

Принцип причинности и инерциальные системы отсчета

А.Н. Смирнов

andreysxxx@gmail.com

Аннотация

Предложена гипотеза, обобщающая принцип причинности. Гипотеза предполагает, что принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отличающейся ИСО. Было замечено, что наблюдатель имеет только ту информацию, которую имеет та ИСО, относительно которой он неподвижен. Дальнейший анализ привел к выводу, что с точки зрения наблюдателя любое событие существует во всех ИСО, даже если оно существует только в части ИСО. Гипотеза приводит к тому, что возникает два типа преобразований при переходе между инерциальными системами отсчета. Первое это преобразования с точки зрения наблюдателя. Второй тип преобразований, это прямые преобразования пространства-времени и полей. При рассмотрении гипотезы было замечено, что все современные широко принятые теории опираются на принцип причинности. При этом, принцип причинности от них не зависит, он более фундаментален. Поэтому, гипотеза может рассматриваться, опираясь только на принцип причинности, без учета каких-либо иных принципов и физических теорий. Если гипотеза верна, то все современные физические теории удовлетворяют только первому типу преобразований. Гипотеза позволяет создавать новый класс теорий, учитывающий второй тип преобразований. Эти теории могут приводить к новым предсказаниям. Поэтому можно утверждать, что гипотеза является, в принципе, фальсифицируемой. Если гипотеза верна, то существует что-то более фундаментальное чем пространство-время.

Введение

Принцип причинности является одним из самых общих физических принципов.

Как показывает изучение литературы, попыток обобщения этого принципа не было.

Поиск возможности для такого обобщения. Формулировку принципа причинности считаем верной, не пытаемся ее модифицировать. Тогда остается только поиск какого-то неявного постулата принципа причинности, который принят a priori, без экспериментального подтверждения. После чего, нужно будет найти возможность его модификации. При этом, так как формулировка принципа причинности не меняется, то новый обобщенный принцип должен переходить в существующий при стремлении к нулю отличия неявного постулата принципа причинности от его модификации.

Очевидно, что это может быть только какой-то очень фундаментальный постулат, который воспринимается как очевидный без доказательств и без экспериментальной проверки, и который никогда ранее не подвергался сомнению.

Рассматриваем только инерциальные системы отсчета (ИСО). Для пространства-времени с кривизной, рассматриваем локальные инерциальные системы отсчета.

1. Место принципа причинности в современной физике

Мы ищем возможность найти некоторый неявный постулат, на который опирается принцип причинности, и который можно отделить от принципа причинности. Модификация принципа причинности при таком подходе заключается в отделении этого неявного постулата от принципа причинности, и в последующей модификации этого постулата. При этом, формулировку принципа причинности мы не меняем.

Допустим, мы найдем этот неявный постулат, и найдем возможности его модификации. В современной физике имеется ряд широко принятых и хорошо протестированных теорий. Возникает вопрос о том, что необходимо рассматривать для описанной модификации принципа причинности. Нужно ли учитывать существующие физические теории и иные физические принципы, или принцип причинности является полностью независимым от всего остального? Для того, чтобы рассматривать принцип причинности независимо от других физических принципов и от существующих физических теорий, необходимо, чтобы эти теории и принципы зависели от принципа причинности, но не наоборот.

Наиболее фундаментальные и широко принятые теории в современной физике — это общая и специальная теория относительности, квантовая физика. Из иных физических принципов можно выделить принцип локальности.

Рассмотрим специальную теорию относительности (СТО). Покажем, что она зависит от принципа причинности.

В первом постулате СТО упоминаются законы природы. Законы природы связывают начальное состояние, которое можно рассматривать как причину, и состояние в некоторый последующий момент времени, которое можно рассматривать как следствия. Во втором постулате СТО упоминается движение света в вакууме. То есть имеется что-то, что движется в каких-то условиях в какой-то момент времени, и утверждается, что далее оно будет вести себя так-то. Тут тоже видна причина и следствие. Не видно способов, как сформулировать постулаты СТО, не опираясь на принцип причинности. Из этого однозначно следует, что СТО опирается на принцип причинности.

Так как СТО зависит от принципа причинности, то и любые следствия СТО зависят от принципа причинности. Отдельно отметим, что пространство Минковского является следствием СТО и, следовательно, тоже зависит от принципа причинности.

Общая теория относительности (ОТО) зависит от СТО. Поэтому, можно утверждать, что ОТО зависит от принципа причинности.

Принцип локальности утверждает, что на объект влияет только его непосредственное окружение. Здесь тоже имеются причины и следствия. Что-то находится рядом с объектом, и оно влияет на поведение объекта в последующие моменты времени. Поэтому, принцип локальности зависит от принципа причинности.

Каких-либо физических принципов, на которые опирается принцип причинности, не известно.

Мы получили, что при рассмотрении описанной выше задачи по отделению некоторого неявного постулата от принципа причинности, мы можем рассматривать только принцип причинности. То есть не требуется учитывать какие-либо иные физические теории и физические принципы. Так что мы рассматриваем принцип причинности, не опираясь ни на какие иные физические принципы и физические теории.

2. Принцип причинности

Рассмотрим принцип причинности. Принцип причинности говорит, что любое событие чем-то вызвано, имеет причину. В классической физике по предыдущему состоянию системы возможно однозначно найти состояние системы в любой последующий момент времени. В квантовой физике состояние системы обычно описывается через волновые функции, и можно лишь найти вероятность нахождения системы в определенном состоянии при измерении. Принцип причинности позволяет, зная состояние системы в какой-то момент времени, найти состояние системы, или вероятность нахождения системы в каком-то состоянии при измерении, в любой последующий момент времени. Это можно записать так:

$$\varphi(t + dt) = A\varphi(t) \quad (1)$$

Здесь φ – состояние системы или ее волновая функция при использовании квантового описания, t – время, A – некоторый оператор. Состояние системы φ включает в себя то множество значений, которое необходимо для описания системы. Например, для описания системы тел на основе закона всемирного притяжения Ньютона, если рассматривать тела как материальные точки, для описания состояния достаточно масс, скоростей и координат тел. Соответственно, значение должно состоять из массы, вектора скорости и координат тела.

Согласно принципу причинности, событий без причины не существует. Кто-то может подумать, что, например, радиоактивный распад ядра атома не имеет причины. Смотрим на уравнение 1. Радиоактивный распад ядра, очевидно, описывается этим уравнением. Поэтому, оно тоже соответствует принципу причинности. Принцип причинности не означает детерминизм. Имеется множество обсуждений этого вопроса. Отметим, что если бы было бы хотя бы одно явление, нарушающее принцип причинности, то это означало бы опровержение этого принципа.

Уравнение 1 описывает причинность как при использовании описания классической физики, так и при использовании квантовой физики. Понятно, что имея волновую функцию, можно получить вероятность нахождения системы в каком-то состоянии при измерении. Мы хотим описать преобразования как для классического случая, так и для квантового, поэтому далее, для краткости, когда говорим про преобразования состояния при переходе между ИСО и при этом система квантовая, мы говорим про преобразование волновой функции.

Какие-то события не могут влиять на другие события, так как они разделены пространственно-подобным интервалом. Имеются другие ограничения для других формулировок, например условие микро-причинности Боголюбова [1]. Подобные ограничения можно рассматривать как дополнительные ограничения на оператор A . Для целей данной гипотезы, как эти ограничения, так и какие-то детальные свойства оператора A не важны и рассматриваться не будут. Как было обсуждено выше, мы рассматриваем принцип причинности, не опираясь ни на какие физические теории и иные физические принципы. Важно только то, что имеется некоторый оператор A , с какими-то свойствами, который переводит систему из состояния в момент времени t в состояние в момент времени $t + dt$.

Можно отметить, что одного только уравнения 1 для принципа причинности недостаточно. Допустим, мы знаем состояние системы в некоторой инерциальной системе отсчета. Обозначим эту ИСО как K . Можно ли на основе этого найти состояние системы в другой ИСО, K' , движущейся с ненулевой скоростью относительно K ? Если это невозможно, то события в разных ИСО невозможно связать между собой. Однако, практика применения принципа причинности в современных физических теориях подразумевает, что, зная состояние системы в одной ИСО, можно получить состояние системы в другой ИСО. Таким образом, для выполнения принципа причинности должно выполняться еще и следующее уравнение, для каждого φ'_i и t'_i , для произвольной K' :

$$\begin{cases} \varphi'_i(K') = B_{\varphi_i}\varphi(K) \\ t'_i(K') = B_t t_i(K) \end{cases} \quad (2)$$

Здесь φ'_i – одно из множества состояний в K' , t_i – время в K для φ_i , i -го элемента множества φ , t'_i – соответствующее время в K' , B_{φ_i} – некоторый оператор, переводящий состояние системы из K в K' для φ_i , B_t – оператор, переводящий время из K в K' . Свойства этих операторов мы здесь пока не рассматриваем.

Преобразование выше обычно записывают чуть иначе. Для нахождения состояния в некоторой точке пространства-времени в одной ИСО, обычно берут состояние в другой ИСО в некоторой

точке пространства-времени, опираясь на принцип локальности. Уравнение 2 включает такое описание как частный случай, когда φ'_i зависит не от всех состояний в K , а только от состояния в некоторой точке. Так как мы рассматриваем только принцип причинности, не опираясь ни на какие другие принципы и физические теории, то у нас нет оснований так записать уравнение.

В случае, если две ИСО имеют нулевую относительную скорость, отличаются началом координат или ориентацией осей, то простым преобразованием можно перевести одну ИСО в другую. Чтобы исключить из рассмотрения такие преобразования, далее будем рассматривать только отличающиеся ИСО. Для наших целей, определим, что две ИСО отличаются, если они имеют ненулевую относительную скорость.

Теперь вновь взглянем на уравнение 1. Хочется отделить преобразование состояния при переходе между ИСО от изменения состояния во времени. Изменим уравнение на следующее:

$$\varphi(t + dt, K) = A\varphi(t, K) \quad (3)$$

Теперь $\varphi(t, K)$ обозначает состояние системы не просто в момент времени t , а еще и в некоторой ИСО K . Оператор A , соответственно, переводит состояние системы между разными моментами времени в одной и той же ИСО.

Тогда, для выполнения принципа причинности необходимо выполнение одновременно двух уравнений, 2 и 3, что приводит к системе уравнений:

$$\begin{cases} \varphi(t + dt, K) = A\varphi(t, K) \\ \varphi'_i(K') = B_{\varphi_i}\varphi(K) \\ t'_i(K') = B_t t_i(K) \end{cases} \quad (4)$$

Уравнение 1 позволяет описать принцип причинности, когда мы не рассматриваем детально свойства преобразований между ИСО. Уравнение 4 нужно для более детального анализа того, как связаны принцип причинности и преобразования между ИСО.

3. Принцип причинности и инерциальные системы отсчета

Рассмотрим пространство-время, с некоторыми полями, содержащее наблюдателя.

Наблюдателем может быть как некоторый прибор, так и разумное существо. Считаем, что в этом пространстве-времени выполняется принцип причинности.

Далее событие будет означать событие, которое описывается принципом причинности.

Рассмотрим следующий вопрос: может ли рассматриваемое пространство-время содержать причинно-следственные связи, начинающиеся от события, которое не происходило в этом пространстве-времени?

Примером события может быть столкновение двух тел. Неважно, являются ли это элементарные частицы, описываемые квантовой физикой или какие-то большие тела. Важно то, что, согласно устоявшимся в физике взглядам, если событие, столкновение двух тел как пример, произошло в одной ИСО, то оно происходит во всех ИСО. Это означает, что уравнение 2, преобразование состояния между ИСО, должно сохранять события. У события, после преобразования, могут меняться какие-то свойства, могут меняться пространственно-временные расстояния с другими событиями, но само событие происходит во всех ИСО.

Причинно-следственные связи, начинающиеся от события, которое не происходило в этом пространстве-времени, можно описать как множество состояний в некоторый момент времени t в некоторой ИСО, которые не следуют из множества состояний в момент времени t_0 . То есть, множество состояний $\varphi'(t)$ содержит такие состояния, которые не входят во множество $\varphi(t)$, где $\varphi(t)$ удовлетворяют уравнению 3 и получается от состояния в момент времени t_0 . Очевидно, что

это противоречит уравнению 3, и поэтому невозможно. Ожидаемый результат, потому что иначе бы это нарушало бы принцип причинности.

Рассмотрим вопрос о том, как можно описать информацию о событии с точки зрения принципа причинности. Происходит некоторое событие, после чего имеются причинно-следственные связи, начинающиеся от этого события. Тогда информация о событии – это множество причинно-следственных связей, начинающихся от этого события.

Предположим, что уравнение 2 не сохраняет события при переходе между ИСО или вообще не выполняется, уравнение 3 выполняется. Тогда, событие может существовать в некотором множестве ИСО и не существовать в другом множестве ИСО. Это предположение означает, что принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отличающейся инерциальной системы отсчета. Это основное предположение гипотезы.

Для случая преобразования волновой функции, не сохранение событий при переходе между ИСО означает изменение вероятности нахождения системы в каком-то состоянии, включая появление новых возможных состояний после перехода и исчезновение некоторых состояний, что существовали в предыдущей ИСО до перехода.

Сразу отметим, что в любом пространстве-времени переход между ИСО это просто смена системы координат. Если в пространстве-времени в какой-то ИСО произошло какое-то событие, то, если мы просто меняем системы координат, это событие будет во всех ИСО. Поэтому, основное предположение гипотезы означает, что пространство-время не фундаментально, и переход между ИСО не является простой сменой системы координат.

Определим, что такое применение принципа причинности независимо и отдельно для каждой отличающейся ИСО. Считаем, что принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отличающейся ИСО, если выполняется уравнение 3, а уравнение 2 не сохраняет события при переходе между ИСО. Отметим, что частным случаем несохранения событий при переходе между ИСО является случай, когда уравнения 2 вообще не выполняются, то есть на основании состояния системы в одной ИСО невозможно определить состояние системы в другой ИСО.

Если принцип причинности применяется независимо для каждой ИСО, то в разных ИСО могут быть различия в причинно-следственных связях. Различия в причинно-следственных связях означает, что какие-то события могли происходить в одной ИСО и не происходить в какой-то другой ИСО. Разница в событиях означает еще и разницу в объектах. Как пример, в результате события столкновения двух электронов в одной ИСО были порождены несколько новых частиц, а в другой ИСО этого столкновения не было, поэтому и новых частиц не могло появиться. Мы не предполагаем, что разница в событиях ограничена микроуровнем. При достаточно большой разнице в событиях, Луна может существовать в одной ИСО и не существовать в другой ИСО.

Отдельно отметим, что ситуация, когда какие-то события происходят одновременно в одной ИСО и, согласно теории относительности, в разное время в других ИСО, не ведет к отличию в причинно-следственных связях.

Если в разных ИСО имеются различия в причинно-следственных связях, то это ведет к принципиальной невозможности передачи информации между ИСО о тех событиях, которых нет в другой ИСО. Для передачи такой информации необходимо, чтобы событие, которого нет в ИСО, оказывало влияние на события, которые в ИСО есть, что противоречит принципу причинности, если применять его независимо для разных ИСО.

Теперь рассмотрим, как влияет независимое применение принципа причинности на наблюдателя и на доступную наблюдателю информацию.

4. Принцип причинности и наблюдатель

В какой системе отсчета наблюдатель наблюдает? Ответ на этот вопрос довольно очевидный. Наблюдатель наблюдает в той системе отсчета, относительно которой неподвижен. Если бы это было не так, то, например, получая сигнал со спутника о его наблюдениях, было бы невозможно сказать, что сигнал со спутника несет информация о том, что происходит в той системе отсчета, относительно которой спутник неподвижен.

Из этого немедленно следует вывод: Наблюдатель не может иметь информации о событии, которое не происходило в его ИСО, той ИСО, относительно которой он неподвижен.

Это важное наблюдение, которое мы будем использовать далее. Отметим, что это наблюдение не зависит от данной гипотезы.

Обозначим множество событий и причинно-следственных связей в ИСО K в момент времени t как $Ev(K, t)$. После перехода в другую ИСО K' время наблюдателя меняется на t' . В K' имеется свое множество событий и причинно-следственных связей, $Ev(K', t')$. Если события, при переходе между ИСО, сохраняются, то эти два множества совпадают, для любых ИСО. Если принцип причинности применяется отдельно и независимо для отличающихся ИСО, то эти множества могут различаться. Пусть наблюдатель неподвижен относительно ИСО K . Наблюдатель может наблюдать события только в той ИСО, относительно которой он неподвижен. Поэтому, ему доступно для наблюдения только множество $Ev(K, t)$. Он не может как-либо наблюдать события, относящиеся к множеству $Ev(K', t')$ для любой K' , отличающейся от K .

Можно пытаться строить различные схемы, как получить информацию из более чем одной ИСО, но все они упираются в одну неустранимую проблему. Проблема заключается в том, что для получения информации из какой-то другой ИСО, нужно устранить преобразование перехода между ИСО, уравнение 2, что невозможно.

Предположим, что уравнение 2 не сохраняет события при переходе между ИСО или вообще не выполняется, уравнение 3 выполняется. Тогда, событие может существовать в некотором множестве ИСО и не существовать в другом множестве ИСО. Рассмотрим, как это будет воспринимать наблюдатель, будут ли отличаться события между ИСО с точки зрения наблюдателя. Для наших целей, мы считаем, что если какое-то событие существует во всех рассматриваемых ИСО, то это событие между ИСО не отличается, даже если какие-то свойства события меняются.

Наблюдатель может получать информацию о том, что происходит в других ИСО, двумя способами. Первый способ, это получение сигнала с информацией от наблюдателя, который покоится относительно другой ИСО, двигающейся с ненулевой скоростью относительно первого наблюдателя. Второй способ, наблюдатель может изменить свою скорость и перейти в другую ИСО. Рассмотрим, для каждого из вариантов, как при этом будут выглядеть события с точки зрения наблюдателя.

Рассмотрим первый способ. Пусть имеется ИСО K и ИСО K' , двигающиеся с ненулевой скоростью относительно друг друга. В K пусть имеется наблюдатель 1, неподвижный относительно нее. В K' имеется наблюдатель 2, неподвижный относительно этой ИСО. Наблюдатели 1 и 2 обмениваются информацией о том, что они наблюдают. Пусть сигнал, посылаемый каждым из наблюдателей, содержит информацию о событии, которое есть в ИСО того наблюдателя, что посылает сигнал, но нет в ИСО принимающего наблюдателя. Может ли принимающий наблюдатель получить информацию о событии, которого нет у него в ИСО? Эту информацию можно описать как некоторый набор причинно-следственных связей, начинающихся от события, которого в данной ИСО не было. Или, иначе, как множество состояний системы, которое не удовлетворяет уравнению 3. Как было рассмотрено выше, это невозможно. Поэтому, неважно что посылает

другой наблюдатель, для принимающего наблюдателя получаемый сигнал не может входить в противоречие с принципом причинности и уравнением 3.

Теперь рассмотрим второй способ. Наблюдатель что-то наблюдал, сохранил результаты своих наблюдений на многочисленных инструментах. После чего, наблюдатель изменяет свою скорость и начинает иметь нулевую скорость относительно другой ИСО. Может ли наблюдатель обнаружить, что в новой ИСО отсутствуют какие-то события, которые были в предыдущей ИСО? Снова, эту информацию можно описать как некоторый набор причинно-следственных связей, начинающихся от события, которого в данной ИСО не было. Или, иначе, как множество состояний системы, которое не удовлетворяет уравнению 3. Как было рассмотрено выше, это невозможно. Теперь рассмотрим, может ли наблюдатель обнаружить, что в его новой ИСО есть какие-то события, которых не было в предыдущей ИСО. Для этого, наблюдателю как-то нужно иметь возможность узнать, было ли такое событие в предыдущей ИСО. То есть, нужно найти причинно-следственные связи, которые отсутствуют в предыдущей ИСО и имеются в новой ИСО. Или, иначе, найти множество состояний из уравнений 3, которые имеются в новой ИСО и отсутствуют в предыдущей. В новой ИСО такой информации нет. Получить ее из другой ИСО невозможно, как было рассмотрено выше. Получение такой информации означало бы, что такая информация появилась в ИСО, при этом ее там не может быть. Поэтому делаем вывод, что наблюдатель не может обнаружить что в его новой ИСО отсутствуют какие-то события, которые были в его предыдущей ИСО.

Под одинаковостью событий мы обозначаем, что если какое-то событие произошло в одной ИСО, то оно произошло во всех ИСО. Тут мы не утверждаем, что свойства любого события одинаковы во всех ИСО.

Приходим к выводу, что с точки зрения наблюдателя, события одинаковы во всех ИСО, даже при их фактическом отличии из-за того, что уравнение 2 не сохраняет события при переходе между ИСО или вообще не выполняется. Или, иначе, с точки зрения наблюдателя любое событие существует во всех ИСО, даже если фактически событие существует только в части ИСО.

Это ключевой результат для построения гипотезы.

Отметим, что этот результат никак не зависит от гипотезы. Такой результат верен как для случая, когда уравнение 2 сохраняет события, так и для случая, когда события не сохраняются.

Получен ключевой результат для обобщения принципа причинности: неважно, отличаются ли события в разных ИСО или нет, но для наблюдателя всегда будет выглядеть так, что события во всех ИСО одинаковые.

5. Применение принципа причинности и существование человека

Предположим, что поля в разных инерциальных системах отсчета, имеющих ненулевую скорость относительно друг друга, полностью независимы. При ускорении или замедлении, мы переходили бы в другую систему отсчета, поля в которой были бы полностью независимы от предшествующей. В этом случае, если в одной из ИСО имеется человек, то нет никаких оснований для того, чтобы он был в любой другой ИСО. Тем самым, человек мог бы существовать только в одной ИСО, 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 поля и, соответственно, события в разных системах отсчета.

Предположим, что при стремлении относительной скорости инерциальных систем отсчета относительно друг друга к нулю, разница между применением принципа причинности одновременно к обоим ИСО и отдельно для каждой ИСО должна стремиться к нулю. В этом

случае появляется некоторая зависимость полей, находящихся в разных инерциальных системах отсчета, друг от друга. При достаточно малой разнице скорости 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. Это условие является необходимым для существования человека.

Это можно сформулировать так: при стремлении относительной скорости двух инерциальных систем отсчета к нулю, разница между применением принципа причинности отдельно для каждой из этих ИСО с применением принципа причинности одновременно к обоим ИСО должна стремиться к нулю. Это еще один постулат гипотезы, дополнительный к основному предположению.

6. Типы преобразований пространства-времени и полей

Рассмотрим преобразования пространства-времени и полей, возникающие на основе основного предположения гипотезы.

Согласно полученному выше результату, с точки зрения наблюдателя, каждое событие существует во всех ИСО, принцип причинности связывает события во всех ИСО. При этом, фактически события могут различаться, некоторые события могут существовать в одной ИСО и отсутствовать в другой. Поэтому тут можно выделить два типа преобразований.

Первый тип, это преобразования пространства-времени и полей на основе событий, наблюдаемых в отличающихся инерциальных системах отсчета наблюдателями, неподвижными относительно соответствующих инерциальных систем отсчета.

Второй тип преобразований, это преобразования пространства-времени и полей с точки зрения наблюдателя. Наблюдатель может быть неподвижен относительно одной из инерциальных систем отсчета, он может менять свою скорость, но, согласно результатам выше, для него любое событие выглядит как существующее во всех ИСО.

Рассмотрим эти типы преобразований и их отличия друг от друга более подробно.

Сначала рассмотрим преобразования пространства-времени и событий с точки зрения наблюдателя. Наблюдатель может наблюдать только в той инерциальной системе отсчета, относительно которой неподвижен. Вся информация о событиях в других инерциальных системах отсчета является косвенной, и восстанавливается на основе наблюдений в системе отсчета наблюдателя. Наблюдатель наблюдает, и на основе результатов наблюдений строит предположения о том, какие должны быть преобразования пространства-времени. Наблюдатель видит, что события, которые он наблюдает в одной системе отсчета, происходят и в других системах отсчета. Из этого наблюдатель может сделать вывод, что, если событие происходит в одной системе отсчета, оно происходит в любой другой системе отсчета. На основе таких наблюдений и основанных на них выводах можно построить преобразования пространства-времени, полей и соответствующую теорию. Назовем этот тип преобразований наблюдаемыми преобразованиями пространства-времени и полей.

Второй тип преобразования пространства-времени и полей, это преобразования пространства-времени и полей на основе полей, наблюдаемых в разных инерциальных системах отсчета наблюдателями, неподвижными относительно соответствующих инерциальных систем отсчета. Как было обсуждено выше, наблюдателям невозможно получить информацию о событиях, находящихся в инерциальных системах отсчета, движущимся относительно них, и напрямую сравнить их. Назовем этот тип преобразований прямыми преобразованиями пространства-времени-полей.

Из основного предположения гипотезы, мы получили, что должно существовать два типа преобразований пространства времени и полей.

Наличие двух разных типов преобразований делает невозможным использование некоторого единого континуума пространства-времени, где переход между ИСО соответствует смене координат. В едином континууме пространства-времени невозможно получить различающиеся события в разных ИСО. Поэтому, если гипотеза верна, то она указывает на существование чего-то более фундаментального, чем пространство-время.

7. Постулаты гипотезы

Теперь можно описать все постулаты гипотезы.

Постулат 1: принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отличающейся инерциальной системы отсчета.

Этот постулат является основным предположением гипотезы.

Этот постулат менее ограничивающий, чем обычный принцип причинности, который действует на события во всех системах отсчета. Поэтому, добавление этого постулата не ограничивает, а расширяет гипотезу, по сравнению с существующим принципом причинности.

Постулат 2: при стремлении относительной скорости двух инерциальных систем отсчета к нулю, разница между применением принципа причинности отдельно для каждой из этих ИСО с применением принципа причинности одновременно к обоим ИСО должна стремиться к нулю.

Можно ли этот постулат рассматривать как отдельный постулат или это просто следствие предыдущего постулата, не вполне понятно. Выше уже было показано, как возникает это требование. Поэтому можно сказать, что это утверждение является следствием факта существования человека.

Эти постулаты не меняют формулировку принципа причинности. Мы здесь отделяем и модифицируем неявный постулат, который говорил о том, что события одинаковы во всех ИСО, от принципа причинности.

8. Возможности проверки гипотезы

Полученный выше вывод что, с точки зрения наблюдателя, события во всех системах отсчета одинаковы, исключает возможность прямой проверки гипотезы, сравнивая события в разных системах отсчета.

Имеются физические теории, которые ожидают одинаковости событий во всех системах отсчета. Если в какой-то системе отсчета произошло столкновение пары частиц, то все современные физические теории ожидают, что такое столкновение произойдет во всех системах отсчета. Получается, что все современные физические теории согласуются с этой гипотезой, хотя и удовлетворяют только преобразованиям с точки зрения наблюдателя.

Можно попытаться найти другие способы проверки гипотезы. Один способ, это построение теории на основе гипотезы. И тогда можно было бы проверить предсказания такой теории.

Виден способ косвенной проверки гипотезы, попробовать найти ограничения сверху и снизу на то, насколько события могут различаться в разных инерциальных системах отсчета. Как именно это сделать не вполне понятно, однако можно высказать некоторые соображения. Человек изменяет свою скорость в довольно широких пределах. При этом, человек существует во всех этих системах отсчета. Используя этот факт, и на основе различных моделей о том, как меняются события между инерциальными системами отсчета, случайно или как-то еще, можно получить ограничение

сверху на то, насколько отличаются события между инерциальными системами отсчета. Такая идея косвенной проверки находится довольно просто. Это может означать, что можно найти еще целый ряд косвенных способов проверки гипотезы.

Возможно, детальный анализ позволит найти способы для того, чтобы найти еще и возможности для проверки ограничения снизу.

9. Пример, где имеется разница в событиях в разных ИСО

Обычно считается, что ИСО – это некоторая координатная система в пространстве-времени. Соответственно, переход между ИСО, это всего лишь смена системы координат. Очевидно, что при смене системы координат в любом пространстве-времени любое событие, существующее в одной ИСО, будет существовать и в других ИСО. Это означает, что принцип причинности действует одновременно ко всем ИСО, что не согласуется с гипотезой. Поэтому, если гипотеза верна, то переход между ИСО не может быть всего лишь сменой системы координат в пространстве-времени. Это означает, что существует что-то, что более фундаментально, чем пространство-время.

При чтении гипотезы у кого-то может сложиться мнение, что вроде все формально правильно, гипотеза действительно не противоречит современным теориям, но эта формальная логическая корректность не имеет никакого отношения к реальной физике. Отметим, что такое мнение означает скорее то, что метафизическая картина мира такого читателя противоречит данной гипотезе. Поэтому, это философский аргумент, который в науке не должен рассматриваться.

Однако, все же будет полезно показать, как эту гипотезу можно использовать для построения теорий на ее основе. Сначала приведем пример некоторой гипотетической вселенной, где реализуются постулаты гипотезы. Покажем, как там получается, что события в разных ИСО могут отличаться. Затем рассмотрим, как построить теорию, на основе гипотезы, в общем случае.

Рассмотрим, какими свойствами должна обладать исходная модель, и что ожидаем получить.

Исходная модель должна быть цельной, и позволять математическое описание. Ожидаем получить бесконечное множество пространств-времен. Для каждой отличающейся ИСО, должно быть свое пространство-время, принадлежащее этому множеству. В каждом пространстве-времени, принадлежащем этому множеству, должен выполняться принцип причинности. При этом, принцип причинности должен выполняться независимо для каждого пространства-времени. Должен выполняться постулат 2, при стремлении относительной скорости двух инерциальных систем отсчета к нулю, разница между применением принципа причинности отдельно для каждой из этих ИСО с применением принципа причинности одновременно к обоим ИСО должна стремиться к нулю.

Требование цельности исходной модели здесь возникает из того, что в результате мы должны получить бесконечное множество пространств-времен, вместо привычного пространственно-временного континуума. Поэтому нужно иметь что-то фундаментальное, из чего выводятся все пространства-времена с полями на них.

В каждом из пространств-времен должны выполняться какие-то законы физики. Требуем, чтобы законы физики были одинаковы во всех пространствах-временах. При этом, для наших целей неважно, похожи эти законы физики на известные нам, или нет. Цель здесь – показать, что можно найти модель, в которой выполняются постулаты гипотезы. Нахождение такого примера будет означать, что возможно построение и других моделей. И что, возможно, в одной из таких моделей можно получить те же законы физики, что известны нам.

Итак, ищем гипотетическую вселенную, в которой бы выполнялись постулаты гипотезы.

Начнем с упрощенного примера. Рассмотрим плоскость (x, y) , с заданным на ней полем $f(x, y) = x + y$. Очевидно, что тут ничего не меняется, времени и динамики нет.

Поищем, как преобразовать пространство (x, y) в множество S , состоящее из пространств-времен $((z, t), K)$, где z – пространственная координата, t – время, K – инерциальная система отсчета которой соответствует пространство-время (z, t) , и где выполняется уравнение 3.

Для этого, возьмем некоторое преобразования из (x, y) в (z, t) и проверим, что там выполняется уравнение 3.

Рассмотрим следующее преобразование:

$$t = ky$$

$$z = x$$

Здесь t – кандидат на время, z – кандидат на пространство. Инерциальную систему отсчета, соответствующей такой системе уравнений, найдем позже. k – некоторый коэффициент, смысл которого станет понятен позже.

Найдем, как вычислить значения поля в точке (z, t) , зная значения в точке (z, t_0) , где $t_0 = ky_0$.
Находим: $f(z, t) = f(x, ky) = x + ky = x + ky_0 + k(y - y_0) = (x + ky_0) + k(y - y_0) = f(z, t_0) + (t - t_0)$

Время в уравнениях физики является параметром изменений. Мы получили уравнение, где есть параметр изменений. Этот параметр можно назвать эмерджентным временем, так как выполняется уравнение 3. Пространство z можно считать эмерджентным пространством, потому что при изменении t в этом пространстве происходят изменения.

Таким образом, из двумерной плоскости без времени и динамики мы перешли в одномерное пространство со временем и динамикой, нашли кандидат на эмерджентное пространство-время для некоторой ИСО. Параметр k теперь можно интерпретировать как единицу времени.

Теперь поищем, как в такую модель добавить переходы между ИСО. Повернем предыдущее пространство-время (z, t) на угол α в пространстве (x, y) , перейдем к (z', t') . Поворачиваем одновременно обе оси. Считаем, что ось времени должна быть всегда перпендикулярна оси пространства. Уравнения после поворота несколько изменяется, но уравнение 3 по-прежнему выполняется, имеется параметр изменений. Очевидно, что расстояние между любыми двумя точками, принадлежащими соответственно z и z' , меняется равномерно и пропорционально промежутку времени t или t' , и скорость его изменения зависит от угла α . Поэтому можно говорить, что найден кандидат на инерциальную систему отсчета. Соответственно, пространства-времена (z, t) и (z', t') соответствуют разным инерциальным системам отсчета, если их оси имеют ненулевой угол относительно друг друга.

У инерциальных систем отсчета должны выполняться еще некоторые свойства, которые мы пока не рассматриваем. Пока цель только показать идею, как, не имея времени и динамики, вывести время.

В полученном уравнении состояние в предыдущий момент времени влияет на состояние в последующие моменты времени. Поэтому, можно говорить про появление принципа причинности. Как результат, от пространства (x, y) мы перешли к множеству $((z, t), K)$, где для

каждой ИСО K имеется свое пространство-время, для каждого из которых независимо выполняется уравнение 3.

Понятно, что рассмотренный пример с полем $f(x, y) = x + y$ является максимально простым и приведен для демонстрации идей.

Если поле $f(x, y)$ более сложное, можно разложить поле по некоторой полной системе ортонормированных функций, чтобы поле в каждой точке равнялось сумме функций с некоторыми коэффициентами. Например, при разложении в ряд Фурье функцию $f(x)$ можно представить как $f(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \hat{f}_k e^{ik\frac{2\pi}{\tau}x}$. После чего проверить, можно ли, при параллельном переносе прямой на некоторое расстояние l , построить уравнение изменения коэффициентов разложения вида

$$\Phi(l) = A\Phi(0) \quad (5)$$

Здесь $\Phi(0)$ – это множество коэффициентов разложения по некоторой системе функций, для каждой точки для некоторой выбранной прямой, l – расстояние, на которой прямая была перенесена, $\Phi(l)$ – множество коэффициентов разложения для каждой точки для выбранной прямой после ее параллельного переноса на расстояние l . Если такое уравнение получилось построить, то можно говорить, что найден кандидат на пространство-время. Если не получается – возвращаемся назад, пробуем другую систему функций. При этом, не для каждого поля возможно найти требуемую систему функций. Если нужная система функций найдена, далее нужно проверить, что такие же уравнения будут работать при повороте линии на произвольный угол, чтобы можно было бы говорить про существование скорости. Переход в ИСО, движущуюся с некоторой скоростью относительно предыдущей, соответствует повороту линии на некоторый угол. Чем меньше угол между ИСО, тем меньше разница в скорости.

Можно отметить, что если после поворота линии уравнения, описывающие эволюцию разложения поля в рассматриваемом пространстве-времени, будут без изменений, одинаковы во всех ИСО, то это будет означать одинаковость законов природы во всех ИСО и отсутствие выделенной системы отсчета. Эту одинаковость можно получить, если уравнение поля не имеет выделенных направлений. Для целей примера, отсутствие выделенной системы не требуется, так как нет цели построить картину вселенной, согласующуюся с известными физическими теориями.

От пространства без времени, где ничто не меняется по причине отсутствия времени, мы перешли к множеству из пространств-времен. Можно сказать, что в каждом из них у нас получились некоторые эффективные поля, которые описывают состояние и эволюцию системы.

Очевидно, что при повороте линии пространства коэффициенты разложения поля, в общем случае, не могут не меняться. При этом, чем меньше угол поворота, тем меньше изменения. Как уже рассмотрели, угол поворота между линиями соответствует некоторой относительной скорости. Поэтому, получаем, что чем меньше относительная скорость ИСО, тем меньше изменения в коэффициентах разложения. Можно утверждать, что в общем случае, зная коэффициента разложения до поворота, невозможно вычислить коэффициента после поворота. Это означает, что, зная состояние эффективных полей в одной ИСО, невозможно вычислить состояние эффективных полей в другой ИСО.

Для того, чтобы в такой вселенной мог существовать разумный наблюдатель, постулируем, что в пространстве-времени, построенном описанным образом, может существовать разумный наблюдатель. Понятно, что для существования наблюдателя требуется выполнение еще ряда

условий, которые здесь не рассматриваем. Для целей построения примера, нам достаточно принципиальной возможности существования наблюдателя в таком эмерджентном пространстве-времени.

Очевидно, что в рассматриваемой гипотетической вселенной, состоящей из плоскости (x, y) с некоторым гладким полем $f(x, y)$, и где возможно построение пространства-времени по описанному методу, принцип причинности применяется независимо для каждой ИСО. Очевидно, что чем меньше угол между линиями, соответствующими разным ИСО, тем меньше разница коэффициентах разложения поля. Любые события в такой вселенной должны описываться на основе коэффициентов разложения поля по некоторой ортонормированной системе функций. Это означает, что в такой вселенной чем меньше разница скоростей между двумя ИСО, тем меньше разница в применении принципа причинности независимо для каждой ИСО и одновременно к обоим ИСО.

Итак, мы нашли некоторую гипотетическую вселенную, в которой выполняется принцип причинности и выполняются постулаты гипотезы.

Глядя на этот пример, можно показать, как строить теории, на основе рассматриваемой гипотезы, в общем случае.

1. Постулируем существование чего-то более фундаментального, чем пространство-время
2. Определяем, как будем получать пространство-время и поля, из постулированного на первом шаге. При этом, потребуется как-то или получить, или постулировать принцип причинности. Принцип причинности должен применяться в соответствие с постулатами гипотезы.
3. Далее, нужно будет показать, что получившиеся поля и свойства пространства-времени соответствуют наблюдаемому, в том числе соответствуют квантовой физике.

Мы выполнили первые два пункта для вселенной без времени и динамики. Какие еще имеются варианты чего-то более фундаментального, пока неясно. Возможно, можно получить что-то похожее на основе вселенной с более чем одним временем. Возможно, можно найти еще что-то, пока неизвестное.

В любом пространстве-времени переход между ИСО это всего лишь смена системы координат. Поэтому, если гипотеза верна, то пространство-время не являются фундаментальными, существует что-то более фундаментальное.

Заключение

Рассмотрено применение принципа причинности к инерциальным системам отсчета. Рассмотрена гипотеза о том, что принцип причинности применяется отдельно и независимо для каждой отдельной ИСО. Принцип причинности является очень фундаментальным физическим принципом, и он не зависит от других физических принципов и от каких-либо широко принятых физических теорий. Поэтому, при поиске возможностей его модификации, его можно рассматривать полностью независимо, без опоры на какие-либо иные принципы и широко принятые физические теории.

Было обнаружено, что наблюдатель имеет только ту информацию, которую имеет та ИСО, относительно которой он неподвижен. Дальнейший анализ привел к выводу, что с точки зрения наблюдателя любое событие существует во всех ИСО, даже если фактически событие существует только в части ИСО. Эти выводы никак не зависят от данной гипотезы.

Эта гипотеза приводит к тому, что возникает два типа преобразований при переходе между инерциальными системами отсчета. Первое это преобразования с точки зрения наблюдателя. Второй тип преобразований является новым типом преобразований, это прямые преобразования пространства-времени и полей.

Так как все современные широко принятые физические теории считают, что если событие произошло в одной ИСО, то оно произошло во всех ИСО, то это означает что эти теории удовлетворяют только преобразованиям с точки зрения наблюдателя. Это так же означает, что гипотеза не противоречит ни одной широко принятой физической теории, но при этом такие теории описывают только частный случай.

Так как гипотеза предсказывает второй тип преобразований, который отсутствует во всех широко принятых теориях, это означает возможность построения нового класса теорий, которые бы учитывали дополнительный тип преобразований. Если для преобразований первого типа, преобразования с точки зрения наблюдателя, можно сказать, что они соответствуют преобразованиям СТО и ОТО, для плоского пространства-времени и для пространства-времени с кривизной, то теория, которая бы описывала преобразования второго типа, отсутствует.

Точный вид прямых преобразования пространства-времени-полей в рамках данной гипотезы получить невозможно. Для этого требуется более глубокая теория. Такая теория, возможно, приведет к предсказанию новых эффектов, которые можно будет экспериментально проверить. Поэтому можно утверждать, что данная гипотеза является, в принципе, фальсифицируемой.

Принцип причинности, как было замечено, не зависит от каких-либо иных физических принципов и широко принятых теорий. Поэтому, полученные выводы никак не зависят от иных физических принципов и широко принятых теорий. Иными словами, невозможно сформулировать какие-либо аргументированные возражения против этой гипотезы, используя эти иные физические принципы и широко принятые теории.

Приведен пример, показывающий, что возможно построить модель, в которой выполняются постулаты гипотезы.

Был проведен анализ возможности протестировать гипотезу. Было найдено, что гипотеза является, в принципе, фальсифицируемой.

Гипотеза предсказывает, что пространство-время не фундаментально, существует что-то, что более фундаментально. Гипотеза открывает возможность построения нового класса теорий.

Литература

1. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. — 3-е изд. — М.: Физматлит, 2005