

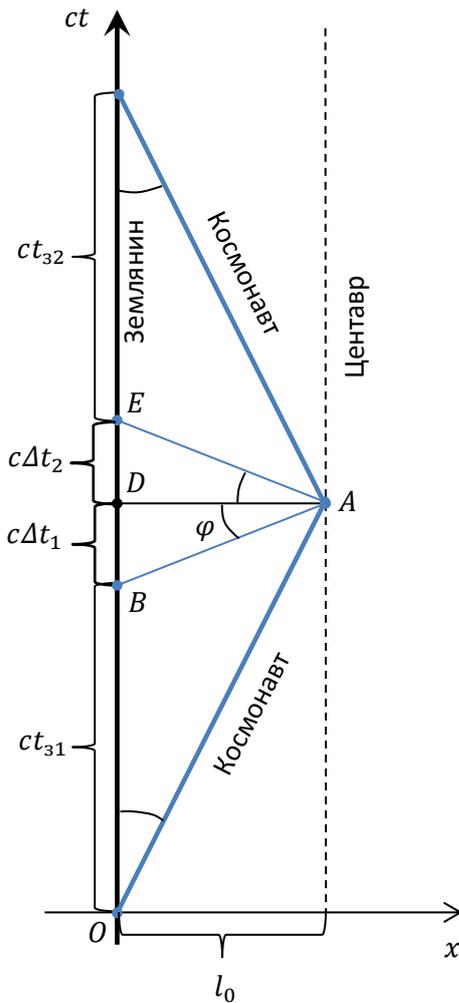
ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ: ТОЧКА ЗРЕНИЯ КОСМОНАВТА

С легкой руки Поля Ланжевена парадокс близнецов давно стал визитной карточкой теории относительности, особенно для тех, кто ее не изучал. Найти описание парадокса в научной и популярной литературе или Интернете не составляет труда. К примеру, поисковая система Яндекс по запросу «парадокс близнецов» выдает порядка 500000 ответов. Также хорошо известно наиболее распространенное объяснение парадокса. Тем не менее, когда не столь давно мы с коллегой, обсуждая теорию гравитации Эйнштейна, «зацепили» парадокс близнецов, сразу наметилась дискуссия. В результате родилась эта статья. Она без сомнения не оригинальна. Тем не мене, поскольку вокруг парадокса по сей день сохранился целый ряд недоразумений, я счел свой труд не бесполезным и представляю его на суд читателей.

Сначала, для удобства, вспомним сам парадокс. Итак, жили-были на земле два брата-близнеца. Внешне они были схожи как две капли воды, однако судьбы них оказались разными. Один с юных лет стремился покорять межзвездные дали, второй же душой, и телом был больше привязан к земле. Братьям повезло родиться во время великих свершений: человечество таки выбралось из своей земной колыбели к звездам. Однако и «земные» технологии шагнули далеко вперед, поэтому дома также осталось много интересных и увлекательных возможностей принести пользу людям. И каждый брат пошел своим путем, предначертанным ему судьбой. Один стал космонавтом и отправился к Альфе Центавра, второй остался на Земле, чтобы еще лучше обустроить наш дом. Корабль брата-космонавта стартовал с Земли и после разгона достиг субсветовой скорости. Но, как известно из релятивистской кинематики, время в быстро движущейся ракете течет медленнее, чем на Земле. А живой организм — это биологические часы. Поэтому все процессы в организме космонавта во время полета происходили заметно медленнее, чем у брата-землянина. В итоге вернувшегося на землю молодого космонавта встретил мужчина преклонных лет — его брат-землянин.

Парадокс, как известно, заключается в том, что, с точки зрения космонавта, замедлиться должны были не его биологические часы, а процессы в организме брата-землянина. Поэтому, напрашивается вывод о том, что при встрече мужчиной преклонных лет должен оказаться космонавт, а брат землянин останется молодым человеком. Также хорошо известно объяснение, почему этот напрашивающийся вывод в действительности неверен: поскольку космонавт для осуществления полета должен ускоряться и тормозить, связанная с ракетой система отсчета не будет все время инерциальной. Следовательно, система ракеты не равноценна Земле, и, таким образом, противоречия нет. Из этого объяснения, правда, не совсем ясно, кто именно на самом деле постареет. Но поскольку точка зрения землянина вполне адекватно отражает ход событий, какими они видятся в ИСО, выводы землянина, очевидно верны, то есть мужчиной в годах, к моменту возвращения космонавта, окажется все-таки землянин.

Такое объяснение, однако, не может удовлетворить требовательного читателя, старающегося всегда решать вопросы до конца. Полноценное рассмотрение парадокса предполагает количественный расчет эффекта в системе космонавта, результат расчета должен быть тот же, что и в ИСО «Земля». Но принцип относительности Эйнштейна распространяется лишь на инерциальные системы отсчета, и переход в неинерциальную систему — отнюдь не простая задача. По этой причине многие физики считают парадокс близнецов выходящим за рамки СТО и зачастую просто отказываются рассматривать точку зрения космонавта средствами этой теории. В общем случае это правомерно. С другой стороны вполне возможно упростить условие парадокса так, чтобы стало возможным вписать его в СТО. По «упрощенной схеме» разгон и торможение космонавта происходят практически мгновенно, так что на плоскости Минковского эти маневры можно



представить точками. Соответствующая пространственно-временная диаграмма (ПВД) землянина и космонавта изображена на рисунке.

Пусть от момента старта космонавта (точка O) и до его подлета к Центавру (непосредственно перед торможением) на Земле, с точки зрения космонавта, прошло собственное время t_{31} . Присмотримся внимательно к тому, как данный отрезок указан на рисунке — это почти сразу может вызвать недоумение: почему OB , а не OD ? Причина в относительности одновременности. Для землянина все события, произошедшие в один и тот же момент времени, будут лежать на линии, параллельной оси Ox . Для космонавта же линия одновременности, *изохрона*, будет наклонена к пространственной оси землянина под некоторым углом φ , который нетрудно получить из преобразований Лоренца. Результат таков:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{v}{c} = \beta, \quad (1)$$

где v — скорость движения космонавта. Таким образом, угол между изохронами землянина и космонавта равен углу между их мировыми линиями, то есть быстроте движения космонавта β .

Итак, в момент начала торможения, на Земле, с точки зрения космонавта, происходит некоторое событие B . В системе отсчета ракеты время $t_{k \rightarrow}$ между событиями O и B является несобственным (будучи, при этом, собственным временем полета космонавта в одну сторону). Оно связано с t_{31} известным соотношением:

$$t_{31} = t_{k \rightarrow} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (2)$$

Как и должно быть, у землянина с точки зрения космонавта времени прошло меньше!

Однако в результате торможения происходит поворот изохроны космонавта, и по завершению торможения она совпадает с изохроной землянина AD . Следовательно, за время торможения, пренебрежимое для космонавта, на Земле (но не на Центавре), с точки зрения космонавта, проходит время Δt_1 , которое, как видно из рисунка, удовлетворяет соотношению

$$c\Delta t_1 = l_0\beta. \quad (3)$$

Расстояние же между Землей и Центавром, для космонавта, после разгона сократилось и связано с собственным расстоянием между небесными телами известным соотношением:

$$l = l_0\sqrt{1 - \beta^2}. \quad (4)$$

В свою очередь путь космонавта

$$l = vt_{k \rightarrow}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), а (4) в (3), для временного сдвига Δt_1 имеем:

$$\Delta t_1 = \frac{t_{k \rightarrow} \beta^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (6)$$

Таким образом, от момента старта до остановки на Центавре, на Земле, с точки зрения космонавта, прошло время

$$t_{3 \rightarrow} = t_{31} + \Delta t_1. \quad (7)$$

Подставив, (2) и (6) в (7), после несложных преобразований, получим время, прошедшее на Земле от начала полета и до момента остановки на Центавре, с точки зрения космонавта:

$$t_{3 \rightarrow} = \frac{t_{k \rightarrow}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8)$$

На обратном пути, во время разгона, изохрона космонавта снова повернется относительно изохроны землянина, в результате чего на Земле, с точки зрения космонавта, произойдет временной сдвиг $\Delta t_2 = \Delta t_1$. Времена оставшегося пути домой, по мнению космонавта, снова связаны соотношением, аналогичным (2), таким образом, для обратного пути получим соотношение, аналогичное (8):

$$t_{3 \leftarrow} = \frac{t_{k \leftarrow}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (9)$$

В итоге времена всего пути связаны соотношением:

$$t_3 = \frac{t_k}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (10)$$

Таким образом, и с точки зрения космонавта, брат-землянин состарится сильнее. Это произошло из-за последовательных поворотов изохроны космонавта относительно изохроны землянина: во время торможения у Центавра и при разгоне на пути домой. На эти повороты придется основное старение землянина, и, как видим, данный эффект окажется сильнее замедления собственного времени землянина в процессе его равномерного полета относительно космонавта. Таким образом, расчеты землянина и космонавта совпали. Правда, у космонавта расчет оказался заметно длиннее: в системе отсчета землянина (10) – это просто формула, описывающая релятивистский эффект замедления времени. Что же, настоящим космонавтам будущего ради покорения звезд придется пойти на некоторые издержки. Зато будущие физики настоящего уже сейчас получают возможность лишний раз убедиться в важности выбора удобной системы отсчета ☺

Расчет в СО космонавта возможно провести и без использования пространственно-временных диаграмм. В этом случае ПВД можно использовать лишь в целях наглядности. Из преобразований Лоренца находим промежуток времени между событиями B и A , для землянина:

$$\Delta t_{BA} = \frac{\frac{vl}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (11)$$

Тогда, учитывая (5), видим, что $\Delta t_{BA} = \Delta t_1$, что также видно и на диаграмме. Далее расчет проводится аналогично.

PS. Если Вы, уважаемый читатель, заметили неточности или опечатки в тексте этой работы, просьба сообщить об этом автору на почту mishko70@mail.ru