ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Возможны ли полеты человека к другим звездам и другим галактикам?

Космическая ракета, доставившая в ночь с 13 на 14 сентября 1959 г. вымпел Советского Союза на Луну, прошла свой путь за 1,5 суток. Приблизительно столько же времени понадобилось американской космической ракете, произведшей в июле 1964 г. перед падением на поверхность Луны фотографирование лунных ландшафтов с близких расстояний. При будущих полетах человека на Луну фактор времени не будет играть большой роли. Длительность этого космического путешествия будет меньше длительности многих путешествий по земным маршрутам.

Но уже при планировании полетов на планеты вопрос длительности путешествия становится важным. Чтобы достичь Венеры с наименьшей затратой горючего, необходимо около 150 суток, а для достижения Марса — около 260 суток. Разумеется, когда будут использованы более эффективные средства тяги, чем те, которые применяются в космических ракетах наших дней, и необходимость придерживаться маршрута с наименьшей затратой энергии отпадет, время путешествия на планеты можно будет значительно сократить. В принципе, жителю Земли будет возможно значительную часть своего месячного отпуска проводить на одной из соседних планет.

Совершенно иначе выглядит проблема полетов к другим звездам и другим галактикам. Здесь расстояния столь огромны, что фактор времени приобретает решающее значение.

Скорость космической ракеты на различных участках пути ограничивается предельным ускорением, которое способны длительное время переносить пассажиры. Кроме того, скорость ракеты не может достичь скорости света

Если ракета будет двигаться с постоянным ускорением 10 м/с^2, то пассажиры будут чувствовать себя превосходно. Состояния невесомости не будет, люди будут стоять на дне кабины ракеты точно так же, как они это делали в различных помещениях при обычной жизни на Земле, и будут испытывать совершенно те же физические ощущения, в том числе и ощущение того же веса отдельных частей своего тела и веса других предметов. Это объясняется тем, что ускорение силы тяжести на Земле также равно 10 м/с^2 (точнее, $9{,}81$ м/с^2).

Но для уменьшения длительности полета нужна возможно бóльшая скорость и, следовательно, возможно бóльшее ускорение. По-видимому, здоровые люди могут длительное время удовлетворительно переносить постоянное ускорение в 20 м/с^2. При таком ускорении ракеты вес пассажира, измеренный в кабине при помощи пружинных весов, был бы вдвое больше того, который он имел на Земле. Иначе говоря, пассажир чувствовал бы себя так же, как и на поверхности такой планеты, на которой ускорение силы тяжести и, значит сила тяжести, вдвое больше, чем на Земле. Дополнительная нагрузка к обычному весу будет при этом равномерно распределяться по всему организму человека, ее будет значительно легче переносить, чем груз, равный весу человека, взваленный на его плечи. Итак, будем исходить из возможного постоянного ускорения 20 м/с^2.

При таком ускорении на огромных расстояниях скорость может достичь очень больших величин. А при больших скоростях классические законы механики, законы Ньютона, становятся неверными. Необходимо использовать законы, даваемые теорией относительности Эйнштейна, которые верны для любых скоростей, и малых и больших.

Для выполнения расчетов нам удобнее принять, что во все время движения постоянным остается отношение силы тяги ракеты к ее массе и это отношение равно

$$b = 20 \text{ м/с}^2.$$

Если бы при космических полетах к звездам и галактикам действовала классическая механика, то во все время движения ускорение a было бы постоянным и было бы справедливо равенство

$$a = b. \tag{60}$$

Однако классическая механика неверна, теория относительности дает следующую форму для мгновенного ускорения:

$$a = b\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \tag{61}$$

где v — скорость космической ракеты в данный момент, а c — скорость света. При очень малых значениях скорости v в сравнении со скоростью света формулы (60) и (61) практически дают одно и то же, но когда v/c не очень мало́, формула (60) уже неверна.

Если бы движение происходило по законам классической механики, ускорение было бы постоянным и равным b. Тогда скорость v и пройденный путь S через время t после начала движения определялись бы известными из школьного курса физики формулами

$$v = b \cdot t, \tag{62}$$

$$S = \frac{bt^2}{2}. \tag{63}$$

Но, как мы видим, согласно формуле (58) по мере роста скорости ускорение будет уменьшаться. Вследствие этого формулы для скорости и пройденного пути в момент t, даваемые релятивистской механикой, т. е. механикой, основанной на теории относительности, другие и имеют следующий вид:

$$v = \frac{b \cdot t}{\sqrt{1 + \frac{b^2t^2}{c^2}}}, \tag{64}$$

$$S = \frac{c^2}{b}\left(\sqrt{1 + \frac{b^2t^2}{c^2}} - 1\right). \tag{65}$$

В классической механике предполагалось, что скорость тела может становиться сколь угодно большой. Это следует и из формулы (62), в которой по мере увеличения времени t может неограниченно возрастать и скорость v. Одной из важнейших основ релятивистской механики является закон невозможности в природе скорости, большей скорости света. Если в формуле (64) неограниченно увеличивать время t, то скорость v не станет расти неограниченно: она будет приближаться к скорости света, но никогда не превзойдет ее.

Самым поразительным выводом теории относительности является утверждение, что ход времени в двух движущихся одна относительно другой системах различен. Именно, если в начальный момент, когда космическая ракета покоилась на поверхности Земли, ход времени для ее пассажиров и ход времени для жителей Земли был одинаков, то после того как ракета станет двигаться, ход времени в ней замедлится. Малому промежутку времени t_2-t_1 на Земле будет соответствовать малый промежуток времени в ракете $\tau_2-\tau_1$, равный

$$\tau_2-\tau_1=(t_2-t_1)\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}. \qquad (66)$$

Формула (63) ведет к удивительным выводам. Если космонавты, покинув Землю, будут совершать полеты на больших скоростях, а затем возвратятся на Землю, то окажется, что от разлуки и до встречи времени у них прошло существенно меньше, чем у жителей Земли. Один из близнецов, путешествовавший в космосе, после возвращения окажется моложе близнеца, остававшегося на Земле. Более того, отец, оставивший на Земле малолетнего сына и совершивший космическое путешествие на больших скоростях, может после возвращения на Землю, оставаясь сам еще сравнительно молодым человеком, застать сына дряхлым стариком.

В 1895 г. Г. Уэллс написал роман «Машина времени». Из всех фантастических романов писателя этот роман казался самым фантастическим. Однако, как мы видим, путешествие во времени все-таки оказывается возможным. Машиной времени должна служить космическая ракета, развивающая большие скорости в пространстве. Но путешествовать во времени можно только в направлении будущего. Путешественник во времени Уэллса мог достичь страны будущего, где жили «элои» и «морлоки», но он не смог бы после этого возвратиться назад, как и не смог бы посетить страну прошлого.

Если движение происходит с постоянным, как мы приняли, отношением b силы тяги ракеты к ее массе, то из соотношения (66) можно получить связь между временем t, прошедшим на Земле, и временем τ, прошедшим у космонавтов,

$$\tau = \frac{c}{b} \operatorname{Arsh} \frac{bt}{c}, \qquad (67)$$

где Arsh есть особая функция, обратная так называемому гиперболическому синусу. Таблицы этой функции приводятся во многих математических справочниках. Каким бы ни было t, по формуле (67) τ получается всегда меньше t, причем чем больше t, тем существеннее различие между τ и t. Этот эффект иногда называют релятивистским расширением времени.

Различие хода времени в движущихся одна относительно другой системах не только предсказано теорией относительности, но и подтверждено в наши дни экспериментами. Например, доказано, что у мюонов (так называются быстро распадающиеся элементарные частицы с массой, равной 207 массам электрона, и единичным положительным или отрицательным зарядом), движущихся медленно, среднее время, протекающее до распада, равно $2{,}22 \cdot 10^{-6}$ с, а у мюонов космических лучей, движущихся с очень большой скоростью, время распада больше, в точном соответствии с формулой (67).

В табл. 28 для различных расстояний вычислено время, необходимое для прохождения их ракетой, у которой отношение силы тяги к массе все время постоянно и равно 20 м/с². Во втором столбце приведено время, которое давала бы классическая механика по формуле (63). На самом деле движение ракеты не будет происходить по законам классической механики, так как достигаемые скорости очень большие. По формуле (62) они к тому же получаются во много раз больше скорости света, и мы приводим этот столбец только для того, чтобы показать, насколько ошибочны результаты классической механики в подобных случаях. В третьем столбце вычислено время, которое пройдет на Земле до момента достижения ракетой указанного расстояния. При $b = 20$ м/с² ракета уже на расстоянии $^1/_2$ пс разовьет скорость, очень близкую к скорости света, и потому на расстояниях во много парсек время, требуемое для полета ракеты, практически равно времени нужному для прохождения света, следовательно, начиная с пятой строки данные в третьем столбце численно равны количеству световых лет в указанном расстоянии.

Но иной промежуток времени будет проходить у пассажиров ракеты. Особенно разительно различие для больших расстояний. Так как на больших расстояниях ракета успеет развить скорость, очень близкую к скорости света, релятивистское расширение времени будет особенно велико.

Таблица 28. Время, необходимое для достижения заданного расстояния при постоянном отношении силы тяги ракеты к ее массе, равном 20 м/с²

Пройденное расстояние, пс	Классическая механика	Релятивистская механика	
	протекающее время в годах, одинаковое и у космонавтов и на Земле	время, протекающее на Земле, в годах	время, протекающее у космонавтов, в годах
0,01	0,175	0,177	0,174
0,1	0,555	0,638	0,521
1	1,75	3,70	1,29
10	5,55	$3{,}29 \cdot 10$	2,38
10^2	17,5	$3{,}26 \cdot 10^2$	3,43
10^3	55,5	$3{,}26 \cdot 10^3$	4,52
10^4	175	$3{,}26 \cdot 10^4$	5,61
10^5	555	$3{,}26 \cdot 10^5$	6,70
10^6	1750	$3{,}26 \cdot 10^6$	7,82
10^7	5550	$3{,}26 \cdot 10^7$	8,89
10^8	17500	$3{,}26 \cdot 10^8$	10,0
10^9	55500	$3{,}26 \cdot 10^9$	11,1

Пользуясь данными табл. 28, представим себе путешествие к ближайшей нашему Солнцу звезде — α Центавра. На самом деле это тройная звезда. Главный компонент — звезда спектрального класса G4 с абсолютной величиной $+4^m,7$ — двойник нашего Солнца: почти те же спектр, цвет, светимость, масса. Второй компонент имеет спектральный класс K1 (оранжевая звезда), а абсолютную звездную величину $6^m,1$, светимость ее вдвое меньше, чем у Солнца. Третий компонент носит название Проксима, т. е. «ближайшая» Центавра. Он чуть ближе к нам, чем два других компонента этой тройной системы, и из наблюдаемых пока звезд является самым близким соседом Солнца. Светимость его очень мала: в 10 000 раз меньше, чем у Солнца ($M = 15^m,7$). Спектральный класс — M, значит, это красная звездочка, красный карлик.

Эта тройная система, состоящая из желтой, оранжевой и красной звезд, находится на расстоянии 1,32 пс. Во время путешествия к ней нужно сначала полпути, т. е. 0,66 пс, двигаться с ускорением. На это расстояние ракета потратит, как можно подсчитать при помощи формулы (65), 2,58 земных года, а при помощи формулы (67) мы узнаем, что в ракете протечет 1,13 года. Затем нужно будет, используя ту же силу тяги ракеты, двигаться с замедлением. Тогда к моменту достижения тройной звезды α Центавра ракета остановится.

Характер движения на второй половине пути до α Центавра будет как бы симметричным отражением движения на его первой половине. В любых двух точках, одинаково удаленных от середины пути, скорость окажется одинаковой. Поэтому и время, затраченное на вторую половину пути, будет как на Земле, так и в ракете, то же самое, что и для первой половины пути.

После этого ракета двинется обратно к Земле, снова сначала ускоряя движение, а затем, после прохождения половины пути, замедляя его. К моменту возвращения на Землю у пассажиров в ракете пройдет $1{,}13 \cdot 4 \approx 4{,}5$ года. Но они убедятся в том, что на Земле к моменту их прибытия прошло уже $2{,}58 \times 4 \approx 10$ лет.

Для посещения звезды, находящейся на расстоянии 20 пс, например α Треугольника, и возвращения обратно, ракете нужно пройти с попеременным ускорением и замедлением движения четыре отрезка, длиною 10 пс каждый. Согласно табл. 28 к моменту возвращения у пассажиров ракеты пройдет $2{,}33 \times 4 \approx 9$ лет. Но приземляясь, пассажиры ракеты не узнают страны, которую оставили: так велики будут перемены. Они не застанут никого из людей, кого знали — на Земле к моменту прибытия пройдет $32{,}9 \times 4 \approx 130$ лет и успеют смениться несколько поколений.

Полет к туманности Андромеды, NGC 224, находящейся на расстоянии 460 кпс, и возвращение будут протекать совсем не так, как это описано в интересной книге И. А. Ефремова «Туманность Андромеды». Путешествие займет у космонавтов около 30 лет, а возвратятся они фактически в другой мир,— на Землю, на которой от начала полета прошло около 30 млн. лет.

Огромная экономия времени, протекающего в ракете, в сравнении со временем, протекающим на Земле, достигается благодаря тому, что подавляющую часть расстояния ракета движется со скоростью, очень близкой к скорости света. В таком случае, как показывает формула (66), промежуток времени $\tau_2 - \tau_1$ может быть очень мал в сравнении с промежутком времени $t_2 - t_1$.

Вообще табл. 28 показывает, что если обеспечить в течение всего времени постоянное отношение силы тяги ракеты к ее массе, равное 20 м/с^2, то человеку доступно посещение любых областей обозреваемой нами Вселенной. Даже для достижения отдаленнейших скоплений галактик, расположенных на расстоянии 1000 Мпс, потребуется только 11 лет «ракетного» времени. Разумеется, вопрос о возвращении на Землю для таких космических странников окажется лишенным смысла. Разве лишь будет интересно узнать, что произошло с Землей и Солнечной системой. Разумнее будет искать годный для обитания мир на новых местах.

Все предыдущие расчеты выполнялись в предположении, что можно обеспечить в течение всего рассматриваемого времени постоянное отношение силы тяги ракеты к ее массе, равное 20 м/с^2. Посмотрим теперь, можно ли этого практически добиться? Что покажет энергетический расчет? Легко убедиться, что применяемые в наше время двигатели космических ракет, сжигающие химическое топливо, совершенно непригодны для путешествий к звездам и галактикам.

Важнейшую роль играет скорость w, с которой образующиеся при сгорании газы вылетают из сопла ракеты. Чем больше эта скорость, тем большее ускорение в противоположном направлении будет иметь ракета. Скорость вылетания газов тем больше, чем выше, температура сгорания. Температура же ограничивается способностью материала, из которого сделано сопло ракеты, противостоять высокой температуре, не плавиться. По-видимому, пределом в этом отношении являются 4000 К. При такой температуре сгорания от некоторых видов топлив можно получить скорость вылета w около 4 км/с.

В астронавтике известна формула

$$\frac{v}{w} = 2{,}3 \cdot \lg \frac{\mathfrak{M}_0}{\mathfrak{M}}, \tag{68}$$

связывающая $\mathfrak{M}_0$ — массу ракеты с топливом, $\mathfrak{M}$ — массу ракеты после сгорания топлива, w — скорость вылета газов из сопла и v — скорость, которую приобретет ракета после того как сгорит топливо. Формула эта верна только в рамках классической механики, когда и скорость вылетающих газов и скорость, достигаемая ракетой, очень малы в сравнении со скоростью света. Оба эти условия в данном расчете соблюдаются.

Мы видим, что величина достигаемой ракетой скорости тем больше, чем больше отношение массы ракеты с топливом к ее массе без топлива. Но как велико может быть это отношение? Предположим маловероятное, что удалось построить такую ракету, в которой 0,999999 массы составляет горючее, так что вес после израсходования горючего составит только одну миллионную веса ракеты на старте. Тогда правая часть равенства (68) будет равна 13,8 и, следовательно, если скорость вылета газов равна 4 км/с, ракета сможет достичь скорости 55,2 км/с. Пока не достигнуты очень большие скорости и можно пользоваться классической механикой, постоянное отношение силы тяги к массе ракеты 20 м/с^2 равно ускорению ракеты. Скорость 55,2 км/с будет достигнута через 2760 с, когда пройденный путь окажется равным 76 000 км. После этого расстояния топливо будет исчерпано, устройство ракеты перестанет действовать.

Таким образом, употребляемый в настоящее время в космонавтике способ сообщения ракете тяги при помощи сгорания химического топлива не может быть применен для полета к звездам и галактикам. Он годен только в пределах Солнечной системы.

Формула (68) показывает, что основная задача состоит в нахождении такого метода создания реактивной тяги, при котором вылетающие частицы имели бы гораздо бо́льшую скорость, чем у современных ракет. Нужно, чтобы эта скорость была сравнима со скоростью света или даже равна ей. Идея такой ракеты предложена давно. Роль вылетающих из ракеты в определенном направлении частиц должны играть частицы света — фотоны, а ракета будет двигаться в противоположном направлении. Источником излучения могут быть ядерные реакции и другие процессы, при которых происходит выделение электромагнитной энергии. Трудности связаны с необходимостью получить мощный поток фотонов при сравнительно небольшом весе устройства, чтобы употреблявшаяся в наших расчетах величина b была достаточной. Кроме того, нужно оградить устройство от разрушающего действия высоких температур. Пока такой источник энергии не создан. Но он, по-видимому, будет создан.

Поэтому оценим возможности фотонной ракеты в межзвездных и межгалактических полетах. Для фотонной ракеты с постоянным отношением b силы тяги к массе ракеты релятивистская механика дает следующие формулы: для проходимого расстояния

$$S = \frac{c^2}{2b}\left(\frac{\mathfrak{M}_0}{\mathfrak{M}} + \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_0} - 2\right), \tag{69}$$

для достигнутой скорости

$$v = c\,\frac{\mathfrak{M}_0^2 - \mathfrak{M}^2}{\mathfrak{M}_0^2 + \mathfrak{M}^2}. \tag{70}$$

Чтобы совершить полет до ближайшего соседа, тройной звезды α Центавра, и вернуться обратно, можно предложить следующий план. Фотонная ракета движется с ускорением $b = 20$ м/с², пока ее масса не станет равной половине первоначальной. При этом согласно формулам (69) и (70) будет пройдено расстояние 0,073 пс и развита скорость 180 000 км/с. После этого двигатель выключается и ракета движется по инерции. Когда в свободном движении будет пройдено около 1,17 пс и до цели останется 0,073 пс, двигатель снова включается, но уже на торможение. Ракета остановится около α Центавра, израсходовав еще половину той массы, которая у нее имелась при начале торможения. В той же последовательности должен быть проделан обратный путь. Двигатель будет включаться всего четыре раза, каждый раз расходуя половину имеющейся массы, так что отношение $\mathfrak{M}_0/\mathfrak{M}$ к моменту прибытия на Землю должно составить 16. Расчет показывает, что от момента вылета до момента возвращения в ракете протечет около 9,5 лет, а на Земле 16,5 лет.

Можно, конечно, совершать подобные полеты и к более далеким звездам, увеличивая участок пути с выключенным двигателем. Но тогда с увеличением расстояния будет существенно увеличиваться время, протекающее в ракете.

При полетах на расстояния свыше 5 пс чрезвычайно важно развивать, насколько возможно, высокие скорости, близкие к скорости света; тогда не только уменьшается требуемое для совершения полета время, протекающее на Земле, но, что особенно важно, в очень сильной степени уменьшается время, протекающее в ракете. А чтобы развить, насколько возможно, высокие скорости, двигатель должен быть постоянно включенным.

Из формулы (69) следует, что, доведя отношение $\mathfrak{M}_0/\mathfrak{M}$ до 200, можно с постоянно включенным, поставленным только на ускорение двигателем достичь звезды Капеллы, удаленной приблизительно на 14 пс.

Но если бы мы хотели, не включая двигателя, разгоняясь полпути и полпути замедляя полет, долететь до Капеллы, повернуть обратно и возвратиться на Землю, то пришлось бы затратить столько энергии, что отношение $\mathfrak{M}_0/\mathfrak{M}$ потребовалось бы довести до 10^8, что, конечно, немыслимо даже для техники будущего.

Точно так же весьма мало вероятна возможность простого достижения (без возвращения) человеком других галактик. При путешествии с постоянно включенным двигателем, чтобы покрыть расстояние до Магеллановых Облаков, нужно, чтобы $\mathfrak{M}_0/\mathfrak{M}$ было равно $6 \cdot 10^5$.

Рассуждения и подсчеты, проведенные в этой главе, привели нас к следующим выводам: 1) соотношение двух факторов — длительности жизни и способности переносить ускорение, у человека таково, что он в принципе мог бы совершить путешествие до любых, даже самых отдаленных из наблюдаемых тел Вселенной; 2) технические, энергетические ограничения резко сужают возможности человека. Даже использование в будущем фотонной ракеты с очень большим отношением начальной и конечной масс позволит совершать полеты с возвращением только до нескольких самых близких звезд. Расстояния в несколько десятков парсек могут быть доступны при отношениях $\mathfrak{M}_0/\mathfrak{M}$ порядка нескольких сотен. Однако это могут быть лишь полеты без возвращения; 3) достижение других галактик никогда не будет доступно человеку.

Насколько распространены во Вселенной условия, благоприятные для возникновения жизни?

Мы переходим к вопросу очень деликатному, не допускающему еще в наше время категорических суждений. Удивляют и те исследователи, которые совершенно уверены в том, что единственным пристанищем жизни во Вселенной является Земля, и те, которые категорически утверждают, что жизнь вне Земли существует и, более того, что она очень распространена, соседствует чуть ли не с каждой звездой.