

М.Х. Шульман
(www.timeorigin21.narod.ru, shulman@dol.ru)

Можно ли путешествовать во времени?

(18.02.2012. Переработано для доклада к 29.10.2013)

1. Введение

По поводу машин времени и путешествия во времени написано и сказано очень много всего. Я бы хотел остановиться на двух тезисах, которые до сих пор, насколько мне известно, в явном виде не обсуждались и поэтому могут представить интерес для аудитории. Это следующие два положения:

- Перенос *материального* тела назад во времени *технически* невозможен, т.к. это тело немедленно аннигилирует.
- В теории относительности обычно говорится о *собственном* времени объектов. Однако в каждой пространственной точке Вселенной существует выделенная (*сопутствующая*) система отсчета, в которой время наблюдателя всегда совпадает с *возрастом Вселенной* в целом. Относительно *этого* времени *невозможны* никакие перемещения вперед и назад.

Соответственно, план доклада выглядит следующим образом:

- Материальное тело нельзя переместить назад во времени
- Пространственно-временные петли (СТС)
- Замедление и ускорение собственного времени в теории относительности
- О понятиях времени и машины времени
- О путешествиях сквозь кротовые норы

2. Материальное тело нельзя переместить назад во времени

Собственно говоря, первое положение (которое я предлагаю назвать “аргументом Уилера”) обосновывается очень просто. В 1964 году в своей Нобелевской лекции Ричард Фейнман рассказал, как его научный руководитель Джон Арчибалд Уилер сообщил ему по телефону, что столкновение электрона с позитроном (при этом происходит их взаимная аннигиляция) можно трактовать как поворот мировой линии электрона назад в прошлое: изменение знака собственного времени эквивалентно изменению знака заряда (это известно как теорема о СРТ-симметрии). И Фейнман, как он пишет, тогда ухватился за эту мысль: позитроны можно представлять себе просто как электроны, идущие из будущего в прошлое (рис. 1а).

Но это означает, что любая двинувшаяся *назад во времени* машина времени, состоящая вместе со всем своим содержимым из электронов и протонов, немедленно превратится в объект, состоящий из *антиэлектронов (позитронов) и антипротонов!*

Представим себе, что такая машина создана, место в ней занял пассажир (или специальное оборудование), и эта машина двинулась в прошлое из момента времени T1 в момент времени T2. С точки зрения “обычного” течения времени

(где $T1 > T2$), это выглядит так, что начиная с момента $T2$ существует макроскопический экземпляр этой машины времени, *целиком состоящий из антиматерии* (а не какой-то жалкий единичный позитрон), но полностью копирующий будущую (реализованную только в момент $T1$) машину времени и заведомо избежавший встречи с обычным веществом и аннигиляции вплоть до момента $T1$, когда наша машина и анти-машина встретятся и аннигилируют (рис. 1b). Однако с огромной вероятностью аннигиляция анти-машины с *окружающей материей* произойдет намного раньше.

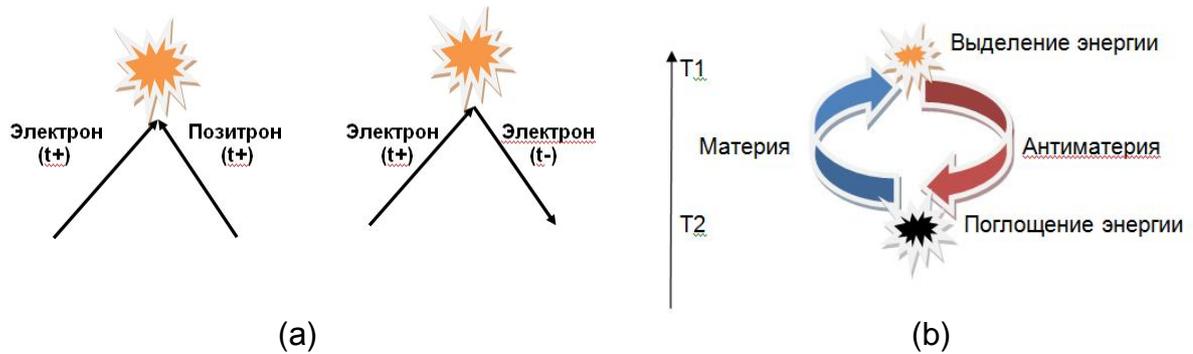


Рисунок 1

3. Пространственно-временные петли (СТС)

Но если технически невозможно отправить тело, состоящее из атомов, назад в прошлое, то практически снимается с повестки дня связанная с этим проблема, которая тоже активно обсуждается до настоящего времени.

Вспомним замечательный фильм “Назад в будущее”, а также многие другие фильмы, книги и мифы, где герои непринужденно перемещаются взад и вперед по времени¹. При этом их мировые линии самопересекаются, т.е. возникают “петли во времени” (Closed Timelike Curves - СТС).

Одними из первых научное обсуждение парадокса “петли во времени” дали Уилер и Фейнман в статье, посвященной “опережающим” потенциалам [**Wheeler J.A., Feynman R.P. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action, Reviews of Modern Physics, vol. 21, numb. 3, p. 425-433 (1949)**]. С тех пор таким феноменам посвящено огромное число публикаций. Общее мнение сводится к тому, что существование таких петель могло бы привести к парадоксам, которые в реальности не наблюдаются. Существование замкнутых времениподобных линий (Closed Timelike Curves - СТС) в рамках ОТО было вынесено на обсуждение Куртом Гёделем в 1949 г. (метрика Гёделя). Был сформулирован принцип самосогласованности (Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, 1975) относительно решений уравнений Эйнштейна, которые разрешают существование СТС. Он постулирует, что при перемещении в прошлое вероятность действия, изменяющего уже случившееся событие, стремится к нулю.

Простейший пример, связанный с СТС – так называемый “парадокс дедушки”. Некто попадает в прошлое и убивает своего дедушку, предотвращая тем самым факт собственного появления на свет и вышеописанного путешествия во времени. Этот парадокс неразрешим, если не считать искусственной, с моей точки зрения, идеи, согласно которой перемещение в прошлое и убийство

¹ Как понятно из вышеизложенного, окружающие героев фильма люди должны были бы наблюдать рядом с героями их копии из антиматерии!

разворачивается не в нашей, а в “параллельной” реальности. В этом случае парадокс просто отсутствует...

В действительности такие парадоксальные ситуации и не происходят, причем не только с массивными частицами, которые при путешествии назад во времени превращались бы в антиматерию и аннигилировали. Фотон является собственной античастицей, но и ему, повидимому, природа запрещает путешествие во времени. В Массачусетском технологическом институте (МТИ) были проведены опыты, где *будущий* результат влиял на *прошлую* поляризацию фотона (этот парадоксальный факт не противоречит квантовой теории). Но *фактически* “телепортация состояния фотона в прошлое” происходила только тогда, когда исходная конфигурация было совместима с будущим результатом (“дедушку не убивали” вследствие некоторых случайных обстоятельств). Если же совместимости не было (“дедушку убивали”), то телепортация срывалась (с ожидаемой вероятностью). Т.е. существует некий естественный механизм, предотвращающий возникновение подобных парадоксов [Джастин Маллинс. **Машина времени, или парадокс дедушки. New Scientist. Март 2011**].

4. Замедление и ускорение собственного времени в теории относительности

От рассмотрения практических препятствий для путешествия во времени перейдем к теории. Что говорит нам теория относительности – столп современной теоретической физики?

При синхронизации часов GPS-приемника с часами спутника нельзя пренебрегать влиянием скорости на ход времени. Согласно СТО, в быстро движущихся объектах “собственное” 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. Обычно этот эффект описывают с помощью парадокса близнецов (рис.2): при встрече после путешествия близнец-космонавт окажется моложе, его собственное время, прошедшее за время путешествия, равно

$$\Delta t_{\text{космонавта}} = \Delta t_{\text{землянина}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

где v – скорость ракеты, c – скорость света.

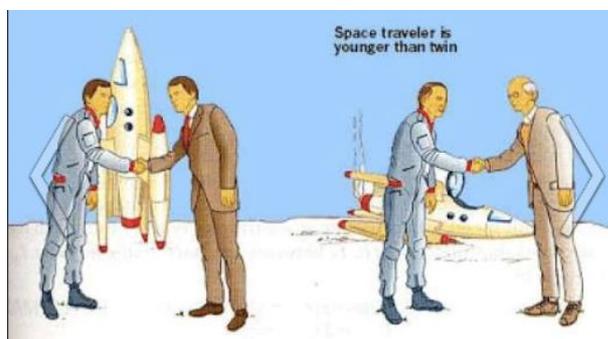


Рисунок 2. Парадокс близнецов

[<http://startswithabang.com/wp-content/uploads/2009/02/twin-paradox.jpg>]

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 $45 - 7 = 38$ мкс. Если этого не делать, то ошибка определения расстояния будет нарастать со скоростью 11 км в сутки.

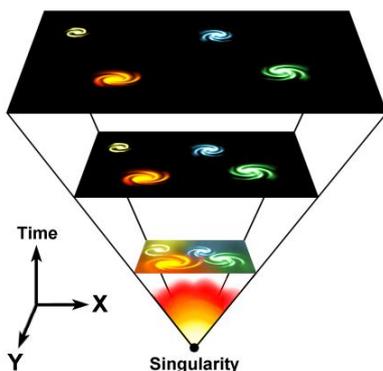
Таким образом, теория относительности говорит нам, что и замедлить *собственное* время (например, с помощью быстрого движения на ракете), и ускорить его течение (по сравнению с областью сильного поля тяготения в месте отправления и возвращения) можно. Но вот переместиться в прошлое (т.е. в момент времени, предшествующий исходному отлету ракеты с Земли), используя подобную схему – это вряд ли получится.

4. О понятиях времени и машины времени

Заметим, что теория относительности позволяет рассматривать течение “собственного” времени наблюдателя, т.е. по часам, жестко связанным с его системой отсчета. А можно ли говорить о каком-то *универсальном* времени?

Оказывается, да! “Хотя теория относительности позволяет сформулировать законы физики, используя *произвольные* координаты, в космологии принято использовать так называемую *сопутствующую* систему координат. Она назначает постоянные значения пространственных координат для наблюдателей, которые воспринимают вселенную *изотропной*. Такие наблюдатели перемещаются вместе с потоком Хаббла. Сопутствующий наблюдатель является единственным наблюдателем в *данной точке*, для которого Вселенная (в том числе космическое микроволновое фоновое излучение) изотропна. Любые другие наблюдатели увидят различные области неба с систематическим синим или красным смещением. Таким образом, изотропия, в частности изотропия реликтового излучения, определяет в *каждой точке* Вселенной *специальную* локальную систему отсчета, называемую *сопутствующей системой отсчета*”.

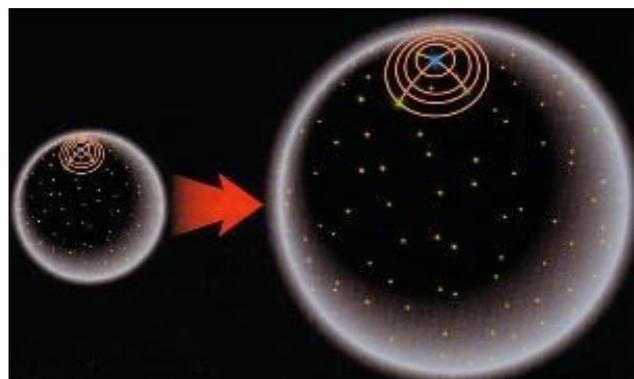
Расширение Вселенной в открытой и замкнутой моделях иллюстрируется рис. 3. Можно ввести координатную систему, в которой все расстояния выражаются через один и тот же (в различных пространственных точках) масштабный фактор, растущий со временем.



Открытая модель Вселенной

[Иллюстрация с сайта

http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Universe_expansion.png]



Замкнутая модель Вселенной

[Иллюстрация с сайта

<http://galspace.spb.ru/index60.file/ras.jpg>]

Рисунок 3

Каждому моменту эволюции Вселенной (горизонтальные параллели на рис. 4, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universe_Expansion_Timeline_\(fr\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universe_Expansion_Timeline_(fr).png)) мож-

но сопоставить соответствующее значение масштабного фактора, подобно тому, как каждому году эволюции обычного земного дерева можно сопоставить соответствующее годичное кольцо.

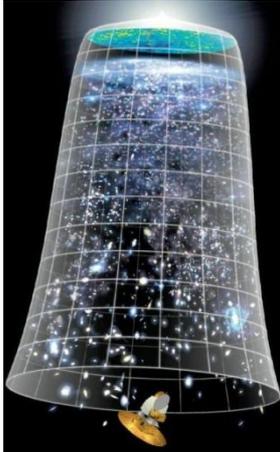


Рисунок 4



Рисунок 5

Такая параметризация позволяет говорить о своего рода “слоях” времени. Этот слой является общим космологическим временем для всей Вселенной (которое откладывается вдоль вертикальных меридианов на рис. 4) и не совпадает с тем локальным определением интервалов собственного времени для отдельных объектов, которое развито в теории относительности.

Теперь можно попытаться ответить на вопрос: что мы понимаем под машиной времени? Видимо, это можно пояснить с помощью рис. 5. С наивной точки зрения мы могли бы думать, что перемещение в сопутствующем времени назад и вперед вообще не связано с перемещением в пространстве. Однако это невозможно в принципе: Вселенная в каждое мгновение своей эволюции существует лишь в одном экземпляре, экземпляры Вселенной в других сечениях на рис. 4 – это лишь игра нашего воображения. Точно так же поезд, идущий по рельсам (рис. 6), в действительности существует лишь в одном единственном экземпляре, а его прошлые и будущее положения (например, в начале и конце маршрута) – всего лишь абстрактные образы.

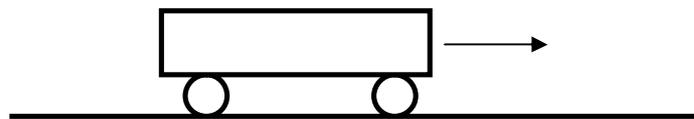


Рисунок 6

5. О путешествиях сквозь кротовые норы

В последние десятилетия широкое распространение получило такое понятие, как “кротовые норы (wormholes)”. Можно услышать заявления, что с их помощью возможны перемещения “в обход” пространства и времени (рис.7). С моей точки зрения, эти заявления несостоятельны.

Мало того, что реальное существование таких объектов пока что ничем не подкреплено. Даже с теоретической точки зрения все обстоит не так просто и наглядно, как выглядит на этом рисунке. Дело в том, что такие чертежи изображены вовсе не в том масштабе, который кажется нам естественным. При их

построении использованы конформные преобразования Крускала, которые (для удобства зрительного восприятия) стягивают *бесконечные* области пространства-времени в их *конечные образы*, но это всего лишь *математический фокус*. И как реально перемещаться и осуществлять навигацию в таких бесконечных областях пространства времени – совершенно непонятно.

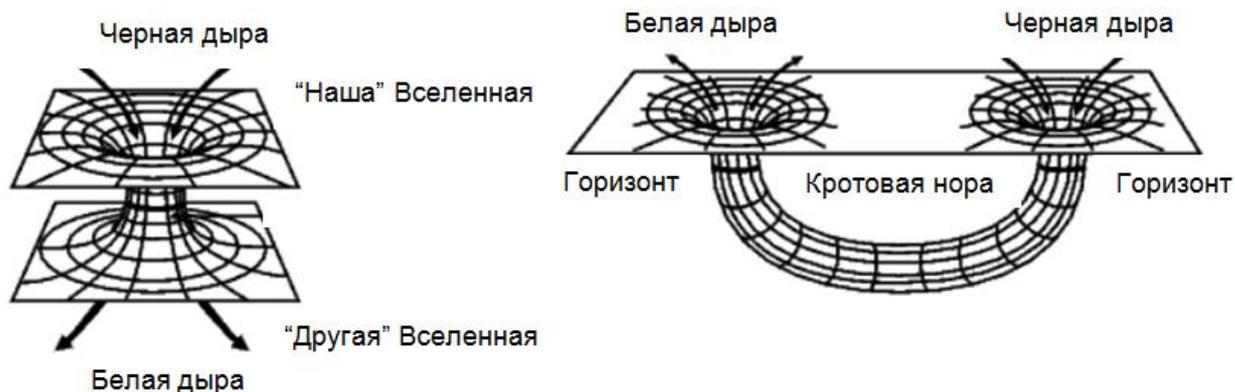


Рисунок 7

Ж.-П. Люмине. Черные дыры: Популярное введение.

[\[http://www.astronet.ru/db/msg/1180462/index.html\]](http://www.astronet.ru/db/msg/1180462/index.html)

[\[http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9801252.pdf\]](http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9801252.pdf)

Более того, представление Крускала - не более чем математическая идеализация черной дыры: она неявно предполагает, что черная дыра существует *вечно*. Однако, по-видимому, реальная черная дыра не может быть старше Вселенной. В этом случае мы имеем "урезанную" диаграмму Крускала (ее "половину"), содержащую только горизонт событий и сингулярность будущего, находящиеся в асимптотически плоском пространстве-времени. Там нет места для белой дыры. А это не дает ни единого шанса для путешествий в пространстве-времени... Этот же аргумент приводит Л. Сасскинд в своей книге, добавляя к нему еще один, не менее важный: "Уилеровские кротовые норы могут оставаться открытыми лишь очень короткое время, а затем схлопываются. Кротовые норы открываются и закрываются столь быстро, что пройти сквозь них совершенно невозможно... Некоторые физики поговаривают о том, что квантовая механика может каким-то образом стабилизировать кротовую нору, но никаких доказательств этому нет" [Л. Сасскинд. Битва при черной дыре. Изд-во "Питер", 2013].