

ОБОБЩЕННЫЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И СВЕРХСВЕТОВАЯ ПРИЧИННОСТЬ

Показано, что подходы Галилея Г. и Эйнштейна А. к учету инерции физических систем и наблюдателей дополнительные, что приводит к наличию у принципа относительности двух различных сторон. Выполнено обобщение принципа причинности при учете реальных условий измерения симметрии. Показано, что сверхсветовые скорости не противоречат принципу причинности.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривая аксиомы и принципы как методологические ограничения и требования используемой и развиваемой модели, мы вправе стремиться обозначить их границы и условия применения. Еще лучше, если удастся построить модель без использования привычных принципов. Понятно, что могут быть использованы неявные принципы, что требует дополнительного анализа.

В данной статье показано, как следует обобщить принципы относительности при учете реальных условий измерения в электродинамике. Обосновано положение, что сверхсветовые скорости не противоречат принципу классической причинности.

1. ДВА ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

В принципе относительности, предложенном Галилеем, речь шла о формальном сравнении, без проведения измерений, двух различных экспериментальных ситуаций. Анализ позволил прийти к выводу о «необнаруживаемости» инерциального движения механическими опытами внутри физической лаборатории. « Прилежно наблюдайте все ... пока корабль стоит неподвижно. Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту или другую сторону) во всех названных явлениях (речь шла о механических опытах без проведения количественных измерений: подъем струйки дыма, падение камня, полет мух и т.д.) вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно» [1]. Сформулируем этот вывод как принцип относительности Галилея (ПОГ). «Механический закон, обнаруженный наблюдателем, покоящимся в замкнутой, огражденной от внешних воздействий, физической лаборатории не изменится, если и наблюдатель и лаборатория в целом будут инерциально двигаться относительно своего первоначального положения, которое предполагается неизменным».

Одинаковость протекания механических опытов состоит по Галилею в следующем: «И причина согласованности всех этих явлений заключается в том, что движение корабля обще всем находящимся на нем предметам, так же как и воздуху» [1]. Поскольку равномерное и прямолинейное движение есть движение по инерции, сопоставим ему, пока формально, кинематическую характеристику. В новой терминологии причина одинаковости процессов заключается в том, что все части физической системы, наблюдатель и измерительные устройства имеют одинаковую кинематическую характеристику инерции. Инерция проявляет себя аналогично запасу потенциальной энергии: если провести механические опыты на различной высоте над поверхностью Земли, то они практически не будут отличаться друг от друга.

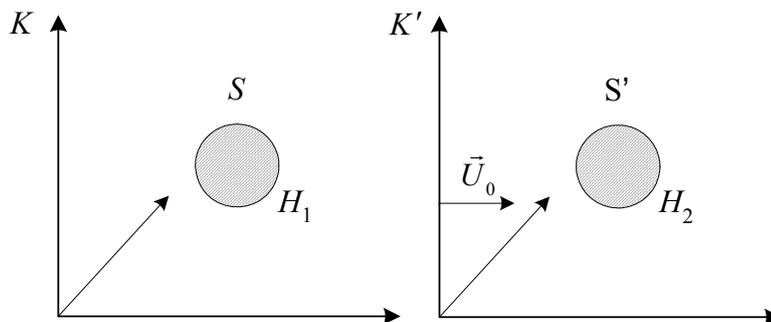


Рис.1. Иллюстрация принципа относительности Галилея

Вторая сторона ПОГ состоит в том, что Галилей различал протекание физических явлений в инерциальных системах, если в опыте участвуют системы с различной инерцией. По Галилею, физические явления будут отличаться, если они проводятся в каюте и на палубе. На палубе воздух уже не имеет движения, общего с движением корабля и потому при исследовании падения камня, подъема струйки дыма нужно принимать во внимание изменение инерции тех частей системы, в пределах которой рассматривается проводимый опыт. Другими словами, изменение инерции проявляет себя как дополнительная сила, действующая на систему. Следовательно, в подходе Галилея не утверждается абсолютной «необнаружимости» инерциального движения, это *движение проявляет себя, если выйти за пределы системы.*

Заметим также, что в подходе Галилея не было количественных измерений и акцента на его тонкости и специфику. Вопрос о соотношении покоящегося и инерциально движущегося эталонов не был сформулирован. Проблема влияния измерения на параметры явления также не была замечена.

Итак, согласно ПОГ, сравниваются две экспериментальные ситуации, причем измерения проводятся наблюдателями, покоящимися относительно установки, которая считается огражденной от внешних воздействий, обусловленных движением системы в целом.

Система координат K покоится относительно установки и наблюдатель H_1 в K устанавливает закон, описывающий определенный механический опыт. Система K' покоится относительно установки S' (аналогичной S в том смысле, что она дает те же расчеты, что и S , если будет помещена в K) и движется относительно K со скоростью \vec{u}_0 . Наблюдатель H_2 в K' устанавливает закон в K' . Он оказывается для одинаковых опытов таким же, как и для наблюдателя в K . Следовательно: «Законы, по которым изменяется механическое состояние физической системы, не зависят от того, покоится или инерциально движется система в целом». При этом вопрос об установлении закона, описывающего явление в K' по закону в K не ставится, между ними еще нет связи. О ней можно говорить в том случае, когда одна экспериментальная ситуация исследуется различными наблюдателями. В частности, один наблюдатель покоится относительно установки, а второй – инерциально движется относительно нее. «Расширение» принципа относительности на эту ситуацию состоит в том, что делается вывод об одинаковости законов, управляющих механическими явлениями как для покоящегося, так и для инерциально движущегося наблюдателя.

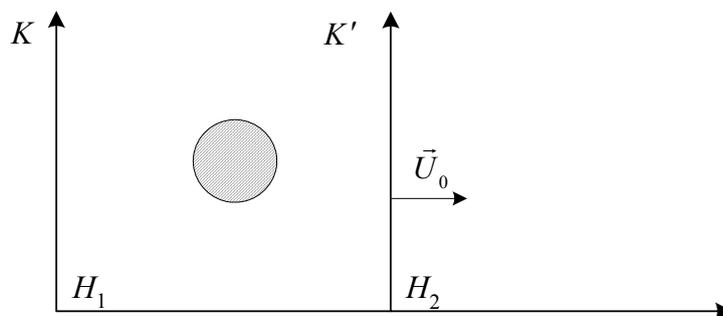


Рис. 2. Иллюстрация принципа относительности А. Эйнштейна

Это уже не принцип относительности Галилея, а *принцип независимости явления от инерциального движения измерительных устройств*. Другими словами: «Закон, управляющий поведением физического объекта, не зависит от того, наблюдает ли его покоящийся относительно исследуемой системы или инерциально движущийся наблюдатель». В этом суть дополнения ПОГ А. Эйнштейном. Наблюдатель в K исследует явление в системе S , покоящейся относительно K . Аналогичное исследование производит инерциально движущийся наблюдатель в K' . Одинаковыми ли законами описывается явление в K и K' ? Ответ на этот вопрос дается принципом относительности А. Эйнштейна. Его можно сформулировать следующим образом: «Законы, по которым изменяется механическое состояние физической системы, не зависят от того, покоится или инерциально движется наблюдатель».

При этом на первый план выдвигается вопрос о том, можно ли найти такие пространственно-временные преобразования систем координат K и K' , чтобы по закону в одной системе устанавливался такой же закон в другой? Причина независимости законов от инерциального движения наблюдателей кроется, по А. Эйнштейну, в структуре пространства-времени: «... теория Лорентца не противоречит принципу относительности. Однако наше представление о времени и пространстве должно подвергнуться фундаментальным изменениям» [2]. С точки зрения учета инерции, ПОЭ утверждает независимость физического явления от инерции наблюдателя, другими словами, от определенных условий наблюдения. Об этой стороне принципа относительности у Галилея ничего нет. При анализе оптических явлений А. Эйнштейн отталкивался от того, что оптическими опытами «относительное движение Земли принципиально нельзя обнаружить» [2], он опирался на ПОГ. Однако его формулировка принципа относительности относилась к ситуации, описываемой ПОЭ: «Законы, по которым изменяется состояние физических систем, не зависят от того, к какой из координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения относятся».

Условия реального измерения, в частности, влияние прибора на параметры электромагнитного поля не были рассмотрены и даже не были поставлены Эйнштейном.

Совместно применим ПОГ и ПОЭ к распространению света в вакууме. Тогда, очевидно, принципу постоянства скорости света в вакууме (ППСС) соответствуют две различные экспериментальные ситуации: а) источники покоятся относительно наблюдателей, но имеют инерциальную скорость по отношению друг к другу, закон распространения света в вакууме исследуется каждым наблюдателем; б) имеется один источник, а покоящийся и инерциально движущийся наблюдатели устанавливают закон распространения света в вакууме.

В электродинамике долгое время не было четкого разграничения указанных ситуаций, математический аппарат их анализа не развит. Что имеется в виду?

Во-первых, если строго следовать ПОГ, то одинаковость протекания оптических явлений в покоящейся и инерциально движущейся системе обусловлена, как и для материальных тел, инерцией электромагнитного поля, а также тем обстоятельством, что от ее величины протекание явлений не зависит. Поэтому характеристики инерции поля

должны входить в уравнения электродинамики и проявляться во всех ситуациях, когда имеет место их изменение. Согласно принципу относительности Галилея, система, состоящая из материальных объектов и поля, сохраняет свое состояние инерциального движения до тех пор, пока нет факторов, его изменяющих. Наличие такого движения не сказывается на результатах механических и оптических опытов в системе и может быть обнаружено лишь при выходе за ее пределы. Возникает следующий вопрос: «Как выразить инерцию электромагнитного поля и ввести ее в уравнения электродинамики?» Ответ на него необходим, если мы хотим разобраться в причинах, почему инерция не влияет на протекание процессов в физической системе. Основная черта ПОГ – независимость явления от инерции физической системы – до введения концепции отношения не имела явного выражения в электродинамике инерциально движущихся сред.

Во-вторых, отталкиваясь от ПОЭ, необходимо математически обосновать независимость физических явлений от условий наблюдения. Понятно, что эта независимость является характерной чертой классической теории измерений, когда исследуемое явление, экспериментальные установки, измерительные приборы макроскопичны. Однако всякую классическую полевую величину следует рассматривать как среднее по ансамблю (или по пространственно-временной области) от микроскопических величин. Известно, что для микроскопических величин применима лишь квантово-механическая теория измерений, согласно которой получаемые значения существенно зависят от условий измерения. В рассматриваемом нами случае к одному из таких условий относится инерция наблюдателей. По этой причине необходим учет основной особенности ПОЭ – инерции наблюдателей. Как выразить ее и использовать для анализа независимости явления от движения наблюдателей? Эта основная черта ПОЭ также не имела в электродинамике движущихся сред явного выражения.

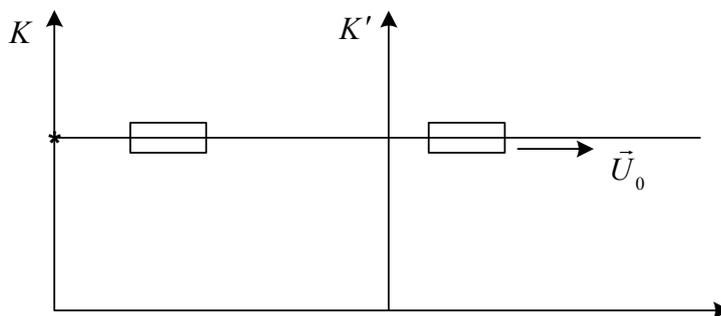


Рис.3. Схема суперпозиции ПОГ и ПОЭ в оптике

Заметим, что в оптике реально реализуется совсем другая экспериментальная ситуация. Луч света последовательно проходит через одну физическую лабораторию, а затем через другую, скорость которой равна скорости системы координат K' . Наблюдатели H_1 и H_2 проводят измерение параметров света. Эта ситуация не описывается ни ПОГ, ни ПОЭ и представляет собой их некоторую суперпозицию. В рассматриваемом случае необходимо учитывать как инерцию источников, так и инерцию наблюдателей.

С учетом проведенного анализа и сделанных замечаний рассмотрим вопрос о взаимосвязи пространственно-временных переменных для систем координат, инерциально движущихся относительно друг друга.

I. Рассмотрим ситуацию рис. 11.3, полагая, что часы в K и K' идут одинаково, а эталоны длины абсолютны. Пусть в K и K' проведены два независимых измерения, следующие друг за другом. Пусть в K за время dt луч света сместился на $d\vec{r}$. По часам в K' прошло время $dt' = dt$, а смещение равно $d\vec{r}'$. После проведения измерений в K пусть сразу же проводятся измерения в K' , причем за время dt' луч

прошел $d\vec{r}'$. В K ему соответствует $dt = dt'$, а смещение равно $d\vec{r}_1$. Общий итог эксперимента таков:

а) в K и K' прошло одно и то же время

$$dt + dt_1 = dt'_1 + dt';$$

б) в K и K' пройдено разное расстояние

$$d\vec{r} + d\vec{r}_1 \neq d\vec{r}' + d\vec{r}'_1;$$

в) за время dt луч в K прошел $d\vec{r}$;

г) за время dt' луч в K' прошел $d\vec{r}'$. В указанной ситуации постоянству хода часов в K и K' не противоречит возможное различие dt и dt' , так как оно определяется экспериментальной ситуацией.

II. Рассмотрим ситуацию, соответствующую рис.1 (ПОГ). Проведем независимые опыты по измерению скорости света в вакууме в K и K' для покоящихся источников. Получим, что в K имеется совокупность «смещений» $\{dx^\alpha\}$, реализованных за время dt . Аналогично, в K' имеется совокупность «смещений» $\{dx^{\alpha'}\}$, реализованных за время dt' . В общем случае между ними нет связи. Возникает вопрос: можно ли найти такую взаимосвязь переменных $\{dx^\alpha, dt\}$, $\{dx^{\alpha'}, dt'\}$, чтобы по данным опыта в K можно было бы установить данные некоторого (возможно иного, чем в K) опыта в K' ? Понятно, что и в этом случае вовсе необязательно должно быть $dt = dt'$, $d\vec{r} = d\vec{r}'$, а, скорее, это исключение.

III. Рассмотрим ситуацию, соответствующую рис.2 (ПОЭ). Пусть одно и то же смещение рассматривается в различных системах координат. Понятно, что если ситуация сводится к рис.2, сравнению могут подлежать лишь реально измеренные и рассчитанные величины (так как две физические лаборатории не могут совпадать друг с другом). Однако и для этой ситуации допустимо нахождение такой взаимосвязи пространственно-временных переменных, что по параметрам, измеренным в K , можно восстановить параметры, измеренные в K' (соответствующие либо рис. 1 либо рис.2). Понятно, что в этом случае также из пространственно-временных преобразований не будет следовать ни абсолютность длины, ни абсолютность времени.

Все три ситуации имеют ту общую черту, что некоторому «смещению» $\{dx^\alpha\}$ за время dt в K ставится в соответствие некоторое «смещение» $\{dx^{\alpha'}\}$ за время dt' в K' (речь идет о смещении луча, поэтому взаимосвязь $\{dx^{\alpha'}, dt'\} = \hat{E}\{dx^\alpha, dt\}$ не имеет отношения к взаимосвязи эталонов).

Проведенные выше рассуждения по-новому обосновывают отказ А. Эйнштейна от взаимосвязи пространственно-временных переменных с абсолютным временем $dt' = dt$ (его относительность одновременности). Именно относительность одновременности выступает как средство взаимосвязи ситуаций, относящихся к рис.1, рис.2 и не раскрывающих по существу рис.3. Функциональная взаимосвязь «смещений» в K и K' неявно учитывает инерцию электромагнитного поля и инерцию наблюдателей.

Сформулируем принцип относительности, соединяющий черты ПОГ и ПОЭ: «Законы, по которым изменяется состояние физической системы, установленные как покоящимися, так и инерциально движущимися наблюдателями, не зависят от того, покоится или инерциально движется система в целом».

Как мы знаем, материальные уравнения в движущейся среде «восстанавливаются» по уравнениям в покоящейся среде с точностью до скалярной функции, названной показателем отношения w . Значит, в общем случае невозможно установить структуру уравнений в движущейся среде по уравнениям в покоящейся среде без рассмотрения отношения. Корректный путь такой: нужно задать отношение, с учетом его значений и изменения построить пространственно-временные

преобразования, содержащие скорости, ускорения. Мы приходим к выводу, что в полной теории переход от уравнений в покоящейся среде к уравнениям в движущейся может быть выполнен на основе тензорного преобразования, учитывающего отношение. Теперь очевидна ограниченность такого приема: он задает правило вывода уравнений поля, но не задает структуру тех элементов, с помощью которых это можно сделать. Его расширение имеет прямое отношение к модели расслоенного пространства-времени с разделением пространственно-временных характеристик на пространство состояний и пространство событий и принятием концепции отношения как фундаментального свойства физического мира, без учета которого правильное описание инерции невозможно.

Отношение становится фундаментальным регулятором инерции поля, конкретизирующим принцип относительности.

2. КОРРЕКЦИЯ ПРИНЦИПОВ ТЕОРИИ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ

Из физической практики следует, что измерение есть влияние явления, обычно представленного некоторыми исследуемыми изделиями, на реальное измерительное устройство, показания которого рассматриваются как измеренные величины. Согласно «классической» модели измерения, измерительный прибор не влияет на параметры исследуемого явления. Но чаще, следуя опыту, накопленному в квантовой теории, мы наблюдаем, что прибор «вмешивается» в явление и его ход. Это влияние обычно учитывают на основе алгоритмов статистического предсказания итогов эксперимента. Так приходится поступать еще и потому, что часто отсутствует или недоступна информация о деталях и механизмах явления. В силу указанных обстоятельств, если мы принимаем квантовую модель частицы света, нам следует учесть ряд обстоятельств:

- Изучить роль и место измерительной системы в проблеме анализа и интерпретации измеренных значений.
- Механизмы прямого и косвенного влияния измерительного устройства на квантовую систему.
- Соотношение классических и квантовых аспектов при проведении реальных измерений.
- Факторы и алгоритмы взаимного влияния разных конструкций друг на друга с учетом всего спектра скоростей, присущих исследованию.

Физика имеет дело с измеренными величинами, соответствующими прямому опыту (например, измерению ширины стола линейкой) или косвенному опыту (например, измерению температуры внутри Солнца). Реальные условия измерения таковы, что они могут не помешать явлению, но способны, в некоторых ситуациях, существенно исказить его. По этой причине требуется коррекция принципов, используемых в физике, так как в них должны быть учтены условия измерения.

Принцип относительности Эйнштейна формулируется так: «Законы, по которым изменяется состояние физических систем, не зависят от того, к какой из координатных систем, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, эти изменения относятся» [3]. Легко видеть, что между собой сравниваются физическая и координатная система, а измерительной системы, имеющей самостоятельное значение, в формулировке нет. В данном подходе также никак не выделен субъект, проводящий исследование. Примем во внимание указанные обстоятельства. Изобразим ситуацию рис. 4.

Заметим, далее, что величины, сопоставляемые явлению, различны для различных наблюдателей. Но именно они образуют закон, которому подчинено явление. В частности, одна и та же величина может быть разной, если различно отношение w : $\vec{u} = (1 - w)\vec{u}_{js} + w\vec{u}_m$ различно, если $w_1 \neq w_2$. Поэтому следует считать так: «Законы, по которым изменяется состояние физической системы, не зависят от выбора координатной

системы, но зависят от выбора и состояния измерительной системы, от того, движется ли она инерциально или неинерциально».

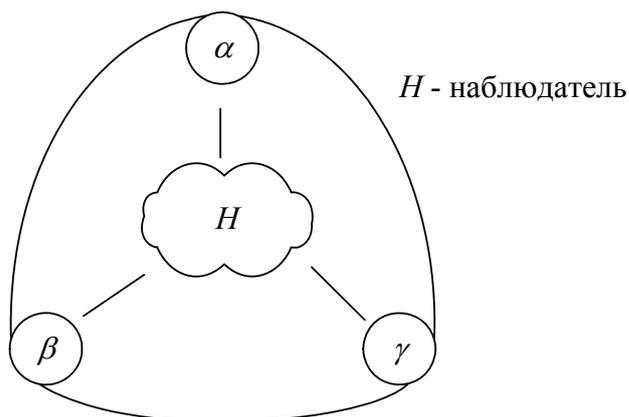


Рис.4. Элементы, ассоциированные с принципом относительности
(α, β, γ) -физическая, измерительная, координатная системы)

Рис.4 пригоден для анализа принципа постоянства скорости света в вакууме. В реальном измерении между собой сравниваются не только скорости, но также частоты и направления волновых векторов. Опыт показывает, что вся эта совокупность различна, если различны инерциальные наблюдатели. Этот факт подтверждается зависимостью всей совокупности параметров электромагнитного поля от скорости источника излучения и от скорости измерительного устройства или физической среды. Чтобы понять ситуацию, требуется конкретизировать условия реального измерения скорости света в вакууме. Действительно, для такого измерения нужны две установки, в которых свет часть своего пути проходит в вакууме, а установки движутся друг относительно друга. Поэтому два экспериментатора сравнивают, что происходит со светом *внутри* экспериментальных установок. Согласно опыту, действительно будут обнаружены одинаковые значения скоростей, потому что источником вторичного излучения стал прибор, в который проник свет. Но частоты света будут различны как в том случае, когда движется источник излучения, так и в том случае, когда движется измерительное устройство. Следовательно, прямое измерение скорости света в вакууме способно исказить реальную картину явлений, выходя за рамки принципа постоянства скорости света, предложенного Эйнштейном. Прямые опыты не дают ответа на вопрос, важнейший для построения правильной и полной картины явлений: *с какой скоростью движется свет в вакууме вне измерительного устройства?* Расчеты, проведенные с учетом концепции отношения, показывают, что ситуация сложна. Внутри и вне измерительного устройства параметры поля могут существенно отличаться. В силу указанных обстоятельств следует принять новый принцип: «Законы, в частности, связи, которым подчинено изменение параметров электромагнитного поля, могут быть разными, они зависят от того, вне или внутри измерительного прибора выполнено исследование».

В физике анализ ситуации способен измениться вплоть до нового качества, если удастся обнаружить и использовать новые физические характеристики объектов и явлений. Такова, например, теория фазовых превращений. Такова теория атомов, когда выяснилось, что это «всего лишь» конструкции, составленные из нуклонов в центре атома и электронов, образующих их периферию. Такова теория катастроф, когда принята идея пространства, зависящего от управляющих параметров.

Инерция тел и поля, как свидетельствует опыт, относится к наиболее общим их свойствам. По этой причине следует ожидать, что охваты и проявления инерции могут и должны быть учтены при наиболее общем подходе к физическим явлениям. Этот тезис справедлив как для физических величин, *управляющих собственной и внешней инерцией*, так и для используемых математических конструкций.

Анализ показал, что физика инерции основана на концепции отношений между объектами и явлениями. Суть ее состоит в том, что есть величины, задающие отношения, они могут быть переменными, а изменение отношения приводит к изменению инерции. **Эта точка зрения считается пригодной как для тел, так и для полей.** Задача состоит в том, как найти отношения, разобраться в них, воспользоваться ими. В электродинамике Максвелла для релаксационных процессов изменения параметров света отношение задано новой физической величиной $w(x, y, z, t)$:

$$w = 1 - \exp\left(-P_0(\lambda)\frac{\rho}{\rho_0}\right),$$

где $P_0(\lambda)$ - феноменологическая константа, зависящая от длины волны излучения, ρ_0 - плотность среды при нормальных условиях.

3. О ВОЗМОЖНОСТИ СОГЛАСОВАНИЯ СВЕРХСВЕТОВЫХ СКОРОСТЕЙ С ПРИНЦИПОМ ПРИЧИННОСТИ

Заключение о невозможности сверхсветовых движений впервые было сделано в виде самостоятельного вывода А. Эйнштейном в 1907 году. Оно основано на использовании преобразований Лорентца для связи скоростей сигналов в покоящейся и движущейся системах отсчета. Пусть φ - скорость сигнала в СК1, ψ - скорость сигнала в СК2, c - скорость света в вакууме. Тогда при $\varphi > \psi$ возможна ситуация, когда расстояние l проходит в СК2 за отрицательное время

$$\Delta T = l\left(1 - \frac{\varphi\psi}{c^2}\right) / (\varphi - \psi).$$

Отсюда делается вывод о временном предшествовании следствия причине, а потому "хотя ... этот результат и не содержит логического противоречия, он настолько противоречит всему нашему опыту, что невозможность предположения $v > c$ может считаться достаточно доказанной" [4].

Конечно, можно принять точку зрения, что принцип причинности, вообще говоря, не сводится к временной упорядоченности причины и следствия, и потому указанное условие очень сильное. Можно стать на точку зрения Реками, Миньяни, применив принцип реинтерпретации, согласно которому направление "стрелы причинности" неинвариантно: событие, которое рассматривается как причина для одной системы отсчета, может стать следствием для другой. Можно применить и другие соображения, в частности, использовать некоторые следствия ОТО, при которых данное противоречие снимается.

Однако все они не меняют вывода, сделанного А. Эйнштейном. Покажем, что ситуация выглядит иначе, если корректно учесть начальные условия задачи. При этом мы не будем рассматривать вопроса о том, законно ли применение преобразований Лорентца к сигналам, движущимся со скоростью, большей скорости света в вакууме.

Согласно постановке мысленного эксперимента, сигнал идет с постоянной скоростью $\varphi' > c$ в одном направлении и сносится средой, движущейся со скоростью v в другом направлении. Пусть действительно это так и для данной ситуации, хотя, если бы он не сносился средой, то его скорость была бы конечной, что противоречит физической постановке задачи. С другой стороны, при определенном значении $\varphi' > c$ мы действительно получим $\varphi < 0$. Но это обстоятельство означает, что сигнал пошел в сторону отрицательных значений ОХ.

Рассмотрим вопросы причинности в рамках концепции отношения. Сравним между собой смещения событий, отсчитанные в системах отсчета наблюдателей. Согласно условиям мысленного эксперимента, сигнал $\varphi > c$ идет в среде, для которой

отношение равно единице. Для другого наблюдателя отношение события к измерительному устройству $w=0$. Поэтому их связь между собой должна задаваться преобразованиями Галилея. А это означает, что $\varphi = \varphi' - v$. При $v < c$, $\varphi' > c$ всегда $\varphi > 0$ и потому будет обеспечено предшествование причины следствию.

Анализируемая А. Эйнштейном задача относится именно к такой ситуации и потому из нее не следует нарушение принципа причинности. Сравнение сигналов $\varphi > c$ и $\varphi' > c$ при отношениях $w_1 = 1$ и $w_2 = 1$, которое задается преобразованиями Лорентца, вступает в противоречие с принципом постоянства скорости света, из которого выводятся преобразования. Указанные скорости следует анализировать в рамках схемы, не ограничивающей себя предельным значением скорости, что имеет место в электродинамике с отношением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что существует пара принципов относительности. Они предложены Галилеем и Эйнштейном и имеют принципиальные различия в содержании и форме. Предложено их обобщение, учитывающее условия реального физического измерения. Рассмотрена возможность обоснования факта, что сверхсветовые скорости не нарушают принцип причинности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галилей Д. Диалог о двух главнейших системах птолемеевой и коперниковой. –М.:ИЛ,1948.
2. Эйнштейн А. Основы общей теории относительности./ Собр. научных. тр. Наука.-1966.-т.1.-с.452-504.
3. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел / Собр. научных. тр. Наука.-1966.-т.1.-с.7.
4. Эйнштейн А. / Собр. научных .тр. Наука.-1966.-т.4.-