-3}} \operatorname{arcsin} \frac{1,9 \cdot 3,15 \cdot 10^7}{29,98 \cdot 10^7} = 3,66 \cdot 10^8 \text{ сек.},$$

или

$$\frac{3,66 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^7} = 11,63 \text{ года.}$$

За 7 лет полета звездолета с постоянной скоростью  $28,18 \cdot 10^7 \text{ м/сек}$  на Земле прошло бы согласно уравнению (4.18):

$$t_k = \frac{7}{\frac{1 - (28,18 \cdot 10^7)^2}{29,98 \cdot 10^7}} = 20,6 \text{ лет.}$$

Итак, за время полета звездолета на максимальную дальность, т. е. за 25 лет полета, прожитых экипажем, на Земле пройдет  $11,63 \cdot 2 + 20,6 \approx 43,8$  года, т. е. почти в 2 раза больше, чем в ракете.

Складывая расстояния, пройденные ракетой по земному времени при разгоне, последующем установившемся полете и торможении, получим расстояние (замеряемое астрономами Земли), которое в рассмотренном случае преодолел звездолет. Оно достигает 33,3 световых лет и в сферу достижимости звездолета попадает примерно, 400-500 звездных систем.

Результаты вычислений времени, проходящего на Земле при других значениях ускорения за 25 лет жизни экипажа звездолета, приведены в табл. 7 и на рис. 30. Соответствующие максимальные дальности полета в зависимости от достижимых ускорений представлены на рис. 31.

Как видно из графика, по мере возрастания ускорения все большее расстояние от Земли сможет преодолеть звездолет. Это значит, что все большее число планетных систем, примерно вплоть до 5 тыс., будет попадать в сферу достижимости и большая вероятность достижения обитаемой планеты будет обеспечена.

Таблица 7

**К определению времени, проходящего на Земле за 25 лет полета экипажа галактического корабля в зависимости от достижимого ускорения при  $v_k = 94 \% c$**

| Принятое ускорение $a$ , $\text{м/сек}^2$ | Время разгона, годы |                         | Время установившегося полета, годы |                         | Время полета в оба конца для земного наблюдателя, годы | Максимальная дальность полета, световые годы |
|---|---------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|--|--|
|   | для астронавтов     | для земного наблюдателя | для астронавтов                    | для земного наблюдателя |  |  |
| 0,715                                     | 12,5                | 15,25                   | 0                                  | 0                       | 61   | 17,8   |
| 1   | 9                   | 11,63                   | 7                                  | 20,6                    | 87,6   | 33,3   |
| 4   | 2,23                | 2,9                     | 19,2                               | 56,2                    | 124  | 56,5   |
| 6   | 1,49                | 1,94                    | 22                                 | 64,8                    | 137,1  | 63,7   |
| 9,81                                      | 0,31                | 1,18                    | 23,2                               | 68,2                    | 141,2  | 65,4   |
| Гипотетический                            | 0                   | 0                       | 25                                 | 73,5                    | 147  | 69,6   |

В таблицу внесен гипотетический случай, в котором предполагается, что скорость, равная 94% от скорости света, достигается мгновенно. Этот практически невозможный случай условимся называть случаем наибольшей возможной дальности. Он отвечает при рассмотренной схеме движения 73,5 земным годам (около 22 парсеков от Солнца).

В таблицу введен также случай минимального ускорения, при котором аппарат еще может достигнуть  $v = 94\%$  от скорости света за 12,5 лет разгона (половина пути в одном направлении). Это ускорение составляет  $0,715 \text{ м/сек}^2$ . Как и следовало ожидать, при таком ускорении общая дальность полета сократится по сравнению со случаями больших ускорений. При еще меньших ускорениях аппарат не успеет разогнаться до принятой наибольшей возможной скорости к моменту, когда двигатель придется переключать на торможение. Эти ускорения оказываются невыгодными, не позволяющими использовать все возможности аппарата в пределах принятых ограничений, а поэтому и неприемлемыми для полета на максимальную дальность.

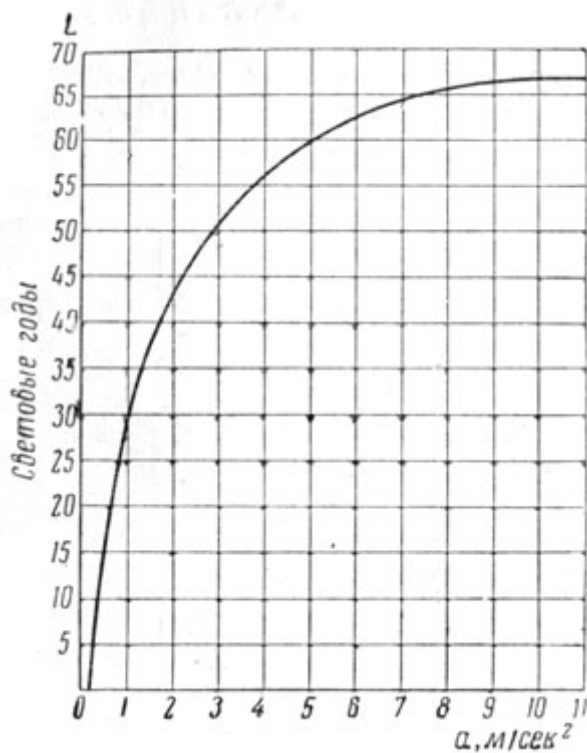


Рис. 31. Возможная дальность полета в зависимости от достижимых ускорений при  $t_k=50$  лет и  $v_k=94\%$  с (после достижения указанной  $v_k$  двигатель выключается)

Важно отметить, что при подходе к очень большим ускорениям выигрыш в максимальной достижимой дальности при конечной скорости, условно ограниченной  $v = 94\%$  с, становится все менее значительным. Поскольку создание двигателей галактических кораблей, обладающих большими тягами, сопряжено, как уже отмечалось, с преодолением чрезвычайных трудностей, нецелесообразно добиваться очень больших тяг, ограничившись на первых порах минимальным достаточным ускорением.

В заключение оценим расход горючего для звездолета, совершающего за 50 лет собственного времени полет на максимальную дальность.

Поскольку в любом из рассмотренных случаев разгон осуществляется до одной и той же наибольшей скорости, придется, как показывают расчеты, затратить одно и то же количество энергии и строить аппарат с одним и тем же отношением масс (для одного разгона или торможения):

$$\frac{M_K}{M_0} = 0,176 \quad \text{или} \quad \frac{M_0}{M_K} = 5,7$$

которое нетрудно определить на каждом участке разгона или торможения, воспользовавшись уравнением (3.4). Это значит, что отношение масс  $\frac{M_K}{M_0}$  для всего полета от старта до возвращения составит  $(0,176)^4 = 0,00095 \approx 10^{-3}$ . Таким образом, в Солнечную систему сможет возвратиться не более тысячной части массы корабля, отправившегося к звездам, т. е. лишь одна тонна из каждой тысячи тонн некогда стартовавшего аппарата. Это означает, что при возвращаемом весе хотя бы в 200 т вес аппарата при отлете должен составлять не менее 200 тыс. т.

Соответственно на каждом участке разгона или торможения могут быть определены средняя масса звездолета и необходимая тяга его двигателя.

В результате расчета получаем необходимое количество энергии для обеспечения полета в оба конца на каждый килограмм стартового веса:



$$E = 68,1 \cdot 10^{17} \text{ ккал},$$

для чего при энергоёмкости массы покоя  $E_m = 2,15 \cdot 10^{13} \text{ ккал/кг}$  и коэффициенте полезного использования массы покоя  $\eta = 0,5$  на каждые  $100 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  стартовой массы  $64,5 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  придется израсходовать для получения тяги. Оставшиеся  $35,5 \text{ т} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$  могут весить элементы конструкции четырехступенчатого квантового звездолета, предназначенного для совершения полета на максимальную дальность.

Большая часть этих конструкций сбрасывается по пути. В то же время промежуточные ступени могут не просто сбрасываться. Первая из них, выполнив свои задачи, может вернуться в Солнечную систему, вторая и третья отправится к ближайшим звездным мирам.

Все это увеличит экономическую целесообразность экспедиций.

### **От самолета к галактическому кораблю**

С тех пор как мечту человечества о полете к звездам прибило к берегу научной теории, созданной К. Э. Циолковским, бурно развивающаяся реактивная техника приблизила к нам не только земные объекты, но также планеты и звезды.

Что же сделано в области летательных аппаратов, что и как можно надеяться сделать?

На рис. 32 представлен график, который может нам помочь ответить на этот вопрос.

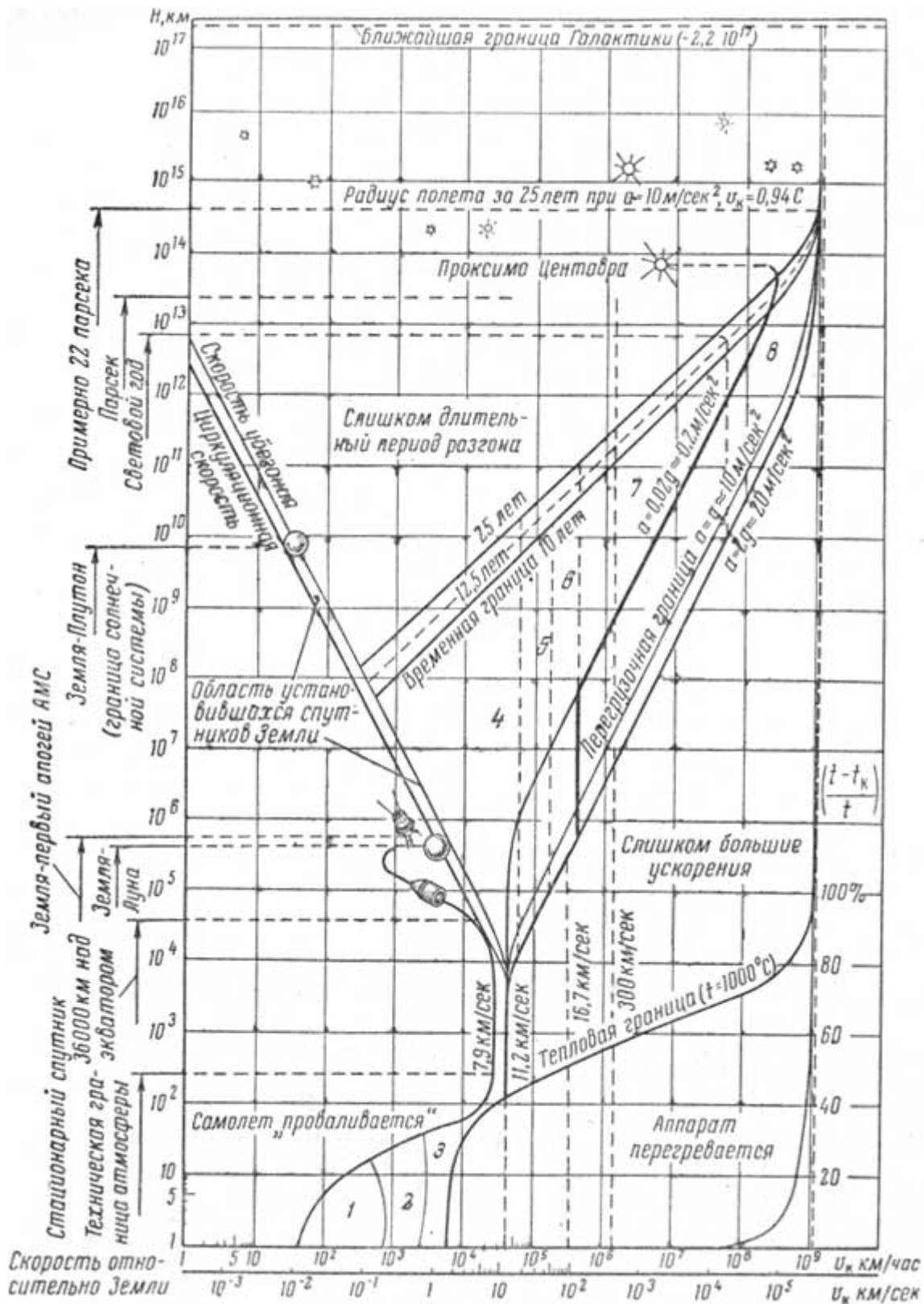


Рис. 32. Ограниченные области возможных скоростей и расстояний (высот) полета относительно Земли

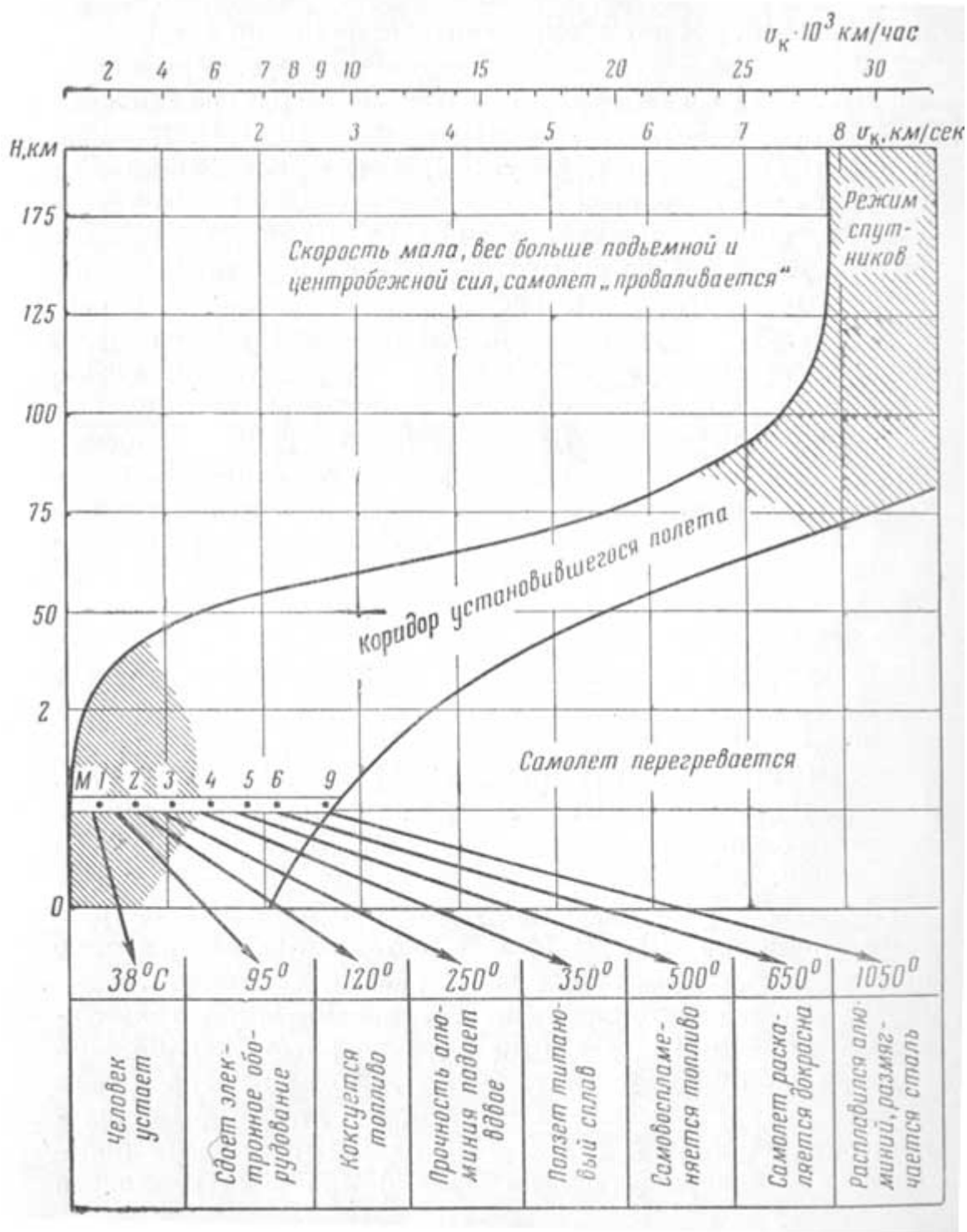


Рис. 33. Возможная область установившегося полета

В нижней части рисунка слева, вынесенной, кроме того, отдельно на рис. 33, изображена ограниченная область установившегося полета для различных высот и скоростей. Чем же определяется положение такой области? Поясним это на следующем примере. При полете на высоте 11 км со скоростью  $9 M^1$  температура обшивки самолета быстро достигла бы примерно  $1000^\circ\text{C}$ . Примем, что больший нагрев недопустим. Тогда дальнейший рост скорости без перегрева самолета возможен лишь с увеличением высоты полета, поскольку плотность воздуха быстро уменьшается с высотой, падает сопротивление полету и одновременно относительно уменьшается нагрев самолета. В результате предельная температура будет достигнута уже при более высокой скорости. Так возникает нижняя граница коридора установившегося полета.

<sup>1</sup> Число  $M$ , которым пользуются в авиации при обозначении больших скоростей полета, означает отношение скорости полета к скорости звука на данной высоте. В рассматриваемом случае скорость полета в 9 раз больше скорости звука. Скорость звука у Земли  $330 \text{ м/сек}$ .

С увеличением высоты полета для сохранения подъемной силы крыльев необходимо увеличить скорость, иначе самолет «провалится», так как воздушная подушка под крыльями станет менее плотной. Условившись, что наименьший скоростной напор составляет 390 кг на 1 м<sup>2</sup> крыла, получим верхнюю границу коридора, в котором возможен установившийся полет в течение нескольких часов. Например, на высоте порядка 100-150 км самолет сможет летать со скоростью около 10 тыс. км/час вполне достаточное время, чтобы попасть в любую точку земного шара — ведь самый длинный путь (по прямой) на Земле 40 тыс. км. При дальнейшем повышении скорости и на этой высоте возникнет тепловое препятствие и придется подниматься еще выше.

Земную авиацию можно условно ограничить скоростями примерно 10-20 М и высотой 100-200 км. Это поле высот — арена будущего развития авиации.

Однако в настоящей работе, посвященной галактическим кораблям, мы все же вкратце расскажем об этой области, ибо следует иметь в виду, что при возвращении любого аппарата в более плотные слои атмосферы с большой скоростью (а ведь люди из разведывательных полетов будут возвращаться на Землю) проблема теплового препятствия, или теплового барьера, как его иногда не совсем точно называют, становится очень острой.

Человек летает на самолете со скоростью свыше 2,5 тыс. км/час, скорость космического корабля «Восток» — около 30 тыс. км/час. На рис. 33 заштрихованы области освоенных режимов высот и скоростей полета. Как мы видим, область промежуточных скоростей — примерно от 3 до 28 тыс. км/час — еще только осваивается.

Итак, поднимаясь все выше к потолку атмосферы, мы постепенно подходим к высотам порядка 1000 км (см. рис. 32), где искусственные спутники Земли уже сейчас двигаются многие месяцы подряд. Но, забравшись столь далеко от Земли, мы перешагиваем условный барьер, отделяющий авиацию от межпланетных полетов. Уже после достижения первой космической скорости 7,9 км/сек аппарат выходит (вблизи Земли) на режим спутника в космическое пространство, где, с одной стороны, тепловая граница по мере разряжения атмосферы тает и, с другой стороны, исчезает аэродинамическая граница крылатого полета — аппарат становится ракетой без крыльев, которая выносится в пространство, опираясь только на струю рабочего тела, выбрасываемую из двигателя.

Но, как всегда в таких случаях, можно наметить новые границы режима установившегося полета. Для спутников этой границе будет соответствовать так называемая скорость убегания (вблизи Земли вторая космическая скорость, равная 11,2 км/сек). Известно, что по мере увеличения расстояния спутника от центра Земли его равновесная скорость, т. е. такая, при которой спутник движется по круговой орбите, уменьшается. Увеличение скорости сверх равновесной приводит сначала к эллиптической траектории, а затем к убеганию спутника, превращающегося в искусственную планету. Как видно, область скоростей и высот спутников Земли относительно невелика. Область скоростей аппаратов, уносящихся в космическое пространство, также не безгранична.

Так как межзвездный аппарат может стартовать лишь со станции-спутника, имеющей некоторую круговую циркуляционную скорость, подобно тому, как стартовала с тяжелого спутника советская ракета-носитель, которая вывела автоматическую межпланетную станцию (АМС) на орбиту полета к Венере, с этой скорости и начнем равномерный разгон аппарата. Достигнув некоторой скорости, согласно обобщенному уравнению К. Э. Циолковского предельной для такого типа двигателей, в границах технически приемлемого отношения масс, аппарат будет следовать на максимальную дальность. Поскольку темп разгона ограничивается, целая область на графике, в которой ускорения, необходимые для достижения каждой заданной скорости, получаются чрезмерными, естественно отпадает. Принципиально эта «нижняя граница» должна быть ступенчатой, поскольку при достижении относительно небольших скоростей понадобится меньше время, т. е. срок воздействия перегрузки будет меньшим и, следовательно, темп разгона может быть большим. Если в случае продолжительного разгона ускорение, ограничиваемое биологическими особенностями человеческого организма, не может быть принято более 20 м/сек<sup>2</sup>, то, например, на ограниченном участке для получения скорости 20 км/сек его можно было бы удвоить. Однако при полете на максимальную дальность за 25 лет при относительно небольшом времени и участке разгона эту возможность допустимо не учитывать. Поэтому мы принимаем, как об этом условились раньше, что наибольшая допустимая величина перегрузки, продолжительно действующей на экипаж ракеты, не должна превышать  $a = 20 \text{ м/сек}^2$ , т. е. примерно удвоенного земного ускорения.

Итак, при использовании двигателей, способных создавать большую абсолютную тягу, темп разгона будет ограничиваться биологическими особенностями человеческого организма (см. рис. 32, области 4-6). В областях 7 и 8 темп разгона, насколько сейчас можно предвидеть, технически ограничивается ускорением  $a = 0,2 \text{ м/сек}^2$ , поскольку больших ускорений электротермические двигатели, по-видимому, создать не могут.

Общий срок полета в оба конца, как мы условились, не должен превышать среднего срока интенсивной творческой жизни человека, т. е. примерно 50 лет. Тогда максимальный радиус полета определяется сроком в 25 лет. Расстояние, которое аппараты с двигателями различных типов окажутся способными преодолеть за это время, и даст верхнюю временную границу. Поскольку на рис. 32 все скорости и расстояния отображены относительно Земли, скорости относительно Солнца и центра Галактики могут быть показаны только условно. Они и нанесены пунктиром: третья космическая скорость  $16,7 \text{ км/сек}$  в направлении вращения Земли и четвертая —  $300 \text{ км/сек}$  относительно центра Галактики, позволяющая кораблю «убежать» от нее к другим галактикам Вселенной.

Специально следует остановиться на области относительных околосветовых скоростей полета звездолета, где все границы деформируются (это обстоятельство, как и следовало ожидать, начинает выявляться после достижения скорости полета, равной примерно десятой части от скорости света).

Так, когда относительная скорость полета звездолета достигает 94% скорости света, время на звездолете, как уже было показано раньше, должно течь медленнее, чем на Земле, или, иными словами, на звездолете проходят значительно меньшие интервалы времени, чем на Земле, и экипаж начинает выигрывать более 280% времени по сравнению с земным наблюдателем. За 25 лет полета экипажа на Земле проходит около 70 лет. В то же время, хотя самим звездолетом (в его собственных координатах) скорость света еще далеко не достигнута, земной наблюдатель, который судит о его скорости по расстоянию, предварительно измеренному с Земли, и часам, прошедшим на звездолете, неизбежно приходит к выводу, что звездолет относительно Земли превысил скорость света.

Итак, рассмотрение графика, представленного на рис. 32, охватывающего области применения всех известных ныне двигателей для аппаратов тяжелее воздуха, еще раз убеждает в том, что возможности двигателей, кроме ионного и квантового, ограничены полетами в Солнечной системе. Ионный двигатель, вероятно, позволит за срок человеческой жизни совершить часть пути к звездам. И только один двигатель — квантовый — способен обеспечить полет к планетам других звездных миров и возвращение в Солнечную систему.

До сих пор мы рассматривали галактические корабли, если так можно выразиться, первой очереди, останавливаясь на наиболее осуществимых вариантах звездолетов, при создании которых можно надеяться, если не избежать преодоления принципиальных трудностей, стоящих на пути создания звездолетов, то хотя бы облегчить эту задачу, идя на компромиссные минимально допустимые условия (относительно малые ускорения и преодолеваемые расстояния, скорость в несколько раз меньшая скорости света, технически приемлемое отношение масс).

Опыт проектирования и создания новых конструкции показывает, что первоначально следует решить принципиально новые задачи, построить аппарат, в который заложены новые возможности, а уже после этого доводить его в таком направлении, которое позволит полностью реализовать все эти возможности. Так, уже в первом самолете А. Ф. Можайского в 1882 г. или первой ракете группы по изучению реактивного движения (ГИРД) в 1933 г., пусть несовершенных с нашей сегодняшней точки зрения, были заложены качества, в огромной степени реализованные в сегодняшней авиационной ракетной технике, как и в первом грозоотметчике изобретателя радио А. Н. Попова — неисчерпаемые возможности современной радиоэлектроники.

Следует, однако, подчеркнуть, что, отбросив принятые ограничения и решая задачу полета к звездам в общем теоретическом плане, выходя, быть может, за пределы обозримого будущего, можно утверждать, что использование квантовой ракеты, разгон которой осуществляется за счет использования запаса инертной массы, находящейся на борту, а сопротивление межзвездной среды компенсируется путем использования масс, принятых в ракету во время полета, открывает перед человечеством неограниченные возможности проникновения в космос.

Немецкий физик Э. Зенгер<sup>1</sup>, приняв, что ракета удаляется от Земли с постоянным собственным ускорением  $a = 10 \text{ м/сек}^2$ ;  $a = 30 \text{ м/сек}^2$  и в гипотетическом случае  $a = 300 \text{ м/сек}^2$ , половину пути до цели проходит с разгоном и скорость ее постепенно все больше приближается к скорости света, а вторую половину до подхода к цели преодолевает с торможением, вычислил сроки галактических путешествий в один конец для различных космических расстояний. Некоторые результаты его вычислений сведены в табл. 8 и представлены на рис. 34.

<sup>1</sup> Один из пионеров в области механики фотонных ракет. См., например, Э. Зенгер. К механике фотонных ракет. ИЛ, 1958. Случай, когда  $a = 30 \text{ м/сек}^2$  и «вес» каждого члена экипажа ракеты продолжительное время равен утроенному земному весу, Э. Зенгер считал еще допустимым.

При ознакомлении с таблицей сразу же обращает на себя внимание, что для преодоления расстояния от Земли до Проксима Центавра (для чего свету понадобилось бы 4,3 года), космонавтам потребуется лишь 3,6 года, а с возвращением к Земле 7,6 года. Это, разумеется, не означает, что относительная скорость ракеты  $v_k$  превысит скорость света. Дело в том, как мы уже знаем, что расстояния для самого звездолета, если о них судить по замерам пути, выполненным на ракете, сокращаются.

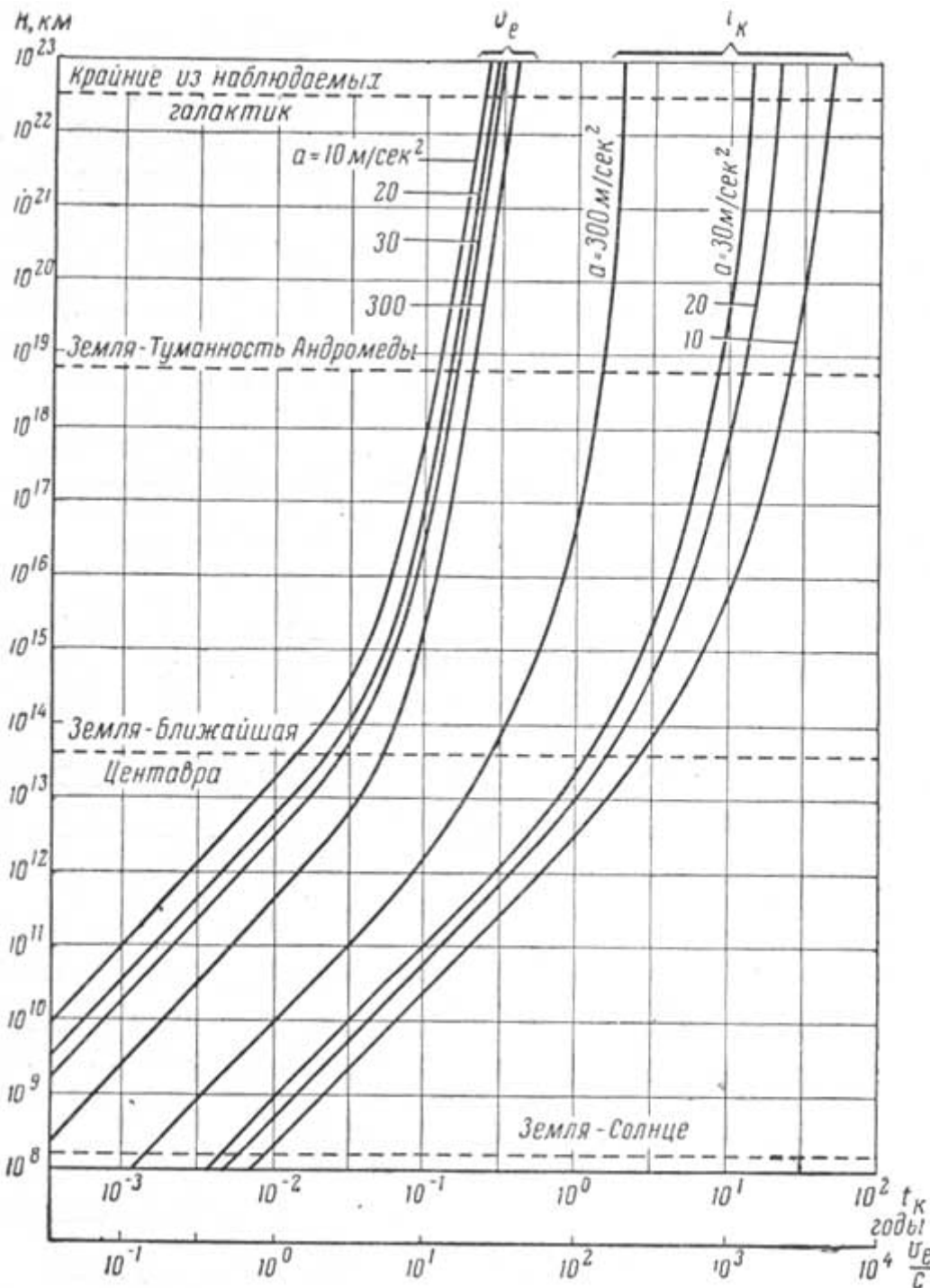


Таблица 8

**Время полета для экипажа галактического корабля в зависимости от расстояния и принятого ускорения при постоянно работающем двигателе**

| Время полета (годы) | Самые дальние просматриваемые галактики ( $3,2 \cdot 10^{25} \text{ м}$ ), годы |
|---------------------|---|
| 9                   | 41,9  |
| 3                   | 14,71   |
| 1,9                 | 1,625   |

Именно поэтому земному наблюдателю, для которого эти астрономические расстояния остаются неизменными, представлялось бы, что ракета совершает свой путь со скоростью, превышающей скорость света.

Этот факт и нашел отражение на рис. 34, где по горизонтальной оси представлены значения  $t_k$  и  $\frac{v_e}{c}$  — отношение собственной скорости звездолета, как мы условимся называть

Рис. 34. Область достижимых собственных околосветовых и «сверхсветовых» (по часам, прошедшим на ракете, и расстоянию, замеренному на Земле) скоростей полета, а также собственное время полета в зависимости от ускорения и преодолеваемого расстояния (на первой половине пути происходит равномерное ускорение, на второй - равномерное торможение)

скорость, вычисленную земным наблюдателем по времени, прошедшему на ракете, и расстоянию, замеренному с Земли, к скорости света. Как видно из этого рисунка, на большей части расстояния при полете до Проксима Центавра собственное время полета растет как корень квадратный из расстояния. Однако уже при полете на полное расстояние до Центавра для экипажа корабля проходят все меньшие интервалы времени по сравнению со временем, проходящим на Земле, а с точки зрения земного наблюдателя собственная скорость корабля во все большей степени превышает скорость света.

В результате, например, все путешествие к туманности Андромеды и обратно в Солнечную систему при ускорении, почти равном земному, удастся совершить примерно за 52 года, а при несколько больших, но еще вполне допустимых физиологических ускорениях человек сможет добраться и до самых далеких из галактик.

Так, при ускорении всего  $10 \text{ м/сек}^2$  для путешествия на расстояние почти 3,5 млрд. световых лет понадобилось бы только 42 года жизни экипажа корабля. В Солнечной системе прошло бы за это время около 6 млрд. лет.

Поскольку расход «горючего» определяется интервалом времени, потребным экипажу ракеты на совершение путешествия, масса покоя, которая должна быть взята на борт для обеспечения энергетических потребностей звездного корабля, всегда может оставаться приемлемой по сравнению с его собственной массой. Однако отношение масс корабля, необходимое для достижения относительной скорости, вплотную приближающейся к скорости света, будет стремительно расти, а следовательно, будут расти и технические трудности при его создании. Вероятно, пройдут еще многие десятилетия, прежде чем такие корабли будут созданы. Но придет время, и они полетят.

«Невозможное сегодня станет возможным завтра», — говорил К. Э. Циолковский.

Квантовые ракеты, по-видимому, и станут тем ключом, который поможет человечеству распахнуть двери к самым далеким галактикам, к бесчисленным разумным мирам в бесконечной Вселенной.



# Заключение

Сегодня еще нельзя назвать точные даты водружения новых вех на бесконечном пути в космическое пространство.

Но несомненно, что человек будет все смелее и смелее утверждаться в космосе. Наступит ли затем пауза, прежде чем людям удастся подняться еще на одну ступень в овладении тайнами природы — отправиться к иным планетным мирам? Может быть нас отделяет от этого события, как утверждают некоторые буржуазные ученые, такой же срок, какой отделяет современную цивилизацию от палеозойской эры?

Действительно, задача, которую предстоит решить, чрезвычайно сложна.

Конечно, человечество, вырвавшись в космос, перешагнуло Рубикон на своем пути к звездам. Однако все, что сделано до сих пор, это не более чем шаг через ручеек по сравнению с тем океаном трудностей, которые еще предстоит преодолеть. Думается все же, что к концу нашего столетия основные теоретические разработки в области создания звездолетов будут выполнены и затем их строительство станет конкретной технической задачей — делом рук человеческих. Быть может, в первой четверти следующего столетия будет совершен такой полет.

Однако не будем гадать, когда осуществится заветная мечта человечества, ведь даже люди, являющиеся гордостью науки, зачастую ошибались, предсказывая сроки реализации собственных открытий. Так, в 1920 г. К. Э. Циолковский написал научно-фантастическую повесть «Вне земли». В этой работе он наметил полет человека к Луне на 2017 г., т. е. через сто лет после знаменательного в человеческой истории 1917 г., когда свершилась Великая Октябрьская социалистическая революция. Вот она, веха, от которой отсчитывал сроки этот ученый-мечтатель! Наша действительность обогнала и обгоняет предсказания Циолковского. Уже летают тяжелые спутники Земли, искусственный спутник Солнца, советская ракета уже достигла поверхности Луны, в космос слетали люди, и мы надеемся, что люди совершат полет к Луне несравненно раньше, чем об этом мечтал Циолковский.

В 1921 г. к Эйнштейну обратился студент, считавший возможным создать бомбу, «работающую» на ядерной энергии. «Я считаю этот проект неправильным в своей основе. К тому же он, по-видимому, совершенно неосуществим технически», — сказал ему Эйнштейн.

Технически же атомная бомба была создана учеными и сброшена американскими империалистами на Хиросиму и Нагасаки уже к 1945 г., менее чем через 25 лет. Подтвердились лишь слова Эйнштейна об аморальности атомного оружия, за запрещение которого так настойчиво борется наша Родина.

Напомним также и о том, что крупнейший физик Резерфорд в 1937 г. на вопрос, когда найдет практическое применение его открытие — расщепление атомного ядра, ответил «никогда».

Еще в 1945 г. английские физики считали, что первая атомная электростанция будет построена не ранее, чем в 2000 г., но уже в 1959 г. мы отмечали пятилетие безотказной работы первой в мире атомной электростанции Академии наук СССР, и уже прошло 4 года с тех пор, как вступил в строй первый в мире атомный ледокол «Ленин».

Даже гениальные писатели-фантасты ошибались в сроках, предсказывая достижения науки будущего. Например, многое из того, что предсказывал Жюль Верн в рассказе «29 век», стало реальностью всего через 25 лет.

«Современная техника чрезвычайно быстро прогрессирует. Если сейчас, говоря о вероятных сроках дальнейшего освоения космических пространств, о создании летательных аппаратов, достигающих больших расстояний, мы имеем в виду годы и десятилетия, самое большее столетия, то нужно учитывать, что

десятилетия и столетия являются очень небольшими сроками в истории человечества»<sup>1</sup>, — писал академик Амбарцумян.

<sup>1</sup> В. Амбарцумян. Некоторые вопросы космогонической науки. «Коммунист», 1959, № 8, стр. 96.

Естественно, что все наши прогнозы на будущее основываются лишь на тех работах и исследованиях, которые известны или могут быть намечены как естественное развитие уже достигнутых результатов. Не исключено также, что будут найдены принципиально новые направления развития, новые способы преодоления пространства и времени. Ясно, что такие открытия и их влияние на характеристики и будущее летательных аппаратов предвидеть невозможно.

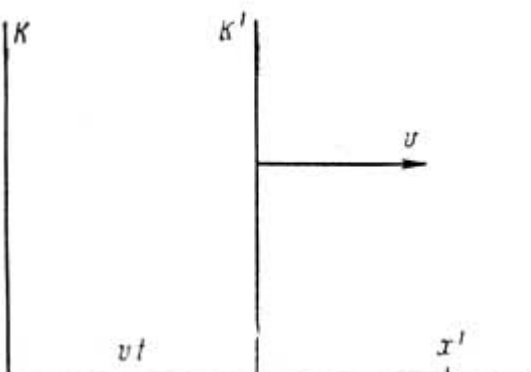
Заканчивая эту небольшую книгу, хочется еще раз вспомнить знаменитую фразу К. Э. Циолковского, которую он так любил повторять: «Сроки сокращаются!». Да, они стремительно сокращаются. «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко шагнет за пределы атмосферы, а потом завоюет себе все околосолнечное пространство», — писал К. Э. Циолковский.

Мы верим, что и на этом не остановится творчество человека. Завоевав пространство Солнечной системы, он решительно шагнет дальше — к звездам, чтобы совершить еще один величайший научный подвиг — посетить и изучить планетные системы других миров.

# Приложение

К. П. Станюкович

## Некоторые соотношения механики фотонных ракет



§ 1. Поскольку скорость движения фотонных ракет может быть близкой к скорости света, то закономерности их движения должны описываться соотношениями специальной теории относительности.

В специальной теории относительности постулируется, что физические законы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга (инерциальные системы), и что скорость света всегда имеет одно и то же значение в любой инерциальной системе отсчета.

Важнейшим следствием теории относительности является связь между массой и энергией. Масса имеет энергетическое выражение, а энергия имеет массовый эквивалент. Законы сохранения массы и энергии в теории относительности заменяются одним законом сохранения массы-энергии.

В обычной классической механике в том случае, когда одна система отсчета движется прямолинейно и равномерно относительно другой со скоростью  $v$  вдоль оси  $x$ , имеют место такие простые преобразования:

$$x = x' + vt'; \quad t = t' \quad (y = y', \quad z = z'), (1)$$

где  $x', y', z'$  и  $t'$  — координаты и время в системе отсчета  $K'$ , которая движется относительно неподвижного наблюдателя (система отсчета  $K$ ) со скоростью  $v$ ;  $x, y, z$  и  $t$  — координаты и время в системе отсчета  $K$ . Если скорость какого-либо тела в системе  $K'$  есть  $u$ , то в системе  $K$  скорость

$$u = u' + v. (2)$$

Время и ускорения одинаковы в обеих системах отсчета. Земля при своем движении вокруг Солнца имеет скорость  $30 \text{ км/сек}$ , что составляет  $1/10\,000$  скорости света. Измеряя и скорость света, идущего от звезды, находящейся впереди по направлению движения Земли, когда скорость Земли складывается со скоростью света, и скорость света от противоположно находящейся звезды, когда скорость Земли вычитается из скорости света, наблюдатели должны были бы получить разницу этих скоростей в  $60 \text{ км/сек}$  (заметим, что точность измерения скорости света значительно выше и разницу в  $60 \text{ км/сек}$  можно легко обнаружить). Однако оказалось, что, где бы ни находились звезды, скорость света всегда одинакова. Эйнштейн предположил, что законы сложения скорости обычной классической механики, а, следовательно, и основные законы классической механики неприменимы к таким столь высоким скоростям, как скорость света.

Лоренц впервые, а затем более просто и убедительно Эйнштейн вывели новые соотношения механики, заменяющие прежние.

Постулируя постоянство скорости света во всех инерциальных системах, можно полагать, что величина, называемая интервалом  $ds$ , также одинакова во всех инерциальных системах отсчета. В системе отсчета  $K$  имеем:

$$s^2 = c^2 (t_2 - t_1)^2 - [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]. (3)$$

Здесь  $t_1, x_1, y_1, z_1$  — время и координаты точки, из которой отправляется сигнал, распространяющийся со скоростью света  $c$  (первое событие);  $t_2, x_2, y_2, z_2$  — время и координаты точки, куда приходит сигнал (второе событие). В другой системе отсчета  $K'$  имеем:

$$s'^2 = c^2 (t'_2 - t'_1)^2 - [(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2]. (4)$$

Координаты и времена с индексами (1) и (2) обозначают первое и второе события в системе  $K'$ .

Интервал между двумя событиями в обеих системах отсчета одинаков. Доказательство этого положения весьма несложно. Если в одной системе  $s' = 0$ , то и в другой системе отсчета  $s' = 0$ .

В случае бесконечно близких событий

$$ds^2 = c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)$$

$$ds'^2 = c^2 dt'^2 - (dx'^2 + dy'^2 + dz'^2).$$

Очевидно, что величины  $ds$  и  $ds'$  одного порядка малости, поэтому

$$ds = ads'.$$

Производя обратное преобразование от системы  $K'$  к системе  $K$ , найдем, что

$$ds' = ads = a^2 ds',$$

откуда  $a^2 = 1$ ;  $a = \pm 1$ , поскольку частным случаем последнего соотношения служит тождество

$$ds' = ads = ads'$$

(если  $K$  и  $K'$  совпадают), то  $a = +1$ . Таким образом, действительно  $ds = ds'$  и  $s = s'$ .

Мы получили важный результат. Поскольку во всех инерциальных системах отсчета интервал одинаков, то он является инвариантом по отношению к преобразованиям от одной системы отсчета к другой. Эта независимость является следствием постоянства скорости света. Подчеркнем, что интервал определяется четырьмя компонентами, т. е. он определен в четырехмерном квазиэвклидовом мнимом пространстве (пространство Минковского). Можно утверждать, что вообще любой четырехмерный скаляр, определенный в четырехмерном пространстве, будет также постоянен в любой инерциальной системе отсчета, т. е. будет являться инвариантом.

Пусть система отсчета  $K'$  опять движется вдоль оси  $x$  со скоростью  $v$ . Далее, пусть при  $t_1 = t'_1 = 0$  начала координат обеих систем совпадают ( $x_1 = x'_1 = 0$ ), тогда в любой момент времени при  $x' = 0$   $x = vt$ . Поскольку при этом  $y = y'$ ;  $z = z'$ , то из равенства интервалов имеем:

$$c^2 (t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 = c^2 (t'_2 - t'_1)^2 - (x'_2 - x'_1)^2. (5)$$

Введем вспомогательную временную координату  $\tau = ict$ ; тогда последнее выражение примет вид:

$$(\tau_2 - \tau_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 = c^2 (\tau'_2 - \tau'_1)^2 + (x'_2 - x'_1)^2. (6)$$

Координаты  $x : y : z$  определяют положение движущейся в эвклидовом пространстве материальной точки (тела) в любой заданный момент времени, причем этот момент времени нужно дополнительно указывать. Координаты  $x : y : z : \tau$  определяют положение движущейся точки и момент времени в пространстве Минковского.

Как мы показали выше и по аналогии с обычной аналитической геометрией для эвклидова пространства можно утверждать, что интервал остается инвариантным (неизменным) при повороте осей  $x : \tau$  на угол  $\theta$ ; тогда связь между  $x' : \tau'$  и  $x : \tau$  имеет вид:

$$x = x' \cos \theta - \tau' \sin \theta,$$

$$\tau = x' \sin \theta + \tau' \cos \theta. (7)$$

При  $x' = 0$

$$\frac{x}{\tau} = \frac{x}{ict} = -i \frac{x}{ct} = -i \frac{v}{c} = -tg \theta, (8)$$

где  $v = \frac{x}{t}$  — скорость движения системы  $K'$  относительно системы  $K$ .

Из уравнения (8) имеем:

$$\sin \theta = \frac{i \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

после чего выражения (7) можно написать в виде:

$$x = \frac{x' - v t'}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \tau = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y'; \quad z = z'. \quad (9)$$

Подставляя  $\tau = ict$ , получим:

$$x = \frac{x' + v t'}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y'; \quad z = z'. \quad (10)$$

Соотношения (9) или (10) называются преобразованиями Лоренца.

При этом оказывается, что время в разных системах отсчета протекает по-разному, время не абсолютно, как думали раньше, а относительно и, в частности, зависит от скорости движения системы отсчета, в которой оно измеряется.

Деля почленно первое соотношение (10) на второе, найдем, что

$$\frac{x}{t} = \frac{\frac{x'}{t'} + v}{1 + \frac{v x'}{c^2 t'}}, \quad \text{откуда} \quad u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u' v}{c^2}}, \quad (11)$$

где  $u$  и  $u'$  — скорости движения какого-либо тела в системах  $K$  и  $K'$ .

Если величина скорости  $v \ll c$ , то соотношения Лоренца и закон сложения скоростей переходят в классические соотношения, которые называются преобразованиями Галилея.

Легко убедиться в том, что сумма двух скоростей, меньших или равных скорости света, согласно приведенной формуле сложения скоростей, есть скорость, не большая, чем скорость света.

В частности, эта формула показывает, что если  $u' = c$ , то и  $u = c$ , какова бы ни была скорость  $v$ . Таким образом, этот закон сложения скоростей, естественно, удовлетворяет постулату о постоянстве скорости света в любой инерциальной системе отсчета. Скорость света является максимально возможной скоростью в пространстве.

Из преобразований Лоренца можно получить ряд интересных следствий. Мы рассмотрим только два из них.

Допустим, что мы движемся с началом координат системы отсчета  $K'$ , т. е. движемся относительно системы отсчета  $K$  (относительно Земли) со скоростью  $v$ . Мы измеряем время  $t'$  по нашим часам, в это время на Земле (в системе отсчета  $K$ ) тоже измеряют время  $t$ ; связь между обоими временами, поскольку  $x' = 0$ , будет иметь вид:

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (12)$$

или для бесконечно малых промежутков времени

$$dt' = dt \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (13)$$

Мы обнаружим, что по нашим часам прошло меньше времени, чем по земным (парадокс времени).

Далее. Мы измеряем длину какого-либо стержня, который расположен по оси  $x$  и покоится в системе  $K$ . В нашей собственной системе отсчета координаты концов стержня  $x'_2$  и  $x'_1$ . Очевидно, что

$$(x'_2 - x'_1) = (x_2 - x_1) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Длина стержня в собственной системе отсчета  $l' = x'_2 - x'_1$ , в земной системе отсчета длина стержня  $l = x_2 - x_1$ . Таким образом,

$$l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (14)$$

Мы видим, что длина стержня как бы сокращается. Если мы пролетаем вдоль стержня со скоростью  $v$ , или, что то же, если этот стержень движется относительно нас с той же скоростью, то этот стержень кажется сжатым в отношении

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ к единице.}$$

Рассматривая движение ракеты, можно сказать, что система  $K$  связана с «неподвижной» Землей, а система  $K'$  с движущейся ракетой. В этой системе отсчета скорость ракеты равна нулю. Эту систему отсчета мы и называем собственной системой отсчета.

Скорость ракеты  $v$ , скорость какого-либо тела относительно ракеты  $u'$ , относительно Земли скорость этого же тела  $u$ .

Напишем снова выражение для элементарного интервала:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2 = c^2 dt^2 \left( 1 - \frac{dl^2}{c^2 dt^2} \right),$$

где  $dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$  — элемент длины.

$$\frac{dl}{dt} = u$$

Поскольку  $\frac{dl}{dt} = u$ , где  $u$  — полная скорость движения какого-либо тела в системе  $K$  (движение тела происходит по произвольному направлению, вдоль которого и направлена ось  $x$ ), имеем:

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right). \quad (15)$$

Вычислим теперь ускорение  $g$ . Ускорение во всех инерциальных системах одинаково лишь при  $u \rightarrow 0$ :

$$g_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{du_{x'}}{dt'}; \quad g_y = \frac{du_y}{dt} = \frac{du_{y'}}{dt'}; \quad g_z = \frac{du_z}{dt} = \frac{du_{z'}}{dt'}. \quad (16)$$

Рассмотрим важную задачу. Пусть в собственной системе отсчета  $K'$  дано ускорение, причем движение будем считать прямолинейным. Требуется найти движение относительно системы отсчета  $K$ .

Тогда

$$g = \frac{du'}{dt'} = \frac{du'}{dt \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (17)$$

Поскольку



$$u' = \frac{u-v}{1-\frac{uv}{c^2}}; \quad du' = du \frac{1-\frac{v^2}{c^2}}{\left(1-\frac{uv}{c^2}\right)^2}$$

и поскольку в собственной системе отсчета  $u' = 0$  (но  $du' \neq 0$ ), т. е.  $v = u$ , то:

$$du' = \frac{du}{1-\frac{u^2}{c^2}}; \quad g = \frac{du}{dt \left(1-\frac{u^2}{c^2}\right)^{3/2}} = \frac{d}{dt} \frac{u}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}. \quad (18)$$

Интегрируя это выражение, найдем, что

$$\frac{u}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \int_0^t g dt = u^*. \quad (19)$$

Отсюда

$$u = \frac{u^*}{\sqrt{1+\frac{u^{*2}}{c^2}}}. \quad (20)$$

Далее, поскольку и  $u = \frac{dx}{dt}$ , то пройденный путь

$$x = \int_0^t \frac{u^*}{\sqrt{1+\frac{u^{*2}}{c^2}}} dt \quad (21)$$

Если в собственной системе отсчета  $g = g_0 = \text{const}$  (ускорение постоянно), то

$$u = \frac{g_0 t}{\sqrt{1+\frac{g_0^2 t^2}{c^2}}}; \quad x = \frac{c^2}{g_0} \left[ \sqrt{1+\frac{g_0^2 t^2}{c^2}} - 1 \right]. \quad (22)$$

Поскольку

$$dt' = dt \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}} = \frac{dt}{\sqrt{1+\frac{g_0^2 t^2}{c^2}}}, \quad (23)$$

то время в собственной системе отсчета  $K'$  (время, протекающее в ракете) связано с временем в системе отсчета  $K$  (время, протекающее на Земле) при постоянном ускорении ракеты соотношением:

$$t' = \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{1+\frac{g_0^2 t^2}{c^2}}} = \frac{c}{g_0} \text{Arsh} \frac{g_0 t}{c} = \frac{c}{g_0} \ln \left[ \frac{g_0 t}{c} + \sqrt{1+\frac{g_0^2 t^2}{c^2}} \right]. \quad (24)$$

При  $t \rightarrow \infty$

$$t' = \frac{c}{g_0} \ln \frac{2g_0 t}{c}, \quad (25)$$

т. е. время  $t'$  идет значительно медленнее, чем  $t$ .

Перейдем к изучению элементов динамики в специальной теории относительности.

§ 2. В релятивистской механике законы сохранения массы и энергии заменяются одним законом сохранения энергии. При различных ядерных (и других) процессах масса тела может изменяться, но полная энергия всегда остается постоянной.

Связь между массой ( $m$ ) и энергией ( $E$ ) дается простым соотношением:

$$E = mc^2.$$

Ниже мы выведем это соотношение.

Поскольку положение любой точки в пространстве Минковского определяют вектором, имеющим четыре компоненты:  $x', y, Z', t$ , и компоненты этого вектора подчиняются при переходе от одной инерциальной системы к другой преобразованиям Лоренца, то таким же преобразованиям подчиняются и компоненты любого вектора.

Поскольку в пространстве Минковского можно ввести некоторый вектор импульса энергии, три компоненты которого определяют обычные пространственные компоненты импульса, а четвертая определяет энергию, то при переходе от системы отсчета  $K'$  к системе отсчета  $K$  будут преобразовываться как импульс, так и энергия.

Рассмотрим движение тела, скорость которого в системе  $K$  в данный момент времени есть  $u$ . В собственной системе отсчета  $K'$ , которая в данный момент времени имеет скорость относительно  $K$ ,  $v = u$ ,  $u' = 0$  (движение вдоль оси  $x$ ). Компоненты импульса в системе  $K'$   $I'_x = 0$ ,  $I'_y = 0$ ,  $I'_z = 0$ . Введем формально четвертую компоненту импульса  $I'_t$ . Для этой цели вспомним, что в классической механике в системе  $K$

$$I_x = mu_x, I_y = mu_y, I_z = mu_z, (1)$$

где

$$u_x = \frac{dx}{dt}, \quad u_y = \frac{dy}{dt}, \quad u_z = \frac{dz}{dt}.$$

Введем

$$u_{\tau} = \frac{d\tau}{dt} = ic; \quad (2)$$

тогда

$$I_t = mu_t = imc. (3)$$

Очевидно, что в системе  $K'$  в релятивистском случае  $I_t = im'c$ , где  $m'$  — масса тела, отнесенная к этой системе. Нет оснований утверждать, что в разных системах отсчета масса тела имеет одно и то же значение. Напротив, есть основание полагать обратное, в чем мы сейчас убедимся.

Введем скалярную величину  $I_0^2 = I_x^2 + I_y^2 + I_z^2 + I_t^2$ . Очевидно, эта величина одинакова в разных системах отсчета (т. е. она инвариантна относительно преобразований Лоренца).

В системе  $K'$

$$I_0'^2 = I_t'^2 = -m'^2 c^2. (4)$$

В системе  $K$

$$I_0^2 = I_0'^2 = m'^2 (u^2 - c^2) = -m'^2 c^2 \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) = -m^2 c^2. \quad (5)$$

Отсюда  
или

$$m^2 c^2 \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) = m'^2 c^2$$

$$m = \frac{m'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (6)$$

Это соотношение показывает, что инертная масса тела в разных системах отсчета различна, как мы и предполагали выше.

Умножим обе части соотношения (6) на  $c^2$  и обозначим  $mc^2 = E$ ,  $m'c^2 = E'$ . Тогда получим:

$$E = \frac{E'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{m'c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (7)$$

Поскольку при разложении в ряд величины получим, что

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = 1 + \frac{u^2}{2c^2} + \frac{3u^4}{8c^4} + \dots,$$

то

$$E = E' \left( 1 + \frac{u^2}{2c^2} + \frac{3u^4}{8c^4} + \dots \right) = m'c^2 + \frac{m'u^2}{2} + \frac{3m'u^4}{8c^2}.$$

При  $\frac{u}{c} \leq 1$  т. е. при переходе к классическому случаю, имеем:

$$E = m'c^2 + \frac{m'u^2}{2} \quad (8)$$

Первый член  $m'c^2 = E'$  не зависит от скорости. Второй член  $\frac{m'u^2}{2} = E_k$  определяет кинетическую энергию тела. В классической механике энергия определяется с точностью до произвольной постоянной (мы, собственно, всегда измеряем разность энергий), в релятивистском случае мы получили возможность определить эту произвольную постоянную

$$E' = m'c^2. \quad (9)$$

Эта постоянная характеризует энергию покоя тела массы  $m'$  точно так же, как

$$\frac{m'u^2}{2} = E_k \quad (10)$$

характеризует полную энергию движущегося тела.

С увеличением скорости растет масса тела и, следовательно, его энергия. Соотношение (7) и выражает закон сохранения энергии. При любых процессах энергия любой замкнутой системы остается постоянной, хотя ее масса покоя может меняться. Например, если покоящееся тело массы  $M$  самопроизвольно распадается на два тела с массами  $M_1$ ,  $M_2$ , разлетающихся со скоростями  $u_1$ ,  $u_2$ , то будет иметь место соотношение:

$$Mc^2 = \frac{M_1c^2}{\sqrt{1 - \frac{u_1^2}{c^2}}} + \frac{M_2c^2}{\sqrt{1 - \frac{u_2^2}{c^2}}},$$

при этом  $M_1 + M_2 < M$

Заметим, что разность  $\Delta M = M - (M_1 + M_2)$  называется дефектом массы.

Из соотношения (7) следует, что движение со скоростью света возможно лишь, если масса покоя  $m' = 0$ , поскольку энергия должна быть конечна. «Частицы» света — фотоны, скорость которых равна скорости

света, имеют, следовательно, массу покоя, равную нулю. Из соотношения (7) также следует, что скорость света является предельно возможной скоростью движения (при  $u > c$  масса частиц становится мнимой).

Соотношения (1) — (3) являются справедливыми и в системе отсчета  $K$ , в релятивистском случае, если их написать в виде:

$$I_x = \frac{m'u}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}; \quad I_y = 0; \quad I_z = 0$$

$$I_\tau = \frac{im'c}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \frac{i\frac{E'}{c}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}. \quad (11)$$

Пусть теперь в системе  $K'$  тело движется со скоростью  $u' \neq 0$ , компоненты которой  $u'_x, u'_y, u'_z$ . Тогда в этой системе

$$I'_x = m'u'_x; \quad I'_y = m'u'_y; \quad I'_z = m'u'_z; \quad I'_\tau = im'c = i\frac{E'}{c}. \quad (12)$$

Найдем компоненты импульса в системе  $K$  (скорость системы  $K'$  относительно  $K$  есть  $v$ ). Для этой цели воспользуемся преобразованием Лоренца (9, § 1), формально заменяя:

$$x' \rightarrow I'_x; \quad y' \rightarrow I'_y; \quad z' \rightarrow I'_z; \quad \tau' \rightarrow I'_\tau (t' \rightarrow m')$$

$$x \rightarrow I_x; \quad y \rightarrow I_y; \quad z \rightarrow I_z; \quad \tau \rightarrow I_\tau (t \rightarrow m)$$

При этом будем иметь

$$I_x = \frac{I'_x - i\frac{v}{c}I'_\tau}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad I_y = I'_y; \quad I_z = I'_z; \quad I_\tau = \frac{I'_\tau + i\frac{v}{c}I'_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad (13)$$

откуда следует

$$I_x = \frac{I'_x + m'v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{I'_x + \frac{v}{c^2}E'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad I_y = I'_y; \quad I_z = I'_z;$$

$$m = \frac{m' + \frac{v}{c^2}I'_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad (14)$$

или

$$E = \frac{E' + vI'_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

Величина  $I_x^2 + I_y^2 + I_z^2 = I^2$  определяет полный импульс тела; величина

$$I_\tau^2 = \frac{E^2}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = -\frac{E^2}{c^2}$$

характеризует его энергию. Поскольку  $I_x^2 + I_y^2 + I_z^2 + I_\tau^2 = m'^2 c^2$ , то имеет место соотношение, связывающее импульс и энергию:

$$I^2 - \frac{E^2}{c^2} = -m'^2 c^2, \quad (15)$$

откуда

$$E = c\sqrt{I^2 + m'^2 c^2}. \quad (16)$$

Поскольку имеет соотношение

$$E = \frac{m'c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (17)$$

$$m' = \frac{E}{c^2} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}},$$

то, исключая из выражения (15) и (17) массу покоя, придем к выражению

$$I = \frac{Eu}{c^2}. \quad (18)$$

Если масса покоя тела равна нулю, то  $u = c$ , и из уравнения (18) имеем, что

$$I = \frac{E}{c}. \quad (19)$$

Это соотношение связывает энергию и импульс света или любого электромагнитного излучения.

В системе отсчета  $K'$ , где данное тело покоится, сила определяется, как в обычной классической механике.

$$\vec{F}' = \frac{d(m'\vec{u}')}{dt} = \frac{d\vec{I}'}{dt} \quad (20)$$

(стрелка означает векторную величину).

В системе отсчета  $K$  имеем:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{u})}{dt} = \frac{d}{dt} \left( m' \frac{\vec{u}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \right) = \frac{d\vec{I}}{dt}. \quad (21)$$

Если скорость меняется только по направлению так, что  $u = \text{const}$ , то

$$\vec{F} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \frac{d}{dt} (m'\vec{u}). \quad (22)$$

Если скорость меняется только по величине, то

$$\begin{aligned} F &= \frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \frac{dm'}{dt} + m' \frac{d}{dt} \frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \\ &= \frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \frac{dm'}{dt} + \frac{m'}{\sqrt{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^3}} \frac{du}{dt}. \end{aligned} \quad (23)$$

### § 3. Выведем теперь основные уравнения движения релятивистской ракеты.

Закон ее движения определяется следующим образом. Пусть в собственной системе отсчета  $K'$  за единицу

$$dm' = \frac{d\bar{m}'}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} \quad (\text{где } m' \text{ масса покоя}).$$

времени через сопло ракеты выбрасывается со скоростью —  $a$  масса  
Тогда

$$dI' = -adm'; dE' = c^2 dm'. (1)$$

В системе отсчета, связанной с Землей (система  $K$ ), имеем:

$$dI = \frac{-adm' + \frac{u}{c} dE'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \quad dE = \frac{dE' + udI'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}.$$

Или

$$dI = \frac{(u-a)dm'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \quad dE = \frac{(c^2 - au)dm'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

где  $u$  — скорость движения ракеты в данный момент времени. Поскольку

$$dI = d \frac{m'u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} dm' + \frac{m' du}{\sqrt{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^3}}, \quad (3)$$

(где  $m'$  — текущая масса ракеты), то, сравнивая оба выражения, найдем, что

$$-a dm' = \frac{m' du}{1 - \frac{u^2}{c^2}}. \quad (4)$$

$$\frac{u}{c} \leq 1$$

Мы пришли к обобщению формулы Циолковского. При  $\frac{u}{c} \ll 1$  имеем обыкновенную формулу Циолковского:

$$-a dm' = m' du. (4a)$$

Интегрируя выражение (4) при условии, что  $t = 0; u = 0; m' = m'_0$  ( $m'_0$  — начальная масса), приходим к формуле:

$$\frac{m'}{m'_0} = \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{c}{2a}}. \quad (5)$$

(Из соотношения (5) легко можно увидеть, что скорость света есть предельно возможная скорость. Эту скорость приобретает последняя «частица» ракеты с массой покоя, равной нулю). При  $a = c$  соотношение (5) для фотонной ракеты будет иметь вид:

$$\frac{m'}{m'_0} = \sqrt{\frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}}}. \quad (6)$$

Интегрирование выражения (4a) дает, как известно,

$$\frac{m'}{m'_0} = e^{-\frac{u}{a}}. \quad (5a)$$

Разлагая (5) и (5a) в ряд, найдем, что при малых  $\frac{u}{c}$  и  $\frac{a}{c}$  первые члены разложения совпадают.

Из соотношения (5) следует, что только при  $a \geq c$  (при значениях  $a$ , близких к  $c$ ) получаются разумные

отношения  $\frac{m'}{m'_0}$ ; при  $a \ll c$  эти отношения получаются исключительно маленькими; так, например, при  $a = 15$

тыс. км/сек (скорость истечения из сопла мощной атомной ракеты) для достижения скорости  $u = (1 - 0,1)c = 0,9c$  получаем, что

$$\frac{m'}{m'_0} = \left(\frac{1}{20}\right)^{10} \cong 10^{-13}.$$

т. е. надо «сжечь» 10 000 млрд. частей массы, чтобы одна часть получила указанную скорость, что практически совершенно невозможно осуществить.

$$\frac{m'}{m'_0} = \frac{1}{\sqrt{20}} = 0,22,$$

При  $a = c$  в данном случае, что вполне реально. Соотношение для  $dE$  не представляет для нас интереса, оно вспомогательное.

Поскольку при различных ядерных реакциях часть энергии переходит в электромагнитное излучение, а часть содержится в различных образующихся и разлетающихся частицах, то соотношение (5) нужно несколько уточнить (даже при аннигиляции не вся энергия переходит в энергию электромагнитного излучения).

Пусть

$$dI' = - \left[ \frac{a d\bar{m}'_1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} + \frac{dE'_2}{c} \right] = - \left[ a dm'_1 + \frac{dE'_2}{c} \right], \quad (7)$$

где

$$\frac{a d\bar{m}'_1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} = \frac{dE'_1}{c^2} = dm'_1 \quad (8)$$

— часть массы, разлетающейся в виде частиц;

$\frac{dE'_2}{c^2}$  — часть массы, переходящей в энергию электромагнитного излучения.

Поскольку

$$dE'_1 + dE'_2 = dE' = dm' \cdot c^2. \quad (9)$$

то

$$dI' = - \left[ \frac{a d\bar{m}'_1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} + c dm' - \frac{c d\bar{m}'_1}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} \right];$$

далее

$$dI = \frac{dI' + \frac{u}{c^2} dE'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{(u - c) dm' - \frac{d\bar{m}'_1 (a - c)}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (10)$$

Сравнивая выражения (3) и (10), можем написать:



$$\frac{m' du'}{1 - \frac{u^2}{c^2}} = -adm' \left[ \frac{d\bar{m}_1'}{dm' \sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} \left(1 - \frac{a}{c}\right) + \frac{c}{a} \right] = -a^* dm', \quad (11)$$

где

$$a^* = c \left[ 1 - \frac{d\bar{m}_1'}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}} dm'} \left(1 - \frac{a}{c}\right) \right] = c \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{a}{c}}{1 + \frac{a}{c}}} \frac{d\bar{m}_1'}{dm'} \right] = c \left[ 1 - \left(1 - \frac{a}{c}\right) \frac{d\bar{m}_1'}{dm'} \right]. \quad (12)$$

При этом выражение (5) принимает вид:

$$\frac{m}{m_0'} = \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{c}{2a^*}}. \quad (13)$$

При

$$\frac{d\bar{m}_1'}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}} = dm_1' = dm' \quad dE_2 = 0, \quad a^* = a.$$

При

$$d\bar{m}_1' = 0 \quad (dm_1' = 0) \quad a^* = c.$$

В случае аннигиляции отличие  $a^*$  от  $c$  очень мало, т. е.  $\frac{a^*}{c} = 1 - \Delta$ , где  $\Delta \ll 1$ , при этом

$$\frac{m'}{m_0'} = \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{1+\Delta}{2}}. \quad (14)$$

(В дальнейшем под величиной  $a$  будем подразумевать  $a^*$ ). Пусть  $\frac{dm'}{dt} = f(t)$ , где  $f(t)$  есть некоторая функция времени. Тогда

$$m' = m_0' - \int_0^t f(t) dt = m_0' [1 - \varphi(t)], \quad (15)$$

где

$$\varphi(t) = \frac{1}{m_0'} \int_0^t f(t) dt,$$

и выражение (5) примет вид:

$$1 - \varphi(t) = \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{c}{2a}}. \quad (16)$$

Это соотношение связывает скорость с земным временем.

Отсюда

$$\frac{u}{c} = \frac{dx}{cdt} = \frac{1 - (1 - \varphi)^{\frac{2a}{c}}}{1 + (1 - \varphi)^{\frac{2a}{c}}}. \quad (17)$$

Интегрируя это выражение, найдем связь между проходимым расстоянием  $x$  и земным временем  $t$ .

Зная связь собственного времени ( $t'$ ) с земным ( $t$ ) в общем случае из выражения (13, § 1), найдем связь между  $u$  и  $t'$  и  $x$  и  $t'$ .

В частном случае равноускоренного движения имеем:

$$\frac{dl'}{dt} = -a \frac{dm'}{dt} = m' g_0 = F'.$$

Отсюда

$$\frac{dm'}{dm} = -\frac{g_0 dt}{a}; \quad m' = m'_0 e^{-\frac{g_0 t}{a}} = \left( \frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}} \right)^{\frac{c}{2a}} \quad (18)$$

и

$$\frac{g_0 dt}{c} = \text{sh} \frac{g_0 dt'}{c} = \frac{1}{2} \left[ \ln \left( 1 + \frac{u}{c} \right) - \ln \left( 1 - \frac{u}{c} \right) \right]. \quad (19)$$

Отсюда

$$\frac{u}{c} = \frac{dx}{cdt} = \frac{1 - e^{-\frac{g_0 dt}{c}}}{1 + e^{-\frac{g_0 dt}{c}}}, \quad dx = \frac{2cdt}{1 + e^{-\frac{g_0 dt}{c}}} - c dt;$$

$$x = -ct + \frac{c^2}{g_0} \ln \left( \frac{1 + e^{-\frac{g_0 dt}{c}}}{2} \right) = \frac{c^2}{g_0} \left[ \ln \left( \frac{1 + e^{-\frac{g_0 dt}{c}}}{2} \right) - \text{sh} \frac{g_0 dt'}{c} \right]. \quad (20)$$

При  $t \rightarrow \infty$

$$x \rightarrow ct \cong \frac{c^2}{g} \text{sh} \frac{g_0 t'}{c}. \quad (21)$$

После прекращения выброса энергии через сопло в случае инерциального движения, поскольку

$$(t' - t'_0) = (t - t_0) \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}, \quad (22)$$

можно, исключив с помощью выражения (5) из формулы (22)  $\frac{u}{c}$ , также связать количество затраченной массы с дальнейшим ходом течения времени, где  $t_0$  и  $t'_0$  — время прекращения выброса через сопло, протекающее на Земле и в ракете.

Имеем

$$(t' - t'_0) = 2(t - t_0) \frac{\left(\frac{m'}{m'_0}\right)^{\frac{a}{c}}}{1 + \left(\frac{m'}{m'_0}\right)^{\frac{2a}{c}}}. \quad (23)$$

При  $a = c$

$$(t' - t'_0) = \frac{2(t - t_0)m'_0 m'}{m'_0 + m'^2}. \quad (24)$$

В случае непрямолинейных траекторий также можно без большого труда получить необходимые соотношения, используя для этой цели общие соотношения между импульсом и силой. (В случае скоростей, весьма близких к скорости света, необходимо использование общей теории относительности, что однако пока не представляется необходимым).

§ 4. Вычислим, правда очень приблизительно, величину возможной плотности и скорости подачи вещества и антивещества в область аннигиляции в зависимости от расстояния, с которого происходит подача. При аннигиляции возникнет сильное излучение, давление которого будет стремиться удалить частицы вещества и антивещества от места их встречи.

Принципиально возможна подача как твердых частиц обоих веществ, так и подача их в виде газов. Однако более вероятен и целесообразен второй случай, когда антивещество, находясь в плазменном состоянии, может храниться окруженное магнитным полем без соприкосновения со стенками «хранилища».

Рассмотрим сначала именно этот случай. Как известно, для излучения абсолютно черного тела давление радиации (практически любых длин волн) определяется соотношением:

$$p = \frac{4}{3} \frac{\sigma T^4}{c}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-5} \text{ г/сек}^3 \cdot \text{град}^4 = 2,52 \cdot 10^{-15} \text{ г/смсек}^2 \cdot \text{град}^4$ .

Таким образом,

$$p = 2,52 \cdot 10^{-15} T^4 \text{ дин/см}^2 \quad (2)$$

Градиент давления, оказываемого радиацией на газообразную среду, учитывая ее реальные свойства вследствие поглощения радиации, равен

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \bar{k} \rho \cdot \frac{\sigma T^4}{c} = \frac{3}{4} p \rho \bar{k}, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность газа;

$\bar{k} = \frac{1}{F} \int k_\nu F_\nu d\nu$  — интегральное среднее значение так называемого коэффициента поглощения излучения ( $k_\nu$  — коэффициент поглощения при заданной частоте излучения  $\nu$ ).

Для сильно поглощающих сред  $k_\nu$  имеет большое значение, для почти прозрачных сред  $k_\nu$  мало,  $k_\nu$  зависит от температуры и скорости среды (и обычно дается таблично).  $F$  — полный поток энергии.  $F_\nu$  — поток энергии

излучения в интервале частот  $(\nu, \nu + d\nu)$ .  $k$  имеет размерность  $\frac{\text{см}}{\text{г}} \sim \frac{1}{l\rho}$ , где  $l$  — элемент длины.

Поскольку уравнение движения каждой частицы газа можно написать в виде

$$\rho \frac{du}{dt} = \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{3}{4} p \rho \bar{k}, \quad (4)$$

то, поскольку

$$p = \frac{1}{3} \delta c^2, \quad (5)$$

где  $\sigma$  — плотность энергии излучения (энергия в 1 см<sup>3</sup>), окончательно уравнение, связывающее скорость подачи обоих веществ и их плотность, примет вид:

$$\frac{du}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{\bar{k}}{4} \delta c^2. \quad (6)$$

допустим, что мы имеем дело с установившимся процессом аннигиляции, тогда, полагая, что плотность смеси обоих газов  $\rho$ , получим, что  $\sigma = \rho$ . При этом средняя температура определится из соотношения:

$$\frac{\rho c^3}{4\sigma} = T^4 = 1,2 \cdot 10^{35} \rho, \quad \text{откуда} \quad T = 6 \cdot 10^8 \rho^{\frac{1}{4}}. \quad (7)$$

Например, при плотности  $\rho = 10^{-12} \text{ г/см}^3$ ,  $T = 6 \cdot 10^5$  градусов. Интегрируя выражение (6) при условии, что при  $t = 0$  и  $u = u_0$ ,  $x = 0$ , найдем, что

$$x = -\frac{\bar{k}}{8} \rho c^2 t^2 + u_0 t, \quad u = u_0 - \frac{\bar{k}}{4} \rho c^2 t. \quad (8)$$

Пусть расстояние места аннигиляции от места хранения есть  $x_0$ . Тогда, полагая, что при  $x = x_0$   $u = 0$ , найдем начальную скорость, достаточную для того, чтобы выбрасываемый газ достиг места аннигиляции:

$$x_0 = u_0 t - \frac{\bar{k}}{8} \rho c^2 t^2; \quad u_0 = \frac{\bar{k}}{4} \rho c^2 t,$$

откуда

$$t = \frac{4u_0}{\bar{k}\rho c^2}; \quad x_0 = \frac{2}{\bar{k}\rho c^2} u_0^2$$

и

$$\frac{u_0}{c} = \sqrt{\frac{\bar{k}\rho x_0}{2}}. \quad (9)$$

Допустим, что  $\frac{u_0}{c} = 10^{-3}$  ( $u_0 = 300 \text{ км/сек}$ );  $x_0 = 100 \text{ м} = 10^4 \text{ см}$ , тогда максимальная плотность ( $k = 2$ ), необходимая для сближения, будет  $\rho = 10^{-10} \text{ г/см}^3$ . При большей плотности световое давление «разгонит» сближающиеся газы.

В случае твердых частиц сила светового давления, действующая на частицу, будет равна:

$$f_2 = \frac{1}{3} \delta c^2 s(1 + \alpha), \quad (10)$$

где  $\alpha$  — коэффициент отражения ( $\alpha = 1$ ),  $s$  — площадь частицы. Поэтому уравнение движения частицы запишется в виде

$$m \frac{du}{dt} = f_2 = \frac{1}{3} \delta c^2 s(1 + \alpha), \quad (11)$$

где  $m$  — масса частицы.

Отсюда

$$\frac{du}{dt} = \frac{s \delta c^2 (1 + \alpha)}{3m} = \frac{\delta c^2 (1 + \alpha)}{3\Delta \bar{l}}, \quad (12)$$

где  $\Delta$  — плотность частицы, а  $i$  — ее средний размер ( $m = s l^{-1} \Delta^{-1}$ ).

При аннигиляции, например, протона и антипротона образуются не только  $\gamma$ -кванты (электромагнитное излучение), но и различные частицы и, в частности,  $\pi^\pm$ -мезоны, которые за время  $2,5 \cdot 10^{-8}$  сек. распадаются на

$\mu^\pm$ -мезоны и нейтрино, а те в свою очередь через  $2 \cdot 10^{-6}$  сек. распадаются на  $\beta^\pm$ -излучение (позитроны и электроны) и 2 нейтрино. При этом средний путь этих мезонов составляет сотни метров — километры. В других случаях образуются другие заряженные и нейтральные частицы.

Эти частицы проходят путь в сотни метров и километров, прежде чем полностью или частично превращаются в электромагнитное излучение. Траекторию этих частиц можно отклонить (отразить) в сильном электромагнитном поле, которое будет играть роль «зеркала», и, таким образом, на «оптическое» зеркало попадает не очень значительная часть полной энергии и нейтральные частицы, процент которых от общего числа частиц невелик. В случае магнитного поля можно сделать следующую оценку.

Поскольку давление магнитного поля

$$p_m = \frac{\mu H^2}{8\pi}, \quad (13)$$

а давление потока радиации  $p_r = \frac{1}{3} \sigma_v c^2$ , где  $\sigma_v$  — плотность частиц потока радиации, состоящей из заряженных частиц, то для «отражения» этого потока от поля необходимо, чтобы выполнялось неравенство  $p_m > p_r$ , т. е. чтобы выполнялось условие:

$$\frac{\mu H^2}{8\pi} > \frac{1}{3} \sigma_v c^2. \quad (14)$$

Например, при  $\sigma_v = 10^{-10}$   $г/см^3$  (полагая, что  $\mu = 1$ ) найдем, что  $\frac{H^2}{8\pi} = 3 \cdot 10^{10}$   $дин/см^2$ , откуда  $H \cong 9 \cdot 10^5$  эрстед. При малых плотностях среды, рассматривая ее как дискретную, можно использовать электромагнитное поле, чтобы затормозить частицы на вероятных длинах ( $10^4$ — $10^6$  см).

Закон движения заряженной частицы под влиянием электромагнитного поля описывается уравнением:

$$m \frac{d}{dt} \frac{\vec{u}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = e \vec{E} + [\vec{u} \vec{H}], \quad (15)$$

Например, в случае только электрического поля и прямолинейной траектории имеем:

$$\frac{d}{dt} \frac{u}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = - \frac{eE}{mc} = - \frac{eE}{\theta m_p \cdot c} = - \frac{E}{\theta} \cdot 10^4, \quad (16)$$

где  $\theta = \frac{m}{m_p}$  — отношение массы заряженной частицы (например, мезона) к массе протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$  г;  $e$  — заряд частицы (равный заряду электрона  $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$   $г^{1/2} \cdot см^{3/2}/сек$ ). Интегрируя выражение (16), найдем, что

$$\frac{u_0}{c \sqrt{1 - \frac{u_0^2}{c^2}}} - \frac{u}{c \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{eEt}{\theta m_p \cdot c} = - \frac{Et}{\theta} \cdot 10^4, \quad (17)$$

откуда при  $u = 0$  (полное торможение)

$$t = \frac{\theta m_p}{c \sqrt{1 - \frac{u_0^2}{c^2}}} \frac{u_0}{eE} = \frac{E}{c^2} \frac{u_0}{eE}, \quad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{\theta m c^2}{\sqrt{1 - \frac{u_0^2}{c^2}}}$$

где  $\varepsilon$  — энергия частицы. Для процесса аннигиляции характерна энергия частиц порядка  $10^{-3}$  эрг =  $6 \cdot 10^8$  эв = 600 мэв. Полагая  $u_0 = c$ , придем к соотношению, определяющему  $E$ :

$$E = \frac{\varepsilon}{ect} \quad (19)$$

Поскольку  $t = 10^{-6}$  сек., то  $E = 60 \text{ дин}^{\frac{1}{2}}\text{см} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ в/м}$ . При этом пройденный путь будет порядка нескольких сот метров (нескольких километров).

Комбинированное действие электрического и магнитного поля делает результат «отражения» еще более надежным и при меньших расстояниях, проходимых частицами. Создание сильных электромагнитных полей в больших объемах будет, несомненно, возможно при постройке фотонных ракет. Сравнительно небольшая часть энергии «двигателей» вполне может быть использована для этой цели.

## ЛИТЕРАТУРА

- Александров С. Г., Федоров Р. Е. Советские спутники и космическая ракета. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Амбарцумян В., Некоторые вопросы космогонической науки. «Коммунист», 1959, № 8.
- Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах. Ч. I-II. М.- Л., ОНТИ, 1936.
- Р. Бассард и Р. Де-Лауэр. Ракета с атомным двигателем. М., ИЛ, 1960.
- Баум Ф. А., Каплан С. А., Станюкович К. П. Введение в космическую газодинамику. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры.
- Бах И., Горлов О., Яковлев В., Югов Е. Человек в космосе (медико-биологические проблемы космических полетов), серия III, № 20. Изд-во «Знание», 1958.
- Бок Б. и Бок П. Млечный путь. Под ред. чл.-корр. АН СССР П. П. Паренаго. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1959.
- Бондарюк М. М., Ильяшенко С. М. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели. М., Оборонгиз, 1958.
- Бронштэн В. А., Новиков И. Д. Полет к звездам. «Наука и жизнь», 1960, № 4.
- Брюханов В. А. Великий шаг человечества. Изд-во «Советская Россия», 1959.
- Варваров Н. Пути к звездам. «Наука и жизнь», 1958, № 8.
- Васильев М. Путешествие в космос. Госкультпросветиздат, 1955.
- Гильзин К. А. От ракеты до космического корабля. Оборонгиз, 1954.
- Гинзбург В. О. Возможно ли путешествие во времени. «Наука и жизнь», 1958, № 7.
- Гуревич Л. Э. Теория относительности. Изд-во «Знание», 1957.
- Зенгер Э. К механике фотонных ракет. Под ред. М. Халатникова. ИЛ., 1958.
- Идлис Г. М. Космическая материя. Изд-во АН СССР, 1957.
- Ионные, плазменные и дуговые ракетные двигатели (Доклады Американского ракетного общества). Атомиздат, 1961.
- Каструччио П. А. Связь и навигация при межпланетных полетах. «Зарубежная радиоэлектроника», № 7, 1958.
- Кольман Э. Непримириемые позиции. «Наука и жизнь», 1958, № 8.й
- Космодемьянский А. А., Тарг С. М. и др. Курс теоретической механики. Ч. I-II. Изд. 2-е перераб. и доп. ВВИА им. Жуковского.
- Крошкин М. Г. Ракета покидает Землю. Промиздат, 1959.
- Ландау Л. Д., Румер Ю. Б. Теория относительности. Изд-во «Советская Россия», 1959.



- Лансберг Г. С. Оптика. М.- Л., Гостехтеоретиздат, 1950.
- Левантовский В. И. Ракетой к Луне. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960.
- Львов В. Жизнь Альберта Эйнштейна. Изд-во «Молодая гвардия», 1959.
- Лэпп Р. Е. и Эндрюс Г. Л. Физика ядерного излучения. ИЛ, 1958.
- Ляпунов Б. В. Ракеты и межпланетные полеты. М., Воениздат, 1961.
- Меркулов И. А. Полет ракет в мировое пространство. Изд-во ДОСААФ, 1958.
- Никитин П. И. Искусственные спутники Земли. Изд-во ДОСААФ, 1958.
- Опарин А. И., Фесенков В. Б. Жизнь во Вселенной. М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Паренаго П. П. Курс звездной астрономии. Изд. 2, Гостехтеоретиздат, 1957.
- Парнов Е., Глущенко Е. Окно в антимир. Госатомиздат, 1961.
- Перель Ю. Г. Развитие представлений о Вселенной. Под ред. Б. В. Кукаркина. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958. Перельман Р. Г. Звездные корабли. Изд-во «Советская Россия», 1961.
- Перельман Р. Г. Ядерные двигатели. Изд-во «Знание», 1958.
- Румер Ю. Б., Рывкин М. С. Теория относительности. Учпедгиз, 1960.
- Рытов С. М. Что увидит и с чем столкнется астронавт, летящий с околосветовой скоростью. «Природа», 1960, № 4.
- Скачков Ю. Материалистическое истолкование квантовой механики. Госполитиздат, 1959.
- Станюкович К. П. Некоторые вопросы механики. Тр. МВТУ им. Баумана, 1958, № 88.
- Станюкович К. П., Ляпунов Б. В. Пути к звездам. В сб. «Новости науки и техники», серия IV, № 32-33. Изд-во «Знание». 1958.
- Феодосьев В. И., Синярев Г. Б. Введение в ракетную технику. М., Оборонгиз, 1960.
- Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. ГТГ, 1957.
- Хайкин С. Э. и Кайдановский И. Л. Новый радиотелескоп высокой разряжающей силы. «Приборы и техника эксперимента», 1959, № 2.
- Шкловский И. С. Космическое радиоизлучение. Гостехиздат, 1956.
- Штернфельд А. А. От искусственных спутников к межпланетным полетам. Гостехтеоретиздат, 1957.
- Цандер Ф. А. Проблема полета при помощи реактивных аппаратов. Межпланетные полеты. Сб. статей. Изд. 2-е. Оборонгиз, 1961.
- Циолковский К. Э. Реактивные летательные аппараты. Собр. соч., т. II. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Циолковский К. Э. Грезы о земле и небе. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Циолковский К. Э. Вне Земли. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Энгельс Ф. Диалектика природы. Госполитиздат, 1955.

Эйнштейн А. Сущность теории относительности. Русск. пер. с 4-го американск. изд. ИЛ, 1955.

Coddard R. H. An Autobiography - Robert. H. Coddard. Notebook dated sep. 6, 1906. «Astronautics», № 4, 1959.

Oberth H. Wege zur Raumschiffahrt. Munchen - Berlin, 1929.

Stuhlinger E. Possibilities of Electrical Space Ships Propulsion. V. Internat'l Astron. Cong. Innsbruck, 1954.

Stuhlinger E., Seilz R. Elektrostatic propulsion systems for space vehicles. Advance Space Sci. New York, Acad. Press, 1960.

*Роман Григорьевич Перельман*

### **Двигатели галактических кораблей**

Утверждено к печати

редколлегией научно-популярной литературы

Академии наук СССР

Редактор издательства *Н. Б. Прокофьева* Обложка художника *А. Я. Михайлова*

Технический редактор *С. П. Голубь*

Корректор *И. А. Талалай*

РИСО АН СССР № 11-126 В. Сдано в набор 9/V 1961 г.

Подписано н печати 8/VI 1962 т. Формат 84 x 108<sub>1/32</sub>

Печ. л. 6,25+2 вкл.=10,25 усл. печ. л.+0,205 усл. печ. л. вкл.

Уч.-издат. л.9,8 (0,2 уч.-изд. л. вкл.) Тираж 25 000 экз. Т-06336.

Изд. № 5406 Тип. зак. № 1951

*Цена 33 коп.*

Издательство Академии наук СССР.

Москва. Б-64. Подсосенский пер., 21

2-я типография Издательства.

Москва, Г-99. Шубннский пер., 10