

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P2-86-686

Г.Н.Зорин

**РЕЛЯТИВИСТСКИ ИНВАРИАНТНАЯ ЮСТИРОВКА
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ
В ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА**

1986

1. Коэффициент Рейхенбаха. Рейхенбах ^{/1/} проделал анализ понятия "относительности одновременности" и сделал вывод о неоднозначности эйнштейновской синхронизации часов в специальной теории относительности (СТО) ^{/2/} в различных точках пространства-времени. Заключение Рейхенбаха основано на утверждении о невозможности экспериментальной проверки того, что скорость света в одном направлении должна быть равна его скорости в противоположном направлении, или, как говорили древние греки, "дважды в одну и ту же реку не входят".

Эйнштейн ^{/2/} предложил использовать для определения "промежутка времени" синхронизацию часов посылкой светового сигнала туда и обратно, опираясь на постулат о "постоянстве скорости света". Согласно Эйнштейну, световой сигнал в покоящейся системе отсчета из точки А в точку В, с точки зрения наблюдателя в движущейся системе отсчета со скоростью v , проходит путь r_{AB} за время

$$t_B^* - t_A^* = \frac{r_{AB}}{c - v} \quad (1)$$

и в обратном направлении -

$$t_A^{*'} - t_B^* = \frac{r_{AB}}{c + v} \quad (2)$$

Например, в случае покоящихся часов, когда v равно нулю, часы идут синхронно в точках А и В, если (1) равно (2).

Согласно Рейхенбаху ^{/1/}, время прохождения светового сигнала в одном направлении (для простоты рассмотрим случай покоящихся часов)

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c_1} \quad (3)$$

а в другом

$$t_A' - t_B = \frac{r_{AB}}{c_2} \quad (4)$$

После сложения и вычитания формул (3) и (4) получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} t'_A - t_A = r_{AB} / \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}; \\ t'_A - t_B = (t_B - t_A) + r_{AB} / \frac{c_1 c_2}{c_1 - c_2}. \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя выражение r_{AB} из первого уравнения во второе, найдем, что

$$t_B - t_A = \frac{c_2}{c_1 + c_2} (t'_A - t_B), \quad (6)$$

где

$$\frac{c_2}{c_1 + c_2} = \epsilon \quad (7)$$

и есть коэффициент Рейхенбаха, который всегда

$$0 < \epsilon < 1, \quad (8)$$

поскольку скорости света c_1 и c_2 могут принимать любые конечные постоянные значения, отличные от нуля. Синхронизация Эйнштейна для покоящихся часов получается только в случае

$$\epsilon = \frac{1}{2}, \quad (9)$$

т.е. когда

$$c_1, c_2 = c. \quad (10)$$

2.Обобщение СТО в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля. В работах /3-5/ проделано обобщение СТО в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля, в рамках которого можно дать исчерпывающий анализ эйнштейновской синхронизации часов и коэффициента Рейхенбаха.

При обобщении получены преобразования Лоренца (ПЛ) без скорости света в соответствии с выводом Минковского о единстве пространства-времени и корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля:

$$\begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}}; \\ t' = \frac{t - \frac{1}{V}x}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}}, \end{cases} \quad (11)$$

образующие группу движения при условии универсальности

$$vV = v'V', \quad (12)$$

где v, v' - групповые скорости материальной точки, а V, V' - фазовые скорости волнового процесса, в котором участвует материальная точка. Тогда инвариантом таких преобразований будет пространственно-временной интервал

$$ds^2 = dx^2 - vV dt^2. \quad (13)$$

Две параметризации такой группы адекватны соответственно правилу сложения групповых скоростей

$$v'' = \frac{v + v'}{1 + \frac{v}{V}} \quad (14)$$

и фазовых

$$V'' = \frac{1 + \frac{v}{V'}}{\frac{1}{V} + \frac{1}{V'}}. \quad (15)$$

Следовательно, временные координаты связаны с фазовой скоростью, а пространственные - с групповой (в соответствии с корпускулярно-волновыми свойствами элементарных частиц). И как следует из (13), синхронизация часов по фазе должна обновременно сопровождаться пространственной координатной привязкой пространственно-временного события, что в согласии с единством пространства-времени Минковского и не противоречит принципу дополнителности Бора.

В обобщенном пространстве-времени Минковского (13) становятся различимы между собой состояние элементарного пространственно-временного события (например, атома) и связанное состояние пространственно-временных событий (состояние вещества - твердого тела) в соответствии с опытом: макросвойства твердого тела не

адекватны микрохарактеристикам элементарных объектов (атомов), из которых состоит это тело. Это выражено в равноправии ПЛ с преобразованиями Галилея (ПГ) в обобщенном пространстве-времени Минковского (13) - никаким образом нельзя перейти от ПЛ к ПГ из-за условия универсальности (2). В таком пространстве-времени (13) работают помимо ПГ с групповой скоростью

$$\begin{cases} \tilde{x}' = \tilde{x} - v\tilde{t}; \\ \tilde{t}' = \tilde{t} \end{cases} \quad (16)$$

с правилом сложения

$$v'' = v + v' \quad (17)$$

еще ПГ с фазовой скоростью

$$\begin{cases} \tilde{x}' = \tilde{x}; \\ \tilde{t}' = \tilde{t} - \frac{1}{V}\tilde{x} \end{cases} \quad (18)$$

с правилом сложения

$$V'' = \frac{1}{\frac{1}{V} + \frac{1}{V'}} = \frac{VV'}{V+V'} \quad (19)$$

Пространственно-временной интервал (13) инвариантен относительно преобразований (16) и (18):

$$d\tilde{x}d\tilde{x} - vVd\tilde{t}d\tilde{t} = d\tilde{x}'d\tilde{x}' - vVd\tilde{t}'d\tilde{t}' \quad (20)$$

при условии универсальности (12), дающем аналитическое семейство граничных скоростей звука в средах, приводящем к образованию волн Маха.

Содержание классических законов движения в разложении релятивистских законов в ряд Тейлора свидетельствует не о приближенном характере механики Ньютона, а указывает на возможность или участие элементарных объектов, из которых состоит твердое тело, в его перемещении - помимо движений в самом теле согласно остальным членам разложения. Поэтому в обобщенном пространстве-времени (13) должны существовать законы превращения, например, механической энергии в электромагнитную и т.д.

В частном виде условие универсальности (12) переходит в формулу де Бройля

$$vV = c^2. \quad (21)$$

При переходе к c в обобщенном пространстве-времени (13) можно получить в соответствии с корпускулярно-волновыми свойствами элементарных частиц или ПЛ с групповой скоростью, или ПЛ с фазовой скоростью в следующем виде:

$$\begin{cases} x' = \frac{x - \frac{c^2}{V}t}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{V^2}}}; \\ t' = \frac{t - \frac{1}{V}x}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{V^2}}} \end{cases} \quad (22)$$

с правилом сложения фазовых скоростей

$$V'' = \frac{1 + \frac{c^2}{VV'}}{\frac{1}{V} + \frac{1}{V'}} \quad (23)$$

3. Анализ эйнштейновской синхронизации часов. Согласно синхронизации часов Эйнштейна^{/2/} в терминах Рейхенбаха^{/1/}

$$t'_A - t_A = \frac{r_{AB}}{c_1} + \frac{r_{AB}}{c_2} = r_{AB} / \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}. \quad (24)$$

Из сравнения (24) с (19) следует, что $(c_1 c_2 / c_1 + c_2)$ является классической результирующей фазовых скоростей, т.е. эйнштейновская синхронизация часов представляет собой частную синхронизацию часов в пространстве-времени Галилея, которая, согласно Рейхенбаху, не однозначна во всех точках пространства-времени в отличие от ньютоновской, только уже по фазовой скорости, присутствующей в случае (20) в связи с вытекающим из условия универсальности (12) следствием,

$$\lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ v \rightarrow \infty}} vV = \text{const}, \quad (25)$$

определяющим сверку часов в покоящихся системах отсчета.

Если r_{AB} разделим на релятивистскую результирующую фазовую скорость (23), то получим для неподвижных часов, что

$$\frac{2r_{AB}}{c_{\phi} + c_{\Gamma P}} \neq t'_A - t_A \quad (26)$$

при условии

$$V, V' = c_{\phi} \quad (27)$$

так как квант света также обладает корпускулярно-волновыми свойствами и на световом конусе согласно де Бройлю (21)

$$c^2 = c_{\Gamma P} c_{\phi} \quad (28)$$

В случае пространства-времени Галилея, согласно (24), в соответствии с синхронизацией Эйнштейна ^{2/} в отличие от (26)

$$t'_A - t_A = \frac{2r_{AB}}{c_{\phi}} \quad (29)$$

Но даже такая синхронизация часов требует дополнительной коррекции по фазе - расстояние между часами должно быть кратным длине световой волны.

Таким образом, эйнштейновская синхронизация часов не является релятивистски инвариантной.

4. *Сравнение взглядов Пуанкаре и Эйнштейна на теорию масштабов и часов.* Как правило, историки, исследуя работы Пуанкаре и Эйнштейна, делают упор на приоритетное начало их разногласий. Тем не менее можно проследить, что в основе их разногласий лежало как раз различие взглядов на теорию масштабов и часов в СТО во время ее создания.

Пуанкаре в работе ^{6/}, опубликованной в 1904 году до выхода первой публикации Эйнштейна по теории относительности ^{2/}, аргументируя необходимость создания новой механики, в которой "инерция возрастала бы со скоростью, причем скорость света являлась бы непреодолимым пределом", делая вывод об относительности одновременности, предположил в качестве ее следствия следующую синхронизацию часов: "Предположим, например, что пункт А посылает свой сигнал, когда его часы показывают время 0, а пункт В принимает его, когда его часы показывают время t. Часы отрегулированы, если запаздывание, равное t, представляет собой длительность передачи, для проверки чего пункт В посылает, в свою очередь, сигнал, когда его часы показывают время 0. Пункт А должен получить его, когда его часы показывают время t. После этого часы отрегулированы". В свою очередь Эйнштейн в работе ^{2/} вводит следующую синхронизацию часов для неподвижных часов: "Пусть в момент t_A по А-времени луч света выходит из А в В, отражается в момент

t_B по В-времени от В к А и возвращается назад в А в t'_A по А-времени. Часы в А и В будут идти, согласно определению, синхронно, если t_B - t_A = t'_A - t_B".

Из сравнения синхронизации часов Пуанкаре с синхронизацией Эйнштейна следует, что синхронизация часов Пуанкаре не требует коррекции по фазе: "Пункт В посылает, в свою очередь, сигнал, когда его часы показывают время 0"; в отличие от синхронизации Эйнштейна, согласно которой сигнал "отражается в момент времени t_B по В-времени от В к А".

Сам Эйнштейн неоднократно возвращался в последующих работах к проблеме синхронизации часов. Но тем не менее ни в одной из них он не отметил отличие своей синхронизации часов от синхронизации Пуанкаре и даже в работе ^{7/}, где впервые использует в своих рассуждениях о регулировке часов понятие "фазы": "Раз это регулирование произведено, мы будем говорить, что часы находятся в одинаковой фазе". При этом оставляет свою синхронизацию часов, не замечая, что в таком случае требуется коррекция по фазе, несмотря на приведение в работе определения часов, существовавшего в то время: "Под часами мы разумеем что-либо, что характеризует явление, повторяющееся периодически с одними и теми же фазами... Согласно определению, измерить промежуток времени, в течение которого происходит событие, это значит сосчитать число периодов, указанных часами от момента возникновения события до конца его". В этой же работе Эйнштейн впервые приводит определение понятия Пуанкаре - Минковского "элементарного события" (в работе дана ссылка только на работу Минковского ^{8/}): "Элементарное событие определяется четырьмя координатами: координатой времени и тремя координатами, устанавливающими положение в пространстве той точки, в которой по допущению сосредоточивается это событие". Тем не менее после этого он продолжает обсуждать свое определение "промежутка времени", приведенное в ^{2/}, что само по себе в рамках единства пространства и времени свидетельствует о том, что и в 1910 году Эйнштейн продолжал использовать галилеевские масштабы и часы. Только в последующей работе ^{9/} по поводу своей синхронизации часов Эйнштейн пишет: "Мы молчаливо делаем предположение, которое необходимо отбросить, чтобы прийти к непротиворечивому и более простому заключению". При этом он определяет "промежуток времени" с использованием сигнала от А к В в одном направлении:

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c} \quad (30)$$

Часто возникает вопрос, почему Пуанкаре, обладавший блестящей физической интуицией, не использовал свою синхронизацию часов,

в отличие от Эйнштейна, при построении СТО в своих работах ^{9, 10/}, в одной из которых он вводит четырехмерный формализм для описания пространства-времени? На этот вопрос по сути дела он отвечает сам в главе "Относительность пространства-времени" ^{11/}, при этом ставя новую проблему: "Важно заметить, что в этом новом представлении пространство и время не являются уже двумя совершенно различными сущностями, которые могут быть представлены отдельно, но двумя частями одного и того же целого, столь тесно связанными, что они не могут быть уже никем разделены."

Как-то я пытался определить отношение двух событий, происшедших в различных местах, говоря, что одно можно считать предшествующим другому, если оно может считаться причиной другого. Это определение становится недостаточным; в Новой Механике нет действий, переносящихся мгновенно, наибольшая скорость света; при этих условиях может случиться, что событие А не может быть (вследствие единого рассмотрения пространства и времени) ни действием, ни причиной события В, если расстояние между теми местами, где они происходят, таковы, что свет не может перенестись в положенное для него время ни из места события В в место события А, ни из места А в В".

Различие взглядов Пуанкаре и Эйнштейна также можно проследить и на атомарной структуре масштабов и часов. Так, Эйнштейн только в 1949 году ^{12/}, несмотря на свои работы по броуновскому движению и фотоэффекту, выполненные в период создания СТО, в результате многолетней дискуссии с Бором отметил, что его "построение СТО в определенном смысле нелогично, так как теория масштабов и часов не следует из решений основных уравнений, несмотря на атомарную структуру самих масштабов и часов и участие их в движении". Последнее, по мнению Эйнштейна, приводит к отделению свойств кинематических масштабов и часов в СТО от всего мира физических явлений.

Для Пуанкаре атомарная структура твердого тела была вопросом решенным, с которым он всегда пытался увязать Новую Механику при анализе новых экспериментальных данных, доказывающих существование этой структуры, высказывая при этом, как правило, новые гипотезы-идеи, предвосхитившие время. Анализируя атомарную структуру твердого тела, основываясь на малости массы электрона, Пуанкаре в своей работе ^{13/} 1908 года, так же, как и в ^{6/}, не только высказывает гипотезу о планетарном строении атома, но задолго до работы Резерфорда предсказывает существование "большого положительного электрона", играющего роль центра "атома", и "при одинаковом заряде", полная масса которого "гораздо больше полной массы электрона". В статье 1912 года ^{11/}, анализируя гипотезу Планка о "кванте", задолго до Бора Пуанкаре идет еще дальше в своих рассуждениях о структуре атома: "Взаимное притяжение этих электрических обратных знаков является связью системы, образующей из нее одно целое; именно она управляет периодами электро-

нов, а эти периоды определяют длину волны света, излученного атомом". И продолжает задолго до работ де Бройля и Шредингера: "В то же время нужно объяснить столь странные законы распределения линий в спектре. Из работ Бальмера, Рунге, Кейзера, Ридберга следует, что эти линии распределяются в серии и в каждой серии подчиняются простым законам. Ближайшей мыслью является сопоставить эти законы с гармоническими. Так же, как дрожащая струна имеет бесконечное число звуков, частоты которых являются кратными основной частоте; так же, как звучащее тело сложной формы дает гармонию, законы которой аналогичны предыдущим законам, но однако менее простые; так же, как резонатор Герца способен на бесконечное число различных периодов; не может ли также и атом по идентичным причинам дать бесконечное число различных излучений". После этого он подвергает критике интерпретацию Ритцем своего правила частот, которая, как теперь ясно, не выдержала испытания временем.

Задолго до открытия деления атомного ядра и формулировки его статистической модели Пуанкаре переходит еще на более глубокий уровень твердотельных масштабов, анализируя радиоактивность атомов ^{11/}: "Атом радиоактивного вещества есть мир, и мир, подчиненный случаю; но нужно помнить, что говорящий о случае говорит о больших числах; мир, образованный из малого количества элементов будет подчиняться более или менее сложным законам; но эти законы не будут статистическими законами. Следовательно, атом должен быть сложным миром;... так как существует внутренняя атомная статистика и, следовательно, термодинамика, то мы можем говорить о внутренней температуре атома".

Таким образом, в процессе создания СТО у Пуанкаре и Эйнштейна было существенное различие во взглядах на теорию масштабов и часов.

5. Юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета. В итоге, в рамках единства пространства-времени ^{13/} требуется синхронизация часов по фазе с одновременной пространственной привязкой ^{3/}. Тогда, чтобы выполнить требование единства пространства-времени, необходимо произвести юстировку пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета, которая по определению представляет собой совокупность операций по приведению средств измерений в состояние, обеспечивающее их правильное функционирование: проверка состояния средств измерений и регулирование взаимного расположения масштабов и часов в системах отсчета. Юстировка также устраняет погрешности, выявленные при контроле или проверке средств измерений. Для определенности в дальнейшем под системой отсчета будем понимать реальные системы, в которых производят измерения и их координатные сетки связаны между собой преобразованиями координат, относительно которых физические законы инвариантны. В рамках обобщения СТО в соответствии с корпускулярно-волновым дуализ-

мом де Бройля ^{/3/}, сама система отсчета представляет собой связанное состояние вещества, образующее макроскопическое тело. На этом теле расположены в определенном порядке масштабы и часы, упорядоченная совокупность которых составляет пространственно-временную координатную сетку, совместно с измерительными приборами, в отличие от эйнштейновских систем отсчета, не обладающих массой, как указал на это Бриллюэн ^{/14/}. Такое определение системы отсчета требует юстировки пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета: согласование начал отсчета пространственно-временных координатных сеток во время нанесения их при подготовке к эксперименту перед изучением микроявления, что находится в согласии с требованием принципа дополнительности Бора.

Для юстировки пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета возьмем пучок излучения квантового генератора, представляющего собой современные эталоны частоты и длины. Согласно обобщению принципа (из-за необоснованности выделения в СТО закона испускания света среди прочих законов и атомарной структуры масштабов и часов ^{/5/}) независимость физических законов от перехода в другую систему отсчета обусловлена универсальностью ограничения на относительную скорость таких систем, наложенного свойствами масштабов и часов, так как только совокупность их составляет пространственно-временную реальность. Граничная скорость в пространстве-времени Минковского в результате конечности атомарных пространственно-временных масштабов будет также граничной скоростью и для скорости распространения фронта пучка излучения квантового генератора, который в процессе юстировки можно использовать и для градуировки масштабов и часов, полностью отсутствующей в СТО ^{/3/}. В связи с тем, что системы отсчета всегда находятся в среде, то для фотона пучка генератора, также обладающего корпускулярно-волновыми свойствами, требуется учитывать как групповую скорость

$$\frac{d\omega}{dk} = v, \quad (31)$$

так и фазовую

$$\frac{\omega}{k} = V, \quad (32)$$

где ω - циклическая частота, а k - волновое число. Обе эти скорости связаны соотношением де Бройля (21). Очевидно, выполнение требования условия универсальности (12) по отношению к пучку излучения квантового генератора будет адекватно юстировке пространственно-временных интервалов в системах отсчета, находящихся в

относительном движении. В рамках обобщения СТО на атомарную структуру масштабов и часов "постоянство скорости света" в смысле эйнштейновской синхронизации часов

$$c_{\phi} = c'_{\phi} \quad (33)$$

верно только на световом конусе, так как

$$c'_{\phi}, c'_{\phi} = c_{гр}, c'_{гр}, \quad (34)$$

в отличие от условия универсальности (12), которое верно и в среде. Поэтому по крайней мере в частном случае можно говорить только о "постоянстве квадрата скорости света". Например, существует запрет на всякую теорию гравитации в рамках СТО, так как согласно радиоастрономическим данным наблюдается зависимость скорости света от гравитационного потенциала вопреки "постоянству скорости света" ^{/15/}. В рамках обобщения СТО в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля условие универсальности выполняется и в случае такой зависимости ^{/5/}.

Докажем, что реальная юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета будет заключаться в следующем: пространственные масштабы должны прокладываться вдоль трассы пучка излучения квантового генератора, а начало отсчета должно браться в месте измерения фазы волны фотона с последующей коррекцией по фазе и по длине волны.

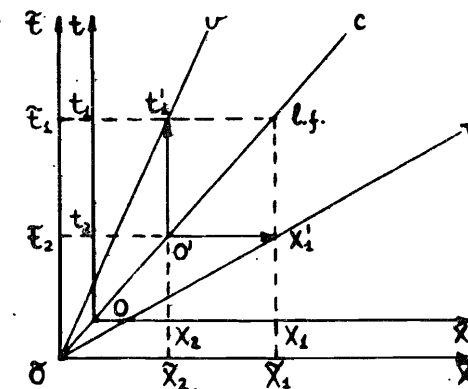
Рассмотрим движение двух систем отсчета (\tilde{x}, \tilde{t}) и (x', t') , находящихся в относительном движении (см. рисунок). Для выполнения требования условия универсальности (12) начало координат в движущейся системе отсчета (x', t') выберем такое, чтобы след образующей светового конуса проходил через это начало, как и в системе (\tilde{x}, \tilde{t}) :

$$\left(\frac{\tilde{x}_1}{\tilde{t}_1}\right)^2 = \left(\frac{x'_1}{t'_1}\right)^2, \quad (35)$$

потому что на световом конусе выполняется (34). Как следует из геометрического построения:

$$\frac{\tilde{x}_2}{\tilde{t}_1} = v, \quad (36)$$

Юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета (\tilde{x}, \tilde{t}) и (x', t') .



где v соответствует групповой скорости фотона, а \tilde{x}_2, \tilde{t}_1 - текущие координаты фронта пучка излучения квантового генератора.

Почему (36) именно групповая скорость фотона? Кроме поверхности текущих событий (\tilde{t}_1), на которой всегда присутствует фронт пучка фотонов, для выполнения условия универсальности требуется еще поверхность (\tilde{t}_2), находящаяся в прошлом по отношению к распространению фронта пучка фотонов, так как в момент \tilde{t}_2 пространственной координатой этого фронта была координата, лежащая между координатами $\tilde{0}$ и \tilde{x}_2 в системе (\tilde{x}, \tilde{t}) . Тогда скорость движения проекции фронта на световом конусе (СФ) в системе (\tilde{x}, \tilde{t})

$$\frac{\tilde{x}_1}{\tilde{t}_2} = v > c \quad (37)$$

и будет фазовой скоростью фотона, так как произведение (36) на (37), согласно (35),

$$vV = \frac{\tilde{x}_2}{\tilde{t}_1} \cdot \frac{\tilde{x}_1}{\tilde{t}_2} = \frac{\tilde{x}_1}{\tilde{t}_1} \cdot \frac{\tilde{x}_2}{\tilde{t}_2} = c^2, \quad (38)$$

соответствует соотношению де Бройля (21).

В результате можно получить преобразования координат для двух пространственно-временных сеток в относительных системах отсчета (\tilde{x}, \tilde{t}) и (x', t') :

$$x'_1 = \tilde{x}_1 - \tilde{x}_2 = \tilde{x}_1 - v\tilde{t}_1; \quad (39)$$

$$t'_1 = \tilde{t}_1 - \tilde{t}_2 = \tilde{t}_1 - \frac{1}{V}\tilde{x}_1.$$

Относительно таких преобразований условие универсальности (12) выполняется на световом конусе (очевидно, что индексы в преобразованиях (39) можно опустить):

$$\left(1 - \frac{v}{V}\right) d\tilde{x}^2 - vV\left(1 - \frac{v}{V}\right) d\tilde{t}^2 = 0. \quad (40)$$

Но для выполнения условия универсальности (12)

$$(dx')^2 - vV(dt')^2 = (ds')^2 \quad (41)$$

во всем пространстве-времени необходимо "сжать" координатную сетку в системе отсчета (\tilde{x}, \tilde{t}) согласно (40) конформным преобразованием:

12

$$\begin{cases} x = \tilde{x} \sqrt{1 - \frac{v}{V}}; \\ t = \tilde{t} \sqrt{1 - \frac{v}{V}}. \end{cases} \quad (42)$$

Знак минус опускаем, потому что для простоты рассмотрения имеем дело с движением в положительном направлении вдоль оси \tilde{x} . Такое "сжатие" эквивалентно перенесению начала отсчета в системе (\tilde{x}, \tilde{t}) в соответствии с (42), как показано на рисунке. В результате получаем преобразования (11), относительно которых пространственно-временной интервал (41) является инвариантом при условии универсальности (12). Очевидно, что операция "сжатия" (42) адекватна коррекции по фазе и длине волны, ведь изначально не ставилось условие кратности расстояния между системами отсчета длине волны фотона. Следовательно, лоренц-фактор ответствен за такую коррекцию.

Как видно из рисунка, координата t'_1 формируется в результате релятивистского сложения групповой скорости фотона v_ϕ и относительной скорости v_{OT} штрихованной системы отсчета согласно правилу (14), следующему из группового характера преобразований (11):

$$v = \frac{v_\phi - v_{OT}}{1 - \frac{v_{OT}}{V_\phi}}. \quad (43)$$

Используя условие универсальности для фотона

$$vV = v_\phi V_\phi, \quad (44)$$

можно найти, согласно (15), фазовую скорость фотона в штрихованной системе отсчета:

$$V = \frac{1 - \frac{v_\phi}{v_\phi V_\phi / v_{OT}}}{\frac{1}{V_\phi} - \frac{1}{v_\phi V_\phi / v_{OT}}}. \quad (45)$$

Преобразования координат (22), записанные для фазовой скорости $(v_\phi V_\phi / v_{OT})$,

$$\left\{ \begin{aligned} x' &= \frac{x - \frac{c^2}{v_\phi V_\phi / v_{от}} t}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{(v_\phi V_\phi / v_{от})^2}}}; \\ t' &= \frac{t - \frac{1}{v_\phi V_\phi / v_{от}} x}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{(v_\phi V_\phi / v_{от})^2}}}, \end{aligned} \right. \quad (46)$$

переходят в преобразования Лоренца для относительной групповой скорости $v_{от}$ с учетом (21):

$$\left\{ \begin{aligned} x' &= \frac{x - v_{от} t}{\sqrt{1 - \frac{v_{от}^2}{c^2}}}; \\ t' &= \frac{t - \frac{v_{от}}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v_{от}^2}{c^2}}}, \end{aligned} \right. \quad (47)$$

так же, как и преобразования (11), записанные для пары скоростей $v_{от}$ и $(v_\phi V_\phi / v_{от})$:

$$\left\{ \begin{aligned} x' &= \frac{x - v_{от} t}{\sqrt{1 - \frac{v_{от}}{v_\phi V_\phi / v_{от}}}}; \\ t' &= \frac{t - \frac{1}{v_\phi V_\phi / v_{от}} x}{\sqrt{1 - \frac{v_{от}}{v_\phi V_\phi / v_{от}}}}, \end{aligned} \right. \quad (48)$$

что исключает зависимость преобразований, связывающих системы координат в инерциальных системах отсчета, от параметров фотона, используемого для юстировки. Кроме того, отпала необходимость в учете коэффициента Рейхенбаха (7), так как юстировка содержит операцию посылки пучка фотонов в одном направлении.

Таким образом, получена юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета, которая однозначна во всем пространстве-времени (13).

В рамках обобщения СТО в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля с учетом конечности волны де Бройля, такая юстировка дополняется еще операцией градуировки масштабов и часов, отсутствие которой в СТО приводит к "парадоксу часов"^{/5/}. Необходимость операции градуировки вызвана получением нового измерения с размерностью угла в результате обобщения принципа относительности инерции Маха. Преобразование нового измерения

$$\kappa' = \frac{\kappa - \frac{v}{c} \kappa}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (49)$$

естественным образом вписывается в ПЛ, а также согласуется с законом сохранения момента количества движения, снимая тем самым трудности в СТО, связанные с этим законом^{/14/}. В рамках такого обобщения пространственно-временное событие является уже не точечным, а протяженным пространственно-временным событием. Например, как доказано^{/5/}, физическое содержание электрона составляет периодический пространственно-временной процесс, характеристики которого адекватны квантовым характеристикам электрона. Это возможно из-за инвариантности такого протяженного пространственно-временного события $(x_n, t_n; x_m, t_m)$ относительно преобразований (11):

$$\frac{(x_n - vt_n)}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}} \cdot \frac{(x_m - vt_m)}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}} - vV \frac{(t_n - \frac{1}{V}x_n)}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}} \cdot \frac{(t_m - \frac{1}{V}x_m)}{\sqrt{1 - \frac{v}{V}}} = x_n x_m - vV t_n t_m, \quad (50)$$

что узаконивает само по себе существование в пространстве-времени (13) структурной формы пространственно-временного интервала в виде (20).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени. "Прогресс", М., 1985, с.43.
2. Einstein A. Ann. der Phys. 1905, v.17, p.891.
3. Зорин Г.Н. В сб.: Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Энергоатомиздат, М., 1984, вып.14, с.176; ОИЯИ, Р18-84-401, Дубна, 1984.
4. Зорин Г.Н. ОИЯИ, 18-85-98, Дубна, 1985.
5. Зорин Г.Н. В сб.: Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Атомиздат, М., 1981, вып. 12, с.155; ОИЯИ, Р18-84-402, Дубна, 1984; ОИЯИ, Р18-84-403, Дубна, 1984.

6. Poincaré H. Bull. des Sci. Math. 1904, ser.2, v.28, p.302.
7. Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике. В сб.: Новые идеи в физике. "Образование", СПб., 1914, №3, с.62. Einstein A. Arch. des Sci. Phys. et Nat. 1910, p.29.
8. Minkowski H. Phys. Zs. 1909, v.10, p.104.
9. Эйнштейн А. Теория относительности. В кн.: Собрание научных трудов. "Наука", М., 1965, т.1, с.175.
10. Poincaré H. Comptes Rendus. Acad. Sci., 1905, t.140, p.1504; Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo. 1906, t. XXI, p. 129.
11. Пуанкаре А. Последние мысли. Пер. с франц., "Научное книгоиздательство", Петроград, 1923, с.30, 105, 107.
12. Эйнштейн А. УФН, 1956, т.59, с.92.
13. Poincaré H. Revue Générale des Sciences pures et Appliquées. 1908, 19, 386-402.
14. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. "Мир", М., 1972, с.75, 32.
15. Тредер Г.Ю. Относительность инерции. Атомиздат, М., 1975, с.26.

Зорин Г.Н.

P2-86-686

Релятивистски инвариантная юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета

В рамках обобщения специальной теории относительности в соответствии с корпускулярно-волновым дуализмом де Бройля проделан анализ эйнштейновской синхронизации часов и коэффициента Рейхенбаха. Обсуждаются взгляды Пуанкаре и Эйнштейна на теорию масштабов и часов в специальной теории относительности. Предложена релятивистски инвариантная юстировка пространственно-временных интервалов в инерциальных системах отсчета в согласии с единством пространства-времени.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Zorin G.N.

P2-86-686

Relativistically Invariant Adjustment of Space-Time Interval in Inertial Systems of Reference

The analysis is made of the Einstein synchronization of watches and the Reichenbach coefficient in the framework of generalization of special relativity theory in accordance with the de Broglie corpuscular-wave dualism. The Poincare and Einstein points of view on scales and watch in the special relativity theory are discussed. Relativistically invariant adjustment of space-time interval in inertial system of reference according to space-time unity is suggested.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

Рукопись поступила в издательский отдел
13 октября 1986 года.