

Специальная теория относительности и эволюция Вселенной

1. Введение

Как хорошо известно, в рамках специальной теории относительности (СТО) переход к движущейся системе отсчета интерпретируется как *поворот в псевдоевклидовом пространстве Минковского*. Кроме того, в этом пространстве оперируют *сдвигами*, которым и посвящена данная заметка. Но вначале кратко остановимся на специфике поворотов.

К сожалению, в учебной литературе по СТО весьма редко воспроизводится правильная геометрическая интерпретация этого обстоятельства, которая *не соответствует* привычному повороту в евклидовом пространстве. Действительно, при переходе от лабораторной системы отсчета к движущейся, *ось времени поворачивается* на угол, зависящий от скорости, а мировая линия вспышки света *должна оставаться биссектриссой*, поэтому *и пространственная ось поворачивается* на вышеуказанный угол (см. [Тэйлор и Уилер, 1966]). На рис. 1 пунктиром проведена мировая линия вспышки света, а также показана координатная сетка движущейся системы отсчета так, как она будет выглядеть в лабораторной системе. Таким образом, в лабораторной системе отсчета система координатных осей движущейся системы отсчета будет уже не ортогональной, а *косоугольной!*

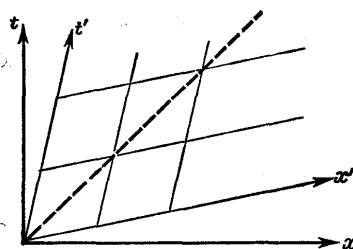


Рис. 1. Положение в лабораторной системе отсчета пространственной оси движущейся системы отсчета

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.

Одновременно с изменением угла меняется *шаг координатной сетки*, т.е. шкала длин и времен. По мере увеличения угла шкала длин и времен растягивается (или, что равнозначно, сами пространственные и временные отрезки как бы сжимаются).

Итак, для перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой в СТО используются преобразования Лоренца, т.е. преобразования *поворота* в 4-мерном псевдоевклидовом пространстве. Эти преобразования образуют *группу Лоренца*, включающую 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 (т.е. группы Лоренца), 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, скорости, импульса и энергии). Именно по этой причине законы сохранения названных физических величин связаны с симметрией пространства Минковского относительно поворотов и сдвигов.

2. СТО и хронологическая эволюция картины мира

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. 2. 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).

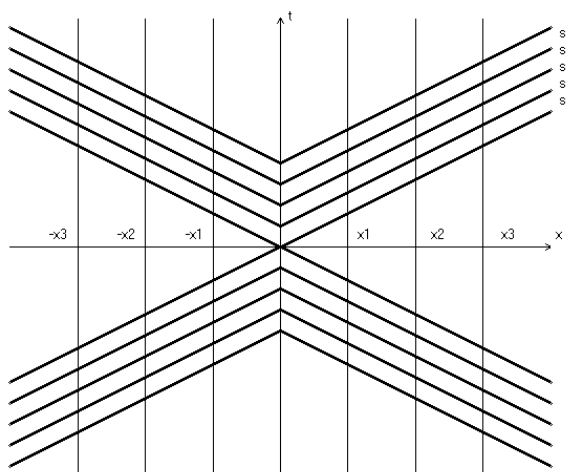


Рис. 2. Последовательность световых гиперповерхностей, отвечающая сдвигу Пуанкаре

Однако такая модель хронологической эволюции, во-первых, не является априорно единственно возможной, а во-вторых (и это главное!) не удовлетворяет требованиям релятивистской инвариантности.

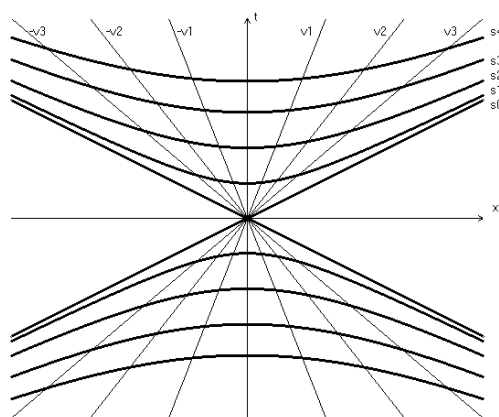


Рис. 3. Последовательность гиперповерхностей, отвечающая E-сдвигу

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). Как известно, 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). 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 гиперповерхности 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.

БИБЛИОГРАФИЯ

[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).