

О нарушении лоренцевой симметрии

Сейчас, в связи с космологическими наблюдениями и экспериментами физики высоких энергий, снова стал появляться вопрос: а может быть, теория относительности ошибочна или неточна? Этот вопрос ставят с тех самых пор, как теория относительности стала популярной и вошла в учебники, немало на эту тему и спекуляций, особенно в среде непрофессионалов (мне приходилось в начале 90-х годов читать книгу с претенциозным названием «Теория относительности – мистификация века», где, впрочем, собственно научная часть была откровенно слабой, а большая часть аргументов являла собой весьма низкопробные и подчас дурно пахнущие философские пассажи).

Заверяю читателей, что теория относительности (и специальная, и общая) весьма точна и выверена столь большим количеством экспериментов, что ее можно считать вполне верной – по крайней мере, если речь идет об обычных масштабах расстояний, времен, энергий... Все это означает, что новые эффекты, изменяющие предсказываемую теорией относительности картину мира, должны проявляться в нашей области мира и при наблюдаемых нами расстояниях и энергиях лишь как малые поправки, а теория относительности при этих энергиях дает вполне удовлетворительную точность. Примерно так же, как при скоростях человека, автомобиля, поезда, самолета вполне достаточно ньютоновской механики. То есть новая теория в любом случае должна включать старую теорию как предельный случай.

Итак, вопрос: в каких случаях симметрия Лоренца может быть неточна? Ответов на это два – либо сверхмалые расстояния (и времена), столь малые, что при них теряет смысл обычная геометрия, либо очень большие энергии (как известно из квантовой механики, чем меньше время измерения, тем больше неопределенность энергии, так что немудрено, что эффекты при малых расстояниях и высоких энергиях будут подобны).

Как это проявляется? Самые простые проявления нарушения Лоренца – это существование предпочтительных точек или направлений в пространстве (под пространством имеем в виду, конечно же, четырехмерное пространство-время): действительно, стоит только нам заявить, что какое-то направление в пространстве предпочтительно **при формулировке физических законов**, и какой-то вектор оказывается постоянным, то симметрия Лоренца оказывается нарушенной – допустимы только те преобразования Лоренца, которые этот вектор (будем называть его инвариантным вектором) не изменяют. Как это может быть? Очень просто. При наблюдениях за расширением Вселенной был сделан факт, что на больших масштабах она однородна и изотропна (то есть в разных ее точках и вдоль разных направлений ее свойства фактически не меняются), однако... одно предпочтительное измерение для Вселенной есть – это время! Ведь во времени, в отличие от координат пространства, Вселенная меняется – она расширяется, причем расширяется с ускорением! А значит, вполне можно предположить, что инвариантный вектор направлен вдоль оси времени. Более того, во многих теориях именно направленность инвариантного вектора вдоль оси времени приводит к тому, что хотя симметрия Лоренца нарушена, никаких странностей в этих теориях не возникает – ни тахионов (сверхсветовых частиц, известных тем, что они нарушают принцип причинности, так что следствие причины происходит раньше самой причины – то есть может существовать наблюдатель, для которого тахионная пуля сначала попадет в зайца, а уже потом вылетит из ружья), ни призраков (по-английски -- ghost), то есть свободных частиц с отрицательной энергией, про которые я раньше уже рассказывал (не правда ли, странно – представьте себе мчащегося по улице велосипедиста, у которого энергия... отрицательна!). Поэтому – почему бы и не быть нарушению лоренцевой симметрии?

Как это нарушение проще всего вводят? Проще всего – вспомним, что в обычной специальной теории относительности соотношение между энергией E , импульсом p и массой m частицы имеет вид (при скорости света, равной единице – для простоты расчетов, то есть мы мерим и энергию, и импульс в килограммах, расстояние в секундах, а скорость в долях скорости света): $E^2 = p^2 + m^2$ (это соотношение называется дисперсионным соотношением). А если лоренцева симметрия нарушена, то это соотношение примет более сложный вид. Например, в простейшем случае (скажем, это верно для теорий типа эфира, про которые я уже упоминал) – такой: $E^2 = p^2 + (b \cdot p)^2 + m^2$, где b – тот самый инвариантный вектор, а звездочка означает скалярное произведение. Или что-нибудь еще сложнее (впрочем, для большей части теорий эти соотношения весьма похожи). Однако во всех случаях действует общий принцип: как только мы полагаем инвариантный вектор равным нулю, так дисперсионные соотношения сводятся к обычным.

И что из этого следует? А вот что.

Во-первых, в случае, если мы модифицируем не какую-нибудь другую теорию, а электродинамику, то ее решения должны описывать модифицированные электромагнитные волны. И как только мы пытаемся определить скорость распространения этих волн, она оказывается уже не равной обычной скорости света – как правило, она меньше обычной скорости света. Более того, в этом случае распространение такой волны определяется уже не одной скоростью, а двумя – фазовой (которая может быть больше скорости света, это скорость распространения фазы, скажем, максимума волны) и групповой (это скорость волнового пакета, которые как раз и переносят энергию, и она должна быть меньше скорости света). И эта скорость зависит от энергии частиц! В принципе, две скорости появляются и если обычный свет распространяется через нетривиальную среду (например, через кристаллы), так что новым оказывается именно то, что этот эффект возможен для вакуума. А это значит, что по сути дела, нарушение симметрии Лоренца эквивалентно введению нестандартной среды!

Во-вторых, если рассмотреть уравнения распространения таких модифицированных волн, то можно увидеть, что их решения весьма странны. Например, войдя из вакуума (то есть среды с «обычными» свойствами) в среду, где есть нарушение симметрии Лоренца, луч света сам собой разделится на два, причем эти два луча будут распространяться с разными скоростями! В принципе, подобное явление вполне известно – это двойное лучепреломление, наблюдающееся в некоторых кристаллах, например, в турмалине, где вошедший луч делится на два – ~~нормальный и ненормальный~~ обыкновенный и необыкновенный. Впрочем, и этот вывод подтверждает, что нарушение симметрии Лоренца эквивалентно введению среды с нестандартными оптическими свойствами (ведь двойное лучепреломление возможно далеко не в каждом кристалле!). Следует из нарушения лоренцевой симметрии и другой чрезвычайно нетривиальный, хотя и известный из оптики эффект – вращение плоскости поляризации света. Более того, из работ ряда авторов следует, что в этом случае возможно распространение волн со сверхсветовой скоростью, однако, причинность (то есть тот самый эффект, что для любого наблюдателя причина происходит раньше следствия) не нарушается, хотя доказательство этого и весьма сложно.

А теперь – по поводу сверхсветовых скоростей. В принципе, как уже говорилось, при очень специальных условиях возможно, что сверхсветовые скорости не нарушают принцип причинности (по крайней мере, некоторое количество авторов утверждает это). И то, что опыт с нейтрино оказался ошибочным, все же не означает, что такая возможность исключена навсегда.

Источник: <http://istanaro.diary.ru/p178435861.htm?oam>