

Преобразования пространства-времени при наличии информационного барьера

Смирнов А.Н.

andreysxxx@gmail.com

Аннотация

Рассмотрено построение преобразований пространства-времени при наличии разницы в событиях в различных инерциальных системах отсчета. Рассмотрен случай, когда разница в событиях стремится к нулю при стремлении разницы инерциальных скоростей систем отсчета к нулю. В рамках этой гипотезы между системами отсчета возникает информационный барьер. Также это приводит к необходимости модификации принципа причинности, и введению слабой причинно-следственной связи. Показано, что при наличии информационного барьера преобразования Лоренца естественным образом возникают в 4-х мерном евклидовом пространстве-времени.

Введение

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета, двигающиеся относительно друг друга. Пусть в одной системе отсчета произошло какое-то событие. Произойдет ли это событие в другой системе отсчета? Ответ на этот вопрос кажется очевидным. Убеждение, что событие, произошедшее в одной инерциальной системе отсчета, произойдет в любой другой инерциальной системе отсчета, основано на нашем повседневном опыте. Мы регулярно изменяем свою скорость, и видим, что события, которые мы помним, как произошедшие в одной системе отсчета, произошли и в других системах отсчета. Когда-то казалось очевидным, что если два события были одновременны в одной системе отсчета, то они одновременны в любой другой системе отсчета. Теория относительности показала, что это не так. Так может и события в разных инерциальных системах отсчета могут различаться?

Может показаться, что отличие событий в разных системах отсчета противоречит повседневному опыту и наблюдениям. Ведь если события в разных системах отсчета отличаются, то, наверное, это бы проявлялось во множестве экспериментов. При рассмотрении возможности различия событий в разных системах отсчета, нужно будет объяснить, почему это до сих пор не было обнаружено в экспериментах.

Если предположить, что события в разных инерциальных системах отсчета могут различаться, то возникает вопрос о том, насколько они могут различаться. Есть ли какие-то ограничения на разницу событий?

Прежде чем идти дальше, отмечу, что человек всегда наблюдает события только в той системе отсчета, в которой его скорость равна нулю. Мы не можем наблюдать события в системе отсчета, относительно которой у нас ненулевая скорость. Мы можем получать информацию о том, что наблюдал в соответствующей системе отсчета некий прибор, например спутник. Однако, данные со спутника мы также наблюдаем в той системе отсчета, относительно которой неподвижны, в не в той, в которой неподвижен спутник.

Предположим, события в разных инерциальных системах отсчета, имеющих ненулевую скорость относительно друг друга, полностью независимы. При ускорении или замедлении, мы переходили бы в другую систему отсчета, события в которой были бы полностью независимы. В этом случае, если в одной из систем отсчета имеется человеческое тело, то нет никаких оснований для того, чтобы оно было в любой другой системе отсчета. Тем самым, человек мог бы существовать только в одной системе отсчета, и исчезал бы при изменении своей скорости. Но это очевидно противоречит повседневному опыту - при изменении скорости, наше сознание остается непрерывным, тело продолжает существовать. Исходя из этого, должно существовать ограничение на то, насколько отличаются события в разных системах отсчета.

Предположим, что при стремлении относительной скорости инерциальных систем отсчета относительно друг друга к нулю, разница событий в них также должна стремиться к нулю. В этом случае, появляется некоторая зависимость событий, происходящих в разных инерциальных системах отсчета, друг от друга. При достаточно малой разнице событий между системами отсчета, изменение скорости человеком не будет приводить к его исчезновению в той системе отсчета, которая стала его новой системой отсчета с нулевой относительной скоростью. Можно ли, в рассматриваемой модели, вычислить события в одной системе отсчета, на основе событий в другой системе отсчета, и наоборот? Другими словами, является ли преобразование событий при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую сюръективным, инъективным или биективным? Оснований для требования наличия биективного отображения событий в разных системах отсчета не видно, поэтому рассматриваем такое преобразование событий, которое не сюръективно и не инъективно. При этом, необходимо, чтобы после преобразования событий при переходе из одной системы отсчета обратное преобразование переводило события в исходные.

При переходе из одной системы отсчета в другую событие может не измениться. Но при этом, могут измениться его пространственно-временные координаты, относительно других не изменившихся событий. Теория относительности говорит, что одновременность событий и расстояние между точками в разных системах отсчета могут различаться. В теории относительности используется преобразование пространства-времени. Это преобразование меняет и взаимное расположение событий. Преобразование пространства-времени можно использовать и при наличии событий, которые есть в одной системе отсчета, но отсутствуют в другой, и наоборот. Применяем преобразования к событиям в одной системе отсчета, получаем события, ожидаемые при условии отсутствия разницы в событиях, в другой системе отсчета. Сравниваем ожидаемые события с фактическими, находим разницу. При этом, чем меньше разница скорости между сравниваемыми инерциальными системами отсчета, тем меньше должна быть разница между событиями. При разнице скорости, стремящейся к нулю, разница событий также должна стремиться к нулю. Теперь опишу сделанные предположения.

Описание гипотезы

Рассматриваем некоторое метрическое пространство-время. В этом метрическом пространстве-времени можно определить множество инерциальных систем отсчета. В каждой из этих инерциальных систем отсчета происходят некоторые события, которые наблюдаются наблюдателем, который неподвижен относительно рассматриваемой системы отсчета. Предполагаем, что для двух произвольных инерциальных системы отсчета, движущихся с некоторой, ненулевой, скоростью относительно друг друга, наблюдатели, неподвижные относительно этих систем отсчета, могут наблюдать разные события. Какое-то событие может произойти в одной системе отсчета и не произойти в другой, и наоборот. Преобразование событий из одной системы отсчета в другую не сюръективно и не инъективно. Существует обратное преобразование. При стремлении разницы скоростей систем отсчета к нулю, разница в событиях также стремится к нулю.

Событие происходит в пространстве и во времени. Событие можно описать, зная, что за событие произошло, и где и когда оно произошло. С учетом того, что при переходе из одной системы отсчета в другую, происходит преобразование пространства-времени, сравнение событий нужно делать с учетом этого преобразования.

Пусть X – множество всех событий и их пространственно-временных координат в пространстве-времени в какой-то инерциальной системе отсчета. Y – множество всех событий и их пространственно-временных координат в пространстве-времени в некоторой другой инерциальной системе отсчета. Пусть A – оператор, который применяет преобразования пространства-времени к событиям, для перехода из одной системы отсчета в другую. Для случая, когда события в разных системах отсчета совпадают, $Y = AX$

Для того, чтобы насколько события в разных системах отсчета похожи друг на друга, нужно сравнить события после применения преобразования пространства-времени с фактическими. Для множеств Y и X нужно сравнить отличие Y от AX . Существует критерий похожести множеств, коэффициент Жаккара:

$$J(AX, Y) = \frac{|AX \cap Y|}{|AX \cup Y|}$$

При стремлении разницы между множествами к нулю, коэффициент Жаккара стремится к 1.

Информационный барьер

Отсутствие взаимно-однозначного отображения между множествами, представляющими разные системы отсчета, означает некоторую изолированность разных систем отсчета. В разных системах

отсчета могут происходить разные события. Например, в одной из систем отсчета произошло столкновение двух электронов с излучением фотона. Но, по причине отсутствия взаимно-однозначного отображения, в каких-то системах отсчета это столкновение может не происходить, в каких-то системах отсчета этих электронов может не быть, а в каких-то системах отсчета на месте электронов могут быть, например, мюоны.

Следовательно, на основе состояния физических систем в одной системе отсчета, невозможно вычислить состояние физических систем в других системах отсчета.

Такое ограничение можно назвать информационным барьером.

В рамках рассматриваемой гипотезы, информационный барьер не абсолютен. Требование сходимости множеств при стремлении преобразования времени к нулю, накладывает ограничение на степень изолированности систем отсчета.

Принцип причинности

Согласно принципу причинности, между различными событиями может быть причинно-следственная связь. Распространяется ли принцип причинности на события, произошедшие в разных системах отсчета? Может ли событие A , наблюдавшееся в одной системе отсчета, влиять на событие B в другой системе отсчета?

В рассматриваемой гипотезе с информационным барьером, события в разных системах отсчета имеют значительную степень независимости. Некоторая зависимость событий в разных системах отсчета имеется только из-за требования сходимости множеств. Поэтому, события A и B не могут находиться в прямой причинно-следственной связи.

Назову возможную причинно-следственную связанность событий, вызванную требованием сходимости множеств, слабой причинно-следственной связанностью. При этом, чем меньше разница в событиях между разными системами отсчета, тем сильнее связаны между собой события в этих системах отсчета. Исходя из этого, можно говорить о вероятности того, что событие A в одной системе отсчета повлияет на событие B в другой системе отсчета. При наличии информационного барьера, вероятность любого события повлиять на событие в другой системе отсчета всегда меньше 1. Эта вероятность стремится к 1 по мере уменьшения разницы между событиями в системах отсчета.

События, наблюдающиеся в разных системах отсчета, находятся между собой только в слабой причинно-следственной связи. Переход в другую систему отсчета означает и переход к другим причинно-следственным связям. Исходя из этого, информация, при переходе в другую систему отсчета, изменяется, чтобы встроиться в причинно-следственные связи новой системы отсчета.

Описанное выше, означает необходимость внесения изменения в принцип причинности. А именно, при наличии информационного барьера одно событие может влиять на другое, только если они рассматриваются в одинаковой инерциальной системе отсчета. В случае, если рассматривается событие, произошедшее в одной системе отсчета, и событие, произошедшее в другой системе отсчета, то можно говорить лишь о вероятности влияния одного события на другое.

Выделенная система отсчета

Может ли наблюдатель наблюдать события, происходящие не в той системе отсчета, где он покоится?

Предположим, есть какой-то прибор, фиксирующий некоторые результаты наблюдения. Пусть у этого прибора есть какой-то экран, который выдает результаты наблюдения. Очевидно, что в рассматриваемом типе преобразований пространства-времени, результат того что увидит

наблюдатель, смотрящий на экран прибора, будет зависеть от системы отсчета наблюдателя. При этом, вообще говоря, прибора в системе отсчета наблюдателя может и не существовать.

Теперь рассмотрим разумного наблюдателя. Он наблюдает события. В какой системе отсчета происходят эти события? Очевидно, в той, где наблюдатель покоится. Но тогда это означает, что для наблюдателя невозможно наблюдать события, происходящие в системах отсчета, отличных от системы отсчета покоя наблюдателя, невозможно.

Получается, что для каждого наблюдателя имеется выделенная система отсчета. Эта та система отсчета, где наблюдатель покоится. Множество наблюдателей, неподвижных относительно друг друга, могут иметь одну систему отсчета.

Выделенность этой системы отсчета заключается в том, что это единственная система отсчета, события в которой можно непосредственно наблюдать. О событиях, происходящих в других инерциальных системах отсчета, наблюдатель может только догадываться, на основе наблюдений в своей выделенной системе отсчета.

Наблюдатель

Что может являться наблюдателем? Может ли наблюдателем быть прибор? Или наблюдатель обязан быть разумным существом?

Как показано выше, показания прибора зависят от системы отсчета, в которой наблюдается эти показания. Прибор свои показания никак не интерпретирует. Эти показания могут быть интерпретированы только разумным существом.

Разумное существо производит наблюдения, и на основе наблюдений описывает мир.

Если рассматривать наблюдения как путь к постижению устройства природы, то наблюдателем могут быть только разумные существа.

Изменение системы покоя наблюдателя

Разумный наблюдатель может ускориться, и тогда его система покоя изменится. Что при этом произойдет с имеющейся у него информацией?

Очевидно, что она изменится, в соответствии с правилами преобразования пространства-времени. Чем меньше изменение пространства-времени, тем, в соответствии с требованием сходимости множеств, меньше изменение информации. Изменяется вся информация, в том числе и память о прошедших событиях. Можно сказать, что изменение системы покоя наблюдателя приводит к смене воспоминаний наблюдателя о прошлом.

Обмен информацией между наблюдателями

Пусть есть два разумных наблюдателя, А и В. Они неподвижны относительно друг друга, их система покоя совпадает. Они решили совместно понаблюдать за некоторой областью пространства. При этом, наблюдатель А останется неподвижным, наблюдатель В ускорится до некоторой скорости. После чего, оба наблюдателя понаблюдает за условленной областью в течение условленного промежутка времени, запишут результаты. Затем, при помощи сигналов, обменяются сведениями о результатах наблюдения. После чего наблюдатель В изменит свою скорость, чтобы стать неподвижным относительно наблюдателя А. И они вновь обменяются сведениями о результатах наблюдения.

Рассмотрим эту ситуацию детально.

Пока системы покоя обоих наблюдателей совпадают, информационный барьер отсутствует. Обмен информацией происходит без применения преобразования пространства времени.

Затем наблюдатель В меняет свою скорость. Его система покоя изменяется. Рассматриваем случай, когда изменение при преобразовании пространства-времени в новую систему отсчета покоя не слишком большое, иначе наблюдатель, после изменения скорости, может прекратить свое существование. У наблюдателя изменяется память о прошлом, изменяется и его информация о том, что и где нужно наблюдать.

Затем, после наблюдения наблюдатель В посылает сигнал с результатами наблюдения, и получает сигнал с результатами наблюдения от А. При обмене сигналами, имеется информационный барьер. Все, что получает А, должно укладываться в причинно-следственные связи в его системе отсчета. Аналогично для В. Пусть В, в своей системе покоя, наблюдает что-то, что не укладывается в причинно-следственные связи в системе покоя А. Он посылает сигнал с такой информацией. А, в своей системе покоя, получает этот сигнал после преобразования пространства-времени и событий. Это преобразование переводит сигнал в такой, который встроен в причинно-следственные связи системы покоя А. Как результат, А не получит информации о каком-либо нарушении причинно-следственных связей, действует информационный барьер. Аналогично для В.

Затем В меняет свою скорость так, что его система покоя начинает совпадать с системой покоя А. И вновь происходит преобразование пространства-времени и событий, с изменением воспоминаний о прошлом у В. Это преобразование применяется и к его записям, если они есть. После того, как системы отсчета А и В совпадут, обмен информацией будет без информационного барьера. Но к этому моменту, память В, после преобразования пространства-времени, будет соответствовать причинно-следственным связям новой системы покоя. Тем самым, при обмене информацией, не должно возникнуть никаких расхождений, не укладывающихся в причинно-следственные связи.

Наблюдения

Согласно описанному выше, на основе наблюдений событий в какой-либо системе отсчета, невозможно точно сказать какие будут события в других системах отсчета.

Это означает, что каждое наблюдение, каждый эксперимент, дает результаты, специфичные для той системы отсчета, в которой происходит наблюдение. Два разных наблюдателя, находящиеся в разных системах отсчета, могут увидеть разные результаты одного и того же эксперимента.

Преобразования пространства-времени

Пусть имеется некоторое метрическое пространство-время, с информационным барьером между инерциальными системами отсчета. Хочется найти преобразования пространства-времени при переходе из одной системы отсчета в другую. Здесь возникает два вопроса - что в этом случае означают преобразования пространства-времени и как эти преобразования получить?

Рассмотрим первый вопрос. Есть две системы отсчета,двигающиеся с некоторой скоростью относительно друг друга. В первой системе есть неподвижный относительно нее наблюдатель, который наблюдает все происходящие в ней события. Преобразования пространства-времени в этом случае являются преобразованиями, как они видны наблюдателю. Наблюдатель наблюдает некоторую картину событий, строит преобразования для перехода в движущуюся систему отсчета, без потери информации. Но, согласно рассматриваемой гипотезе, в других системах отсчета могут другие события, и такое преобразование пространства-времени их не покажет. Поэтому, такое преобразование пространства-времени является преобразованием с точки зрения неподвижного наблюдателя, имеющее мало связи с отображением событий в одной системе отсчета на события в другой системе отсчета.

Но эта связь все же имеется. И заключается она в том, что при стремлении разницы в информации к нулю, которое происходит при стремлении относительной скорости к нулю, эти две функции должны сойтись. Тогда, для нахождения преобразования пространства-времени с точки зрения наблюдателя, нужно найти как выглядят преобразования пространства-времени при стремлении относительной скорости к нулю и стремлению разницы событий к нулю. Это и будут наблюдаемые преобразования пространства-времени.

Системы отсчета, где возникают преобразования Лоренца

Очевидно, что в рамках предложенной гипотезы можно построить преобразования Лоренца для случая пространства Минковского. В этом случае, события во всех системах отсчета совпадают, информационный барьер отсутствует.

Можно ли построить преобразования Лоренца в каких-либо других метрических пространствах? Для ответа на этот вопрос, рассмотрим преобразования пространства-времени в 4-х мерном евклидовом пространстве-времени.

Преобразования пространства-времени в евклидовом пространстве-времени

Рассмотрим преобразования пространства-времени в евклидовом пространстве-времени.

Пусть имеется 4-х мерное евклидово пространство-время. Имеется базис x^0, x^1, x^2, x^3 , где x^0 – временная компонента, остальные – пространственные.

Какие варианты евклидова пространства-времени можно рассмотреть?

Рассмотрим вариант, когда временная компонента полностью независима от пространственных. Как на малых, так и на больших скоростях одной системы отсчета относительно другой $t = t'$, где t – время в одной системе отсчета, t' – время в другой системе отсчета. Это, очевидно противоречит преобразованиям Лоренца и, соответственно, противоречит наблюдениям. Поэтому, ищем другие варианты евклидова пространства-времени.

Рассмотрим евклидово пространство-время, где время и пространство между собой равнозначны. Пусть все направления равнозначны, какого-либо выделенного направления нет.

Считаем, что для любой инерциальной системы отсчета время направлено перпендикулярно к пространству. Условие довольно очевидное. Так как x^0, x^1, x^2, x^3 образуют базис, то x^0 перпендикулярно прочим осям, по определению. При изменении базиса, что соответствует переходу в другую систему отсчета, новая ось времени должна быть перпендикулярна к новому базису пространства.

Преобразование пространства-времени в этом случае сводится к повороту базиса. Так как направления все равнозначны, направление времени ничем не выделяется, то поворот базиса для такого пространства-времени это поворот в 4-х мерном евклидовом пространстве.

Равнозначность всех направлений приводит к тому, что для поворота нужно найти проекцию повернутой оси времени на пространственные координаты, и наоборот. Фактически, требуется перейти от 4-х мерного пространства-времени к 4-х мерному пространству, где одна из осей выполняет роль времени. Тогда переход в другую систему отсчета будет выполняться при помощи поворота относительно оси времени.

Назову v_t расстояние в 4-х мерном евклидовом пространстве, соответствующее единице времени. Вектор времени \vec{v}_t перпендикулярен гиперповерхности соответствующего пространства. После поворота модуль вектора времени остается неизменным, для выполнения условия об отсутствии

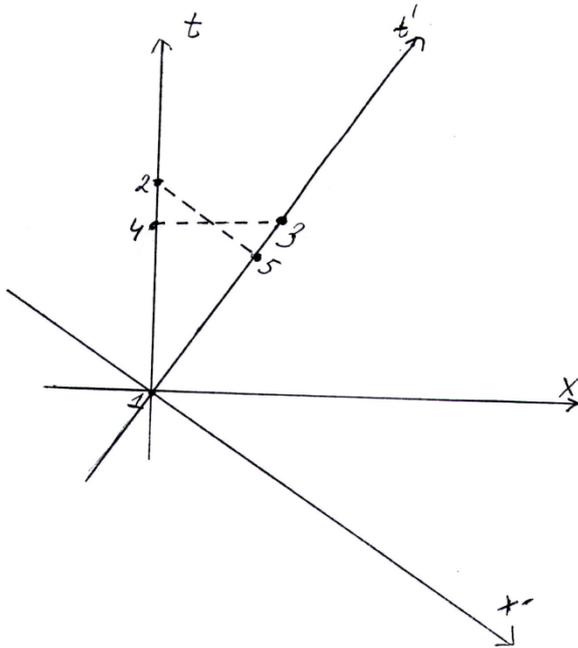
выделенного направления. Если бы в каком-то направлении модуль вектора времени отличался, то это означало бы наличие выделенного направления.

Повернем пространство-время на угол α , относительно оси времени. Для нахождения значения скорости после поворота нужно найти проекцию вектора времени на исходное пространство:

$$v = v_t \operatorname{tg}(\alpha)$$

где α – угол вектора времени относительно пространства.

Пусть имеется две инерциальных системы отсчета, движущиеся относительно друг друга со скоростью v вдоль оси x , и их начальные точки координат совпадают.



На рисунке выше показаны оси x и t для первой системы отсчета и оси x' и t' для второй системы отсчета. Вторая система отсчета, движущаяся с относительной скоростью v , наклонена под углом α относительно первой. Длина l вдоль этой оси связана с наблюдаемым временем следующим соотношением:

$$t = l/v_t$$

Одномоментные события это те события, что происходят на одной плоскости, перпендикулярной оси t .

На рисунке выделены несколько точек. Точка 1 это начало координат. Рассматриваю случай, когда начало координат совпадает.

Так как v_t во всех инерциальных системах отсчета одинаково, то $v = v_t \operatorname{tg}(\alpha)$, где α – угол между осями t и t' .

Пусть t – это время, прошедшее в первой системе отсчета от точки 1, а t' – время, которое прошло в движущейся системе отсчета за время t . Промежутку времени t в первой системе соответствует расстояние $v_t t$, это расстояние между точками 1 и 4. Такому же промежутку времени t во второй систем отсчета соответствует такое же расстояние, это расстояние между точками 1 и 5. Точка 2 это пересечение линии, перпендикулярной оси t' , и проходящей через точку 5. Аналогично, точка 3 это пересечение линии, перпендикулярной оси t , и проходящей через точку 4. Для того, чтобы определить, какой промежуток времени в первой системе отсчета соответствует времени t' во второй, нужно найти длину гипотенузы треугольника из точек 1, 5 и 2. Из рисунка видно, что

$$t = \frac{t'}{\cos(\alpha)}$$

Теперь рассмотрим, как эти полученные выше уравнения будут вести себя при α стремящемся к нулю.

При малых углах

$$\operatorname{tg}(\alpha) \approx \sin(\alpha)$$

Отсюда

$$\sin(\alpha) \approx v/v_t$$

Тогда, из известного значения синуса, получаем:

$$\cos(\alpha) = \sqrt{1 - \sin^2(\alpha)} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)^2}$$

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)^2}}$$

Из того же рисунка видно, что

$$t' = \frac{t}{\cos(\alpha)} = \frac{t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)^2}}$$

Теперь рассмотрим преобразования координат. Пусть скорость v направлена вдоль оси x . Тогда, при повороте системы координат, y и z останутся неизменными:

$$y = y'$$

$$z = z'$$

Во второй системе отсчета, после поворота, $x' = x_0/\cos(\alpha)$

Тогда

$$x' = (x - vt)/\cos(\alpha) = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)^2}}$$

$$t' = \frac{t - (v/v_t^2)x}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)^2}}$$

Эти уравнения приобретают известный вид, если

$$v_t = c$$

Где c – скорость света. Это означает, что расстояние, соответствующее единице длины времени, равно расстоянию, проходимому светом за то же время.

Таким образом, получено, что при малой разнице скорости между системами отсчета и при отсутствии потери информации преобразования пространства-времени в 4-х мерном пространстве переходят в преобразования Лоренца.

Согласно рассматриваемой гипотезе, при стремлении разницы скоростей между системами

отсчета к нулю и при стремлении разницы в информации к нулю, мы должны получить наблюдаемые преобразования пространства-времени. Это же преобразования наблюдаются и при более высокой разнице в скоростях систем отсчета. Исходя из этого, 4-х мерное евклидово пространство-время удовлетворяет преобразованиям Лоренца.

Дополнительным следствием, является то, что для выполнения такого перехода, должно выполняться условие $v_t = c$

Также отмечу следующие свойства получившегося 4-х мерного пространства-времени:

- Инерциальное движение неотлично от покоя
- Пространство изотропно
- Пространство однородно
- Время однородно

По первому – все направления равноправны, выделенного направления нет. Возможность отличить движение от покоя означало бы, что не выполняется поставленное условие об отсутствии выделенного направления.

Однородность и изотропность времени и пространства следует из свойств евклидова пространства-времени.

Один случай построения преобразования пространства-времени

Пусть наблюдения показывают следующие свойства пространства-времени:

- Инерциальное движение неотлично от покоя
- Пространство изотропно
- Пространство однородно
- Время однородно

Какие преобразования пространства-времени соответствуют таким свойствам?

Как показал В.С. Игнатовский [1, уравнение 23], таким условиям соответствует следующее преобразование:

$$\begin{cases} dx' = p dx - p v dt \\ dt' = -p v n dx + p dt \end{cases}$$

v – скорость.

Согласно [1, уравнение 24]:

$$p = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 n}}$$

Как видно, получены уравнения преобразования пространства-времени, аналогичные преобразованиям Лоренца, и отличие лишь в том, что вместо $1/c^2$ стоит n . Кроме того, ещё не определен знак, так как мы могли с таким же успехом поставить "плюс" под корнем в уравнении 24.

В рамках рассматриваемой гипотезы, эти преобразования соответствуют преобразованиям пространства-времени с точки зрения неподвижного наблюдателя.

Заключение

Рассмотрено построение пространства-времени при наличии разницы в событиях в различных инерциальных системах отсчета. Рассмотрен случай, когда разница в событиях стремится к нулю при стремлении разницы инерциальных скоростей систем отсчета к нулю. В рамках этой гипотезы между системами отсчета возникает информационный барьер. Также это приводит к

необходимости модификации принципа причинности, и введению слабой причинно-следственной связи. Показано, что при наличии информационного барьера преобразования Лоренца естественным образом возникают в 4-х мерном евклидовом пространстве-времени.

Литература

[1] В.С. Игнатовский. Некоторые общие замечания к принципу относительности, *Verh. d. Deutsch. Phys. Ges.* 12, 788-96, 1910