

Глава 24

МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПОЛЕТЫ

§ 1. Астронавтика — составная часть космонавтики

В этой книге мы до сих пор так и не перешагнули за границы сферы влияния Солнца. Между тем понятие космоса эквивалентно понятию «вселенная», а значит, космические полеты должны заключаться в чем-то большем, нежели полеты к телам Солнечной системы и в запланетное пространство. Вселенная состоит из множества галактик — колоссальных скоплений звезд, звездных облаков, более мелких скоплений, газовых и пылевых туманностей и т. д. Галактики отделены друг от друга расстояниями, примерно в десятки раз превышающими их размеры. В одной из рядовых галактик (ее называют Галактикой — с большой буквы) находится в качестве рядовой звезды Солнце, а всего в ней примерно 120 миллиардов звезд. Диаметр Галактики 85 000 световых лет.

Раздел космонавтики, занимающийся вопросами полетов к звездам, следовало бы назвать *астронавтикой*, что означает «звездоплавание», хотя слово «астронавтика» и употребляется за рубежом (а сравнительно недавно употреблялось и у нас) в том же смысле, что и «космонавтика». Проблемы звездоплавания лишь намечаются в настоящее время в общих контурах и разработаны в основном с точки зрения механики полета, но не с точки зрения ракетно-технической ¹⁾.

Именно поэтому, а также потому, что детальное изложение механики межзвездных перелетов в достаточно доступной форме представляет немалые трудности, эта последняя глава книги резко отличается от предыдущих. Полеты к звездам будут, вероятно, происходить со скоростями, близкими к скорости света (*релятивистские скорости*). Поэтому механика межзвездных полетов основана на теории относительности Эйнштейна, а сколько-нибудь детальное изложение последней потребовало бы гораздо большего места.

¹⁾ Тем не менее вышедшая в США в 1972 г. «Библиография по межзвездным путешествиям и коммуникациям» содержит 450 названий статей, книг и отчетов.

§ 2. Фотонная ракета — средство осуществления межзвездных полетов

В популярной литературе иногда «подсчитывают» время перелета до ближайшей звезды делением расстояния до нее на начальную и вдобавок ге о ц е н т р и ч е с к у ю скорость, а именно на третью космическую скорость 16,65 км/с. Получается 77 000 лет (читатель может проверить). Разумеется, такое деление не имеет физического смысла. Как уже говорилось в § 2 гл. 23, полет при названной начальной скорости до границы сферы действия Солнца должен продолжаться 1,1 млн. лет. Кроме того, даже если забыть о поистине геологическом масштабе времени перелета, при таком полете скорость на границе сферы действия Солнца равна нулю, и, значит, у космического корабля не больше шансов на встречу со звездой, чем у самого Солнца. (То же, собственно говоря, касается и уже летящих космических аппаратов, например «Пионера-10»: слишком мала величина V_{∞} .)

Если говорить о п и л о т и р у е м ы х полетах к звездам (а именно о них всегда говорится), то ясно, что на расстояниях, измеряемых световыми годами, полеты должны происходить со скоростями, близкими к скорости света.

Это требует колоссального расхода энергии, что, в свою очередь, возможно только при условии полного (или почти полного) превращения массы рабочего тела в энергию электромагнитного излучения по формуле Эйнштейна $E=mc^2$, где E — энергия, m — масса покоя, c — скорость света. Предполагается, что одна половина рабочего тела представляет собой вещество, а другая — антивещество, которые, вступая в реакцию, аннигилируют, т. е. превращаются в электромагнитное излучение.

Получаемому электромагнитному излучению придается направленный характер, т. е. поток фотонов устремляется в одном определенном направлении подобно лучу прожектора. Фотонный, или световой, двигатель звездолета и представляет собой, по существу, такой прожектор колоссальной мощности. И, как всякий прожектор, такой двигатель должен иметь экран — зеркало, отражающее поток фотонов в сторону, противоположную направлению полета. Это огромное зеркало — своеобразное сопло фотонного двигателя — будет, видимо, наиболее примечательной деталью конструкции звездолета.

В настоящее время существуют лишь самые общие и смутные представления по вопросам о том, каким путем может быть добыто антивещество; как оно может быть сохранено, чтобы не прореагировало со стенками баков, и что собой должны представлять эти баки; как должно быть устроено зеркало-отражатель, чтобы оно не испарилось под действием излучения (обычно утверждается, для

этого зеркало должно поглощать не более миллионной доли процента фотонов).

Мы не будем здесь вдаваться в детали соображений технологического характера (отсылаем читателя к имеющейся, в основном популярной, литературе [5.3, 5.4]), а остановимся на некоторых принципиальных моментах.

§ 3. Обобщенная формула Циолковского

Фундаментальный факт теории относительности заключается в том, что скорость света в вакууме является в любой системе координат предельной для любых движений материальных тел и представляет собой барьер, к которому теоретически можно приблизиться сколь угодно близко, но который не может быть преодолен. В частном случае движения ракеты (фотонной или нефотонной — безразлично) этот факт приводит к обобщенной формуле Циолковского¹⁾

$$\frac{m_k}{m_0} = \left(\frac{1 - \frac{v_k}{c}}{1 + \frac{v_k}{c}} \right)^{\frac{c}{2\omega}},$$

где m_k и m_0 — конечная и начальная массы покоя корабля, v_k — конечная скорость корабля в земной системе отсчета, c — скорость света, ω — скорость истечения рабочего тела (относительно корабля). Эта формула справедлива для любой скорости истечения ω . В случае, когда скорость истечения ω равна скорости света c (а именно так обстоит дело в фотонном звездолете),

$$\frac{m_k}{m_0} = \sqrt{\frac{1 - \frac{v_k}{c}}{1 + \frac{v_k}{c}}} \quad \text{или} \quad \frac{m_0}{m_k} = \sqrt{\frac{1 + \frac{v_k}{c}}{1 - \frac{v_k}{c}}},$$

где $m_0/m_k = z$ — число Циолковского.

Выражение для приобретенной фотонолетом скорости будет иметь вид

$$\frac{v_k}{c} = \frac{1 - \left(\frac{m_k}{m_0}\right)^2}{1 + \left(\frac{m_k}{m_0}\right)^2} \quad \text{или} \quad \frac{v_k}{c} = \frac{z^2 - 1}{z^2 + 1}.$$

Отсюда видно, что фотонолет не может достичь скорости света (не может быть $v_k = c$), так как для этого было бы необходимо соб-

¹⁾ Эта формула выводится в разных книгах [5 5, 5 6]

людение условия $m_k/m_0=0$ (или $z=\infty$), т. е. понадобилось бы, чтобы в с я масса звездолета (включая полезную нагрузку) превратилась в кванты излучения.

Если мы желаем достичь скорости, равной 0,9 скорости света ($v_k=0,9 c$), то число Циолковского должно быть равно $z=\sqrt{1,9/0,1}=\sqrt{19}=4,36$. При $v_k=0,94 c$ мы будем уже иметь значение $z=\sqrt{1,94/0,06}=\sqrt{32,3}=5,7$.

Предполагается, что полет до звезды должен происходить следующим образом. Звездолет разгоняется до максимальной скорости (порядка, например, 270 000 км/с), затем движется с выключенным двигателем при постоянной скорости и, наконец, тормозится до нулевой скорости. Затем, по-видимому, осуществляется операция выхода на орбиту искусственной планеты, а потом (возможно, сразу) — операция выхода на орбиту искусственного спутника планеты, входящей в систему звезды. Наконец, осуществляется высадка на планету.

Возвращение в Солнечную систему совершается в обратном порядке и включает в себя этапы разгона до околосветовой скорости, полета с постоянной скоростью и торможения.

Естественно представить себе фотонный звездолет, состоящим из четырех ступеней, причем первая ступень осуществляет разгон при полете к звезде, вторая — торможение, третья — разгон при возвращении, четвертая — торможение перед прибытием в Солнечную систему. Если считать отношения масс для субракет одинаковыми и равными z , то отношение масс для всей ракеты (т. е. отношение начальной массы к конечной — после завершения последнего торможения) равно $Z=z^4$. Для случая $v_k=0,9 c$ оно составит $Z=4,36^4=19^2=361$, а для $v_k=0,94 c$ будет $Z=5,7^4=32,3^2=1043$. Если принять конечную массу за 200 т [5.3, 5.4] (сюда входит не только полезная нагрузка, но и конструкция последней ступени, в том числе отражатель), то для $v_k=0,9 c$ получаем начальную массу $M_0=72\ 200$ т, а для $v_k=0,94 c$ уже будет $M_0=208\ 600$ т.

Полученные значения, конечно, огромны, если учесть, что фотонный звездолет заведомо не может быть построен на Земле из-за тех бедствий, которые бы обрушил на земной шар его двигатель. Монтаж гигантского корабля на достаточно удаленной от Земли орбите представляет значительные трудности, но все же не кажется абсолютно невозможным¹⁾.

Приводившееся выше значение массы корабля, возвращаемой в Солнечную систему, является, вероятно, заниженным. Но вряд ли оно должно достигать сотен тысяч тонн, как иногда указывают [5.7].

¹⁾ Часто высказывается мнение, что фотонный двигатель должен включать-ся лишь на окраинах Солнечной системы, куда корабль доставляется, видимо, с помощью электрических двигателей,

§ 4. Продолжительности полетов

Из многочисленных популярных статей большинству читателей, конечно, известно, что полет со скоростью, близкой к скорости света, должен сопровождаться замедлением течения времени в звездолете. Вследствие этого после возвращения астронавтов на Землю обнаруживается, что по их часам путешествие продолжалось значительно меньшее время, чем по часам землян.

Указанное явление представляет собой непреложное следствие специальной теории относительности. Выводы этой теории, непривычные с точки зрения обычного «здравого смысла», логически вытекают из следующего твердо установленного экспериментального факта: скорость света в вакууме в любой системе координат имеет одно и то же значение независимо от собственной скорости системы координат. Поэтому, например, при измерении на Земле скорости света от внеземного источника получается одна и та же величина независимо от того, нагоняет луч света Землю или Земля движется ему навстречу. Таков закон природы.

При этом течение времени как на Земле, так и в корабле может рассматриваться в двух системах отсчета — земной и корабельной. В табл. 15 указаны соответствующие времена для экспедиции до звезды Проксима Центавра (расстояние от Земли 4,27 светового года), причем предполагается разгон до максимальной скорости 250 000 км/с с постоянным ускорением $a=10$ м/с² [5.8].

Таблица 15. Время в годах на Земле и в звездолете при полете к Проксима Центавра в двух системах отсчета [5.8]

Этап полета	В земной системе отсчета		В корабельной системе отсчета	
	Время на Земле	Время в корабле	Время на Земле	Время в корабле
1	2	3	4	5
Разгон от Солнечной системы	1,45	1,14	0,8	1,14
Полет с постоянной скоростью	3,33	1,85	1,03	1,85
Торможение при подлете к звезде	1,45	1,14	4,40	1,14
Пребывание у звезды	1,00	1,00	1,00	1,00
Разгон от звезды	1,45	1,14	4,40	1,14
Полет с постоянной скоростью	3,33	1,85	1,03	1,85
Торможение при подлете к Солнечной системе	1,45	1,14	0,8	1,14
Полное время	13,46	9,26	13,46	9,26

Чем больше реактивное¹⁾ ускорение (то ускорение, которое замеряется акселерометром на звездолете), тем быстрее достигается максимальная скорость корабля. Но ограниченная выносливость человеческого организма к перегрузкам ставит предел увеличению ускорения.

С другой стороны, ограниченность числа Циолковского ставит предел величине максимальной скорости. Если бы не это обстоятельство, то можно было бы вообще отказаться от среднего участка полета с постоянной скоростью и, доведя скорость на середине пути до максимальной величины начать торможение корабля. Правда, при этом отношение масс может достичь непомерной величины, но ведь «в принципе» и такое возможно: можно, например, «отправить» в путешествие (хотя бы на бумаге) какую-нибудь планету Солнечной системы, сжигая по пути в «котле аннигиляции» всю ее массу, кроме небольшой кабины астронавтов (неясно только, где взять антипланету или хотя бы «антиполупланету» для аннигиляции).

Итак, если не обращать внимания на технические трудности, связанные с отношением масс, то в земной системе отсчета делается достижимой скорость полета, сколь угодно близкая к скорости света, причем корабельное время резко сокращается. В результате оказываются достижимыми самые отдаленные звезды и даже самые отдаленные галактики за корабельное время, не превышающее нескольких десятков лет, т. е. во всяком случае за время жизни одного поколения экипажа.

Допустим, что разгон происходит с постоянным ускорением a , под которым мы понимаем ускорение, измеряемое бортовым акселерометром корабля. Тогда, если за время разгона проходит путь s , измеряемый в земной системе отсчета, то корабельное время разгона можно определить по формуле [5.9]

$$t_{\text{кор}} = \frac{c}{a} \operatorname{Arch} \left(1 + \frac{as}{c^2} \right),$$

где Arch , обозначает функцию, обратную гиперболическому косинусу

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}.$$

При расчетах следует учитывать, что 1 световой год = $9,463 \cdot 10^{15}$ м, а 1 год = $31,5 \cdot 10^6$ с.

Соответствующее корабельному земное время находится по формуле [5.6, 5.9]

$$t_{\text{зем}} = \frac{c}{a} \operatorname{sh} \frac{at_{\text{кор}}}{c},$$

¹⁾ Далее мы опускаем слово «реактивное», так как нет смысла учитывать гравитационное ускорение в межзвездном пространстве.

где гиперболический синус

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}.$$

Если, в частности, корабль разгоняется до середины расстояния S до цели, а затем тормозится, то полное корабельное время полета до цели в одном направлении («туда») равно

$$T_{\text{кор}} = \frac{2c}{a} \operatorname{Arch} \left(1 + \frac{aS}{2c^2} \right).$$

По этой формуле были вычислены корабельные продолжительности полетов до различных объектов при разных a [5.9] ¹⁾. Оказалось, что при $a=10 \text{ м/с}^2$ ($\approx g=9,81 \text{ м/с}^2$) полет до звезды Альфа Центавра (расстояние 4,55 светового года $=4,3 \cdot 10^{13}$ км) в одну сторону должен продолжаться 3,6 года, до центра Галактики ($2,84 \cdot 10^{17}$ км) — 19,72 года, до Туманности Андромеды ($7,1 \cdot 10^{18}$ км) — 25,9 года. При ускорении же $a=30 \text{ м/с}^2$ соответствующие времена будут 1,77; 7,23; 9,33 года, а при $a=300 \text{ м/с}^2$ — 0,314; 0,873; 1,079 года [5.9] ²⁾. За год — до Туманности Андромеды! Впрочем, последние два ускорения не выдержит организм человека.

Таким образом, выводы теории относительности позволяют надеяться на принципиальную возможность осуществления даже межгалактических перелетов за время жизни менее одного поколения. Сколько же времени пройдет при этом на Земле? Земную продолжительность полета в одном направлении можно вычислить по формуле

$$T_{\text{зем}} = \frac{2c}{a} \operatorname{sh} \frac{aT_{\text{кор}}}{2c}.$$

Но даже без вычислений ясно, что продолжительности очень далеких рейсов в земной системе отсчета, если их измерять в годах, должны численно лишь немного превышать расстояние до цели, измеряемое в световых годах. Это происходит потому, что основная часть земного времени уходит на движение со скоростью хотя и переменной, но уже мало отличающейся от скорости света [5.10]. Таким образом, полет до Туманности Андромеды должен по земным часам продолжаться несколько более 1,5 млн. лет в одну сторону и свыше 3 млн. лет туда и обратно ³⁾. Естественно при этом задать

¹⁾ Даже такое ускорение принято считать довольно высоким. Высказывается мнение [5.3, 5.4], что на первом этапе освоения межзвездного пространства будут достижимы ускорения, в несколько раз меньшие $g=9,8 \text{ м/с}^2$.

²⁾ Мы приводим расстояния до целей в соответствии с источником [5.9]. Они отличаются от ныне принятых. Поэтому и данные о корабельной продолжительности перелета должны быть сейчас уточнены. Для полета к Туманности Андромеды получается время 28 лет [5.10].

³⁾ Исходя из современных данных о расстоянии до Туманности Андромеды [5.10].

вопрос: есть ли смысл после подобного перелета возвращаться на Землю? Проблемы социально-психологического характера, которые при этом возникают, должны быть хорошо известны читателю из популярной и главным образом научно-фантастической литературы. Полет к другим галактикам есть — при условии возвращения на Землю — также и полет в будущее. Этот факт является безусловным выводом теории относительности.

Но почему вообще должны совершаться столь трудные и рискованные экспедиции, которым нет смысла возвращаться на Землю? Почему в механике фотонных ракет обычно не рассматриваются полеты автоматических межзвездных станций? Вероятно, дело тут в исторической традиции. Между тем полет автоматической станции мог бы совершаться с очень большими перегрузками. Сокращение времени на борту станции имело бы только значение для проблемы надежности бортовых устройств. Возвращение на Землю при этом было бы заменено радиопередачей.

§ 5. О «собственных» скоростях звездолета

Во избежание недоразумений сделаем одно замечание. В приведенных выше формулах фигурировала величина $at_{\text{кор}}$. По размерности она представляет собой некоторую скорость, а именно *характеристическую* (в обычном смысле) *скорость*. Это та скорость, которую определит система инерциальной навигации звездолета. Условно ее иногда называют «собственной» скоростью звездолета [5.9]. Но фактически эта величина не выражает скорости движения корабля ни в какой системе отсчета (в корабельной системе отсчета сам корабль неподвижен), а характеризует лишь запасы рабочего тела в звездолете (как это было и при межпланетных полетах). Она может быть определена по обычной формуле Циолковского, если известно отношение масс ракеты, а именно:

$$v_{\text{соб}} = c \ln \frac{m_0}{m_k}.$$

Нетрудно заметить, что «собственная» скорость после разгона в течение года корабельного времени при ускорении $a=10 \text{ м/с}^2$ заведомо превысит скорость света c (если, конечно, для этого хватит рабочего тела), и это лишний раз показывает, что как скорость она не имеет смысла. При полете к Туманности Андромеды с ускорением $a=10 \text{ м/с}^2$ максимальная «собственная» скорость (на середине пути) равна $13,59 c$, а при $a=300 \text{ м/с}^2$ составляет $17,0 c$ [5.9].

Иногда вводится в рассмотрение еще одна скорость, не имеющая физического смысла. Ее получают делением расстояния до цели в земной системе отсчета на корабельное время полета («скорость по собственному времени»). Для дальних полетов эта фиктивная скорость достигает колоссальных значений. Например, для расстояния

до Туманности Андромеды $1,5 \cdot 10^6$ световых лет при корабельном времени перелета 28 лет она более чем в 50 000 раз превышает скорость света.

Наблюдатель на корабле может определить скорость своего движения по эффекту Доплера и при этом, конечно, получит величину, меньшую скорости света (он определит относительную скорость, с которой навстречу ему приближается звезда-цель). Может показаться неясным, каким образом в таком случае корабль за какие-то несколько лет преодолевает расстояния в тысячи и миллионы световых лет. Но дело в том, что в корабельной системе отсчета нет таких колоссальных расстояний. Пространство для корабля как бы сжато в направлении движения (следствие специальной теории относительности), и на малое время приходится делить малое же расстояние.

В столь сжатом изложении механики движения с околосветовыми скоростями невозможно ответить на все безусловно возникающие у читателя вопросы. Популярному и непопулярному изложению специальной и (реже) общей теории относительности посвящено немало книг, к которым мы и отсылаем читателя [5.5, 5.7, 5.11—5.14]. Чисто астронавтические вопросы подробно освещены в неоднократно цитировавшейся книге Е. Зенгера [5.9], ставшей уже классической. Ряд работ [5.5, 5.15] посвящен специально «парадоксам времени» при межзвездных полетах.

§ 6. Мечта или реальность?

Насколько реальны межзвездные полеты?

Важно подчеркнуть, что если полеты фотонных звездолетов когда-нибудь осуществляются, то они, несомненно, будут сопровождаться явлениями, о которых выше шла речь. Весь вопрос в том, могут ли быть построены фотонные ракеты.

Технические трудности создания аннигиляционного фотонного двигателя столь велики, что подавляющему большинству современных физиков представляются непреодолимыми в сколько-нибудь обозримом будущем. Много неясного также в вопросе о защите экипажа от встречного потока межзвездного газа, набегающего на корабль со скоростью, близкой к скорости света, и потому порождающего опасное жесткое излучение оболочки корабля. Есть и другие трудности.

Для суждений о возможности осуществления межзвездных полетов типичны следующие четыре варианта.

1-й вариант (мнение физика-пессимиста): «Фотонные ракеты никогда не будут созданы. Даже несравнимо более легкая задача управляемого термоядерного синтеза, освобождающего ничтожно малую часть энергии по сравнению с полной аннигиляцией, встре-

тилась с огромными трудностями. Что уж тут говорить о фотонных звездолетах! Это — тема для писателей-фантастов».

2-й вариант (физик-оптимист): «Возможно, что фотонные ракеты будут созданы через несколько сотен лет, а возможно, что и не будут созданы никогда. Но, вероятно, человечество найдет иные, неракетные способы передвижения в межзвездном пространстве. Например, удастся использовать воздействие электрических и магнитных полей в межзвездном пространстве... Если ракетный способ оказался хорош для межпланетных сообщений, это не значит, что он годится и для межзвездных. Что-нибудь придумают!»

3-й вариант (ракетчик-пессимист): «Сомнительно, чтобы нам когда-нибудь удалось создать фотонный двигатель. Для производства антивещества и его хранения нужно затратить столько же энергии, сколько содержится в самом антивеществе. Энергетических мощностей мира не хватит для создания того количества антивещества, которое нужно хотя бы для одного перелета. А если и удастся создать антивещество, то это не значит, что удастся создать и аннигиляционный двигатель. Межзвездные полеты будут происходить с помощью электроракетных двигателей, на малых скоростях. Они будут продолжаться сотни и тысячи лет (все равно по какому времени — земному или корабельному). В этом нет ничего страшного: или цели достигнут отдаленные потомки стартовавших с Земли астронавтов (планы преобразования природы на Земле также требуют труда многих поколений)¹⁾, или астронавтов будут замораживать, усыплять. Что-нибудь придумают! Такие полеты пригодятся как средство эмиграции жителей Земли и колонизации близких областей Вселенной». (С последним утверждением согласен и физик-пессимист.)

4-й вариант (ракетчик-оптимист): «Межзвездные полеты фотонных ракет станут реальностью очень скоро. Вероятно, это произойдет в первой четверти будущего столетия. Технические затруднения не принципиальны. Когда писал свои первые труды Циолковский, тоже было немало скептиков. (Оживляясь.) Антижелезо можно будет подвешивать в баках с помощью магнитного поля. (Совсем бодро.) А массу отражающего зеркала можно резко уменьшить, если сделать его сетчатым, как в радиолокаторе, и использовать электромагнитное излучение в диапазоне радиоволн».

Автор этой книги должен сознаться, что ему наиболее импонирует 2-й вариант суждений. Что касается пессимизма, то это, конечно, условность. В науке понятия оптимизма и пессимизма не имеют смысла. Истина не бывает пессимистической или оптимистической. Если мы сейчас и употребляем условно такие выражения,

¹⁾ «Даже формирование породы какого-нибудь фокстерьера требовало труда поколений», — говорится в интересной книге А. П. Сенченкова «Атомные ракеты и проблемы освоения космоса» [5.16].

то только потому, что у нас еще мало данных для вынесения точного суждения.

Проблема межзвездных полетов тесным образом связана с гораздо более широкой проблемой контакта с инопланетными цивилизациями. Относящийся сюда круг вопросов в сжатом виде изложен в серьезной и увлекательной брошюре Л. М. Гиндилиса [5.17]. Хотя в последние годы все большее число астрономов приходит к выводу об исключительности жизни на Земле [5.18], проблема эта еще очень далека от окончательного решения, если только к таковому вообще возможно прийти умозрительным путем.

И все-таки: почему должен непременно лететь сам человек, а не его посланцы — автоматические межзвездные станции? Нет сомнения: когда межзвездные полеты начнутся, они будут по крайней мере на первом этапе непилотируемыми.