Теория относительности для первокурсников или как Бог может управлять Вселенной.

И.В. Чусов

(получена 6 июня 2005; изменена 11 июня 2005; опубликована 15 июля 2005)

Когда я под старость поверил в существование Бога, то мне пришлось поставить перед собой как физиком непростой вопрос: как может Бог **знать**, что творится в каждом уголке Вселенной и как может оперативно всем этим **управлять**, если справедлива эйнштейновская *специальная теория относительности* (СТО), запрещающая сигналы любой природы, распространение которых происходит со сверхсветовой скоростью?

Ко времени постановки данного вопроса я уже много лет проработал в области экспериментальной физики и знал, что СТО есть фундамент современной мне физики XX века. Если главную идею СТО сформулировать в одной фразе, то она звучит примерно так: **все механические и электромагнитные закономерности описываются одними и теми же формулами в инерциальных системах отсчёта, движущихся равномерно и прямолинейно относительно друг друга; электромагнитные волны распространяется с одинаковой скоростью во всех инерциальных системах отсчёта; не существует сверхсветовых сигналов любой природы.** Если это всё верно, то не может Бог, ограниченный конечностью скорости света, оперативно управлять Вселенной. Либо Он не всемогущий и не всеведущий, либо что-то не так с физикой. Читатель может подумать, что у автора статьи не в порядке голова, раз его волнуют столь абстрактные вопросы. Конечно, всё может быть, а с другой стороны, ближайшую к нам звезду — α-Центавра — мы наблюдаем такой, какой она была четыре года тому назад! Может, она уже взорвалась года три, а мы до сих пор ничего не знаем! Правда, человек и не такое вытерпит. А Бог?

Кроме того, первые два постулата СТО – относительность и постоянство скорости света во всех системах отсчёта – были прекрасно обоснованы экспериментально, имели многочисленные следствия, которые и составили тот самый фундамент физики. Что же касается третьего постулата, то он, в отличие от первых двух, не открывал новые формулы, а, наоборот, некоторые возможности закрывал. Так как *возможность* чего-то (взрыв атомной бомбы из-за эйнштейновского $E=mc^2$, например) интересовала учёных гораздо больше, чем *невозможность* чего-то, а отбрасывание третьего постулата не меняла даже запятой в формулах СТО, то в учебниках по СТО третий постулат вводился весьма небрежно. По существу говорилось везде одно и то же: если есть сверхсветовые сигналы, то нарушится принцип причинности, а это не соответствует практике науки и человеческой деятельности. И – всё...

А вдруг мы попадаем в положение Лобачевского, который усомнился в справедливости одного из постулатов Евклида, а в итоге рассуждений выстроил альтернативную геометрию? Более того, со времён дискуссии 1935 года между Бором и Эйнштейном вопрос о возможности существования сверхсветовых сигналов всегда оставался в повестке дня. Правда, поднимали этот вопрос по большей части люди несолидные, еретики от науки, но это не так важно. Сегодня ты – еретик, а завтра – Лютер. Будем осторожнее в оценках. Будем разбираться. В собеседники выберем студента-первокурсника, которому <u>уже</u> начали читать высшую математику, а знание алгебры у него ещё имеется, поскольку он в технический вуз всё-таки через экзамены проскочил. Попробуем вместе с ним понять, как выглядит СТО без третьего постулата. С Богом!

Что такое инерциальные системы отсчёта, спросите вы? Например, это рельсы и пейзажи, через которые рельсы проложены, – одна система отсчёта. Это поезд, который мчится с одинаковой скоростью по описанным выше прямолинейным рельсам – другая система отсчёта. В каждой системе отсчёта есть свои наблюдатели: зеваки, которые машут платочками пассажирам поезда и пассажиры поезда, которые смотрят в окно. А высоко над поездом летит самолёт, и в нём тоже есть наблюдатели – третья система отсчёта и так далее.

Ну и что здесь страшного, спросите вы, где проблемы? С механической относительностью разобрались несколько веков назад. Проблемы появляются, как только мы захотим так выстроить теорию, чтобы *электромагнитные процессы* описывались бы одинаково во всех движущихся равномерно и прямолинейно системах отсчёта. При этом окажется, что такое описание возможно при очень большом травмировании обывательского здравого смысла: скорость распространения света во всех системах отсчета должна быть одинакова и равна c, а отрезки длин и времён, соответствующие одним и тем же событиям в разных системах отсчёта, будут разные. Например, для пассажира на вокзале дыхание пассажира в пролетающем мимо поезде покажется замедленным, а длина самого поезда – укороченной по сравнению с таким же составом, мирно стоящим на запасных путях. Согласно СТО добиться постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчёта можно только при помощи дикого предположения, что в каждой системе отсчёта имеется своё собственное пространство-время. *Так оно и есть на самом деле*, но мы этого не замечаем потому, что скорости, с которыми мы имеем дело в своей практике, в том числе и скорости систем отсчёта во много-много раз меньше скорости света c, а именно при скоростях близких к скорости света и наблюдаются странные для здравого обывательского смысла эффекты.

Пришло время записать формулы преобразований пространственно-временных координат конкретного события при переходе из одной системы отсчёта к другой. Общие формулы весьма громоздки, но без потери смысла мы можем их сильно укоротить, приняв события одномерными. Предположим далее, что в неподвижной системе отсчёта (рельсы) координата x имеет положительное направление вправо, а ноль этой координаты – центр платформы вокзала. Примем, что мимо вокзала без остановки проскакивает поезд в сторону положительных значений x системы отсчёта, связанной с вокзалом. Он движется со скоростью v относительно вокзала вправо. Поэтому знак у скорости v – положительный. Обозначим все значения координат и времени, связанные с поездом, штрихами. Положим, что вдоль поезда выложена координатная система x', положительное направление которой – в сторону локомотива. Начало отсчёта (ноль штрихованной системы координат) положим где угодно в середине поезда, – в купе начальника поезда, например. Далее, мы произведем установку часов вокзала и поезда, синхронизированных предварительно по отдельности. Без потери общности положим, что в момент прохождения центра поезда через центр платформы вокзала (нулевые координаты в обеих системах совпадают), совпадают и нули времени в обеих системах отсчёта. На первый взгляд может показаться, что мы вводим много произвольных данных. На самом деле мы вольны один раз сдвинуть все пространственные и временные нули систем координат, поскольку по-настоящему нас будут интересовать не абсолютные цифры, а разность времён и координат между двумя событиями в разных системах отсчёта. Фундаментальное преобразование пространственных и временных координат при переходе от изначальной системы отсчета в штрихованную, которое носит имя Лоренца, будет выглядеть так.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(v^2 / c^2\right)}}, \quad t' = \frac{t - \left(xv / c^2\right)}{\sqrt{1 - \left(v^2 / c^2\right)}}. \tag{1}$$

Здесь *x*, t – координаты **события** в системе отсчёта вокзала, а *x'*, t' – координаты того же **события** в системе отсчёта поезда, который движется со скоростью v в сторону положительных значений оси *x*. В этих координатах видят событие наблюдатели в поезде. Надо всегда помнить в какой системе отсчёта ты мысленно находишься. Скажем, ты находишься в точке *A*, а товарищ в точке *B неподвижной* системы отсчёта. Вы смотрите на часы, каждый на свои, *в своей неподвижной системе отсчёта*. *Все они показывают одно и то же время,* поскольку в каждой системе отсчёта часы синхронизированы. Но если перевести взгляд на часы, *расставленные в проносящемся рядом поезде*, то каждый неподвижный наблюдатель увидит *разное* время. Это происходит потому, что во временную формулу системы (1) мы подставляем одно и то же время t, но *разные* координаты *A* и *B*. В согласии с формулой (1) нам покажется, что часы в поезде несинхронизированы. Но это не так.

Если одномоментно по своему поездному времени два пассажира поезда, находящиеся в разных его, поезда, местах, выглянут в окошко и посмотрят на часы, расставленные вдоль полотна дороги, то они тоже увидят разные цифры и придут к заключению о крупных недочётах в работе службы синхронизации времени вдоль пути. И последнее замечание. Формулы (1) рассчитаны на события, рассматриваемые наблюдателями в *неподвижной* системе отсчёта. С помощью этих формул мы хотим определить, где и когда происходит данное событие в *движущейся* системе отсчёта. Но может встать и обратная задача. Событие происходит в поезде, и наблюдатель находятся в поезде. Ему хочется знать, какие координаты у этого события в неподвижной системе координат. В этом случае заданы штрихованные значения, а требуется получить нештрихованные, чтобы узнать, что видят наблюдатели на вокзале. Можно решать систему (1), а можно сообразить, что обратное преобразование Лоренца выглядит точно так же, как и прямое, только перед знаком скорости v надо поставить знак минус, поскольку из окна поезда вокзал выглядит летящим *влево*. Запишем на всякий случай и обратное преобразование.

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \left(v^2 / c^2\right)}} \quad \text{и} \quad t = \frac{t' + \left(x'v / c^2\right)}{\sqrt{1 - \left(v^2 / c^2\right)}}. \tag{1a}$$

Теперь создадим рисунок, соответствующий преобразованию Лоренца.

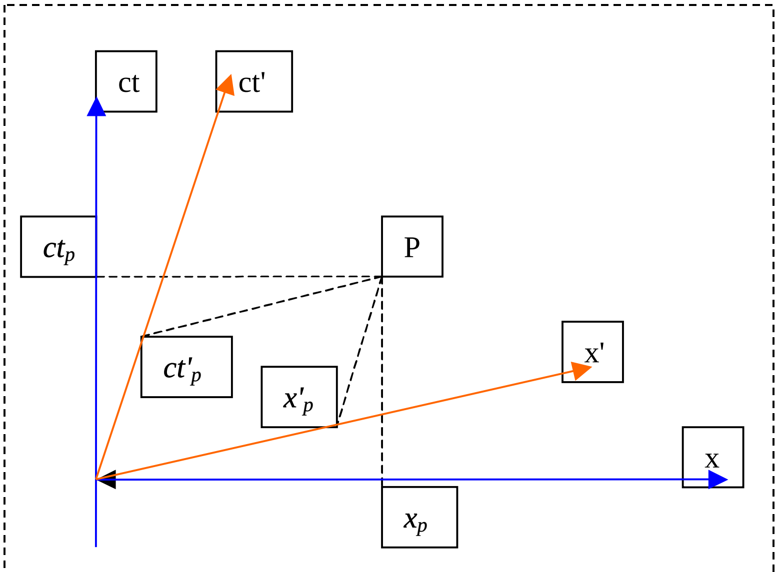

Рис. 1

Синие линии это координатные оси в неподвижной системе координат. Для упрощения рисунка мы масштаб временной оси положили в виде ct. Красными линиями на графике изображены оси движущейся системы координат. Углы между осями ct/ct' и x/x' одинаковые и зависят от скорости движения v движущейся системы координат. Больше скорость — больше угол. В итоге мы получили *косоугольную* систему штрихованных координат. На рисунке изображено событие P, координаты которого в неподвижной системе координат строятся через опускание перпендикуляров на координатные оси. Получаем точки ct_p и x_p. В косоугольной системе координат кординаты события P строятся через пересечение линий, исходящих из точки P параллельно штрихованным координатным осям, с самими этими осями. Получаем точки ct'_p и x'_p. Эти координаты соответствуют преобразованиям Лоренца (1).

Теперь давайте рассмотрим два предельных случая. Один из них вполне обыкновенный, а второй — сумасшедший.

Времениподобные события

К первому случаю относятся два последовательных события, происходящих на одном и том же месте платформы вокзала, но в разное время. Поскольку мы живём в эпоху террористов, то выстроим модельный ряд событий, используя современный литературный штамп.

Пусть на вокзале во время прохождения поезда в него дважды стреляют. Первый раз — в момент $t_1=0$ по часам вокзала, а второй раз в более позднее время t_2. Оба выстрела происходят в одной и той же точке с координатой $x=0$. То есть, имеется террорист, которому нерасторопная охрана вокзала позволяет сделать два выстрела последовательно. В момент первого выстрела центр поезда находился в точке выстрела. Временная разность двух событий по вокзальным часам будет ($t_2 - t_1 = t_2$). Подставляя в уравнения (1) пространственно-временные координаты первого выстрела $x=0$ и $t=0$, получим: $x'_1=0$; $t'_1=0$, а подставляя координаты второго события $x=0$ и $t=t_2$, получим:

$$x'_2 = -\frac{vt_2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}, \quad t'_2 = \frac{t_2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}. \tag{2}$$

Мы видим, что в движущейся системе отсчёта временной интервал между событиями увеличился, поскольку было $t_2 - t_1 = t_2$, а стало:

$$t'_2 - t'_1 = t'_2 = \frac{t_2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}, \tag{3}$$

и два события стали совершаться в разных местах, отделённых пространственным интервалом

$$x'_2 - x'_1 = x'_2 = -\frac{vt_2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}, \tag{4}$$

что, в общем-то, не должно вызывать удивления, поскольку стрелок неподвижен, а поезд движется. Естественно, что дырки в поезде будут в разных местах вагона и даже в разных вагонах *хвоста* поезда, поскольку первая дырка от выстрела в поезде придётся точно по его середине.

Подведём теперь некие философские итоги. Второе событие в обеих системах отсчёта следует за первым, а временной интервал между событиями минимален именно в той системе отсчёта, в которой оба события происходят в *одном* месте. Эти два события могли иметь причинно-следственную связь, и второе из них могло быть следствием первого, поскольку во всех системах отсчёта временная отметка второго события по "местному времени" была позже, чем отметка первого события. В системе отсчёта, где оба выстрела происходили в одном месте, можно было, услышав первый выстрел, вызвать милицию, и второго выстрела не будет. Или милицию не вызывать, тогда выстрел будет. События внутри поезда также могут предотвратить второе покушение.

Первый выстрел в поезде будет увиден и услышан по местному времени в точке $x'=0$ в момент $t'=0$. Чтобы пресечь второй выстрел, надо послать световой сигнал в хвост поезда к точке $(-\,x'_2)$, и если сигнал успеет придти вовремя, то *охрана поезда* может застрелить террориста, и второго выстрела не будет. Для этого надо, чтобы время пролёта светового сигнала от точки $x'_1=0$ до точки x'_2 было меньше временного интервала между двумя выстрелами в движущейся системе отсчёта. Разделим расстояние (4) на скорость света и получим пролётное время

$$\Delta T = \frac{vt_2}{c\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}; \tag{5}$$

а время между двумя событиями в системе отсчёта поезда равно, как мы вычислили

$$t'_2 - t'_1 = \frac{t_2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}. \tag{6}$$

Видно, что из-за малого отношения скорости системы отсчёта v к скорости света c предупреждающий сигнал охране придет вовремя. Более того, даже если скорость поезда будет приближаться к скорости света, то и в этом случае охрана успеет. Вывод: в любой системе отсчёта два данных события могут быть связаны причинно-следственной связью. Теперь посмотрим, какой смысл вкладывается в слова "два данных события".

Рассмотрим некую "магическую" комбинацию, которая приведёт нас к необходимым обобщениям. Составим выражение $(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2/c^2 = s^2$ и назовём s интервалом собственного времени. Составим точно такую же комбинацию из штрихованных величин. Подставив наши цифры из штрихованной системы и нештрихованной, получим в обоих случаях $s^2 = (t_2)^2$. Эта величина больше нуля. Можно обобщить. В теории СТО показывается, что если мы составим комбинацию вида $s^2 = (t_B - t_A)^2 - (\Delta r)^2/c^2$, где A и B два события, (Δr) — пространственное, а $(t_B - t_A)$ – временное расстояние между ними в какой-то системе отчёта, то в любой другой системе, которая описывается преобразованиями Лоренца, величина s^2 останется той же самой. Если $s^2 > 0$, то такие два события называются *времениподобными*. С такими двумя событиями мы имели дело в разобранном примере.

Для времениподобных событий пространственный член, который просто есть квадрат пролётного светового времени между геометрическими точками двух событий в данной системе отсчёта, всегда меньше интервала времени между двумя событиями в этой системе. Именно по этой причине такие два события могут быть связаны причинно-следственной связью. Минимальное значение $(t_B - t_A)^2$ будет в той системе отсчёта, в которой оба события будут совершаться в одной точке (в нашем случае – вокзал). Более того, **можно утверждать, что для времениподобных событий всегда можно подобрать такую систему отсчёта, в которой оба события происходят в одной точке.**

Если взглянуть на формулу (4), становится понятно, что пространственный член очень сильно растёт при увеличении скорости движения поезда. Поэтому может оказаться так, что временная разница в секунды между двумя последовательными событиями, если события происходят в одном и том же месте, в другой быстро движущейся системе отсчёта, где они происходят в разных местах, превратится в часы или века, но ничего принципиально нового происходить не будет: временной член будет всегда больше пространственного, управление всегда возможно и управляющий сигнал никогда не меняет направления. Грубо говоря, если событие B происходит после события A, то же самое будет во всех других системах отсчёта, подчиняющихся теории относительности. Поэтому событие B может быть следствием события A, но не может быть причиной никогда, ни в какой системе отсчёта.

Уместно заметить именно здесь, что со времён Ньютона до появления СТО время считалось абсолютным и не зависящим от движения системы отсчёта. Поэтому вопрос об инверсии причинно-следственной связи возникнуть не мог. В этом смысле до появления СТО любые два события были "времениподобными", потому что других просто нельзя было представить. СТО ввела в обращение неизвестные ранее пары событий, которые при рассмотрении в подходящих системах координат могли менять свою временную последовательность. До СТО таких объектов просто не было, и именно из-за их появления и возникли разговоры о необходимости третьего постулата.

Пространственноподобные события.

Рассмотрим теперь второй пример. Пусть "злые враги" стремятся как-то повредить наш поезд, для чего они выставили *двух* стрелков, *первый* из которых (центральный) находится в точке $x_1 = 0$, а второй (периферийный) — в точке с координатой $x_2 = L$ и $L > 0$. Далее, в момент времени $t = 0$ они *по единой радиокоманде* в системе отсчёта вокзала стреляют в проходящий поезд. Теперь распишем все эти события в системе отсчёта поезда. Используя преобразования Лоренца (1), получим для первого события (стрелок 1 при x=0 и t=0) нули и в штрихованной системе координат: x'=0 и t'=0. А с другим (периферийным) стрелком 2 всё будет посложнее. Подставляя данные в (1), получим:

$$x_2{}' = \frac{L}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}} \qquad t'_2 = -\frac{Lv/c^2}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}. \tag{7}$$

Уточним детали. На вокзале два стрелка одновременно по времени вокзала стреляют в поезд. С точки зрения наблюдателей вокзала дырки в вагонах появляются одновременно. С точки зрения наблюдателей в поезде дырки появляются последовательно. Сначала дырка от выстрела стрелка 2 (координата $x = L$) во время t'_2, рассчитанное по формуле (7), а потом — вторая дырка в момент t'_1=0. Уже странно. Первая дырка от стрелка 2 получается при отрицательном времени, то есть до начала стрельбы вообще по часам вокзала. Построим рисунок.

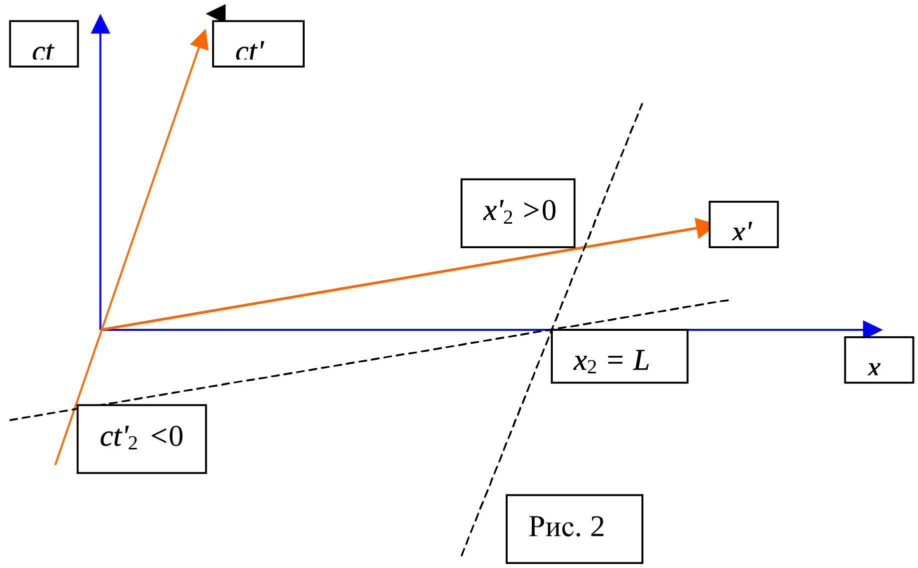

Рис. 2

Подведём некоторые итоги. По времени вокзальной системы отсчёта стрельба велась одновременно. Поэтому фиксирующие события видеокамеры *на вокзале* покажут одновременное образование пулевых отверстий в вагонах поезда. В то же время в системе отсчёта поезда первой появится отверстие от пули второго стрелка, находящегося в точке L на краю платформы. Записывающая аппаратура *в поезде* показала бы, что вторая пуля (стрелка, располагавшегося в центре платформы) попала в поезд через положительный интервал времени $\Delta t' = \frac{\left(Lv/c^2\right)}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}$ по часам поезда. Эта разница в результатах не есть бред сумасшедшего, это законное следствие применения правильных формул Лоренца к событиям другого, *пространственноподобного* класса, который появился только потому, что была использована СТО. С парадоксальностью описанного результата надо просто смириться. Здесь не использовались никакие мгновенные скорости. Результат строго следует из СТО. Почему мы ничего подобного не наблюдаем? Потому, что скорости малы.

Во втором примере мы столкнулись со случаем *пространственноподобных* событий. Они отличаются тем, что квадрат интервала собственного времени $s^2<0$, т.е. пространственная составляющая больше временной. Это означает, что в любой системе отсчёта время между *событиями* меньше *пролётного времени света* между двумя точками, в которых совершаются события. Данные события не могут быть связаны причинно-следственной связью, если нет ничего быстрее скорости света. *Для двух пространственноподобных событий всегда можно найти систему отсчёта, где оба события происходят одновременно, но в разных точках.* Интересно здесь то, что хотя есть система отсчёта, в которой два пространственноподобных события происходят одновременно, всегда можно подобрать такие системы отсчёта, в которых *то одно, то другое* событие казалось бы происходящим раньше. Но воспользоваться этим для создания причинно-следственной связи невозможно, если нет сверхсветовых сигналов. Это тот самый случай, когда "видит око, да зуб неймёт". Покажем, что это так, для чего вернёмся к формулам.

Получается, что покушение 2 (периферийного стрелка) *в системе поезда* случится раньше, чем покушение 1 (центрального стрелка)! Нельзя ли это как-то использовать? Например, мы хотим избавиться, находясь в поезде, от второго покушения по времени поезда. Первое мы уже пропустили. Второе будет в точке $t'=0$ времени и $x'=0$ точки пространства системы отсчёта поезда. Мы хотим его предотвратить. Для этого мы должны послать сигнал, например световой, из точки $x'_2>0$ (первая формула 7) *против хода поезда* в точку 0. Тогда охрана поезда, находящаяся в точке $x'=0$, может застрелить террориста в центре платформы. Световой сигнал будет перемещаться, его пролётное время $\Delta T = x'_2/c$. А временной запас у нас согласно второй формуле (7) меньше. Он равен $t'_1 - t'_2 = -t'_2 = \Delta T \dfrac{v}{c}$. *Мы не успеваем*!

Настоящие парадоксы начинаются тогда, когда (и если?) мы располагаем сверхсветовыми сигналами. Природу таких сигналов мы не рассматриваем, мы просто изучаем возможные последствия. Для начала покажем, что если имеется сверхсветовой сигнал хотя бы чуть-чуть превышающий скорость света, то всегда найдётся такая система отсчёта, в которой эта скорость обратится в бесконечность.

В самом деле, возвратившись к исходным формулам лоренцовых преобразований (1), направим в неподвижной системе координат из нулевой точки сигнал вправо, в сторону положительных значений координаты x. Понятно, что фронт этого сигнала через время t будет находиться на расстоянии $x = Vt$, где V — скорость распространения фронта сигнала в неподвижной системе координат. Воспользовавшись формулами Лоренца, подсчитаем положение этого фронта в подвижной системе координат:

$$x' = \frac{V - v}{\sqrt{1 - \left(v^2/c^2\right)}} \qquad t' = \frac{1 - \left(vV/c^2\right)}{\sqrt{1 - \left(v^2/c^2\right)}} \tag{8}$$

Далее, разделив x' на t', получим скорость фронта сигнала V' в движущейся штрихованной системе координат:

$$V' = \frac{V - v}{1 - \left(vV/c^2\right)} \tag{9}$$

Если $V<c$, то соотношение (9) показывает, что при $v \geq V$ происходит смена знака V', что вполне естественно: если наблюдатель обгоняет сигнал, то он увидит его отстающим, т.е. распространяющимся в другую сторону. Если мы имеем дело со светом, то $V=c$ и согласно (9) $V' = c$, что неудивительно, поскольку свет во всех системах отсчёта согласно СТО распространяется с одной скоростью. Но пусть теперь $V>c$. С помощью соотношения (9) мы немедленно находим систему координат, в которой V' бесконечна. Для этого надо просто положить знаменатель формулы (9) равным нулю. Получим

$$v = c^2 \big/ V < c \,. \tag{10}$$

Это означает, что при приближении v со стороны нуля к величине (10) скорость сверхсветового сигнала увеличивается до плюс бесконечности. Величина скорости, соответствующая (10) — точка разрыва. Если увеличить скорость v свыше (10), то величина скорости сигнала в штрихованной системе координат начнёт плавно уменьшаться по модулю от минус бесконечности до скорости света с отрицательным знаком. Для нас здесь существенно, что бесконечная скорость информационного сигнала возможна всегда, когда в какой-то системе отсчёта скорость распространения сигнала превысила c.

Тонкости теории относительности

Теперь, когда мы написали десяток формул, можно расслабиться и поговорить о теории относительности более задушевно. Несколько веков назад учёные, начиная с Галилея, начали использовать принцип относительности механических явлений. Эйнштейн, Пуанкаре и другие распространили идею невозможности определить абсолютное движение системы отсчёта на электромагнетизм. Оказалось, что это справедливо, если на пространство-время в разных системах отсчёта наложить связи Лоренца и положить постоянной скорость электромагнитных сигналов во всех системах отсчёта. Из кинематики и динамики СТО неопровержимо вытекает невозможность движения любого *материального* объекта со скоростью свыше скорости света. Кинематика и динамика СТО подтверждена миллионы раз. Вспомним хотя бы об атомной бомбе.

Но есть у теории относительности результаты, которые кажутся очень странными. До Эйнштейна никому не могло придти в голову, что два события в разных системах отсчёта могут иметь разную последовательность. До Эйнштейна время было одним и тем же во всех системах отсчёта и данной проблемы не существовало в принципе. Существование пространственноподобных событий, для которых возможна инверсия во времени, бросало вызов учёным. Ведь что получалось? Когда мы разбирали выше пространственноподобную ситуацию, в которой нам не хватало времени для предотвращения теракта, мы использовали как сигнал связи световой луч. А если бы мы использовали сверхсветовой информационный сигнал непонятно какой природы, то смогли бы этот теракт предотвратить!

Итак, мы возвращаемся к анализу пространственноподобных событий. Напоминаем граничные условия. Два стрелка, первый в центре вокзальной платформы, а второй на её краю, на расстоянии L от первого по ходу поезда, стреляют в поезд в момент времени t=0 по вокзальным часам. Выбираем стандартное совпадение пространственно-временных границ двух систем в виде: x'=0 в момент t'=0 совпадают с x=0 в момент t=0. Мы уже установили, что во времени поезда пули в поезд попадают не одновременно.

Первой попадает пуля от периферийного стрелка, находящегося в точке L системы вокзала. В системе отсчёта поезда это случится в момент времени $t'_2<0$ в точке $x'_2>0$ (см. ур.(7)). Из-за того, что время t'_2 отрицательно, серединная точка поезда $x'=0$ только на подходе к середине платформы, её касание с точкой $x=0$ ещё не состоялось, а именно в этот момент должен случиться второй (с точки зрения поезда) выстрел. Находясь в поезде, мы хотим предотвратить попадание пули от центрального стрелка. С этой целью мы посылаем *мгновенный* сигнал вдоль поезда в *направлении к хвосту* в точку $x'=0$, чтобы охрана поезда застрелила террориста раньше, чем он нажмёт курок своего пистолета. Нам хватило бы и скорости не бесконечной, главное успеть передать информацию в точку $x'=0$ поезда до того момента, когда эта точка достигнет точки $x=0$ вокзала. Из-за мгновенности распространения сигнала нужная информация окажется в точке $x'=0$ в момент времени $t'_2<0$. Охрана предупреждена вовремя. Второй выстрел по часам поезда не состоится. Можно подсчитать ещё точнее, но нет необходимости.

Мы пришли к довольно странному результату. Если мы <u>не располагаем</u> сверхсветовыми сигналами, то мы получаем две *последовательные* во времени пулевые пробоины в вагонах поезда, хотя люди на вокзале убеждены, что оба выстрела происходили одномоментно. Более того, если мы <u>располагаем</u> сверхсветовыми сигналами в поезде, то мы можем предотвратить второе покушение, ежели сумеем распорядиться информацией о первом покушении. Просто *охрана поезда* застрелит террориста, который собрался стрелять по поезду из центра платформы. Мы эту охрану успеваем предупредить. Это уже удивительно. С точки зрения людей на вокзале живые террористы стреляют одномоментно! Это уже парадокс.

Но мы можем сделать ещё более сильный ход. Мы получаем информацию о первом выстреле в момент времени $t'_2=-\dfrac{\left(Lv/c^2\right)}{\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)}}$. Посылаем мгновенный сигнал опасности в точку $x'=0$ нашего поезда. Каким пространственным и временным точкам вокзальной системы отсчёта это соответствует? Подставляем в уравнения системы (1a) величины t'_2 и $x'=0$. В системе отсчёта вокзала получим:

$$x=-L\frac{v^2}{c^2}\left(1-v^2/c^2\right)^{-1} \text{ и } t=-L\frac{v}{c^2}\left(1-v^2/c^2\right)^{-1} \tag{11}$$

То, что значение x отрицательное, интереса не представляет, но меньше нуля величина t! Ведь это означает, что когда в поезде уже есть одна дырка, в системе отсчёта вокзала стрельбы еще не было. Можно ли предупредить теракт, располагая данными (11)? Увы, если мы разделим модуль x на c, то получим пролётное время ΔT в v/c меньшее, чем располагаемое время t из системы уравнений (11). *Не успеваем!*

Но совершенно другая ситуация, если охрана поезда, получив сигнал тревоги, выбрасывает на платформу записку, а охрана вокзала в точке x из системы уравнений (11) немедленно посылает *мгновенный* сигнал в своей системе отсчёта вперёд по ходу поезда, предлагающий уничтожить *всех* террористов. Этот сигнал ликвидирует обоих террористов, пока они не начали стрелять, времени для этого хватает, сигнал мгновенный! Здесь мы столкнулись с явным парадоксом. *Поезд* уже получил одну пробоину. Пробоина стимулировала активность *охраны поезда*, которая использовала мгновенный сигнал, распространяющийся против хода поезда, для того, чтобы сообщить *охране вокзала*, что на платформе идёт стрельба *до начала самой стрельбы* по времени вокзала. Эта информация заставила охрану вокзала уничтожить террористов *до начала стрельбы*. Все счастливы? Мд-а-а… А что с дыркой в вагоне? А если, не дай Бог, пуля кого-то в поезде убила? Как всё это понимать?

Теперь давайте подумаем вот о чём. Во времена создания СТО важно было затвердить постоянство скорости света во всех системах отсчёта, поскольку этот постулат кардинально менял основы физики. Хотелось ли корифеям разбираться с *пространственноподобными* интервалами да ещё предполагать при этом, что существуют неизвестные сверхсветовые сигналы? Думаю, эти мелкие подробности их не интересовали. Поэтому самое простое — объявить сверхсветовые сигналы невозможными. Тогда оставались некоторые информационные парадоксы, но прямых противоречий не было. Реальные проблемы возникли примерно через полвека после создания СТО, когда было доказано существование мгновенных квантовых корреляций.

Одной из первых статей, в которой серьёзно разбирались рассмотренные нами противоречия, была большая статья академика Б.Б. Кадомцева. В этой статье автор вынужден был обсуждать возможную корректировку некоторых постулатов СТО, поскольку он создал теорию частного случая квантовых корреляций как объяснение т. н. "эффекта Ю.Л. Соколова". Общий смысл соображений Б.Б. Кадомцева состоял в том, что не каждый случай использования сверхсветовых сигналов нарушает принцип причинности. Поэтому они допустимы и возможны. Но не все и не всегда. Б.Б. Кадомцев в своей статье выстраивал несколько другой ряд событий. В неподвижной системе координат он рассматривает два события A и B, которые происходят в разных местах, связаны причинно-следственной связью и происходят одномоментно. Событие A происходит в нуле координат, а событие B — в точке с координатой $L > 0$. Эти два события пространственноподобны, но Б.Б. Кадомцев связывает их причинно-следственной связью. Единственный способ реализации этого — мгновенная связь через квантовые корреляции. А далее Б.Б. Кадомцев показывает, что если не запустить в штрихованной системе второй сверхсветовой сигнал против хода движения первого сверхсветового сигнала, то никаких чудес не будет. Мы в своих более подробных рассуждениях получили то же самое. Поэтому Б.Б. Кадомцев вводит постулат: "Сверхсветовой сигнал управления не может распространяться в обратную сторону по времени t основной системы координат, если обе системы координат информационно связаны друг с другом". Стало быть, если этот принцип нарушить, то возникнут проблемы с причинностью. В одну сторону можно, а в другую, видите ли, нельзя. Почему? Может быть, это и верно, но слишком искусственно. Дело ведь не в том, что мы рассуждаем неправильно, а в том, что по Б.Б. Кадомцеву природа не позволит нам реализовать логически правильные рассуждения определённого класса, чтобы не было нарушений причинности. Природа играет роль милиционера?

Может оказаться, что ситуация со сверхсветовыми сигналами, рассмотренная нами выше, хотя и привела к неразрешимому парадоксу, имеет совершенно другую трактовку. Ведь мы показали, что какие-то события, происходящие в двух системах отсчёта, при наличии двух сверхсветовых сигналов создают глубокую нелинейность, в результате которой следствия (при участии людей) отменяют причину. Может быть, такой процесс следует понимать как "изменение реальности"? Наш анализ показывает, что движущим мотивом создания парадокса является воля людей, желающих устранить негативные последствия каких-то исходных событий. Может оказаться так, что мы недооцениваем глубину той нелинейности, которую можно создать с помощью сверхсветовых сигналов. Может оказаться так, что первоначально, на уровне причины, была одна реальность с соответствующими предметами и людьми, а на уровне отмены первоначальной причины, на уровне изменения реальности возникают другие предметы, люди, меняется устная и письменная память. Люди новой реальности не помнят о событиях в старой реальности.

Люди прошлой реальности в новой просто не существуют. Поэтому нет памяти об изменениях реальности, которые происходят, может быть, каждую минуту. Получается, что можно виртуально заглянуть в будущее, ужаснуться и поменять прошлое!

Не исключено, что "запрет" академика Б.Б. Кадомцева на самом деле не работает. Возможно, что самое главное в Мире происходит именно в форме *незапоминаемых явлений*, как раз то, что связано с нарушениями причинности, а точнее с изменениями реальности. Остаётся подумать, зачем всё это нужно. Вспомним, если бы не было СТО, то не возникли бы два класса событий: времениподобные и пространственноподобные. Изучение времениподобных событий было столбовым направлением физики XX века. Пространственноподобные события интересны постольку, поскольку имеются сверхсветовые коммуникации, которые, кажется, всерьёз открыты. Эта новая физика, а возможно, и новый подход к религии. Чтобы Бог мог обо всём знать и всем управлять, необходимы сверхсветовые сигналы. Если существуют сверхсветовые сигналы и имеются мыслящие субъекты, то возможно изменение реальности как способ коррекции бытия. Может оказаться, например, что изменение реальности лежит в основе действенности религиозного покаяния. Возможно, что мы открываем новые дороги не только в физике, но и создаём физическую теорию духовности.

Литература

1. Б.Б. Кадомцев, Динамика и информация, УФН **164,** №5 (1994).