

**М.Х.Шульман**

**ЛОГИКА И ПАРАДОКСЫ ВРЕМЕНИ**

Москва, 2005

© Шульман Михаил Хананович, 2005

### **Логика и парадоксы времени**

Эта книга является, по-существу, продолжением книги автора “Теория шаровой расширяющейся Вселенной” и посвящена подробному анализу течения времени как в рамках теории относительности, так и с точки зрения предлагаемой читателю новой концепции.

© Shulman Michael, 2005

### **The Time Logic and Paradoxes**

This book presents a continuation of the author’s first one “The Spherical Expanding Universe Theory” and is devoted to the time currency from the Relativity point of view as well as in the new concept.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Стр.

**ПРЕДИСЛОВИЕ****1. ВРЕМЯ И СТО**

- 1.1. Исходные представления
- 1.2. Преобразование Лоренца
- 1.3. Измерение пространственных и временных отрезков
- 1.4. Сопоставление неподвижной системы отсчета с движущейся
- 1.5. Линии одновременности
- 1.6. Парадокс часов в СТО
- 1.7. Парадокс близнецов
- 1.8. Парадокс часов и эффект Доплера
- 1.9. Эксперименты с мюонами

**2. ВРЕМЯ И ОТО**

- 2.1. Основные представления ОТО
- 2.2. Парадокс часов в ОТО
- 2.3. Эксперименты по проверке ОТО

**3. ВРЕМЯ И ТШРВ**

- 3.1. Исходные представления о пространстве-времени в ТШРВ
- 3.2. Одновременность и изохроны
- 3.3. СТО и эволюция картины мира
- 3.4. ТШРВ и СТО
- 3.5. ТШРВ и относительность
- 3.6. ТШРВ и абсолютная система отсчета
- 3.7. О реальном существовании абсолютной системы отсчета
- 3.8. О распространении излучения

**4. ТШРВ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ**

- 4.1. Нужно ли использовать фиктивные гравитационные поля ?
- 4.2. Ускоренное движение и СТО
- 4.3. Связь хода времени с изменением энергии
- 4.4. Почему ход времени зависит от энергии

**БИБЛИОГРАФИЯ**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2003 г. издательство “Едиториал УРСС” выпустило книгу автора “Теория шаровой расширяющейся Вселенной”. В ней изложена концепция природы времени, движения и материи, над которой я начал работать в 1993 г. После выхода упомянутой книги для меня самого оставался не до конца проясненным ряд вопросов, связанных с парадоксом часов и соотношением между представлениями новой концепции с одной стороны и специальной теории относительности – с другой.

Чтобы разобраться в этой проблеме, я последовал известному совету Ландау и сел писать очередную книгу. Первая половина этой новой книги, которую я теперь представляю на суд читателя, состоит из анализа парадокса часов в рамках СТО (первая глава) и ОТО (вторая глава). Я счел необходимым отвести этому материалу столь значительную часть книги по двум причинам. Во-первых, вторая часть книги очень активно апеллирует к идеям и результатам, приведенным в первой части. Во-вторых, как мне представляется, при всем обилии литературы связанное и целостное описание парадокса часов можно отыскать с лишь с большим трудом, так что излагать что-то новое я посчитал в данном случае целесообразным лишь после компактного воспроизведения общепринятой системы представлений.

Вторая часть книги содержит оригинальные идеи автора и, как всегда в своих публикациях, я считаю необходимым предостеречь неискушенного читателя, что эти идеи пока что никак нельзя считать одобренными научным сообществом. Эта часть также состоит из двух глав.

В третьей главе читателю вкратце напоминаются основные представления предложенной мной теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ), а затем анализируется соответствие между ней и СТО. Показывается, что можно установить полное соответствие между результатами специальной теории относительности и развиваемой мной концепцией (при относительно малых скоростях тел). Это соответствие основано на том, что в рамках СТО можно ввести упорядочение слоев времени и пространственно-временную координатную сетку, инвариантные относительно преобразований Лоренца и специальным образом определенного оператора хронологического сдвига (отличающегося от оператора сдвига во времени из группы Пуанкаре). Анализируется принцип относительности и аргументируется объективное существование выделенной системы координат.

Последняя глава книги посвящена анализу хода (темпа течения) времени. Вместо использования потенциалов фиктивных гравитационных полей для описания неинерциального движения предлагается оперировать с реальным изменением кинетической энергии при изменении скорости тел. Предлагается также объяснение связи хода (темпа течения) времени с энергией на основе представления о “собственных часах” любого движущегося тела. Роль таких часов играет волна де Бройля, частота колебаний которой пропорциональна, как известно, именно энергии.

Я благодарю всех читателей, которые возьмут на себя труд прочесть книгу. Если возникнет желание сообщить свои оценки или замечания, можно обратиться ко мне по электронному адресу: [shulman@dol.ru](mailto:shulman@dol.ru).

Автор, апрель 2005 г.

## 1. ВРЕМЯ И СТО

### 1.1. Исходные представления

Специальная теория относительности (СТО) в самом начале 20-го века постулировала основанный на опыте принцип: *скорость света одинакова в любых системах отсчета, даже если какая-либо из этих систем движется относительно другой такой системы.*

Из этого утверждения вытекает, что временные и пространственные промежутки в различных системах отсчета в общем случае не одинаковы, однако равенство  $c = \Delta r / \Delta t$  (где  $c$  – скорость света,  $\Delta r$  – промежуток пути, пройденный светом за время  $\Delta t$ ) справедливо в любой системе отсчета.

Приведенная формулировка принципа относительности противоречит представлениям классической физики, но еще *не фиксирует однозначным образом* нового (релятивистского) закона преобразования пространственных и временных промежутков при переходе от одной системы отсчета к другой.

В концепции Ньютона-Галилея время текло во всех системах одинаково, а преобразование системы отсчета сводилось к параллельному переносу и повороту 3-мерной системы координат. При трехмерном повороте инвариантной (неизменной) остается сумма квадратов трех пространственных проекций отрезка. Эйнштейн и Минковский предложили теоретическую модель, в которой пространство и время образуют 4-мерное пространство с псевдоевклидовой метрикой, а переход от одной системы отсчета к другой равносильен повороту 4-мерной системы координат, сохраняющему инвариантным квадрат 4-мерного интервала  $\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta r^2$ . Разумеется, из этого в качестве частного случая следует условие  $c = \Delta r / \Delta t$  для распространения света.

Хотя идея поворота является общей для 3-мерного евклидова пространства Ньютона-Галилея и 4-мерного псевдоевклидова пространства Эйнштейна-Минковского, к этой аналогии следует подходить осторожно, когда речь идет о повороте в пространственно-временных плоскостях, где ось времени является мнимой. В этом случае зрительная интуиция часто вводит в заблуждение.

### 1.2. Преобразование Лоренца

Переход от одной движущейся инерциальной системы отсчета к другой путем поворота в пространственно-временной плоскости  $\{x, it\}$  с мнимой осью времени  $it$  определяется [Ландау и Лифшиц, 1967] формулами

$$x = x' \operatorname{ch} \theta + ct' \operatorname{sh} \theta \quad ct = x' \operatorname{sh} \theta + ct' \operatorname{ch} \theta$$

где  $\{x, t\}$  – координаты в “старой” системе отсчета (т.е. до поворота),  $\{x', t'\}$  – координаты в “новой” системе отсчета (т.е. после поворота). Это – линейное преобразование, коэффициенты которого выражаются через мнимый угол поворота  $\theta$ . В свою очередь, в данном случае угол поворота  $\theta$  определяется отношением взаимной (равной по определению) скорости движения обеих систем отсчета к скорости света:

$$\operatorname{th} \theta = x/ct = v/c$$

В дальнейшем отношение  $v/c$  будем обозначать символом  $\beta$ , т.е. положим  $\beta = v/c$ , тогда получим:

$$\operatorname{sh} \theta = \beta / \sqrt{1 - \beta^2} \quad \operatorname{ch} \theta = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

Теперь формулы преобразования можно записать в виде:

$$x = (x' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2} \quad t = (x'v/c^2 + t') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

### 1.3. Измерение пространственных и временных отрезков

Вся кинематика основана на измерении пространственных и временных отрезков. Пространственные размеры определяются с помощью *линейки*, их измерение сводится к нахождению *отношения* длины пространственного отрезка к длине *эталонной* линейки. Аналогичным образом измерение времени сводится к нахождению *отношения* длительности промежутка времени к длительности эталона времени. Для этого используется тот или иной вид *часов*.

Существует важное инструментальное отличие часов от линейки. Чтобы измерять длину, нам достаточно иметь лишь *один экземпляр* линейки, т.к. подразумевается, что мы можем свободно перемещать линейку в пространстве. Напротив, перемещаясь в универсальном потоке времени, мы измеряем длительность процесса, используя *последовательность* эталонных временных промежутков, которые, как мы полагаем, строго совпадают между собой. Мы не можем использовать единственную реализацию эталона времени, т.к. не можем перемещаться во времени сами либо перемещать во времени другие тела или процессы. Часы – это как раз такой инструмент, который генерирует *периодические процессы* во времени - маркеры равных временных промежутков, используемых для сравнения с длительностью текущей фазы измеряемого процесса. При этом *непосредственно убедиться в равенстве* длительностей различных периодов колебаний мы не можем, возможно использование лишь косвенных аргументов (например, совпадение показаний многих часов различной природы).

Что же происходит, согласно СТО, при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, *движущейся* относительно первой и жестко связанного с ней наблюдателя?

Пусть в неподвижной системе покоится стержень, параллельный оси  $x$ , причем его концы в этой системе имеют координаты  $x_1$  и  $x_2$ . Тогда длина стержня в этой системе будет равна  $\Delta x = x_2 - x_1$ . Используя формулу связи между старыми и новыми координатами

$$x = (x' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

найдем (*в один и тот же* момент времени  $t'$ ):

$$x_1 = (x_1' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2} \quad x_2 = (x_2' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

так что

$$\Delta x = x_2 - x_1 = [(x_1' + vt') - (x_2' + vt')] / \sqrt{1 - \beta^2} = \Delta x' / \sqrt{1 - \beta^2}.$$

или

$$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Таким образом, длина стержня  $\Delta x'$  в движущейся относительно него системе отсчета умножается на множитель (радикал), величина которого в общем случае меньше единицы. Иными словами, измерение длины стержня в один и тот же момент времени даст *наибольший* результат (*собственную* длину) в той системе отсчета, относительно которой стержень покоится.

Пусть, далее, в неподвижной системе отсчета имеются двое часов. Часы 1 неподвижны, тогда как часы 2 *движутся*. Пусть происходят два события в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , отсчитанные по *неподвижным* часам. Используя формулу связи между старыми и новыми значениями времени

$$t = (x'v/c^2 + t') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

будем искать выражение для интервала времени в системе отсчета, жестко связанной с движущимися часами 2 (т.е. в такой, где эти часы 2 покоятся в одной и той же точке  $x'$ ). Имеем:

$$t_1 = (x'v/c^2 + t'_1) / \sqrt{1 - \beta^2} \quad t_2 = (x'v/c^2 + t'_2) / \sqrt{1 - \beta^2}$$

так что

$$\Delta t = t_2 - t_1 = [(x'v/c^2 + t'_2) - (x'v/c^2 + t'_1)] / \sqrt{1 - \beta^2}$$

или, в конечном счете

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \beta^2} .$$

Таким образом, *движущиеся относительно неподвижного наблюдателя* часы 2 в общем случае показывают время ( $\Delta t'$ ) *меньшее*, чем жестко связанные с ним неподвижные часы 1 ( $\Delta t$ ). Если скорость движущихся часов 2 стремится к скорости света, то показываемый ими промежуток времени стремится к нулю.

**Примечание:** С другой стороны, для этих движущихся часов 2, которые из пространственной точки А перемещаются в другую пространственную точку В, *всякие* движущиеся равномерно относительно них часы можно рассматривать в качестве вышеупомянутых часов 1, и *всегда* часы 2 покажут время меньшее, чем часы 1. Иными словами, время, отсчитываемое по часам, равномерно движущимся *вместе с данным объектом из одной заданной пространственной точки в другую заданную точку* (собственное время данного объекта), является *наименьшим*. Неверно было бы смешивать данную ситуацию с парадоксом близнецов (о котором речь впереди), когда несколько по-разному движущихся часов попадают из одной *пространственно-временной* точки в другую *пространственно-временную* точку – в этом случае наибольшее время покажут равномерно движущиеся часы, тогда как все прочие будут вынуждены (чтобы вовремя оказаться в конечной точке пространства-времени) двигаться *неравномерно!*

В результате мы приходим к следующему важному выводу. Если в быстро движущейся ракете имеются два устройства – часы и линейка для измерения пройденного расстояния, то и эти часы, и эта линейка *при движении* (например, от одной планеты к другой) покажут и время, и расстояние в  $\gamma$  раз меньшие, чем соответствующие время и расстояние, измеренные *неподвижным* наблюдателем одной из планет. При этом величина  $\gamma$  равна

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2},$$

а скорость  $v$  движения ракеты относительно планеты или планеты относительно ракеты оказывается, как и должно быть, *одинаковой*:

$$v = \Delta x / \Delta t = \Delta x' / \Delta t'$$

#### 1.4. Сопоставление неподвижной системы отсчета с движущейся

В физике (условно) неподвижную систему отсчета, связанную с наблюдателем, принято называть *лабораторной*. Чтобы выявить и проанализировать характерные эффекты, возникающие в специальной теории относительности, оказывается очень полезным строить для одного и того же множества точек (пространственно-временных событий) две системы координат – лабораторную и движущуюся (назовем ее системой отсчета *ракеты*). Взаимное соответствие между ними оказывается существенно иным, нежели в случае двух евклидовых систем координат (что, к сожалению, крайне неполно отражено в подавляющем большинстве учебников по теории относительности). При этом мы для простоты ограничимся лишь одним пространственным измерением по оси  $x$ .

Что касается оси времени, то опять-таки для простоты выберем систему единиц, в которой скорость света  $c$  принята равной 1, поэтому в численном отношении величины  $t$  и  $ct$  считаются равными. Следует также помнить, что ось времени является мнимой, так же как и пространственно-временные углы.

Теперь начнем наши построения, максимально следуя схеме, приведенной в замечательной учебной монографии [Тэйлор и Уилер, 1966]. Прежде всего построим две *ортогональные* оси  $x$  и  $t$  лабораторной системы отсчета. Далее построим ось времени  $t'$  системы отсчета ракеты. Эта ось будет изображаться прямой линией, проходящей через начало лабораторной системы под (мнимым) углом  $\theta$ , где

$$\operatorname{sh} \theta = \beta / \sqrt{1 - \beta^2} \qquad \operatorname{ch} \theta = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

Это — геометрическое место всех событий, происходящих в начале пространственных координат системы отсчета ракеты, т.е. это действительно ось  $t'$  системы отсчета ракеты. Наклон оси  $t'$  по отношению к оси  $t$  определяется соотношением:

$$\text{Пройденный путь} / \text{Время движения} = \beta = \operatorname{th} \theta$$

Если скорость ракеты (т.е. тангенс угла между осями  $t$  и  $t'$ ) мала, то и угол  $\theta$  невелик. Если же скорость ракеты близка к скорости света, то и угол  $\theta$  стремится к половине прямого угла.



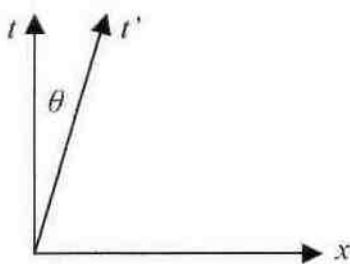


Рис. 1.1. Положение в лабораторной системе отсчета оси времени системы отсчета ракеты.

Теперь мы должны построить пространственную ось  $x'$ , отвечающую системе отсчета ракеты. В силу линейности преобразования Лоренца, это также будет прямая линия. На основании принципа относительности ось  $x'$  системы отсчета ракеты должна *подниматься вправо* с тем же наклоном, с каким ось  $t'$  системы отсчета ракеты *отклоняется вправо же* (т.е. мировая линия света в любой системе должна оставаться биссектрисой). На рис. 1.2 пунктиром проведена мировая линия вспышки света, а также показана координатная сетка системы отсчета ракеты так, как она будет выглядеть в лабораторной системе. Таким образом, в лабораторной системе отсчета система координатных осей ракеты будет уже не ортогональной, а *косугольной!*

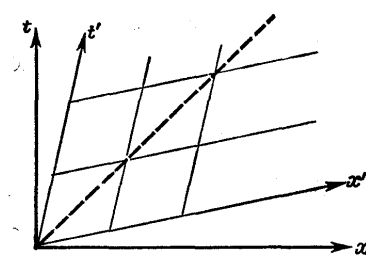


Рис. 1.2. Положение в лабораторной системе отсчета пространственной оси системы отсчета ракеты.

Нам осталось сделать последний шаг – установить, как одновременно с изменением угла меняется *шаг координатной сетки*, т.е. шкала длин и времен. Действительно, эта шкала вовсе не остается одной и той же!

Проведем гиперболу  $t^2 - x^2 = 1$ , полагая скорость света  $c$  равной единице (рис. 1.3). В той точке, где эта гипербола пересекает ось  $t$  лабораторной системы отсчета (где  $x = 0$ ), мы имеем момент времени  $t = 1$ . Однако интервал  $t^2 - x^2$  инвариантен, так что при этом мы получим также  $(t')^2 - (x')^2 = 1$ . Следовательно, в точке пересечения гиперболой оси  $t'$  системы отсчета ракеты (где  $x' = 0$ ) мы имеем момент времени  $t' = 1$ . Из соображений симметрии и ввиду линейности уравнений преобразования отрезок оси  $t'$  от точки  $t' = 0$  до точки  $t' = 1$  можно использовать в качестве единицы масштаба, откладываемого *как* вдоль оси  $t'$ , *так* и вдоль оси  $x'$ . Таким образом, по мере увеличения угла шкала длин и времен растягивается (или, что равнозначно, сами пространственные и временные отрезки как бы сжимаются)!

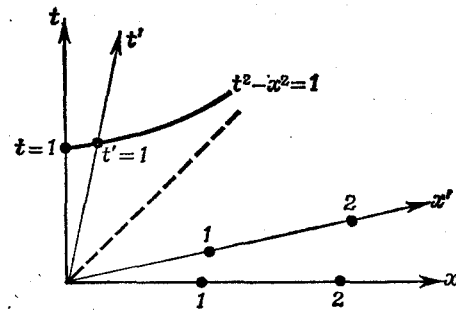


Рис. 1.3. Градуирование пространственной и временной осей системы отсчета ракеты.

Сказанное соответствует следующему. При градуировке осей на рис. 1.3 была изображена лишь одна инвариантная кривая вида  $t^2 - x^2 = a^2$  для  $a = 1$ . Если мы построим такие же кривые для  $a = 2, 3$  и т.д., то на рис. 1.3 ось  $t'$  они пересекут соответственно в точках 2, 3 и т.д., причем расстояния между точками пересечения кривой по этой оси будут равны между собой и в одинаковое число раз больше расстояний между точками пересечения этой же кривой с осью  $t$ .

Продолжая оси времени  $t$  и  $t'$  вниз, а пространственные оси  $x$  и  $x'$  влево, мы завершим построение, учитывая теперь прошлое движение и движение в отрицательном направлении.

### 1.5. Линии одновременности

Если два события одновременны в лабораторной системе отсчета, они будут лежать на прямой, параллельной оси  $x$  лабораторной системы на диаграмме пространства-времени (рис. 1.4). Если два события одновременны в системе отсчета ракеты, они будут лежать на прямой, параллельной оси  $x'$  системы ракеты на диаграмме пространства-времени. Поэтому два наблюдателя не обязательно считают одновременными одни и те же пары событий. Это и есть *относительная синхронизация часов*.

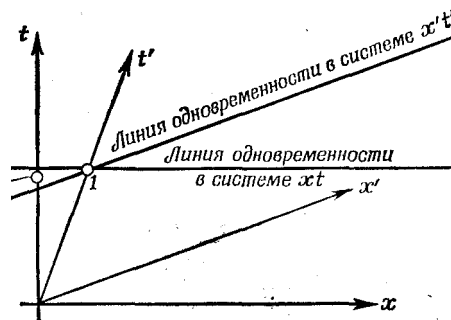


Рис. 1.4. Эффект замедления хода времени.

Используя линии одновременности на рис. 1.4, мы можем видеть, что для наблюдателя в системе отсчета ракеты часы, расположенные в начале лабораторной системы пространственных координат, еще не показывают 1 ед. времени, когда  $t' = 1$  ед. (т. е. лабораторные часы отстают). Вместе с тем для наблюдателя в лабораторной системе отсчета часы, расположенные в начале лабораторной системы пространственных координат, уже показывают больше 1 ед. времени (т. е. отстают часы на ракете). Это и есть замедление хода времени.

### 1.6. Парадокс часов в СТО

Теперь, наконец-то, мы можем перейти к нашей главной цели – парадоксу часов. Рассмотрим сначала случай относительного инерциального движения двух тел и связанных с ними двух наблюдателей, снабженных часами. Поскольку, согласно СТО, движущиеся часы идут медленнее неподвижных, *каждый* из двух наблюдателей полагает, что время в его системе отсчета течет быстрее, чем в системе другого наблюдателя.

Указанную коллизию СТО предлагает считать несущественной в силу следующего обстоятельства. Экспериментально сравнить непосредственные показания двух часов невозможно без нарушения инерциального характера движения, по крайней мере, одного из тел, например, путем поворота и возвращения к первому телу. Действительно, при этом такое тело неминуемо должно изменить свою скорость, т.е. претерпеть ускорение.

Возможен и другой способ, при котором показания движущихся часов ( $K'$ ) сравниваются в начальной точке с показаниями одних неподвижных часов ( $K_1$ ), а в конечной точке – с показаниями вторых неподвижных часов ( $K_2$ ). Разумеется, неподвижные часы  $K_1$  и  $K_2$  должны заранее быть строго синхронизированы между собой.

При этом возникает весьма любопытная ситуация. Пусть мы имеем не двое часов, а *две* бесконечные пространственные решетки, в *каждом* узле которых находятся часы. Первая решетка связана с неподвижным наблюдателем, а вторая решетка – с движущимся наблюдателем, так что все часы второй системы движутся относительно любых часов первой системы с одной и той же скоростью. Разумеется, все часы каждой из решеток строго синхронизированы между собой в своей системе отсчета.

Пусть теперь мы зафиксировали момент, когда некоторые часы В второй решетки проходили мимо конкретных часов  $A_1$  первой решетки. Будем теперь следить за дальнейшим движением часов В. Проходя мимо часов  $A_2$ , движущиеся часы отстанут, как установит *неподвижный* наблюдатель (или механический регистратор) в точке  $A_2$ , на некоторый интервал  $\Delta t$ . Затем, проходя мимо часов  $A_3$ , движущиеся часы отстанут на интервал  $2\Delta t$ , и так далее. Иными словами, возникает *наклонная линия постоянства координаты* для часов В в системе отсчета А, а мы обратим внимание на важный получающийся результат: *различие* в показаниях неподвижных и движущихся часов *пропорционально расстоянию* между этими часами!

### 1.7. Парадокс близнецов

С парадоксом часов тесно связан парадокс близнецов, который возникает, если все же попытаться сравнить между собой показания *одних и тех же часов*. В книге [Тэйлор и Уилер, 1966] парадокс близнецов излагается следующим образом (на основе оригинальной идеи, приведенной в [Лаури, 1963]). Близнецы Петр (Космонавт) и Павел (Землянин) расстались в тот день, когда им исполнилось по 21 году. Космонавт отправился на ракете в направлении оси  $x$  на 7 лет *своего* времени со скоростью  $\beta = 24/25 = 0,96$  скорости света, после чего сменил скорость на обратную и за 7 лет (опять-таки *своего* времени) вернулся назад на Землю, тогда как Землянин оставался на Земле. Спрашивается, сколько лет было Космонавту и сколько – Землянину в момент их встречи на Земле?

Поскольку и Космонавт, и Землянин находились в относительном движении друг относительно друга, то *оба*, казалось бы, должны наблюдать замедление хода часов друг друга. Будучи вложено в уста *Землянина*, это простое утверждение приводит к тому, что часы Космонавта, как и процесс старения организма Космонавта, шли замедленно, так что Космонавт оказался моложе своего брата-близнеца после возвращения. “Но ведь если это утверждение справедливо,— рассуждает *Космонавт*,— то почему *не я*, когда *я* провожу

исследование, обнаруживаю, что часы Землянина идут замедленно? Как же это он смог постареть сильнее, чем я?”

Чтобы лучше уяснить ситуацию, следует представить себе ракету Космонавта, летящую вместе с инерциальной системой отсчета (вначале – от Земли). Эта система состоит из трех взаимно ортогональных стержней (“система координат”) и снабжена часами. Когда же Космонавт меняет скорость на обратную, то пусть его система отсчета продолжит свое *прежнее* (инерциальное!) движение от Земли, а с ракетой теперь будет связана *другая* (такая же) инерциальная система отсчета, но уже летящая к Земле. Таким образом, первый и второй этапы движения связаны с *двумя различными* инерциальными системами отсчета. Действительно, ни одна *инерциальная система по определению* не может изменить направления и скорости движения!

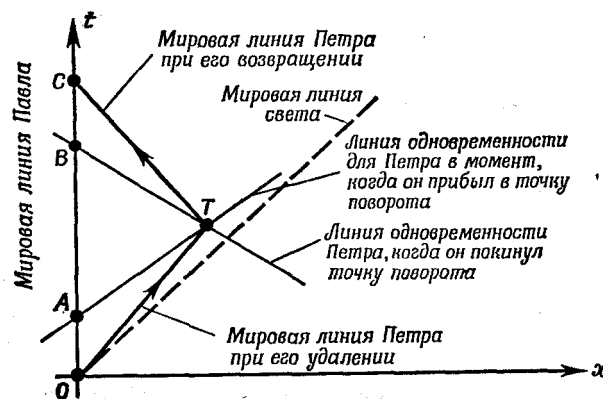


Рис. 1.5. Как Космонавт (Петр) проводит учет процесса старения Землянина (Павла).

После того, как Космонавт построил диаграмму своего движения, получилась следующая картина (рис. 1.5). В период удаления Космонавта (отрезок  $OT$  его мировой линии на диаграмме) его часы показали, что прошло семь лет. Проведя линию одновременности через точку  $T$ , мы получим на мировой линии Землянина отрезок  $OA$ , отвечающий промежутку времени в 1,96 года («замедление хода часов», наблюдаемое Космонавтом из движущейся системы отсчета).

Аналогичным образом рассматривая период возвращения Космонавта (отрезок  $TC$  его мировой линии на диаграмме), мы установим, что его часы показали - прошло еще семь лет. Проведя *другую* линию одновременности через точку  $T$ , мы получим на мировой линии Землянина отрезок  $BC$ , отвечающий промежутку времени в 1,96 года (такое же «замедление хода часов», снова наблюдаемое Космонавтом из движущейся системы отсчета). Землянин снова состарился лишь на 1,96 года!

Но учет, проделанный до сих пор из *двух* инерциальных систем Космонавта, еще не полон. Ни в одной из этих систем не учтен отрезок  $AB$ , также соответствующий прошедшему времени. Этот отрезок составляет 46,08 года (поправка на скачкообразное (!) изменение линии одновременности для *двух* систем отсчета Космонавта — удаляющейся и возвращающейся вместе с ним).

Противоречие разрешается, если учесть отрезок времени  $AB$ . Космонавт обнаружит, что учет этого времени соответствует поправке, необходимой *при переходе между системами одновременности в удаляющейся и возвращающейся системах отсчета*. Отдельный расчет дает для этого отрезка времени значение в 46,08 года. Такую поправку следует добавить к времени, прошедшему у Землянина, которое было измерено часами Космонавта на двух этапах

его движения. Теперь Космонавт может окончательно вычислить возраст Землянина (включая 21 год — возраст последнего к началу путешествия):

$$21+1,96+46,08+1,96=71 \text{ год.}$$

Сам же он может радоваться своей относительной молодости:

$$21+14=35 \text{ лет}$$

Попробуем выразить ОА и ОС в более общих обозначениях. Время по часам Землянина откладывается вдоль времени  $t$ . Обозначим половину полного времени отсутствия Космонавта на Земле через  $T = OC/2$ . Согласно мнению Космонавта, он летит от Земли всего лишь в течение времени  $T' = T\sqrt{1-\beta^2}$ , и обратно к Земле — столько же, а скачок времени  $AB$  возникает лишь для Землянина. Очевидно, каждая половина этого скачка составит

$$\Delta T = T - T' = T(1 - \sqrt{1-\beta^2}) \approx T\beta^2/2$$

### 1.8. Парадокс часов и эффект Доплера

Проблема парадокса часов может быть, как указывается в [Тэйлор и Уилер, 1966], изящно разрешена с помощью учета эффекта Доплера (E. Feenberg, American Journal of Physics, 27, 190, 1959). Вспомним, что Землянин оставался на Земле, тогда как Космонавт летал с огромной скоростью  $\beta c$  до далекой звезды и обратно на Землю. Пусть они оба наблюдали удаленную переменную звезду, яркость которой попеременно ослабевает и увеличивается с частотой  $\nu$  в системе отсчета Земли ( $\nu'$  в системе отсчета ракеты). Предположим, что расстояние до этой переменной звезды намного превышает длину пути Космонавта, а направление на нее в системе отсчета Земли перпендикулярно направлению движения Космонавта. *Оба наблюдателя зарегистрируют одно и то же общее число пульсаций переменной в течение всего путешествия Космонавта от его вылета до возвращения.* Исходя из этого факта и из формулы для доплеровского смещения

$$\nu' = \nu \frac{1 - \beta \cos \varphi}{1 + \beta \cos \varphi}$$

при данном угле наблюдения  $\varphi = 90^\circ$  в лабораторной системе отсчета можно найти, что к концу путешествия Космонавт постареет всего на 14 лет, тогда как Землянин — на все 50.

### 1.9 Эксперименты с мюонами

Очень ясное изложение принципиальной схемы *реальных* опытов с релятивистскими мезонами приведено в [Нэйв, 2003]. Объектом опыта является поток мюонов, летящих на землю с очень большой скоростью (0,98 скорости света), так что имеем

$$\gamma = 1 / \sqrt{1-\beta^2} = 5$$

Постоянная времени полураспада мюона составляет 1,56 микросекунды, процесс распада летящих мюонов играет роль своеобразных *движущихся* часов. В качестве показаний двух нужных нам *неподвижных* часов будем использовать число мюонов, регистрируемых при равных условиях на двух различных высотах — на высоте 10 км и на уровне земли. Понятно, что

количество зарегистрированных мюонов – совершенно объективный и однозначный показатель, не зависящий от выбора системы отсчета.

Результаты расчетов (отвечающие реальным экспериментам) приведены в таблице, и мы приступаем к их обсуждению, переходя от нижних строк к верхним.. Прежде всего отметим что теория относительности дает число мюонов, достигающих земли, более чем на 4 порядка выше, чем при нерелятивистском подсчете, и согласуется с результатами опыта. Это действительно связано с релятивистским замедлением времени - отношение времени движения к постоянной времени полураспада составляет не 21.8, а только 4.36, что при экспоненциальной зависимости и дает столь существенное отличие.

Указанное замедление времени “внутренних часов” мюона должен учитывать при релятивистском расчете *неподвижный* наблюдатель, связанный с землей. Именно с его точки зрения очень-очень быстро движущиеся мюоны распадаются в  $\gamma = 5$  раз медленнее, так что их постоянная времени полураспада оказывается равной 7.8 мкс, а не 1.56 мкс. Далее неподвижный относительно земли наблюдатель делит расстояние между счетчиками (10 км) на скорость движения мюонов, находит время движения между счетчиками равным 34 мкс, а отношение этого времени к релятивистски замедленной постоянной полураспада (7.8 мкс) равным 4.36.

Параметр	Релятивистский расчет		Нерелятивистский расчет
	В движущейся системе, связанной с мюоном	В неподвижной системе, связанной с Землей	
Расстояние между двумя счетчиками	2 км	10 км	10 км
Время движения между двумя счетчиками	6.8 мкс	34 мкс	34 мкс
Постоянная времени полураспада	1.56 мкс	7.8 мкс	1.56 мкс
Отношение времени движения к постоянной времени полураспада	4.36	4.36	21.8
Доля первоначального числа мюонов, достигающая земли	0.049	0.049	0.0000003

Когда же мы производим релятивистский анализ в системе отсчета, связанной с движущимся мюоном, мы вместо замедления времени должны учитывать другой хорошо известный релятивистский эффект – сокращение расстояния. *Движущийся* наблюдатель

должен исходить из того, что в его системе отсчета расстояние от одного счетчика числа мюонов до другого составляет уже не 10 км, а в  $\gamma = 5$  раз меньшее, т.е. 2 км, поскольку (с его точки зрения) Земля очень-очень быстро движется навстречу ему! Поскольку расстояние, проходимое при этом Землей, кажется ему в 5 раз меньше (2 км, а не 10 км), а взаимная скорость движения одинакова в обеих системах отсчета, то и время движения между счетчиками окажется (с точки зрения движущегося наблюдателя) также в 5 раз меньше (6.8 мкс, а не 34 мкс). Вместе с тем движущийся наблюдатель законно считает (ведь с его точки зрения мюоны неподвижны), что постоянная времени полураспада в точности равна 1.56 мкс. В результате он получает отношение времени движения между счетчиками к этой величине равным  $6.8 \text{ мкс} / 1.56 \text{ мкс} = 4.36$ , т.е. точно такое же, что и неподвижный относительно земли наблюдатель!

Таким образом, для часов, связанных с мюоном, расчеты в обеих системах отсчета, выполненные на основе *релятивистского* анализа, дали один и тот же результат.

## 2. ВРЕМЯ И ОТО

### 2.1. Основные представления ОТО

Чтобы включить гравитацию в теорию относительности, А. Эйнштейн предложил использовать известный экспериментальный факт, согласно которому “ускорение в гравитационном поле не зависит от химического состава или физического состояния тел..” Это означает, что *инертная* масса любой материальной частицы всегда пропорциональна ее *гравитационной* массе, так что при надлежащем выборе физических единиц эти массы можно считать равными.

Благодаря этому факту описание поведения частиц в *однородном* гравитационном поле можно заменить описанием их поведения в отсутствие поля в ускоренной (неинерциальной) системе отсчета. Так, если некоторый лифт свободно *падает вниз* в поле тяжести Земли, то поведение всех находящихся внутри него предметов было бы точно таким же, если бы поле тяготения вдруг исчезло, но наблюдатель при этом двигался бы *вверх* с ускорением, численно равным ускорению  $g$  свободного падения.

Это относится не только к обычным частицам, но и, например, к световым фотонам. Пусть в *неподвижном* лифте в *невесомости* лазер испускает свет, который распространяется прямолинейно (горизонтально). Для движущегося вверх с ускорением наблюдателя траектория распространения света уже не будет прямолинейной, а отклонится *вниз*. Отсюда следует, что в *поле тяготения* в *неподвижном* лифте свет также отклонится *вниз*, а вот в *свободно падающем лифте* для *находящегося там* наблюдателя луч света будет прямолинейным (см. рис. 2.1, заимствованный в [Сажин]).

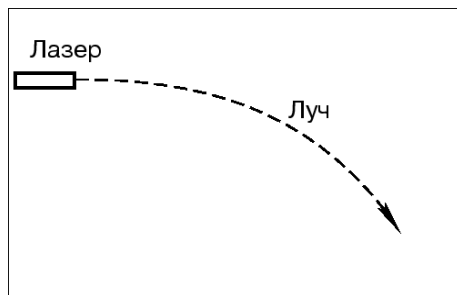


Рис. 2.1. Траектория луча света в поле тяжести.

В ОТО сформулированный выше тезис о том, что гравитационное поле можно (локально) заменить равноускоренной системой отсчета, принимается справедливым и в обратном толковании: ускорение тела можно приписать возникновению однородного гравитационного поля. Таким образом, свойства движения в неинерциальной системе отсчета такие же, как в инерциальной системе при наличии гравитационного поля. Следовательно, неинерциальная система отсчета эквивалентна некоторому гравитационному полю. Это обстоятельство называют принципом эквивалентности.

Таким образом, для наблюдателя в свободно падающем лифте все законы физики такие же, как и в инерциальных системах отсчета специальной теории относительности (по крайней мере, в непосредственном соседстве с центром лифта, т.е. *локально*).

Действие ускоренного движения и силы тяжести полностью взаимно компенсируются. Наблюдатель, сидящий в закрытом лифте и регистрирующий силы, представляющиеся ему



гравитационными, не может сказать, какая доля этих сил обусловлена ускорением и какая — действительными гравитационными силами. Он вообще не обнаружит никаких сил, если только на лифт не подействуют какие-либо другие (т.е. отличные от гравитационных) силы.

Из принципа эквивалентности следуют два важных вывода о распространении света в гравитационном поле.

- В гравитационном поле свет, как уже было отмечено, распространяется по кривой (не по прямой).
- При распространении света в гравитационном поле, вообще говоря, меняется его частота.

Второй эффект — изменение частоты света в гравитационном поле — заключается в следующем. Пусть наблюдатель, находящийся на Земле, посылает световой сигнал наблюдателю, находящемуся на некоторой высоте над поверхностью Земли, например, на вершине высокой башни. Эффект состоит в том, что наблюдатель на башне измерит несколько меньшую частоту, чем та, которая была послана наблюдателем с Земли. Это есть так называемое *гравитационное красное смещение*.

Объяснение этого эффекта заключается в следующем. Гравитационное поле  $g$  эквивалентно неинерциальной системе отсчета, движущейся вверх с ускорением  $a = -g$ . Пусть расстояние между наблюдателями (находящимися в ракете, движущейся с ускорением  $a$ ) равно  $H$ . При распространении фотона вверх его первоначальная энергия  $mc^2 = \hbar\omega_1$  уменьшится на величину  $mgH$  и станет равной  $\hbar\omega_2$ , где

$$\omega_2 = \omega_1 (1 - gH/c^2)$$

Эффект красного смещения очень мал. Так, при  $H = 20$  м относительное изменение частоты составит примерно  $2 \cdot 10^{-15}$ . Однако этот фантастически малый эффект был действительно измерен Паундом и Ребкой в 1960 г. для гамма-лучей (используя эффект Мёссбауэра). Башня в Гарвардском университете имела высоту 22,5 м, и частота используемых гамма-квантов  $\omega_\gamma = 2,2 \cdot 10^{19}$  сек<sup>-1</sup>. Отношение измеренного изменения частоты к предсказанному теорией значению (28) было равно  $1,05 \pm 0,10$ .

Следствием гравитационного красного смещения является то, что фотон частоты  $\omega$ , покидающий звезду и уходящий в бесконечность, будет восприниматься в бесконечности с частотой  $\omega' = \omega(1 - GM/Rc^2)$ , где  $M$  - масса звезды,  $R$  - ее радиус. Так, для Сириуса В вычисленное относительное смещение составляет  $-5,9 \cdot 10^{-5}$ , а измеренное равно  $-6,6 \cdot 10^{-5}$ .

## 2.2. Парадокс часов в ОТО

Фигурирующее выше в формуле для изменения частоты света произведение  $gH$  равно изменению гравитационного потенциала  $\phi$ . В конечном счете, когда наблюдатель движется в поле с потенциалом  $\phi$  со скоростью  $v$ , его собственное время  $\tau$  связано (в первом приближении) с координатным временем наблюдателя  $\tau'$  как

$$d\tau = d\tau' (1 + \phi/c^2 - v^2/2c^2)$$

Чем выше потенциал  $\phi$ , отсчитанный от нуля (т.е. от потенциала точки, где гравитация отсутствует), тем медленнее течет время. Поэтому, например, большее время покажут те часы, которые расположены дальше от Солнца, т.е. ближе к бесконечно удаленной точке с нулевым потенциалом. Теперь формулы для изменения темпа течения времени в зависимости от скорости и высоты используются в навигационной технологии GPS и ГЛОНАСС.

Вернемся еще раз к парадоксу часов. В рамках СТО мы выяснили, что только одна из двух систем отсчета – система остававшегося на Земле Землянина – может рассматриваться как инерциальная. Космонавт, вначале улетавший от Земли, а затем возвращавшийся к ней, на каждом из этих двух этапов был связан соответственно с двумя *различными* инерциальными системами отсчета, и парадокс возникает именно в связи с его переходом из одной системы отсчета в другую.

ОТО предлагает метод расчета течения времени как раз на этапе этого перехода. Воспользуемся приближенным методом, приведенным в [Сажин]. Нам достаточно рассмотреть лишь три этапа:

- инерциальный полет ракеты при удалении от Земли на расстояние  $H$  (этап старта нас не интересует, ракета могла просто пролететь мимо Земли, запустив часы в момент, когда она с ней поравнялась)
- изменения скорости (торможение) с величины  $v$  до величины  $-v$
- инерциальный полет ракеты при возвращении к Земле (этап финиша нас также не интересует, ракета могла просто пролететь мимо Земли, остановив часы в момент, когда она с ней поравнялась)

С точки зрения летящего на ракете Космонавта, на первом и последнем тапах Землянин инерциально двигался относительно него, и потому часы Землянина часы должны показать *меньшее* время

$$(\tau_1 + \tau_3) = (\tau'_1 + \tau'_3) \sqrt{1 - \beta^2} \approx (\tau'_1 + \tau'_3) (1 - v^2/2c^2)$$

(штрихом отмечены показания часов Космонавта, нештрихованные величины отвечают показаниям часов Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта).

Что же происходит с Землянином по мнению Космонавта на этапе торможения ракеты? Космонавт может считать, что к Землянину в начале 2-го этапа скачком прикладывается (в положительном направлении) однородное поле тяготения, которое в конце 2-го этапа скачком же выключается. Под действием этого поля скорость Землянина меняется от  $-v$  до  $+v$ . Остается проделать вычисления, которые покажут, что длительность этого этапа для Землянина перекрывает ту “экономия” времени, которую он осуществил (с точки зрения Космонавта) на 1-м и 3-м этапах.

Согласно ОТО (и пренебрегая скоростью на этапе торможения), на втором этапе время торможения по часам Землянина составит

$$\tau_2 = \tau'_2 (1 + \phi/c^2) = \tau'_2 (1 + gH/c^2)$$

Учтем, что ускорение  $g$  можно записать в виде

$$g = 2v/\tau'_2$$

а пройденный путь  $H$  - в виде

$$H = v\tau'_1$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= \tau'_2 (1 + gH/c^2) = \tau'_2 [1 + (2v/\tau'_2)(v\tau'_1)/c^2] = \\ &= \tau'_2 [1 + (2v^2/c^2)(\tau'_1/\tau'_2)] = \tau'_2 + \tau'_1 (2v^2/c^2)\end{aligned}$$

Учитывая симметрию 1-го и 3-го этапа, положим

$$\tau_1 = \tau_3 = \tau, \quad \tau'_1 = \tau'_3 = \tau',$$

Тогда

$$\tau_2 = \tau'_2 + \tau' (2v^2/c^2)$$

Теперь вычислим суммарное время для трех этапов:

$$\begin{aligned}2\tau + \tau_2 &= 2\tau' (1 - v^2/2c^2) + \tau'_2 + \tau' (2v^2/c^2) = \\ &= \tau' (2 - 2v^2/2c^2 + 2v^2/c^2) + \tau'_2 = \tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2\end{aligned}$$

(Как указано выше, штрихом отмечены показания часов Космонавта, нештрихованные величины отвечают показаниям часов Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта).

Иными словами, суммарное время трех этапов по часам Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта составит

$$T_{\text{сумм}} = \tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2$$

Разность суммарного времени между часами Землянина и Космонавта в системе отсчета Космонавта составит:

$$\Delta T_{\text{сумм}} = [\tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2] - [2\tau' + \tau'_2] = \tau' v^2/c^2$$

Как видим, время торможения  $\tau'_2$  в рассматриваемом приближении вообще *не вошло* в выражение для разности  $\Delta T_{\text{сумм}}$ , а также в отношение этой разности к суммарной длительности *первого* и *третьего* этапов (этап торможения сюда не включен):

$$\delta = \Delta T_{\text{сумм}} / 2\tau' = 1/(2 v^2/c^2)$$

Таким образом, согласно мнению Космонавта, показания часов Землянина должны *превысить* показания его собственных часов в  $(1 + \delta)$  раз по отношению к суммарной длительности *первого* и *третьего* этапов. Напомним, что согласно СТО показания часов Землянина, по мнению Космонавта, должны были быть, напротив, *меньше* этой суммарной длительности в  $(1 + \delta)$  раз.

Что касается системы отсчета Землянина, то она является инерциальной, время торможения Космонавта можно положить равной нулю и, в строгом соответствии со СТО, с точки зрения Землянина показания часов Землянина должны *превысить* показания часов Космонавта в  $(1 + \delta)$  раз по отношению к суммарной длительности этапов удаления и возвращения Космонавта.

Таким образом, парадокс часов в рамках ОТО исчезает благодаря характеру течения времени на этапе торможения часов.

### 2.3. Эксперименты по проверке ОТО

Об экспериментах, подтверждающих выводы ОТО относительно темпа течения времени, рассказывается, в частности, в [Сажин]:

*“Первый эксперимент был сделан в 1971 г. Четверо часов, сделанных на основе цезиевых стандартов частоты, были помещены на два самолета и совершили кругосветное путешествие. Одни часы путешествовали в восточном направлении, другие обогнули Землю в западном направлении. Разница в скорости хода времени возникала из-за добавочной скорости вращения Земли, при этом учитывалось и влияние поля тяготения на полетной высоте по сравнению с уровнем Земли. В результате эксперимента удалось подтвердить общую теорию относительности, измерить различие в скорости хода часов на борту двух самолетов.*

*Измерения временной задержки, зависящей от потенциала, были сделаны четыре года спустя. Исследователи синхронизовали двое часов, затем поместили одни часы на вершину горы, а вторые оставили на физическом факультете, расположенном у подножья горы. Разница в высоте составляла 3250 м. Время за которое измерялась задержка часов составляло 66 дней. Из-за различия в потенциале гравитационного поля Земли скорости хода часов были различны. Измерения опять подтвердили общую теорию относительности и измерили задержку с точностью 15%.*

*Два года спустя подобный эксперимент был повторен в Японии. Исследователи поместили одни часы на гору, а другие под гору. Разница высот составляла 2818 м, а время измерения эффекта было две недели. Поскольку часы, используемые японскими исследователями, были значительно точнее, точность измерений составляла 5%. Вновь предсказания общей теории относительности были подтверждены.*

*Одни из наиболее точных измерений были сделаны во время высотного полета ракеты. На борту ракеты находился водородный лазер, который использовался в качестве высокостабильных часов. Ракета поднялась на 10 000 м, а затем упала в Атлантический океан. Для измерений потенциального члена в задержке часов пришлось компенсировать вклад доплеровского члена (ракета двигалась быстро), а также ионосферные эффекты. Тем не менее, измерения были благополучно проведены и правильность формулы для времени задержки была подтверждена с точностью 0.01%.”*

Прочитав, наконец, совсем свежую статью [Ям, 2004]:

*“Сегодня в продаже имеются GPS-приемники, определяющие свое положение с точностью до 15 м. Чтобы погрешность была меньше 30 м. координаты нужно вычислять с учетом релятивистской поправки. При синхронизации часов GPS-приемника с часами спутника нельзя пренебрегать влиянием скорости на ход времени. Согласно теории относительности. в быстро движущихся объектах время течет медленнее, чем в неподвижных. Каждый спутник системы GPS мчится по орбите со скоростью около 14 тыс. км/ч, а значит, атомные часы на нем отстают от земных примерно на 7 мкс за сутки.*

*Еще сильнее на ход времени влияет тяготение. На орбите навигационных космических аппаратов, средний радиус которой составляет около 26 тыс. км, сила земного притяжения примерно в 4 раза меньше, чем на поверхности планеты. Поэтому часы на спутниках уходят вперед на 45 мкс за сутки. В итоге в системе GPS приходится вводить поправку в 38 мкс. Если этого не делать, то ошибка определения расстояния будет нарастать со скоростью 11 км в сутки. (На самом деле все несколько сложнее, поскольку спутники обращаются не по круговым, а по эллиптическим орбитам, и их удаленность от Земли периодически меняется.)*

*В 1970-х г/г. военным разработчикам первого варианта системы GPS необходимость внесения релятивистских поправок не казалась столь очевидной. Одни специалисты считали учет влияния скорости и тяготения необходимым, а другие - совершенно излишним. Прийти к*

---

*единому мнению так и не удалось, поэтому первый навигационный спутник все-таки оснастили системой коррекции времени, но не включили ее, рассчитывая задействовать только в случае необходимости. Очень скоро выяснилось, что она должна работать постоянно.”*

### 3. ВРЕМЯ И ТШРВ

#### 3.1. Исходные представления о пространстве-времени в ТШРВ

Напоминаю читателю, что, начиная с этой главы, ему предлагается отнюдь не общепринятая к настоящему моменту новая парадигма автора данной книги. Основные концепции, лежащие в основе теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ), подробно изложены в моей книге [Шульман, 2003]. В этой модели течение времени считается целиком обусловленным феноменом расширения Вселенной. Последняя представляется в виде 3-мерной гиперсферической поверхности 4-мерного шара, расширяющегося в 4-мерном чисто евклидовом пространстве, т.е. является оболочкой такого шара. В силу расширения шара последовательная совокупность экземпляров его внешней гиперсферы, подобно годичным кольцам на срезе ствола дерева, отмечает последовательность моментов времени существования Вселенной. Иными словами, вектор времени направлен от центра шара вдоль его радиуса и не принадлежит самой гиперповерхности шара. Напротив, оставшиеся три пространственных вектора 4-мерного ортогонального базиса всегда принадлежат самой текущей гиперсфере, характеризующейся внутренней неевклидовой (сферической) геометрией. Таким образом, в каждый отдельный момент времени наша Вселенная трехмерна и отличается конкретным значением радиуса кривизны (радиуса 4-сферы). Течению времени отвечает возрастание этого радиуса. Заметить течение времени мы можем, выявляя косвенные признаки непостоянства радиуса кривизны.

Заметим, что ТШРВ обходится без привлечения идеи о псевдоевклидовости 4-пространства, время в новой теории в метрическом отношении не отличается от пространственных измерений.

Фундаментальным отличием ТШРВ является также представление о механическом движении. Вместо привычных концепций точки и точечной частицы ТШРВ исходит из представления о реально существующей (а не возникающей в виде траектории) мировой линии частицы. При расширении Вселенной внешняя гиперсфера 4-шара как бы скользит вдоль мировой линии, а нашему представлению о частице следует поставить в соответствие точку пересечения мировой линии с текущей гиперсферой. Это означает, что в ТШРВ на самом деле есть только один универсальный процесс движения, а не бесконечное множество независимых механических движений. Такая модель, как показано в [Шульман, 2003], позволяет естественным и интуитивно понятным образом определить эффект Хаббла, инерциальное и неинерциальное движение, предельную скорость движения и т.п.

#### 3.2. Одновременность и изохроны

Исходная идея ТШРВ состоит в обусловленности течения времени феноменом расширения Вселенной. Поэтому *одновременными* должны считаться 4-мерные события, чьи образы-точки являются точками пересечения множества мировых линий *с одной и той же текущей гиперсферой*. Собственно, каждая такая гиперсфера, будучи внешней оболочкой 4-шара в текущий момент времени, представляет собой как бы мгновенную фотографию Вселенной, поэтому мы будем называть ее *изохроной*.

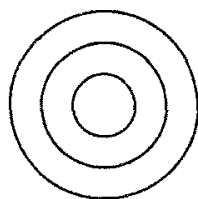


Рис. 3.1. Изохроны, соответствующие увеличивающемуся возрасту Вселенной

Изменение возраста Вселенной однозначно ассоциируется с 4-мерным расстоянием между изохронами. Поэтому естественно ввести понятие *абсолютного времени*, отождествив его с с этим расстоянием (деленным на скорость света  $c$ ), которое должно отсчитываться *вдоль* 4-мерного радиуса. С другой стороны, если *разным* моментам возраста Вселенной отвечают *различные* изохроны, то говорить о (*3-мерных*) *пространственных промежутках* в ТШРВ можно лишь применительно к *различным* точкам *одной и той же* изохроны.

Таким образом, представления об одновременности и о пространственных промежутках в ТШРВ принципиально отличаются от соответствующих базовых представлений теории относительности. С другой стороны, как будет показано ниже, между представлениями СТО и ТШРВ существует глубокое и ясное соответствие.

При огромном значении *текущего* (современного нам) радиуса 4-шара сама кривизна 3-мерной Вселенной становится крайне малой. Вместо ряда концентрических сфер-изохрон для *локального* анализа становится достаточным и удобным рассматривать параллельные слои изохрон, отвечающие Вселенной в различные моменты времени. Мировые линии, направленные *по радиусу* 4-шара, т.е. вдоль вектора времени, являются ортогональными к параллельным изохронам и физически отвечают “дрейфу во времени” *неподвижных* частиц. Напротив, мировые линии, *пересекающие изохроны под непрямым* углом, отвечают равномерно движущимся частицам.

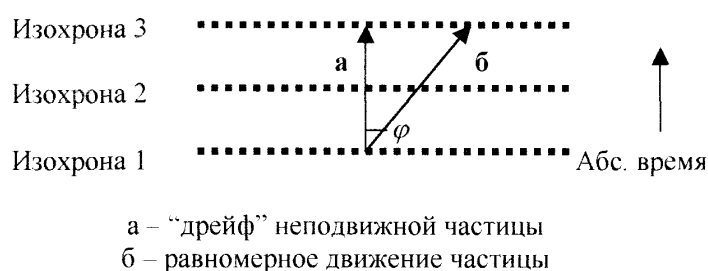


Рис. 3.2. Локальное представление расширения Вселенной

По мере расширения Вселенной (и исключительно за счет этого обстоятельства) расстояние между точками пересечения двух приведенных мировых линий вдоль текущей изохроны Вселенной изменяется *равномерно и прямолинейно*. Тем самым представление об инерциальном движении переводится из априорного (и часто приводящего к порочному кругу определений) во вторичное, которое непосредственно и естественно вытекает из порождающей его исходной модели.

Мы можем отметить существование естественного ограничения на возможный угол отклонения мировой линии от нормали к изохроне; очевидно, этот угол не может быть больше прямого, что, бесспорно, увязывается с наличием предельной скорости движения, равной упомянутой выше величине  $c$ . Отношение  $v/c$  скорости  $v$  движения частицы к скорости света

оказывается мерой (синусом) угла отклонения вектора 4-мерного перемещения от нормали к изохроне. *Особо важным является то, что эта мера неаддитивна: при сложении углов результирующая относительная скорость не равна сумме относительных скоростей.* Наконец, понятно, что движение с предельной скоростью  $c$  (скоростью света) происходит *вдоль изохроны – текущего сечения Вселенной, перпендикулярно к ее радиусу.*

### 3.3. СТО и эволюция картины мира

Очень важно сопоставить концепции ТШРВ с представлениями специальной теории относительности, чему и посвящена настоящая глава. Первый круг вопросов связан с анализом *эволюции* картины мира в рамках модели пространства Минковского, обладающего нулевой кривизной.

Для перехода к одной инерциальной системы отсчета другой в СТО используются преобразования Лоренца, т. е. преобразования *поворота* в 4-мерном псевдоевклидовом пространстве. Эти преобразования образуют группу Лоренца, включающие вращения в трех чисто пространственных и в трех пространственно-временных плоскостях (последние называются *бустами*). Между тем существует более обширная группа преобразований в этом пространстве – группа Пуанкаре, которая, помимо преобразований поворота, содержит также операции сдвига вдоль трех пространственных и одной временной оси. Группа Пуанкаре характеризуется поэтому 10 параметрами. Для каждого из 6 вращений и 4 сдвигов можно ввести линейный дифференциальный оператор (генератор), позволяющий выразить в первом приближении отклонение вектора при малом отклонении соответствующего параметра преобразования (угла поворота или величины сдвига). При этом указанные *математические* операторы с точностью до размерной константы совпадают с основными *физическими* операторами (момента импульса, импульса и энергии). Именно по этой причине законы сохранения названных физических величин связаны с симметрией пространства Минковского относительно поворотов и сдвигов.

Казалось бы, параллельный сдвиг во времени (назовем его сдвигом Пуанкаре) – единственно возможный вид отображения множества всех 4-мерных событий в себя, отвечающий переходу к новому моменту времени в качестве нулевого (т.е. текущего) отсчета. В этом случае для последовательности световых импульсов, испущенных из некоторой пространственной точки, мы получим ряд световых конусов, показанных на рис. 3.3. С течением времени, которое (течение) само по себе является уже не математическим, а *физическим* феноменом, точки одного светового конуса (например,  $s_0$ ) переходят в точки следующего светового конуса (например,  $s_1$ ), лежащие на той же самой временной вертикали (например, проходящей через координату  $x_1$ ).



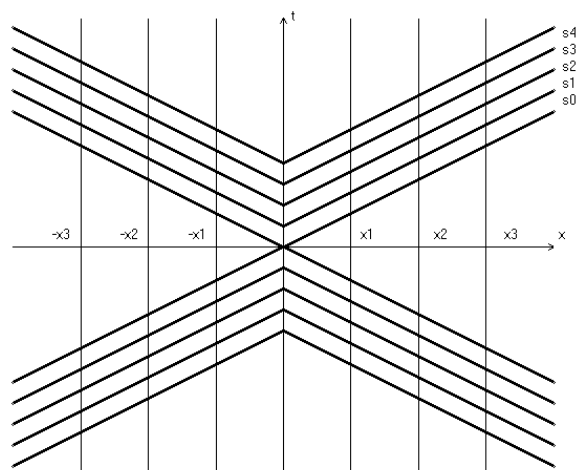


Рис. 3.3. Последовательность световых гиперповерхностей, отвечающая сдвигу Пуанкаре

Однако такая модель хронологической эволюции, во-первых, не является априорно единственно возможной, во-вторых, не согласуется с вышеописанной моделью изохрон ТШРВ, а в третьих (и это главное!) не удовлетворяет требованиям релятивистской инвариантности.

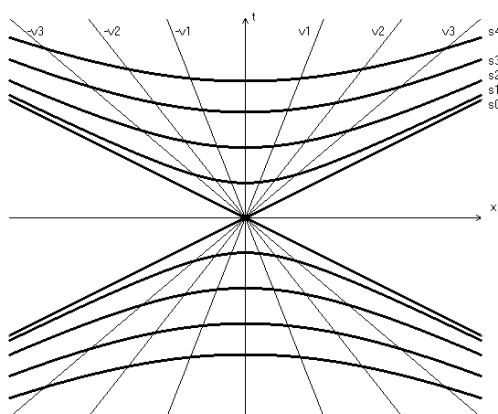


Рис. 3.4. Последовательность гиперповерхностей, отвечающая E-сдвигу

Действительно, в другой системе координат выбранная нами линия, проходящая через координату  $x_1$ , уже не будет параллельной оси времени. Кроме того, расстояния вдоль новой оси времени между световыми конусами в новой системе отсчета не будут равны этим расстояниям в старой системе. Поэтому выбранные нами два семейства геометрических мест не позволяют инвариантным образом параметризовать все множество 4-мерных событий и описать их (реальную!) эволюцию во времени.

Для соблюдения требований релятивистской инвариантности нам необходимо выбрать другую пространственно-временную сетку (см. рис. 3.4). Как мы видели в разделе 1.4, инвариантно определенными при любых преобразованиях Лоренца оказываются семейства гиперповерхностей

$$t^2 c^2 - r^2 = const,$$

расстояния между которыми по оси времени равны в любой системе отсчета. Далее, также инвариантным в любой системе отсчета оказывается положение прямых линий, соединяющих

начало координат с заданной 4-мерной точкой. В результате мы фактически построили Лоренц-инвариантную систему координат. Аналогичным образом осуществима параметризация абсолютно удаленных *пространственных* слоев *вне* начального светового конуса, но мы не будем на этом останавливаться.

На самом деле мы также определили траектории “дрейфа” образов 4-мерных событий при некотором сдвиге во времени системы координат. Действительно, если все выбранные нами инвариантные гиперповерхности по оси времени расположены одна от другой на одном и том же расстоянии, то и расстояния между ними вдоль любой радиальной линии между собой также будут равны (каждая из этих линий играет роль оси времени в соответствующей системе координат, см. анализ в разделе 1.4). Соответственно, проекции отрезков этих линий на ось времени (и притом в любой системе координат) также будут равны между собой. Таким образом, мы имеем полное право определить такой *новый* тип сдвига во времени, при котором точки одной гиперповерхности в точности переходят в соответствующие точки следующей гиперповерхности, т.е. имеет место как бы “параллельный” перенос этих поверхностей! Для хронологического оператора, реализующего подобный эволюционный сдвиг, я предлагаю использовать название “Е-оператор” (как больше понравится читателю – от слова “эволюция” или в честь автора теории относительности).

Этот Е-сдвиг, по-существу, определяет не параллельный перенос оси времени в какой-либо случайно выбранной системе координат, а сдвиг *интервала* в пространстве Минковского. Далее, пространственные сдвиги и все вращения должны теперь также определяться в 4-мерной точке не для произвольно выбранной системы координат, а по отношению к соответствующей гиперсфере и соответствующему направлению скорости. В совокупности все эти модифицированные преобразования образуют новую 10-параметрическую Е-группу, т.е. замкнутое множество операций, и порождают соответствующие генераторы. В частности, Е-оператор энергии соответствует симметрии пространства Минковского не вдоль произвольно выбранной оси времени, а вдоль объективно заданной мировой линии инерциального движения пробного тела.

Легко видеть, что представление о гиперсферах в пространстве Минковского, переходящих одна в другую под действием хронологического Е-оператора, полностью соответствует представлениям ТШРВ об изохронах.

### 3.4. ТШРВ и СТО

Теперь мы можем приступить к установлению соответствия между СТО и ТШРВ. При этом необходимо проводить четкое различие между обычной системой координат (“время-перемещение”) и используемой в ТШРВ системой “нормаль-изохрона” (речь идет о поверхности 4-сферы). Именно последняя - вновь введенная - система координат позволит нам избежать привлечения коцепции псевдоевклидовой метрики, лежащей в основе формализма Минковского.

Как мы видели в предшествующем подразделе, последовательность вложенных гиперповерхностей фактически определяет течение *абсолютного* времени в рамках СТО. На рис. 3.5 еще раз воспроизведена типичная для СТО система координат: по оси ординат отложено время  $t$ , по оси абсцисс - перемещение  $x$ . Прямой линией под углом  $45^\circ$  обозначен световой конус, выходящий из *начальной* точки движения  $O$ .

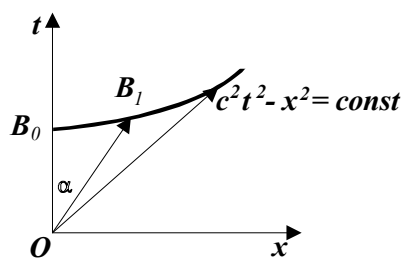


Рис. 3.5. Типичная система координат СТО

Для *всех* точек *этого* конуса выполняется условие  $c^2 t^2 - x^2 = 0$ . Это условие выполняется и в *любой другой* инерциальной системе, где значения  $t'$  и  $x'$ , в общем случае, отличаются от значений  $t$  и  $x$ .

Внутренней прямой линией под углом  $\alpha < 45^\circ$  к оси времени изображена мировая линия частицы (от события  $O$  до события  $B_1$ ), скорость которой меньше скорости света. Для такой линии угол  $\alpha$  отклонения вектора скорости от оси времени будет меньше  $45^\circ$ ; этот угол определен соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha = x/(c \cdot t) = v/c$$

Данный угол поворота относительно временной оси, собственно говоря, отвечает выбору в СТО системы отсчета. Все множество физически реализуемых систем отсчета соответствует совокупности допустимых углов поворота.

Перейдем теперь к построениям в ТШРВ. Как изобразить в системе “нормаль-изохрона” то, что ранее было построено в системе “время-перемещение”?

Прежде всего условимся в соответствии с рис. 3.2 изображать изохроны линиями, параллельными оси абсцисс. Далее, по вертикальной оси будем откладывать величину интервала (в терминологии СТО), деленного на скорость света, или абсолютного времени (в терминологии ТШРВ) – таким образом расстояние между указанными поверхностями, деленное на скорость света, для *неподвижного* наблюдателя в СТО будет совпадать с промежутком абсолютного времени между соответствующими изохронами.

Когда неподвижный наблюдатель (по его часам) в СТО достигает точки  $B_0$ , движущийся наблюдатель по *собственным часам* достигнет точки  $B_1$  (все прямые мировые линии, выходящие из начальной точки и заканчивающиеся на кривой  $c^2 t^2 - x^2 = const$ , согласно СТО, по определению обладают этим свойством). Если скорость движения наблюдателя  $B_1$  очень мала, то время движения  $B_1$ , показываемое часами *неподвижного* наблюдателя  $B_0$ , будет практически равно абсолютному времени. Если же скорость движущегося наблюдателя велика, то время его движения до заданной изохроны по часам неподвижного наблюдателя будет больше, согласно СТО, в  $[\sin(v/c)]^{-1}$  раз. Иначе говоря, в системе “нормаль-изохрона” время  $t$ , показываемое часами неподвижного наблюдателя, будет изображаться *наклонной* мировой линией, соединяющую начальную точку предшествующей изохроны с точкой последующей изохроны, отстоящей от конца мировой линии неподвижного наблюдателя в точности на расстояние  $x$ , которое определит этот неподвижный наблюдатель по *своей* линейке.

Спрашивается, как соотносятся между собой угол поворота  $\alpha$  в системе “время-перемещение” (СТО) и угол  $\varphi$  отклонения вектора 4-мерного перемещения (с определенной скоростью, см. рис. 3.2) от кратчайшего 4-мерного пути (с нулевой скоростью) между сечениями Вселенной (в системе “нормаль-изохрона”)? Легко видеть, что угол  $\varphi$  на рис. 3.2 не

равен углу  $\alpha$  на рисунке 3.5; действительно, когда первый стремится к  $90^\circ$ , второй стремится к  $45^\circ$ . С учетом определений углов мы можем заключить, что  $\operatorname{tg}\alpha = \sin\varphi$ .

С другой стороны, между этими углами заведомо установлено взаимно-однозначное соответствие, так что переходу от одного вектора 4-мерного перемещения к другому в системе “нормаль-изохрона” всегда отвечает совершенно определенное преобразование Лоренца (в системе “время-перемещение”). При этом в СТО инвариантом служит интервал, а в ТШРВ, как легко видеть из рис. 3.2 - промежуток абсолютного времени (расстояние) между изохронами.

Мы, таким образом, получили наглядную интерпретацию преобразования Лоренца средствами чисто евклидовой (а не псевдоевклидовой) геометрии, причем во вновь введенной системе координат аргумент преобразования определяется не через гиперболический арктангенс (как в СТО), а через обычный арксинус скорости. При этом необходимость в использовании (и физической интерпретации) мнимых отрезков и углов отпадает.

Сопоставим некоторые характерные случаи, представленные, соответственно слева и справа на рис. 3.6 в СТО и в ТШРВ. На диаграмме (а) изображены события, отвечающие перемещениям из начала координат в точки линии, определенной условием *постоянства интервала* до них  $c^2t^2 - x^2 = ds^2 = \text{const}$ . Слева на традиционных осях отмечены координаты точек  $\{x_1, t_1\}, \dots, \{x_4, t_4\}$ . Справа в системе осей “нормаль-изохрона” показаны те же самые перемещения между двумя параллельными изохронами: здесь величина промежутка абсолютного времени (интервала) между изохронами отложена по вертикали, времени движения соответствуют наклонные линии, перемещения отложены вдоль изохроны (в данном случае все частицы перемещаются между одной и той же парой изохрон!).

На диаграмме (б) изображена ситуация, когда группа частиц, в одно и то же время покинувших начальную точку, *одновременно* (с точки зрения неподвижного наблюдателя СТО) достигнет ряда *различных* изохронных поверхностей. Соответственно и в ТШРВ концы перемещений, лежащих на окружности постоянного радиуса, принадлежат *разным* изохронам, т.е. *различным* сечениям Вселенной.

На диаграмме (в) изображена ситуация, когда группа частиц, в одно и то же время покинувших начальную точку, достигает *различных* изохронных поверхностей в точках, удаленных (с точки зрения неподвижного наблюдателя СТО) *на одно и то же* расстояние от этой начальной точки. Соответственно и в ТШРВ концы перемещений, лежащих на одной и той же вертикали, принадлежат *разным* изохронам, т.е. *различным* сечениям Вселенной.

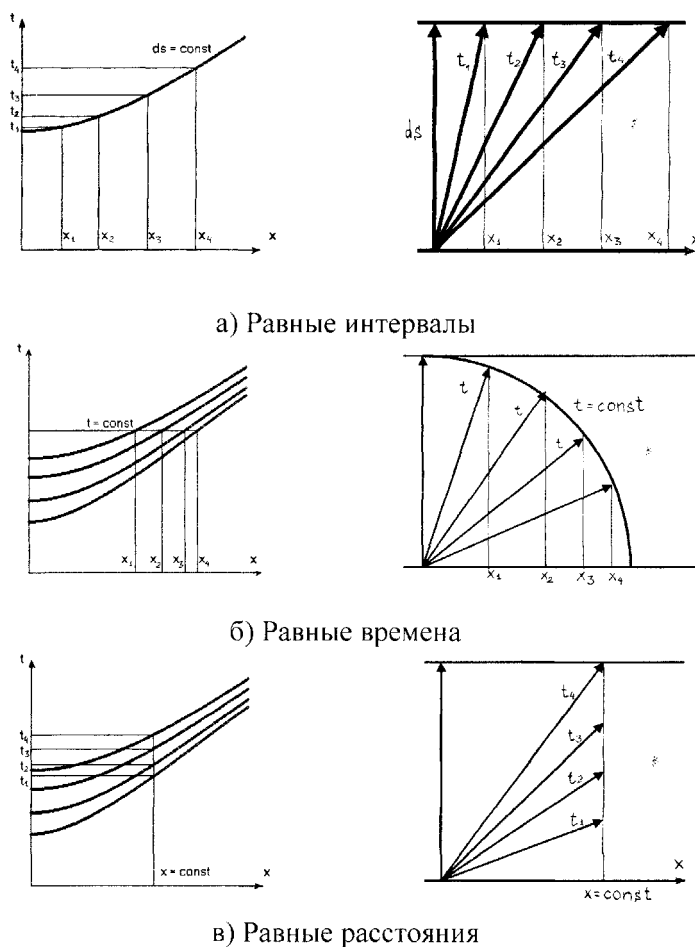


Рис. 3.6. Сопоставление представлений в СТО и в ТШРВ

Интересно также сравнить представления о физической причинности. В СТО эти представления наглядно изображаются общеизвестной диаграммой на рис. 3.7 в системе координат “время-перемещение”. На этой диаграмме некоторое интересное нас первое (4-мерное) событие помещено в начало координат (точку пересечения осей  $t$  и  $x$ ).

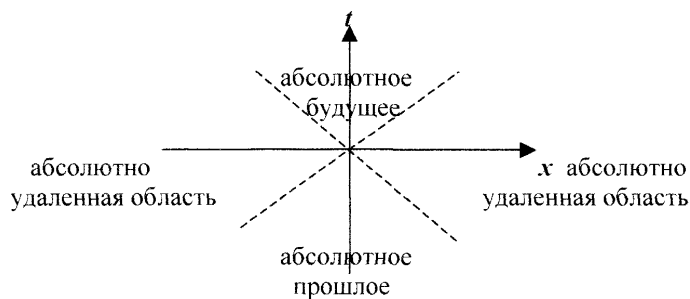


Рис. 3.7. Диаграмма “прошлое - будущее” в СТО

Пунктиры начального “светового конуса” разграничивают три области прилегающего континуума. Если второе событие расположено в области абсолютного прошлого по

отношению к первому событию, то в любой системе отсчета оно предшествует первому, 4-мерный интервал между двумя событиями является времениподобным, а наименьшим временным промежутком они разделены в той системе отсчета, где их пространственные компоненты совпадают (т.е. в системе отсчета, “движущейся” от первого события ко второму). Симметричным образом обстоит дело в области абсолютного будущего, только здесь в любой системе отсчета первое событие предшествует второму. Если же второе событие лежит вне “светового конуса”, то в любой системе отсчета эти события происходят в разных местах пространства, причем наименьшим расстояние между ними является в той системе отсчета, где они происходят одновременно; это – “область абсолютного удаления” событий.

В развиваемой здесь теории (система координат “нормаль-изохрона”) ситуация трансформируется следующим образом: поскольку области пространства-времени в СТО, разделяемые изохронными поверхностями, лежат целиком *внутри* начального светового конуса, т.е. отвечают только причинно-связанным событиям, постольку на диаграммах ТШРВ *вообще нет места т.н. абсолютно-удаленным* точкам, лежащим *вне* начального светового конуса!

В рамках локального подхода, когда изохрона (сечение Вселенной данного радиуса, отвечающего возрасту  $T$ ) изображается просто горизонтальной линией (см. рис. 3.8), область абсолютного будущего располагается над этой линией, область абсолютного прошлого – под линией, а абсолютно удаленная область совпадает с 3-мерным сечением Вселенной. В отличие от СТО, область вне начального “светового конуса” вырождается в 3-мерную гиперповерхность, т.е. совпадает с этим “световым конусом”.

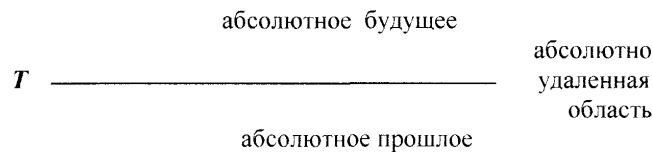


Рис. 3.8. Диаграмма “прошлое - будущее” в ТШРВ (локальное представление)

При глобальном рассмотрении пространственное сечение Вселенной изображается (на рис. 3.9) окружностью, совпадающей с абсолютно удаленной областью. Область абсолютного прошлого лежит внутри, а область абсолютного будущего – вне окружности.



Рис. 3.9. Диаграмма “прошлое - будущее” в ТШРВ (глобальное представление)

### 3.5. ТШРВ и относительность

В теории относительности постулируется равноправие всех инерциальных систем отсчета. Указанный принцип, с одной стороны, обобщает огромное количество экспериментальных фактов. С другой стороны, этот принцип теории относительности,

являющийся прямым наследником принципа относительности Галилея, является декларируемой аксиомой, а не следствием каких-либо *более общих* физических утверждений.

В ТШРВ принцип (ограниченного) равноправия всех инерциальных систем, напротив, является выводимым следствием модели, исходящей из универсальности механического движения как феномена, обусловленного расширением Вселенной. Чтобы показать это, рассмотрим рис. 3.10.

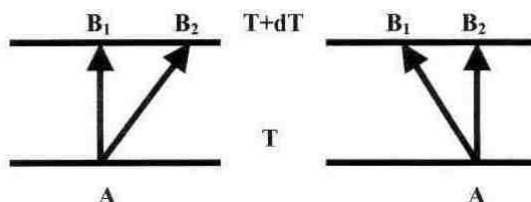


Рис. 3.10. Относительность систем отсчета

Пусть два наблюдателя в момент времени  $T$  находятся в *одной и той же* пространственно-временной точке  $A$  изохроны  $T$ , а впоследствии, двигаясь равномерно и прямолинейно, пересекают в *двух различных пространственно-временных точках*  $B_1$  и  $B_2$  другую изохрону (другую световую поверхность)  $T+dT$ . Какими измерительными возможностями обладают наши наблюдатели? Согласно как СТО, так и ТШРВ, они оба могут располагать часами, которые независимо от характера их движения, покажут одно и то же (собственное для каждого из них!) время – время  $dT$ , разделяющее эти изохроны. Далее, каждый из них может обладать линейкой, которая способна измерять расстояние между ними вдоль изохроны.

Поскольку никаких других измерительных устройств в их распоряжении не имеется, у них сложится различное, хотя и симметричное представление о том, что происходит (см. рис. 3.10). Первый наблюдатель будет считать, что именно он неподвижен (“дрейфует” вдоль вектора времени из точки  $A$  в точку  $B_1$ ), и что второй наблюдатель вследствие *своего* движения попадет в точку  $B_2$  справа от него. Второй же наблюдатель будет считать, что это он неподвижен (“дрейфует” вдоль вектора времени из точки  $A$  в точку  $B_2$ ), и что первый наблюдатель вследствие *своего* движения попадет в точку  $B_1$  слева от него. Ни один из наблюдателей не имеет инструментов для *прямого* определения угла отклонения своей траектории от нормали к изохроне. А ведь именно этот угол (его синус) однозначно соответствует скорости движения!

### 3.6. ТШРВ и абсолютная система отсчета

Однако сказанное не означает, что не существует *косвенных* методов для определения этого угла и, тем самым, *абсолютной* системы отсчета. Действительно, процесс *непосредственного измерения* конкретной скорости с помощью часов и линейки в ТШРВ как будто бы не позволяет выделить систему отсчета наблюдателя по сравнению с движущейся относительно него другой инерциальной системой. Однако взгляд, брошенный на рис. 3.11, дает основание думать, что такое различие все же объективно существует и, следовательно, хотя бы каким либо *косвенным* образом могло бы быть установлено.

Чтобы лучше осмыслить ситуацию, рассмотрим пример из школьной (классической) физики. Пусть наблюдатель живет на маленьком острове среди безбрежной морской глади и измеряет скорость проходящих мимо пароходов. Для определенности будем считать, что

каждый пароход проходит через участок эталонной длины, так что нашему наблюдателю достаточно только включить и выключить секундомер в соответствующие моменты времени.

Пока наш наблюдатель осуществляет каждое измерение независимо от всех остальных, никаких проблем у него не возникает, и на досуге он даже может пофилософствовать о том, что скорость парохода относительно него самого равна скорости наблюдателя относительно парохода.

Однако в один прекрасный день наш наблюдатель видит знакомый пароход, который теперь уже следует в обратную сторону. Из любопытства заглянув в старые записи, наблюдатель определяет, что скорость парохода в обратном рейсе *иная*, нежели в прямом. Любопытный наблюдатель спрашивает по радио капитана парохода, в чем причина различия. Но капитан отвечает, что режим работы двигателя тот же самый, а значит и скорость должна быть точно такой же.

Задумавшись, наш наблюдатель приходит к гипотезе о том, что (если капитан говорит правду) в море есть течение, скорость которого в одном случае складывается со скоростью парохода, а в другом случае вычитается из нее. Настойчивый наблюдатель просматривает свои записи за длительный период, выписывает для каждого корабля (обладающего своей индивидуальной, но неизменной скоростью) соответствующие записи, проделывает расчеты и убеждается в том, что все становится на свои места, *если в каждом случае приписать скорости течения одно и то же значение!*

Мораль, вытекающая из приведенного примера, такова. Одиночные измерения не позволяют наблюдателю установить наличие некоторого течения, универсальным образом влияющего на результаты всех измерений. Однако сопоставление результатов *многих* измерений, использование некоторой *априорной* информации (неизменность скорости каждого парохода относительно течения) позволяет вывести проверяемую (в новых, специально проведенных экспериментах) гипотезу, устанавливающую наличие такого течения. Если бы наш наблюдатель сразу безоговорочно поверил бы капитану, как если бы тот был *демоном* (или демиургом, или еще каким либо сверхъестественным существом, *знающим истину*), то он уже после двух экспериментов мог бы разгадать загадку!

Обратимся теперь к рис. 3.11. Пусть наш ТШРВ-наблюдатель *на самом деле* перемещается во времени (вследствие расширения Вселенной) от изохроны  $T$  до изохроны  $T+dT$  по прямой  $AB$ . Он наблюдает движение двух удаляющихся от него в противоположных направлениях тел (одинаковых пароходов), которые *на самом деле* перемещаются во времени от изохроны  $T$  до изохроны  $T+dT$  по прямым  $AV_1$  и  $AV_2$  соответственно. Дальше на усмотрение читателя предлагается любой из двух вариантов с участием *демона*.

Либо после измерения наш наблюдатель с помощью линейки устанавливает, что отрезки  $V_1V$  и  $VV_2$  равны, а *демон* утверждает, что углы  $V_1AV$  и  $VAV_2$  не равны. Либо наоборот, наш наблюдатель с помощью линейки устанавливает, что отрезки  $V_1V$  и  $VV_2$  не равны, а *демон* утверждает, что углы  $V_1AV$  и  $VAV_2$  равны. *Демон* ведь *знает*, что угол между изохроной и мировой линией наблюдателя  $AB$  отличен от прямого!



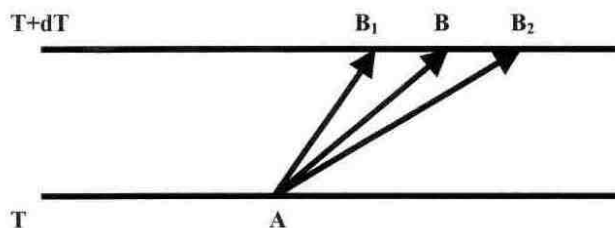


Рис. 3.11. Метод установления абсолютной системы отсчета

Ну, хорошо, - возразит читатель - ведь в действительности такого демона не существует! Я со вздохом соглашусь с читателем и отвечу, что, конечно, не существует, поэтому нам придется-таки проделать много-много измерений и использовать некоторую *априорную* информацию или информацию, априорно представляющуюся убедительной.

Оставим на короткое время нашего демона и обратимся к вопросу о погрешности, вносимой специальной теорией относительности в том случае, если абсолютная система отсчета действительно существует. Тогда инвариантность 4-мерного интервала в рамках ТШРВ точно выполняется лишь по отношению к *абсолютно неподвижному* наблюдателю. Если же, например, сам наблюдатель движется с некоторой абсолютной скоростью  $v$  в плоскости  $xt$ , то вместо инвариантного выражения для длины 4-мерного перемещения

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2$$

возникает, как можно показать, соотношение

$$ds^2 (1 + \beta^2) = c^2 dt^2 - dx^2 - 2\beta ds dx$$

где

$$\beta = (v/c) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} = \operatorname{tg}\varphi$$

### 3.7. О реальном существовании абсолютной системы отсчета

Вернемся к нашему демону. Необходимую информацию Создатель предоставил нам в действительности значительно раньше, чем сподобил меня придумать ТШРВ. Роль огромного числа одинаковых пароходов, идущих к нам с одинаковой скоростью (скоростью света) со всех сторон Вселенной, играют фотоны так называемого *реликтового* излучения (считается, что это излучение – остаток древней Вселенной).

Роль демона выполняет наша уверенность в полной изотропности Вселенной, что подкрепляется точнейшими многолетними результатами независимых измерений *температуры* этого излучения как функции направления, по которому к нам летят фотоны. *Но оказывается, что имеется малая (порядка  $10^{-5}$ ) дипольная анизотропия, которая отсутствовала бы, если принять, что мы движемся по направлению к созвездию Льва со скоростью порядка 400 км/с!*

В комментарии к русскому переводу книги [Вайнберг, 2000] ее редактор Я.Б. Зельдович писал: “На этом примере выясняется, что в каждой точке Вселенной существует наблюдатель, относительно которого микроволновое излучение изотропно. Этого наблюдателя и связанную с ним систему координат можно назвать выделенными ... Наличие в каждой точке выделенной системы координат напоминает взгляды физиков до создания

*теории относительности, когда предполагалось, что свет - это колебания особого вещества - эфира, заполняющего всю Вселенную. Предполагалось далее, что система координат, связанная с эфиром, является преимущественной, выделенной, и ставились опыты по обнаружению движения Земли относительно эфира. Мы знаем, что эти опыты (Майкельсона и других) дали отрицательный результат - светоносный эфир не существует. Однако эволюция Вселенной приводит к тому, что в наблюдениях космического микроволнового излучения (но только в этих астрономических наблюдениях!) выделенная система появляется, и ее иногда называют "новый эфир" ... в расширяющейся Вселенной новый эфир в одном месте движется относительно нового эфира в другом месте. Именно новый эфир или, другими словами, микроволновое излучение с наибольшей точностью осуществляет движение по закону Хаббла."*

Запущенный 18 августа 1989 года спутник COBE (Cosmic Background Explorer), разработанный Центром космических полетов Годдарда Национального Аэрокосмического Агенства (NASA)<sup>1</sup>, позволил надежно подтвердить этот результат. Спектр космического микроволнового фонового излучения был измерен с точностью 0.005%; было обнаружено, что этот фон имеет значимую анизотропию на относительном уровне порядка  $10^{-5}$ .

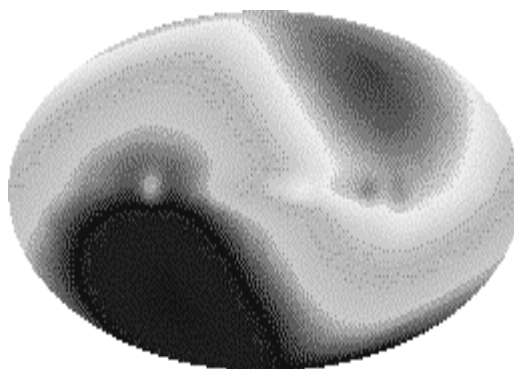


Рис. 3.12. Дипольная анизотропия фонового космического излучения

На рис. 3.12 показана черно-белая версия карты отклонений температуры излучений от средней величины (2.728 К) в микроволновой части спектра. *Слоистая структура карты соответствует анизотропии дипольного вида, что является проявлением эффекта, связанного с движением Солнца относительно среды, в которой распространяется микроволновое фоновое излучение.*

Помимо инфракрасной компоненты, было также исследовано космическое фоновое излучение в гораздо более широком спектре. Начиная с 1990 г. с помощью ряда спутников изучается область рентгеновского и гамма-излучения. Наблюдаемая в рентгеновских лучах дипольная анизотропия в пределах погрешностей измерений соответствует дипольной анизотропии фонового ЗК-излучения, что подтверждает ее интерпретацию как эффекта Доплера, обусловленного гравитацией.

Итак, согласно предложенной в ТШРВ концепции, в каждой точке Вселенной *должно существовать свое уникальное пространственное направление и уникальное значение скорости движения в этом пространственном направлении, определяющее выделенную*

<sup>1</sup> Приведенная здесь информация подготовлена Центром космических полетов Годдарда, NASA, США (Goddard Space Flight Center) под руководством COBE Science Working Group и была предоставлена NSSDC.

*систему отсчета* (фактически это есть 4-мерная “стрела времени”). Этот результат был получен мною *до того*, как я узнал о вышеописанном экспериментальном открытии. Поэтому возник вопрос о дальнейшем экспериментальном подтверждении (или опровержении) новой теории, идея которого и рассматривается далее. Можно надеяться, что осуществление и результаты новых экспериментов представят самостоятельный интерес для физики безотносительно к мотивам их проведения и выдвинутым гипотезам.

Мое объяснение вышеописанного явления анизотропии таково. Любое ускоренное (в том числе вращательное и колебательное) движение в общем случае выделяет абсолютную систему отсчета. Поскольку любое электромагнитное излучение генерируется колеблющимися электрическими зарядами, то тем самым оно принципиально позволяет наблюдателю выделить абсолютную систему отсчета.

Если наблюдатель абсолютно неподвижен (“дрейфует” вдоль нормали к изохронной Вселенной), то относительно него излучение будет идеально изотропным. Если же мировая линия наблюдателя образует ненулевой (хотя и постоянный) угол с осью абсолютного времени, то такой движущийся наблюдатель (и именно с помощью эффекта Доплера) сможет определить абсолютную скорость своего движения, детектируя анизотропию этого излучения, которая обусловлена направлением и скоростью движения измерительного устройства относительно выделенной системы отсчета. Количественно эта анизотропия будет определяться отношением скорости движения к скорости света ( $v/c$ ) и углом  $\alpha$  относительно выделенного направления движения согласно теории эффекта Доплера.

Основываясь на современных данных по анизотропии космического радиоизлучения, мы можем заключить, что  $v/c = 0.0015$ . Если бы это численное значение и указанная зависимость от угла подтвердились в новых экспериментах, *не связанных* с приходящим из космоса электромагнитным излучением, мы могли бы сделать вполне определенные выводы об универсальном характере пространственно-временной анизотропии.

Будем исходить из того, что любое (электромагнитное) излучение является идеально изотропным для неподвижного относительно источника наблюдателя *лишь в выделенной системе отсчета*, которая в каждой точке Вселенной уникальна. Тогда в любой другой системе отсчета возникнет анизотропия, проявляющаяся благодаря эффекту Доплера, который обусловлен направлением и скоростью движения измерительного устройства относительно выделенной системы отсчета.

Одним из потенциально возможных способов проверки указанного эффекта является наблюдение излучения Солнца в различные моменты движения Земли по околосолнечной орбите. Условная схема расположения Земли относительно Солнца и созвездия Льва показана на рисунке 3.13.

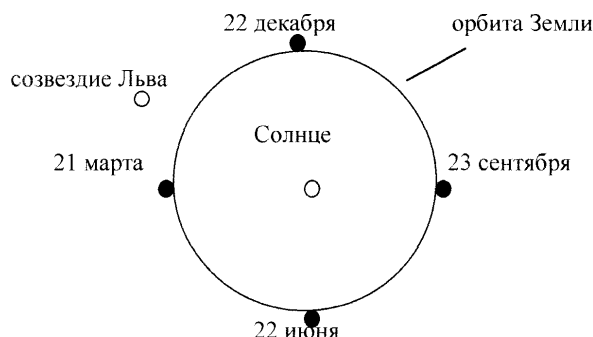


Рис. 3.13. Схема выявления годовой анизотропии излучения Солнца

Из приведенного рисунка очевидно, что предполагаемая анизотропия солнечного излучения, наблюдаемого с Земли, должна проявляться в максимальной степени в августе, когда и излучение Солнца, и фоновое излучение приходят на Землю со стороны созвездия Льва. В феврале эти источники расположены по отношению к Земле взаимно противоположным образом, поэтому и направление анизотропии для солнечного света должно измениться на противоположное. Ожидаемая величина эффекта при этом (с учетом прямого восхождения созвездия Льва и наклона эклиптики) составляет порядка 300 км/с, т.е. около одной десятой процента скорости света. В ноябре и мае анизотропия не должна наблюдаться практически совсем.

Возможно, указанная анизотропия может быть обнаружена и при помощи наблюдения отраженного излучения Луны. Положение естественного спутника нашей планеты относительно Земли меняется всего лишь за 27 суток, поэтому результат мог бы быть установлен значительно быстрее.

Наконец, возможно проведение эксперимента с искусственным источником излучения и неподвижным относительно него приемником в земной лаборатории. При этом следует иметь в виду, что вследствие суточного вращения Земли проекция направления на созвездие Льва в общем случае вращается относительно системы координатных осей, жестко связанной с точкой земной поверхности. Поэтому величина мгновенной скорости вдоль каждой из координатных осей по отношению к “выделенной” системе отсчета (движущейся к созвездию Льва) будет изменяться практически по синусоидальному закону с периодом в 24 часа. Расчеты показывают, что амплитуда компоненты скорости, направленной вдоль земного меридиана, достигает максимума (около 400 км/с) у полюсов и минимальна у земного экватора. Наоборот, амплитуда компоненты скорости, направленной в зенит, достигает максимума (около 400 км/с) у земного экватора и минимальна у полюсов. Амплитуда же компоненты скорости, направленной перпендикулярно меридиану, практически неизменна и также составляет около 400 км/с.

Я также думаю, что в принципе возможны и чисто механические эксперименты, дающие, например, в соответствующем направлении малое отклонение оси гироскопа от традиционно ожидаемого, однако пока такие эффекты не рассчитывались (возможно, таким образом могут быть объяснены эксперименты Козырева). Аналогичным образом, эксперименты типа маятника Фуко (если бы вектор абсолютной скорости удачно оказался направленным так, чтобы в максимальной степени складываться и вычитаться с вектором скорости движения маятника) могли бы привести к определенному отклонению вращения плоскости колебаний от той, что определена исключительно вращением Земли.

Имеет смысл подчеркнуть, что в отличие от парадигмы “старого эфира” выделенная система отсчета “нового эфира” связана не только с *определенным направлением* во Вселенной, которое выделялось бы в ходе экспериментов подобно тому, как стрелка компаса указывает на север. Эта выделенная система связана еще и с *определенной 3-мерной скоростью* движения в этом направлении. В совокупности же таким образом выделяется 4-мерный вектор нормали к сферической гиперповерхности шара - Вселенной.

### 3.8. О распространении излучения

В ТШРВ *текущая* изохрона отвечает *начальному* световому конусу СТО, т.е. поверхности распространения электромагнитного сигнала, в том числе – видимого света. Может показаться, что это представление приводит к парадоксу - если бы и прямые, и обратные электромагнитные сигналы распространялись *вдоль* изохроны, т.е. мгновенно, то между посылкой исходного сигнала (например, на Луну или на Марс) и приемом отраженного сигнала не было бы никакой

паузы. Между тем из опыта достоверно известно, что это не так, и что пауза между этими событиями в точности равна двойному промежутку времени, необходимому для распространения света на соответствующее расстояние.

Дело здесь в том, что сам процесс колебаний представляет собой *нелокальный* в 4-мерном континууме волновой процесс. Это значит, что *вдоль* изохронной Вселенной имеется *волнообразное распределение интенсивности* излучения от колеблющегося заряда с чередованием максимумов и минимумов, т.е. *вдоль* пространственных осей волна присутствует *одновременно в каждой точке* Вселенной. Ее интенсивность, претерпевая *пространственные* колебания, вместе с тем убывает обратно пропорционально расстоянию от источника по закону

$$A(r) = A(0) \exp(2\pi i r/\lambda)/r,$$

где  $\lambda$  – длина электромагнитной волны. С другой стороны, величина  $A(0)$  *не является постоянной во времени*, а колеблется по гармоническому закону

$$A(0,t) = A(0,0) \exp(-2\pi i ct/\lambda).$$

Каждой изохроне отвечает свой момент времени, поэтому результирующая интенсивность в 4-точке  $\{r, t\}$  равна

$$A(r, t) = A(0,0) \exp[2\pi i (x - ct)/\lambda]/r$$

т.е. описывается в точности так же, как и в традиционной теории.

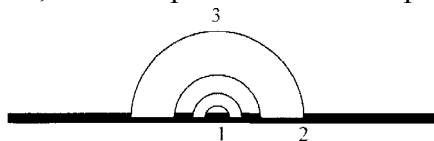


Рис. 3.14. Модель распространения электромагнитной волны от неподвижного источника в ТШРВ

На рис. 3.14 схематически показано, что фаза в точке 2 совпадет (для неподвижного детектора) с фазой, *присутствовавшей ранее* в точке 1, только тогда, когда сама эта точка уже окажется в точке 3. Интересно отметить сходство в нашем объяснении законов *движения частиц* с моделью *распространения колебаний* за счет расширения Вселенной, т.е. перехода от одной изохроны к другой.

Данная интерпретация, кстати, позволяет понять эффект анизотропии принимаемого излучения, когда детектор движется с некоторой абсолютной скоростью, отличной от нуля (см. рисунок 3.15). В этом случае фазовый сдвиг, отвечающий точке 2, будет соответствовать уже не точке 3, а точке 3', что и проявится в виде эффекта Доплера.

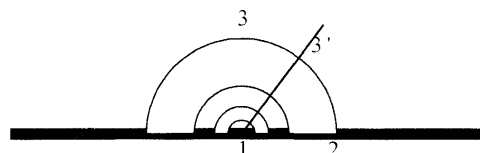


Рис. 3.15. Модель распространения электромагнитной волны от движущегося источника в ТШРВ

Важно добавить к этому, что распространение электромагнитного сигнала, обусловленного колебанием зарядов, *не может рассматриваться как отвечающее равномерному движению* какого-либо материального тела. Действительно, в нашей теории последнее гипотетически могло бы, двигаясь со скоростью света, практически мгновенно достичь сколь угодно отдаленного объекта и вернуться обратно. В то же время передача *электромагнитного сигнала* осуществляется за конечное время. В аргументе экспоненты фигурирует множитель  $(x - ct)$ , что дает основание считать эту скорость равной  $c$ . Именно эту скорость вычислит неподвижный наблюдатель, разделив полное расстояние на время прохождения светового сигнала.

## 4. ТШРВ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

### 4.1. Нужно ли использовать фиктивные гравитационные поля ?

Как показано в главе 2, в ОТО обоснование расчета вариации времени на этапе торможения Космонавта основано на идее включения и отключения фиктивного внешнего гравитационного поля. Эйнштейн, автор этой фундаментальной идеи, считал ее одной из самых счастливых в своей жизни. Однако в главе 1 мы могли видеть, следуя замечательной идее [Лаури, 1963]<sup>2</sup>, что феномен изменения скорости движения ракеты с Космонавтом может быть интерпретирован и в терминах СТО – он сводится к переходу от одной сопутствующей инерциальной системы отсчета к другой, так что с этой ракетой уже нельзя связать единственную инерциальную систему отсчета. При торможении меняется угол наклона линии одновременности движущейся ракеты с Космонавтом и, соответственно, положение точки пересечения этой линии одновременности с осью времени неподвижного (инерциального) наблюдателя – Землянина. Может возникнуть (и действительно возникает) вопрос – а нужно ли на самом деле использовать фиктивные гравитационные поля?

Позволю себе воспроизвести нередко цитируемую выдержку из монографии [Ландау и Лифшиц, 1967]:

*“Поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, все же не вполне тождественны с “истинными” гравитационными полями, существующими и в неинерциальных системах. Между ними имеется существенное отличие в отношении их свойств на бесконечности. На бесконечном расстоянии от создающих поле тел “истинное” гравитационное поле всегда стремится к нулю. Поля же, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, на бесконечности, напротив, неограниченно возрастают или, в крайнем случае, остаются конечными по величине. Так, например, возникающие во вращающейся системе отсчета центробежные силы неограниченно растут при удалении от оси вращения; поле, которому эквивалентна ускоренно прямолинейно движущаяся система отсчета, одинаково во всем пространстве, в том числе и на бесконечности.*

*Поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, исчезают, как только мы перейдем к инерциальной системе. В противоположность этому, “истинные” гравитационные поля (существующие и в инерциальной системе отсчета) невозможно исключить никаким выбором системы отсчета. Это видно уже из указанного выше различия между условиями на бесконечности в “истинных” гравитационных полях и в полях, которым эквивалентны неинерциальные системы; поскольку последние на бесконечности к нулю не стремятся, то ясно, что никаким выбором системы отсчета нельзя исключить “истинные” поля, обращающиеся на бесконечности в нуль.”*

Приведенная цитата, с моей точки зрения, наводит на мысль об уязвимости логической позиции Эйнштейна, который считал возможным и необходимым свести описание неравномерного движения к описанию равномерного движения в гравитационном поле, опираясь на знаменитые принципы относительности и эквивалентности.

Эйнштейн, безусловно, трактовал принцип эквивалентности таким образом, что этот последний справедлив, так сказать, “в обе стороны”: как поле тяготения порождает неинерциальное движение (прямое утверждение), так и неинерциальное движение полностью (локально) сводимо к некоему эквивалентному полю тяготения (обратное утверждение). Если “прямой” тезис не вызывает возражений со времен Ньютона, то сомнения в неограниченной справедливости “обратного” тезиса не раз высказывались в физике.

<sup>2</sup> Автор выражает благодарность Н.О.Ерохиной из Российской Государственной библиотеки за помощь в получении копии этой статьи.

Так, в работах [А.А. Логунов, 1985, 1988, 1998] указывается, что сам факт кривизны мировой линии может сделать более удобным использование криволинейных координат, но вовсе не порождает объективной необходимости в кривизне пространства-времени как таковой:

*“... инвариантность формы интервала в пространстве Минковского имеет место не только для класса инерциальных систем отсчета, но и для произвольно выбранного класса ускоренных систем отсчета. ... Это означает, что, имея дело с ускоренными системами отсчета, мы не выходим за рамки специальной теории относительности”.*

В качестве сильнейшего, с моей точки зрения, аргумента, свидетельствующего о несправедливости в общем случае “обратного” тезиса об эквивалентности, в цитируемых работах приводится следующее соображение: если пробное тело, движущееся по геодезической линии в гравитационном поле, является заряженным, то оно должно излучать электромагнитные волны, поскольку оно движется с ускорением. Однако это излучение сможет зарегистрировать и жестко связанный с этим телом наблюдатель, который тем самым, вопреки принципу эквивалентности, обнаружит факт собственного ускорения.

В моей книге [Шульман, 2003] принцип эквивалентности Эйнштейна также был подвергнут довольно подробному анализу. В частности, там отмечалось следующее:

Эйнштейн устанавливает (локальную) эквивалентность ускорения и гравитационного поля для точечной материальной частицы, используя уровень идеализации, характерный для механики точки. В работе [Эйнштейн, 1916] он пишет: “ускоренное движение бесконечно малой (“местной”) координатной системы должно быть выбрано при этом так, чтобы отсутствовало гравитационное поле; для бесконечно малой области это возможно”. На этом уровне вводится абстракция внешнего источника и (локально) однородного поля, причем расстояние между взаимодействующими телами существенно превышает размеры самих тел. Энергия покоя тел локализована в их объеме, который по размерам во много раз меньше объема области, занимаемого гравитационным полем; следовательно, объемной концентрацией энергии последнего (т.е. внутренней энергии деформации среды) вполне допустимо пренебречь.

Однако возможны случаи, когда размеры области, занимаемой полем, не превосходят размеров взаимодействующих тел или, тем более, их гравитационного радиуса, и именно эта ситуация имеет место при глобальном рассмотрении Вселенной. Здесь гипотеза даже о локальной однородности поля тяготения уже неприменима, и необходимо перейти на более тонкий понятийный уровень – уровень механики сплошной среды. Поэтому в рамках ОТО при анализе эквивалентности в общем случае необходимо рассматривать не точечную частицу, а элемент материальной среды, занимающий элементарный объем. В неподвижной системе, на которое действует поле тяготения внешнего источника, элементарный объем заполнен материей, сжатой в результате ее взаимного притяжения. При переходе к ускоренной системе исключение гравитационного поля внешнего источника не позволяет исключить собственную гравитационную деформацию объема материи и соответствующее давление за счет выбора какой бы то ни было локальной системы отсчета.

#### 4.2. Ускоренное движение и СТО

Возвратимся к рассмотрению течения времени с точки зрения Космонавта и Землянина, оставаясь в рамках концепций СТО. Будем исходить из того, что Землянин четко контролирует факт собственной непрерывной инерциальности (отсутствия ускорений), а Космонавт столь же надежно не только регистрирует ускорение и торможения своей ракеты, но и количественно способен определить его значение. Как же при этом выглядит процесс течения времени для каждого из наблюдателей?

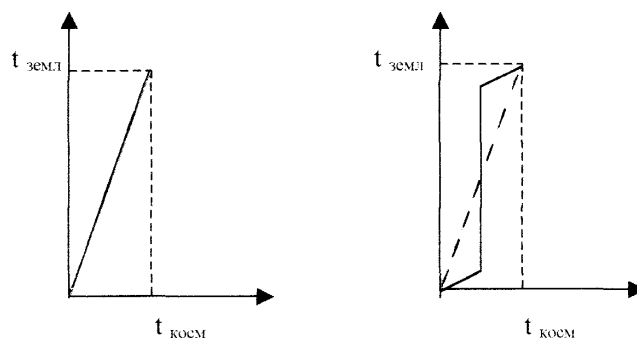


Землянин знает, что часы Космонавта покажут время  $t_{\text{КОСМ}}$ , связанное с показанием часов Землянина  $t_{\text{ЗЕМЛ}}$  соотношением:

$$t_{\text{КОСМ}} = t_{\text{ЗЕМЛ}} (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

При этом Землянину не надо учитывать ни *знак* скорости Космонавта, ни *изменение* этой скорости (т.е. ускорение и торможение ракеты Космонавта) – ему *достаточно* просуммировать отрезки (быть может, достаточно малые) прямолинейного равномерного движения ракеты и учесть лоренцево сокращение времени Космонавта на каждом из них. Для рассмотренного случая двух этапов движения ракеты (удаление и возвращение со скоростью  $v$ ) графическая диаграмма течения времени с точки зрения Землянина будет выглядеть так, как показано на рис. 3.1а. На всем протяжении пути промежутки времени по часам Землянина *больше*, чем промежутки времени по часам Космонавта, поэтому угол наклона жирной линии будет больше  $45^\circ$ .

Что касается Космонавта, то для него на тех участках его движения, где ракета летит без ускорения или торможения, соотношение между промежутками времени по его часам и по часам Землянина должно быть *противоположным*. Соответствующие промежутки времени по часам Землянина теперь уже *меньше*, чем промежутки времени по часам Космонавта (а угол наклона жирной линии на этих участках – меньше  $45^\circ$ ). Следовательно (как это вытекает и из ОТО), на *этапе торможения* должен возникнуть *скачок* времени, в точности *восстанавливающий результирующее соотношение* между полным временем движения по различным часам. Поэтому с точки зрения Космонавта графическая диаграмма будет выглядеть так, как показано на рис. 4.1б.



а) Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с точки зрения Землянина  
б) Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с точки зрения Космонавта

Рис. 4.1. Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с различных точек зрения

Таким образом, в системе отсчета Космонавта часы Землянина в рассматриваемом случае претерпевают положительный скачок времени, который следует прибавить к “правильным”, по мнению Космонавта, показаниям его (Космонавта) часов.

Итак, подсчет времени на часах Землянина, производимый Космонавтом, движущимся (в общем случае) неравномерно, состоит из двух алгоритмических процедур:

- Учет лоренцева сокращения времени Землянина, поскольку тот движется относительно Космонавта.
- Учет *положительных* скачков времени Землянина при *ускорении* Космонавта в направлении к Земле и *отрицательных* скачков времени Землянина при *ускорении* Космонавта в направлении от Земли.

Как мы видели в главе 1, каждый такой скачок отвечает мгновенному изменению положения линии одновременности и, вообще говоря, может быть любого знака. Последнее обстоятельство, однако, не может привести к тому, чтобы время на часах Космонавта превысило показание часов Землянина! С одной стороны, к этому выводу приводит результат подсчета времени в инерциальной системе отсчета Землянина. С другой стороны, дело здесь в том, что в псевдоевклидовом пространстве (в противоположность евклидовому) сумма интервалов (псевдодлина) для ломаной линии всегда *меньше*, чем для прямой. Таким образом, возможные отрицательные скачки времени Землянина (в системе отсчета Космонавта) при их встрече неизбежно окажутся скомпенсированы и превышены положительными скачками.

Это наводит на мысль, что возможен иной подход к подсчету времени Землянина в системе отсчета Космонавта, отличный от вышеописанной двучленной алгоритмической процедуры, который бы на каждом отрезке равномерного движения Космонавта объяснял бы его однозначную “экономия” времени по сравнению с Землянином и не использовал бы *кажущееся* лоренцево сокращение времени в одной системе отсчета относительно другой. Такой подход, демонстрирующий “парадокс часов”, действительно существует и проиллюстрирован на рис. 4.2.

На этом рисунке, как и на рис. 1.5, мировая линия Землянина изображается отрезком **OABC** оси времени  $t$  (особо подчеркну, что точки **A** и **B** на оси  $t$  – те же самые, т.е. в точности совпадают с точками пересечения оси  $t$  с линиями одновременности ракеты Космонавта в точке **T** поворота).

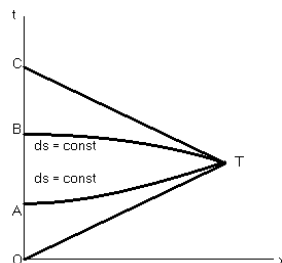


Рис. 4.2. Собственное время Землянина меньше, чем собственное время Космонавта

Космонавт же движется на ракете по отрезкам мировой линии **OT** и **TC**. Так как кривая **AT** отвечает множеству точек-событий с *одинаковым интервалом относительно точки O*, то на этапе удаления ракеты от Земли и часы Землянина (на отрезке мировой линии **OA**), и часы Космонавта (при движении по мировой линии **OT**) покажут одинаковое время  $ds/c$  в соответствующих системах отсчета. Аналогичным образом, на этапе приближения ракеты к Земле и часы Землянина (на отрезке мировой линии **BC**), и часы Космонавта (при движении по мировой линии **TC**) покажут одинаковое время  $ds/c$  в соответствующих системах отсчета, поскольку кривая **BT** отвечает множеству точек-событий с *одинаковым интервалом, отделяющим их от точки C*. Поэтому собственное время Космонавта составит  $2ds/c$ , тогда как собственное время Землянина окажется *больше* этой величины на длину отрезка **AB**.

Замечание: обратим внимание на полную симметрию этапов удаления и возвращения Космонавта. Из этого следует, что, в случае наличия не двух, а большего числа этапов ускорения и торможения, построения для каждого из них, включая последний, могут быть совершенно идентичными построениям на первом этапе.

Обобщая наш мысленный опыт, мы можем отказаться от условия *симметрии* этапов удаления и возвращения Космонавта. Мы можем также допустить не одну, а произвольное число точек торможения и ускорения (с ломаной или даже волнистой мировой линией), лишь бы последнее 4-мерное событие состояло в возвращении Космонавта на Землю, движение которой (в составе Солнечной системы) мы полагаем *инерциальным*, т.е. равномерным и прямолинейным. В этом случае Землянин может смело доверять своим часам, а Космонавт должен разбить свою мировую линию на приблизительно прямолинейные отрезки и суммировать их длины, деленные на скорость света.

Наконец, мы можем рассмотреть неравномерное движение двух (или более) космонавтов, вылетевших из одной общей пространственной точки и позднее встретившихся в той же или даже в другой пространственной точке. В этом случае *каждый* космонавт должен разбить свою мировую линию на приблизительно прямолинейные отрезки и суммировать их длины, деленные на скорость света. Вместо реальной Земли мы можем при этом мысленно рассмотреть воображаемые часы, инерциальным образом движущиеся из места (и в момент) их разлета в точку (и момент) их встречи - такая система отсчета физически всегда реализуема, и именно эти часы покажут время, заведомо меньшее, чем время путешествия на часах любого из космонавтов.

### 4.3. Связь хода времени с величиной энергии

Согласно СТО, интервалы времени  $\Delta t$  в движущейся системе *меньше*, чем в покоящейся, причем лоренцев фактор сокращения равен  $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ . С другой стороны, энергия  $E$  движущегося тела точно в такое же число раз *больше* энергии этого же тела в состоянии покоя. Подобное соответствие явно не случайно и требует своего истолкования.

В рамках формализма СТО это обстоятельство может быть объяснено инвариантностью 4-мерного скаляра – действия  $S$  – при преобразовании Лоренца, поскольку

$$E = \partial S / \partial t, \quad E' = \partial S / \partial t'$$

При изменении скорости ракеты с Космонавтом от значения  $v$  до значения  $(v + \Delta v)$  проекция его линии одновременности на ось времени Землянина займет такое новое положение, которое в точности отвечает новому значению энергии и, соответственно, новому фактору лоренцева сокращения времени. С точки зрения Космонавта это будет выглядеть так, что *скачок времени на часах Землянина пропорционален затрате энергии на изменение скорости ракеты* (в случае достаточно малых изменений этой энергии и скорости по величине и направлению), а также расстоянию от Космонавта до Земли.

“Энергетические” аргументы, связанные с разностью потенциалов гравитационного поля и изменяющие, например, энергию пролетающего через него фотона, фигурировали, как мы помним, при установлении эквивалентности ускоренных систем и систем, находящихся в поле тяготения. Когда речь идет о реальном поле тяготения, такая аргументация выглядит вполне убедительной и связана с характеристиками этого реального поля. Однако в случае произвольных неравномерно движущихся объектов реально наблюдаемым феноменом является лишь изменение энергии самих этих объектов. Заменяя потенциал *фиктивного* (искусственно вводимого) гравитационного поля *реальным* изменением (удельной, т.е. на единицу массы)

кинетической энергии и именно с ним связывая изменение хода времени, мы изгоняем, как мне кажется, из физики ненужные призраки.

Вместе с тем интерпретация связи между ходом времени и величиной энергии, предлагаемая СТО, не является, как мне кажется, исчерпывающей с точки зрения физической наглядности. В самом деле, требуется уточнить, что же собой представляет ход времени? Неожиданный, но интуитивно содержательный ответ на этот вопрос мы находим в квантовой механике: всякий квантовый объект несет в себе свои собственные “встроенные” часы, характеризующиеся частотой колебаний де Бройля, которая прямо пропорциональна энергии этого объекта (коэффициент пропорциональности представляет собой единицу, деленную на постоянную Планка)!

Макроскопическое тело представляет собой определенную совокупность квантовых объектов, каждый из которых характеризуется своей де-Бройлевой частотой или набором соответствующих частот. Различие частот не играет роли, т.к. при постоянной скорости движения и энергии тела соотношение между ними всегда одинаково. В самом деле, в жизни мы пользуемся часами с различным механизмом и продолжительностью колебаний (песочными, механическими, атомными), но всегда приводим их показания к тому или иному выбранному нами эталону. Если теперь мы изменим скорость тела, то тем самым изменим его энергию и частоты всех колебаний, причем *в одно и то же число раз!* Я думаю, этот пример наилучшим образом и объясняет нам, *что такое ход времени*. Сам процесс изменения скорости есть переходной процесс от колебаний с одной частотой (энергией) к колебаниям с другой частотой (энергией) и, естественно, связан с результирующей вариацией суммарного времени движения.

Изложенные аргументы позволяют в некотором смысле “вывести” формализм СТО, исходя из постулатов квантовой механики. Однако можно пойти еще дальше и поинтересоваться, а *что такое* энергия квантового объекта и *почему* она пропорциональна частоте? Общепринятая научная парадигма фактически не предусматривает даже постановки этого вопроса. Автор, тем не менее, попытался достаточно подробно на него ответить в своей книге, посвященной квантовой теории ([Шульман, 2004]), к которой и предлагается обратиться заинтересованному читателю.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [Вайнберг, 2000] Weinberg S. *The first three minutes. A modern View of the Origin of the Universe*. Basic Books, Inc. Publishers, New York, 1977. (Рус. пер.: Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. Москва. Издательство РХД. 2000. С. 269 )
- [Лаури, 1963] Edward S. Lowry, *The Clock Paradox*. American Journal of Physics, vol. 31, p. 59, 1963
- [Ландау и Лифшиц, 1967] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. *Теория поля*. Москва, Наука, 1967.
- [Логунов, 1985] Логунов А.А. *Лекции по теории относительности и гравитации*. М., 1985.
- [Логунов, 1988] Логунов А.А. *Новые представления о пространстве, времени и гравитации*. Международный ежегодник “Наука и человечество”, 1988.
- [Логунов, 1998] Логунов А.А. *Релятивистская теория гравитации и принцип Маха*. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 1998, том 29, вып. 1
- [Нэйв Р., 2003] Nave R, HyperPhysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
- [Сажин] Сажин М.В., *Теория относительности для астрономов*. ГАИШ, Москва. <http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1170927>
- [Тэйлор и Уилер, 1966] E. F. Taylor, J. A. Wheeler, *Spacetime Physics*, W. H. Freeman and Company, San Francisco and London, 1966 (Рус. пер.: Э. Ф. Тейлор, Дж. А. Уилер, *Физика пространства-времени*. 2-е изд., Москва, Мир, 1971)
- [Шульман, 2003] Шульман М.Х. *Теория шаровой расширяющейся Вселенной*. Москва, Едиториал УРСС, 2003.
- [Шульман, 2004] Шульман М.Х. *Вариации на темы квантовой теории*. Москва, Едиториал УРСС, 2004.
- [Эйнштейн, 1916]. A.Einstein. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitatstheorie*, Ann. d. Phys., 49, 769 (1916) ( Рус. пер.: А. Эйнштейн, *Основы общей теории относительности*. В сб. “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, Москва, Мир, 1979)
- [Ям, 2004] Ям Филлип. *Повсеместный Эйнштейн*. “В мире науки”, № 12, 2004, с.30-35