РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
"КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

Г.А. Котельников

ИАЭ-6174/1

О НАРУШЕНИИ ИНВАРИАНТНОСТИ СКОРОСТИ СВЕТА В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Москва - 2000

УДК 629.73
Ключевые слова: принцип относительности, теория поля, симметрии, классическая электродинамика

Проведено нарушение инвариантности скорости света в специальной теории относительности. Рассмотрены последствия нарушения в рамках "пассивной" и "активной" точек зрения.

ON THE INVARIANCE VIOLATION OF THE SPEED OF LIGHT
IN SPECIAL RELATIVITY

The invariance violation of the speed of light in Special Relativity has been made. The consequences of the violation have been considered in the framework of the "passive" and "active" points of view.

Содержание

1 Введение

1.1 Выход за пределы аксиоматики СТО в плоском пространстве-времени

В связи с фундаментальностью *специальной теории относительности* (СТО), в литературе довольно регулярно появляются работы, обсуждающие ее аксиоматику и возможности выхода за ее пределы, а также формулирующие новые предложения по экспериментальной проверке этой теории. Сюда можно отнести, например, исследования перспектив введения модифицированного эфира (Rembielinsky [118], Spavieri [126], Vrcelj [129]) и однопутной скорости света (Chang [70], Flidrzynski and Nowick [81]); обсуждение вопросов синхронизации хода часов в плоском пространстве-времени (Mansouri [105, 106]) и постоянства скорости света в вакууме (Fujiwara [82]), Grøn [86], Kalotas and Lee [95]). К подобного рода исследованиям можно отнести также публикации Богословского [7, 67], Чанга (Chang [69]), Эдвардса (Edwards [77]) по формулировке СТО в анизотропном пространстве-времени и экспериментальные работы и предложения по проверке постулата изотропности скорости света (Васильев [10]; Николенко, Попов, Самосват [44]) и изотропности пространства (Мозалев [41]).

Значительное внимание уделялось и уделяется изучению возможности нарушения постулата инвариантности (постоянства) скорости света и выяснению возможных физических последствий от этого шага. Примером могут служить известная монография Паули [46], содержащая элементы теории Ритца и Абрагама; лекции академика Логунова по основам теории относительности с формулировкой СТО в аффинном пространстве [37]; публикации по изучению теоретической возможности и экспериментальных следствий от введения единого времени Ньютона в классическую электродинамику (Le Bellac and Levy-Leblond [66], Стражев и Томильчик [51], автор настоящей работы [28, 100]); исследования Беляева [3] о случайных флуктуациях скорости света в вакууме и Фущича [83] по формулировке нелинейных уравнений электродинамики с неинвариантной скоростью света; совместная работа Чубикало и Смирнова-Руеда [71] о возможности формулировки электродинамики в виде суммы релятивистски-инвариантных уравнений и уравнений с бесконечной скоростью распространения взаимодействий; статья Глэшоу об экспериментальных следствиях нарушения Лоренц-инвариантности в физике космических лучей [85].

Ряд работ, посвященных проблеме нарушения постоянства скорости света в плоском пространстве-времени, будет более подробно рассмотрен ниже. Вопросы перехода к Римановым пространствам и соответственно проблематике *общей теории относительности* (ОТО) в настоящей работе затрагиваются не будут.

К настоящему времени СТО - одна из наиболее экспериментально обоснованных теорий. Состояние дел здесь достаточно подробно освещено, например, в монографиях Паули [46], Бергмана [4], Ландсберга [36], в очерках Франкфурта [57], в учебных пособиях Спасского [50] и Ковнера [14], в обзорах Страховского и Успенского [52], Басова и его соавторов [2], Меллера [110], Молчанова [42], Ньюмена [111] и его соавтров. Сюда относятся, например, эксперименты по обнаружению эфирного ветра типа опыта Майкельсона [4, 36, 46], опыт Кеннеди и Торндайка [97] по наблюдению величины эфирного ветра в зависимости от годового вращения Земли, опыт Физо [4, 36, 46], аберрация света [4, 36, 46], измерение величины поперечного эффекта Доплера [111], эксперименты по доказательству независимости скорости света от скорости движения источника света [42, 111], опыты по определению релятивистской зависимости массы от скорости движения частицы [111], релятивистскому замедлению времени [111], измерение величины гиромагнитного отношения мюона и электрона [73, 75, 111].

Результаты этих экспериментов со все возрастающей точностью указывают на отсутствие эфирного ветра, и допускают последовательную единообразную интерпретацию в пользу СТО.

Естественно задаться вопросом, а существуют ли вообще хоть какие-нибудь экспериментальные, пусть даже неоднозначно интерпретируемые результаты, отличающиеся от предсказаний СТО? Оказывается, в литературе имеется ряд публикаций на эту тему. Рассмотрим те из них, которые касаются второго постулата СТО - постулата постоянства скорости света. Вначале мы остановимся на экспериментальных результатах, а затем рассмотрим теоретические модели, в которых был осуществлен выход за границы второго постулата СТО.

1.2 Нарушение инвариантности скорости света и эксперимент

1.2.1 Мюонное нейтрино - сверхсветовая частица?

Жианетто, Маккароне, Миньяни и Реками (Giannetto, Maccarrone, Mignani and Recami, 1986) [84] рассмотрели возможность интерпретации отрицательного значения квадрата 4-импульса $p^2 = p_a p^a = (-0,166 \pm 0,091)$ МэВ$^2/c^2$ нейтрино в экспериментах по изучению пионного распада $\pi^+ \to \mu^+ + \nu$ как факта наблюдения сверхсветовой частицы - тахиона. Другими словами, не исключено, что мюонный нейтрино может иметь тахионную природу.

Отрицательное значение квадрата 4-импульса в пространстве Минковского $p^2 = E^2 - \mathbf{p}^2c^2 = {M_0}^2c^4 < 0$ - это, конечно, нестандартное явление, которое проще всего объяснить мнимостью массы покоя частицы $M_0 \to im$, что и сделали авторы работы [84] применительно к мюонному нейтрино. Как видим, здесь присутствуют два радикальных допущения: существование массы покоя у нейтрино, и мнимость этой величины. По оценке авторов [84], верхняя граница абсолютного значения массы покоя мюонного нейтрино находится в диапазоне $m(\nu) \approx (0,44 - 0,49)$ МэВ$/c^2$. При осмысливании этого результата следует иметь в виду, что гипотеза о наличии массы покоя у нейтрино известна (см., например, [109]) и неоднократно обсуждалась в литературе. В частности, согласно оценке 1995 г., выполненной Лобашевым и его соавторами, верхнее значение массы покоя электронного нейтрино составляет $4,5$ эВ$/c^2$ [65]; верхнее значение массы покоя мюонного нейтрино по данным 1994 г. не превышает $0,16$ МэВ$/c^2$ [63]. Исследования в данном направлении составляют самостоятельный раздел современной нейтринной физики. Для цели настоящей работы существенно, что появление отрицательного квадрата 4-импульса нейтрино можно объяснить не только тахионной гипотезой, но и некорректностью обработки результатов наблюдений вблизи верхней границы β - спектра (в нашем случае - вблизи верхней границы μ - спектра) [98, 120]. В результате современное объяснение феномена отрицательности квадрата 4-импульса в слабых взаимодействиях практически исключает возможность интерпретации мюонного нейтрино как частицы тахионной природы.

1.2.2 Сверхсветовые частицы в ОИЯИ?

Анализируя Дубненские время-пролетные спектры пучков частиц e^-, μ^-, π^- из публикации Бунятова, Залиханова, Курбатова и Халбаева [9], Мамаев пришел к заключению, что приведенные данные можно интерпретировать как факт наблюдения сверхсветовых электронов и мезонов [39]. Автор пишет: "...на рис. 2 и 3 статьи [9] (в нашем случае [9]) приведены распределения по времени пролета пучка частиц, содержащего пи-мезоны, мюоны и электроны на пролетной базе около 6 м. Время пролета шестиметровой базы для любой частицы можно определить по этим рисункам, умножив номер канала на ширину канала, приведенного в подрисуночной подписи. Разделив затем пройденное частицей расстояние (6 м) на время пролета, получим скорость движения этой частицы. Проделав эти операции с рис. 2 и 3 статьи [9], обнаружим, что каждая из попавших на эти рисунки частиц двигалась со скоростью, в несколько раз (и даже несколько десятков раз) превышающей скорость света в вакууме c_0" [39]. (Под c_0 здесь понимается значение $3 \cdot 10^{10}$ см/сек).

Для прояснения ситуации проведем независимый обсчет экспериментальных данных публикации [9]. Обратимся в качестве примера к рис. 3 из текста статьи. Согласно подрисуночной подписи цена временного канала, которую обозначим через τ, составляла 8 пс. Максимумы электронных, μ^- и π^- - мезонных спектральных линий находились соответственно в 50, 125 и 175 каналах. По оценке авторов [9], энергия π^- - мезонов составляла 367,3 МэВ. Соответствующее данной энергии значение скорости π^- - мезона (масса покоя 140 МэВ [58]) равно $0,92 \cdot c_0$. Пролетное время шестиметровой базы равно $T = 600/0,92 \cdot c_0 = 2,17 \cdot 10^{-8}$ сек. Тогда истинный номер канала пионной линии должен был составлять $N = T/\tau = 2,17 \cdot 10^{-8}/8 \cdot 10^{-12} = 2718$, а не 175, как показано на рис. 3. Это означает, в электронной схеме обработки сигналов находилось пороговое устройство (дискриминатор), эквивалентное $N_{\text{пор}} = 2718 - 175 = 2543$ каналам анализатора. Дискриминатор автоматически укорачивал каждый импульс на $T_{\text{п}} = 2543 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 2,03 \cdot 10^{-8}$ сек, позволяя детально изучить форму спектральных линий на анализаторе с ограниченным числом каналов (стандартный прием в экспериментальной физике). Отсюда находим, мюонная линия соответствовала 2543+125=2668, а электронная - 2543+50=2593 каналу анализатора. С учетом временной цены канала пролетное время μ - мезонов составляло $2,13 \cdot 10^{-8}$ сек, а пролетное время электронов - $2,07 \cdot 10^{-8}$ сек. Соответствующие скорости перемещения мюонов и электронов составляли соответственно $0,94 \cdot c_0$ и $0,96 \cdot c_0$. В результате феномен сверхсветового движения исчезает, и взаимное расположение спектральных линий из работы Бунятова и его соавторов допускает последовательное объяснение в рамках СТО. Обработка данных рис. 1 из текста статьи приводит к аналогичному заключению. Некорректность процедуры обработки Мамаева состояла в том, что автор не учитывал наличие порогового устройства, эквивалентного 2543 каналам анализатора. Только в этом случае можно получить, что скорость, например электронов, составляла $V = 600/50 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 1,5 \cdot 10^{12}$ см/сек$=50 \cdot c_0$.

Тем не менее известны многочисленные примеры, когда устранение сверхсветового движения оказывается более трудоемким и менее убедительным, нежели в рассмотренных случаях. Сюда относятся, например, публикации по наблюдению сверхсветового движения частиц в широких атмосферных ливнях, в актах рождения антипротонов, при расширении оболочек внегалактических радиоисточников.

1.2.3 Сверхсветовые частицы в широких атмосферных ливнях?

Клей и Крауч (Clay and Crouch) [72] сообщили о наблюдении импульсов, предшествующих сигналу, индуцированному широким атмосферным ливнем. Если приписать частицам из ливня скорость света (что естественно), то не ясно, что же им предшествовало, если учесть, что время-пролетная база в процессе эксперимента оставалась неизменной. "Мы заключаем, что мы наблюдали не случайные события, предшествующие широкому атмосферному ливню. Будучи не в состоянии объяснить этот результат более удобным образом, мы предполагаем, что это результат прохождения частицы с видимой скоростью, превышающей скорость света". ("We coclude that we have observed non-random events preceding the arrival of an extensive air shower. Being unable to explain this result in a more conventional manner, we suggest that is the result of a particle traveling with an apparent velocity greather than of light"). Далее авторы [72] предположили, что импульсы были обусловлены тахионами - частицами с мнимой массой, движущимся со скоростью, превышающей скорость света [79, 114].

1.2.4 Сверхсветовые частицы при регистрации антипротонов?

Подобно изложенному, время-пролетные эксперименты по наблюдению антипротонов допускают существование связанных с антипротоном сверхсветовых частиц - антимезонов (Купер (Cooper), 1979) [75]. Вычисленная из экспериментальным данных вероятность того, что скорость антимезонов превышала скорость света, составляет 0,9972. Оценка оказалась нечувствительной к экспериментальным погрешностям в определении длины пролетной базы и цены временного канала. Автор заключает: "Пересмотр отмеченного Нобелевской премией эксперимента, в котором был обнаружен антипротон, показывает, что сопровождающие антипротон антимезоны могли распространяться со скоростью, превышающей скорость света". ("A reexamination of the Nobel-prize-winning experiment in which the antiproton was discovered reveals that associated antimesons might be traveling faster than light").

1.2.5 Сверхсветовое расширение внегалактических радиоисточников

Сверхсветовое расширение внегалактических радиоисточников является интересным и труднообъяснимым феноменом современной астрофизики. Его наблюдение стало возможным сравнительно недавно, после создания радиоинтерферометров VLBI (Very Long Baseline Interferometry) в сантиметровом диапазоне, обладающих сверхдлинной трансконтинентальной базой, исчисляемой тысячами и десятками тысяч километров [11, 21, 29, 30, 40]. Угловое разрешение таких телескопов $\delta \sim \lambda/L$, пропорциональное отношению рабочей длины волны λ к величине базы L существенно выше, чем у лучших оптических устройств, поскольку в оптическом диапазоне отношение L/λ составляет величину $\sim 6 \cdot 10^7$, в то время как в радиодиапазоне $\sim 18 \cdot 10^8$. Радиоинтерферометры позволяют изучать столь тонкую структуру космических объектов ($\sim 7 \cdot 10^{-4}$ угл.с), наблюдение которой было принципиально недоступно для оптических средств наблюдения. Исследования показали, что многие внегалактические радиоисточники обладают сложным, двухкомпонентным строением. Среди них субструктуры шести излучателей разбегаются друг относительно друга с расчетными скоростями, в несколько раз превышающими скорость света. Это радиогалактика 3C120 (z=0,033), квазары 3C273 (z=0,158), 3C279 (z=0,538), 3C345 (z=0,595), 3C179 (z=0,846) и NRAO140 (z=1,258) [124]. Видимая поперечная скорость разлета компонент, вычисленная в рамках космологической модели Фридмана, составляет величину $V_{tr} = D\omega = [cz/H(1+z)] \cdot [1 + 0,5(1-q)z]\omega = (2-20) \cdot c$, где D - выраженное через параметр красного смещения z, постоянную Хаббла H и параметр замедления q расчетное расстояние до объекта наблюдения, $\omega = d\theta/dt \sim 10^{-9}$ рад/год - экспериментально определяемая угловая скорость разбегания. Именно большие величины расстояний D из космологической модели Фридмана и приводят к сверхсветовым скоростям в избранной расчетной модели.

Предложено свыше десяти вариантов интерпретации явления [21, 30, 40]. Его можно объяснить более сложным, многокомпонентным строением квазара; случайным наложением радиопятен на квазаре; влиянием межгалактической гравитационной линзы, двоящей видимое изображение; эффектом Доплера с последующим уменьшением расстояния до излучателя и устранением сверхсветовых скоростей; увеличением постоянной Хаббла, что сопровождается снижением расстояний и устранением явления как такового; влиянием межзвездного магнитного поля; существованием тахионной материи; наделением пространства-времени дополнительным пятым измерением в виде скорости света, пробегающей спектр значений от нуля до бесконечности; моделью светового эха; не противоречащей СТО оптической иллюзией [117]. Из приведенного видно, исчерпывающего и общепринятого объяснения сверхсветового расширения пока не предложено, и здесь могут рассматриваться и обсуждаться различные гипотезы о природе этого явления.

1.2.6 Квазар QSO PKS 2134+004 - скорость света 440 000 км/сек?

Луазо (Loiseau) [103, 104] обратил внимание на небольшое отличие красного смещения z' галактики NGC 5668, измеренное радиоастрономическим методом на частоте, соответствующей длине волны 21 см, от величины красного смещения z этой же галактики в оптическом диапазоне. Этот результат, *если он и в самом деле выходит за пределы ошибок измерений*, не может быть объяснен в рамках СТО, поскольку при $c' = c$ должно быть $z' = z$. Как можно понять из автореферата (последовательная теория в [103, 104] отсутствует), для объяснения расхождения автор ввел 3-мерное неевклидово пространство, погруженное в 4-мерное пространство Римана с некоторым единым временем. В этом случае можно получить, что галактическая скорость света c' и скорость света c на Земле связаны соотношением $c' = c(1+z)/(1+z')$, где z - смещение на длине волны в оптическом диапазоне, а z' - смещение на частоте излучателя в радиодиапазоне. Применительно к наблюдательным данным галактики NGC 5668 имеем: смешение в оптическом диапазоне равно $z = 0,00580$; смещение в радиодиапазоне на частоте, соответствующей длине волны 21 см, равно $z' = 0,00526$. Отсюда следует, что $c'/c = (1+z)/(1+z') = 1,00580/1,00526 = 1,0005372$ и $c' = c + 182,04$ км/сек $> c$ [103]. Оценка скорости света от квазара QSO PKS 2134 с оптическим красным смещением $z = 1,936$ приводят к результату $c' = 440.000$ км/сек [104]. При этом взаимосвязь между величинами c', c и скоростью движения V квазара относительно Земли в приближении слабого гравитационного поля описывается формулой $c' = c(1+V^2/c^2)^{1/2}$. Критическим фактором для данной гипотезы является, естественно, статистическая значимость расхождения величин красного смещения в радио и оптическом диапазонах.

* * *

Таким образом, в настоящее время, по-видимому, отсутствуют однозначно интерпретируемые экспериментальные данные, расходящиеся с предсказаниями СТО. Но имеются смутные указания, что такое не исключено, в частности в области физики элементарных частиц и космической астрофизики.

1.3 Нарушение инвариантности скорости света в теоретических исследованиях

Ритц (Ritz, 1908), Комсток (Comstock, 1910), Кунц (Kunz, 1910), Толмэн (Tolman, 1910) полагали [46], что в природе реализуется геометрия Евклида, и что скорость света равна $3 \cdot 10^{10}$ см/сек лишь относительно источника излучения. В литературу такое допущение вошло под названием баллистической гипотезы Ритца. В этом случае скорость света $\mathbf{c}$ от движущегося источника является векторной суммой скорости света $\mathbf{c}_0$ от источника неподвижного и скорости перемещения источника $\mathbf{V}$ в соответствии с Галилеевой теоремой сложения скоростей

$$\mathbf{c} = \mathbf{c}_0 + \mathbf{V}. \tag{1}$$

Баллистическая гипотеза объясняет опыт Майкельсона, но не согласуется с результатами экспериментов по изучению влияния скорости движения излучателя на скорость света. В настоящее время полагается, что баллистическая гипотеза имеет только историческое значение.

Примерно в это же время для интерпретации опыта Майкельсона на основе теории неподвижного эфира был предложен иной закон сложения скоростей (Abraham, 1908 [46]):

$$c' = c\sqrt{1 - V^2/c^2}. \tag{2}$$

Здесь c' - скорость света в лабораторной системе отсчета K', связанной с движущимся относительно эфира интерферометром, V - скорость движения Земли относительно эфира K, c - скорость света в системе отсчета K (эфире). Условимся называть выражение (2) формулой Абрагама. По Абрагаму отсутствует замедление времени и появляется возможность обнаружения абсолютного движения Земли относительно эфира [46]. Последнее обстоятельство означает нарушение принципа относительности. В свете современных представлений это является принципиальным дефектом любой теории [46]. В итоге формула Абрагама была отвергнута и затем основательно забыта.

Вторично формула Абрагама была открыта Рапье (Rapier) в 1961 г. исходя из гипотезы существования Лоренц-инвариантного полностью увлекаемого эфира [115, 116]. Реализацию формулы Абрагама в духе Рапье можно получить, если в выражении (2) ввести переобозначения $c \to C_{xy}$, $c' \to c$ и разрешить эту формулу относительно переменного C_{xy}. Величину скорости света в системе отсчета, связанной с источником (с эфиром), в этом случае можно интерпретировать как универсальную константу c, а выражение $1/(1+V^2/c^2)^{1/2} = \alpha_{xy}$ - как коэффициент преломления эфира [115]. Тогда для наблюдателя в лабораторной системе отсчета скорость света окажется равной

$$C_{xy} = \frac{c}{\alpha_{xy}} = c\sqrt{1+V^2/c^2}. \qquad (3)$$

"The velocity of the light received from a relatively moving source, therefore, turns out to the c/α_{xy} which is not a constant at all, but is a symmetrical function of the relative velocity". Коэффициент преломления α_{xy}, согласно автору, отражает кинематические характеристики эфира и соответствует некоторому модифицированному принципу относительности, важной особенностью которого является существование зависящего от скорости относительного движения источника V коэффициента преломления α_{xy}. "An important consequence of the principle of relativity presented herein is that it requires the existence of an aether which has a velocity-dependent index of refraction" - пишет автор. В качестве теста для проверки выражения (3) для скорости света в лабораторной системе отсчета C_{xy} автор предложил использовать эффект Черенкова, полагая, что в случае модифицированного принципа относительности косинус Черенковского угла излучения для ультрарелятивистской частицы будет равен $1/n$, в случае СТО - будет равен нулю [116]. (Здесь n - коэффициент преломления среды). Кроме того ожидалось, что квадратичный закон сложения скоростей (3) может проявляться в радиосвязи и астрофизических явлениях в связи с возможностью сверхсветовых движений при $V \to \infty$ [116].

Наконец, в третий раз формула (2) появилась в 1968 и 1970 гг. в публикациях [15] автора настоящей работы. В основу исследования было положено требование инвариантности 4-интервала в виде

$$s^2 = c'^2t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 - inv, \qquad (4)$$

где скорость света c' постоянна, но не обязательно равна c. Получены согласующиеся с результатом Ромейна [119] формулы преобразования пространства-времени-скорости света, сохраняющие выражение (4):

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ y' = y;\ z' = z;\ t' = \gamma^{-1}\frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ c' = \gamma c. \qquad (5)$$

Сформулирована теорема сложения скоростей, построено выражение инвариантного интеграла действия. Показана инвариантность уравнений Максвелла и уравнений движения заряженной частицы в электромагнитном поле относительно введенных преобразований. При этом вместо известных инвариантов СТО - скорости света c, собственного времени, которое обозначим t, массы покоя m_0, постоянной Планка $\hbar$ - введены новые инварианты теории: произведение ct, энергия покоя m_0c^2, произведение $\hbar c$ при неизменных трансформационных свойствах электрического заряда $e' = e$. Осуществлена синхронизация хода разноместных часов путем переноса эталонного хронометра $t(x) = t_o(0)$, где K_o - некоторая выделенная система отсчета. Соответствующие преобразования пространства-времени-скорости света принимают вид:

$$x_o = \frac{x - Ut}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}};\ y_o = y;\ z_o = z;\ t_o = \frac{t - \frac{xU}{c^2}}{1 - \frac{U^2}{c^2}};\ c_o = c\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}};$$
$$x = \frac{x_o - U_o t_o}{\sqrt{1 - \frac{U_o{}^2}{c_o{}^2}}};\ y = y_o;\ z = z_o;\ t = t_o - \frac{x_o U_o}{c_o{}^2};\ c = \frac{c_o}{\sqrt{1 - \frac{U_o{}^2}{c_o{}^2}}}, \tag{6}$$

где $U/c = -U_o/c_o$. Преобразования несимметричны. Из них верхняя строка, с точностью до обозначений, содержит формулу Абрагама (2), а аналогичные формулы преобразования времени для инвариантной скорости света впервые были получены Фойгтом [128]. В случае произвольных систем отсчета K и K' преобразования симметризуются. Скорость света в этом случае трансформируется по правилу

$$c' = c\frac{1 - \frac{\mathbf{V}\cdot\mathbf{U}}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \tag{7}$$

а пространственно-временные переменные по правилу

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}};\ y' = y,\ z' = z,\ t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{1 - \frac{\mathbf{V}\cdot\mathbf{U}}{c^2}}. \tag{8}$$

Здесь $V'/c' = -V/c$, $\mathbf{V} = (V, 0, 0)$ и $\mathbf{U} = (U_x, U_y, U_z)$ - скорости движения произвольной системы K' и выделенной системы отсчета K_o относительно лабораторной системы K. Обратные преобразования получаются перестановкой штриха. Если совместить выделенную систему отсчета с системой K' ($K' = K_o$, $\mathbf{V} = \mathbf{U}$), то выражение (7) формально переходит в формулу Абрагама (2), а преобразования (8) - в (6) (верхняя строка). В последующих работах были рассмотрены групповые свойства введенных преобразований [16, 17, 25, 32, 34]; проведено объяснение известных экспериментальных фактов, положенных в основу СТО [18]; введено 5-мерное пространство событий $V^5(t, \mathbf{x}, c)$, в котором скорость света интерпретируется как дополнительная пятая переменная наряду с временем t и пространственными переменными $\mathbf{x}$ [25, 99] и рассмотрены особенности движения в этом пространстве [20, 22, 23, 24]; показано, что если c=const, $c' \neq c$, $c't' = ct$ (t' и t - отрезки собственного времени), $m_0'c'^2 = m_0c^2$, $\hbar'c' = \hbar c$, $e' = e$, то основанная на этих инвариантах теория представляет собой переформулированную СТО и объясняет ту же самую совокупность экспериментальных фактов, что и СТО [15, 16, 18, 19, 33]. Показано, что в рамках данной схемы в силу соотношения $c't' = ct$ синхронизация хода разноместных часов конвенциальна [15]; отсутствует квантовая единица времени ввиду непрерывности группового параметра γ в преобразованиях $c' = \gamma c,\ t' = \gamma^{-1}t$; массовые спектры имеют континуальный характер в силу трансформационного свойства массы покоя $m_0' = \gamma^{-2}m_0$; возникает возможность введения релятивистски-инвариантного оператора $D = c\partial_c - t\partial_t$ уничтожения поля $D\phi = 0$ на решениях типа $\phi = \phi(ct, \mathbf{x})$ [17, 18, 19] и возможность объединения массы покоя, энергии, импульса в единый нулевой 5-вектор [31]. Рассмотрена возможность сверхсветового движения [18, 19].

Отметим, что закон преобразования скорости света в форме Абрагама, а также математические результаты работы [15] в той или иной степени были воспроизведены многими авторами. Сюда относятся публикации Луазо (1968, 1972) [103, 104], Ди Джорио (1974, 1978) [93, 94], Маринова (1975, 1979) [107, 108], Хсу (1976 - 1994) [88, 89, 90, 91, 92], Съёдина (1977) [125], Мамаева [38, 39] (1991, 1993), Нимбуева (1996) [45], Климца (1997) [13], Руссо (1998) [121]. Из них наиболее близкими к настоящей работе является исследования Хсу [88], Хсу и Леонардо Хсу [92]. По физической направленности и математическому оформлению они соответствуют работам [15, 16, 18] с тем различием, что вместо интеграла действия вида cS в [15] в них выбрано действие в виде S/c, где S - действие в СТО [35]. В результате изменились инварианты теории. Вместо энергии покоя m_0c^2, электрического заряда e, произведения постоянной Планка на скорость света $\hbar c$ инвариантами стали масса покоя m_0, отношение заряда к скорости света e/c и отношение постоянной Планка к скорости света $\hbar/c$ при соблюдении инвариантности постоянной тонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c$ и произведения величины скорости света на отрезок собственного времени $c\tau$. В серии последующих публикаций [89, 90, 91], а также здесь не приведенных, автор со своими коллегами провел дополнительное обоснование первоначальной работы [88], обратил внимание на отличие общего времени (common time $t'(x') = t(0)$) от времени Ньютона, рассмотрел вопросы синхронизации часов и однопутной и двухпутной скорости света, а также возможность выхода на эксперимент и другие особенности предложенной теории. (Интересующихся подробностями мы отсылаем к первоисточникам).

Исследования группы Хсу, а также более поздние исследования Мамаева [38, 39] характерны нарушением инвариантности электрического заряда. В перспективе выхода на эксперимент это будет означать появление зависимости электрического заряда от скорости его движения ($e \sim c(v)$), чего на самом деле не наблюдается. Поэтому в основу настоящей работы будут положены результаты [15, 16, 19, 20], где за электрическим зарядом сохраняется свойство инвариантности.

В свете сделанного замечания для всех приведенных работ существенным становится вопрос об их физической интерпретации. Здесь принято различать два подхода: "пассивную точку зрения", и "активную точку зрения" (Kastrup [96]). В первом случае различие величин (в нашем случае величин скорости света) полагается обусловленным не природой явления, а математическими свойствами уравнений. Во втором случае различие считается обусловленным собственно физикой явления. В рамках данной терминологии можно полагать, что попытки реализовать "активную точку зрения" предпринимали многие авторы, например, Ритц ($c = c_0(1 + 2V cos(\mathbf{c}\hat{}\mathbf{V})/c_0 + V^2/{c_0}^2)^{1/2}$) [46], Абрагам ($c' = c(1 - V^2/c^2)^{1/2}$) [46], Рапье ($C_{xy} = c(1 + V^2/c^2)^{1/2}$) [115, 116], Луазо ($c' = c(1 + V^2/c^2)^{1/2}$ в приближении слабого гравитационного поля) [103, 104], Маринов ($c_0 = c(1-v cos\theta/c)/(1-v^2/c^2)^{1/2}$, c_0 - значение скорости света в абсолютной системе отсчета, c - значение скорости света в произвольной системе, движущейся со скоростью v под углом θ относительно системы абсолютной) [107, 108], Мамаев ($c_\mathrm{u} = c_0(1 + u^2/{c_0}^2)^{1/2}$, c_u - скорость света от источника, движущегося со скоростью u) [38, 39], Нимбуевым ($c' = (c_0 - \beta v_x)/(1 - \beta^2)^{1/2}$, $\beta = V/C$) [45], Климец ($c^2 = c'^2 + v^2$, c=const - скорость света фундаментальная, c' - гипотетическая) [13], Руссо ($c_A = c_R(1-V^2/{c_R}^2)^{1/2}$, c_A - скорость света абсолютная, c_R - скорость света относительная) [121], Свозил [127] (движение в области скоростей $c < v \leq \bar{c}$, где $\bar{c} > 3 \cdot 10^{10}$ см/сек). К этой же категории работ можно отнести публикацию Фущича [83] по формулировке уравнений электродинамики с нарушенной инвариантностью скорости света, но в области нелинейной теории поля. Эти уравнения выглядят следующим образом:

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\nabla \mathrm{x} \mathbf{v} \mathrm{x} \mathbf{H}, \ \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = \nabla \mathrm{x} \mathbf{v} \mathrm{x} \mathbf{E}, \quad (9)$$
$$\triangle \triangle \mathbf{v} = 0, \ \triangle \cdot \mathbf{E} = 0, \ \triangle \cdot \mathbf{H} = 0,$$

где скорость распространения электромагнитного поля определяется формулой

$$v = c\sqrt{1 - \frac{\mathbf{E}^2 - \mathbf{H}^2}{4\rho^4} - \frac{(\mathbf{EH})^2}{\rho^2}}. \quad (10)$$

Здесь под $\rho = (\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2)/2$ понимается плотность энергии электромагнитного поля, $v_k = c\epsilon_{kln} E_l H_n/\rho, \ \ k, l, n = 1, 2, 3$. Из формулы (10) следует, что скорость распространения поля в уравнениях (9) зависит от плотности энергии поля, не превышает скорости света c $(v \leq c)$, и совпадает с величиной c только в случае, когда $\mathbf{E}^2 - \mathbf{H}^2 = 0$.

Общая особенность цитированных работ состоит в их незавершенности. К сожалению, ни одна из них, за исключением работы Ритца [46], не представляет законченной последовательной теории. Но рассматриваемые в совокупности, они содержат элементы информации, возможно, существенной в будущих теоретических построениях.

Следует также отметить, что параллельно с изучением возможности "активной точки зрения" проводились исследования и в рамках "точки зрения пассивной". Сюда можно отнести, например, работу Ромейна "О некоторых неправильных истолкованиях релятивистских преобразований координат" [119], публикацию автора настоящей работы "Об инвариантности скорости света в специальной теории относительности" [15], Хсу "Новая 4-мерная симметрия" [88], Хсу и Леонардо Хсу "Физическая теория, основанная исключительно на первом постулате относительности" [92], работу Съёдина "Синхронизация в специальной теории относительности и родственных теориях" [125].

"Пассивная точка зрения", даже если ее рассматривать безотносительно к обсуждаемой теме, довольно широко распространена в теоретических исследованиях. Примером могут служить статья Барута и Хаугена "Теория конформно инвариантной массы" [64], работа Тяпкина "Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности" [54] и комментарии к ней [12], лекции академика Логунова (1982) по основам теории относительности [37].

Рассмотрим, например, как выглядит реализация "пассивной точки зрения" в интерпретации Ромейна [119] (1963). Исходя из условия инвариантности нулевого 4-интервала в цилиндрической системе координат $c^2dt^2 - dx^2 - dr^2 - r^2d\theta^2 = 0 \to c'^2dt'^2 - dx'^2 - dr'^2 - r'^2d\theta'^2 = 0$ (ось симметрии - ось x), автор построил совокупность преобразований, являющихся аналогом преобразований (5)

$$x' = \alpha\frac{x - Vt}{\sqrt{1-\beta^2}};\ r' = \alpha r;\ \theta' = \theta;\ t' = \frac{\alpha}{\gamma}\frac{t - \frac{xV}{c^2}}{\sqrt{1-\beta^2}}, \tag{11}$$

где $\alpha,\ \ \gamma = c'/c,\ \ \beta = V/c$ - числовые (групповые) параметры, V - скорость перемещения вдоль оси иксов системы отсчета K' относительно системы K, причем $\lim\alpha = \lim\gamma = 1$ при $V \to 0$. Параметры α и γ автор интерпретировал как отношения масштабных единиц измерения, например, если $c' = 1 \cdot 10^9$ км/ч и $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек, то формально $c' \neq c$ и $\gamma = (1/3) \cdot 10^{-1}$ (км/см)(сек/ч). Достаточно очевидно, что это обстоятельство не повлечет за собой новых физических явлений, и может быть устранено переходом к единой системе стандартов, когда длина измеряется в см, а время в сек. Предложенная автором интерпретация потребовалась, чтобы показать несостоятельность попытки ревизии СТО, предпринятой президентом Испанской национальной Академии Наук Джулио Палакиосом (J. Palacios) [112, 113] на основе выбора параметра α в виде $\alpha = (1-\beta^2)^{1/2}$ [46] при $\gamma = 1$. Палакиос (и не только он) полагал, что избранная им параметризация, восходящая к пионерской работе Фойгта (W. Voigt) [128], позволяет устранить релятивистский эффект замедления времени и построить согласующуюся с экспериментом последовательную теорию, альтернативную СТО.

В качестве следующего примера остановимся на лекциях академика Логунова [37]. В отличие от обсуждаемых выше работ [15, 88, 119, 125], в которых нарушение инвариантности скорости света осуществлялось в рамках инвариантного соотношения $c't' = ct$ в псевдо-ортогональном пространстве Минковского, Логунов произвел нарушение инвариантности скорости света путем перехода от псевдо-ортогонального пространства к пространству-времени аффинному. В результате было показано, что 4-интервал пространства Минковского $ds^2 = c^2dT^2 - dX^2 - dY^2 - dZ^2$ с величиной скорости света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек и метрикой $g_{ik} = diag(+,-,-,-),\ i,k = 1,2,3$ посредством линейных преобразований

$$T = qx + pt,\ X = ax + bt,\ T = y,\ Z = z \tag{12}$$

допускает отображение на 4-мерное аффинное пространство с метрикой

$$ds^2 = g_{00}\left[c^2dt^2 - \left(\frac{c}{c_1} + \frac{c}{c_2}\right)cdtdx + \frac{c^2}{c_1c_2}dx^2\right] - dy^2 - dz^2, \qquad (13)$$

где $g_{00} = p^2 - b^2/c^2$; c_1, c_2 - величины скоростей света в положительном и отрицательном направлениях оси иксов в аффинной системе отсчета, которую мы обозначим символом K_A. Оказывается, в аффинном пространстве эти скорости различны $c_1 \neq c_2$ подобно скоростям $c_+ = c(1 - VU/c^2)/\sqrt{1 - V^2/c^2}$ и $c_- = c(1 + VU/c^2)/\sqrt{1 - V^2/c^2}$ из формулы (7) в псевдо-ортогональном пространстве в случае синхронизации хода часов посредством эталонного хронометра K_0. В теории Логунова величины c_1 и c_2 связаны с метрическими коэффициентами аффинного пространства и экспериментальным значением скорости света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек соотношениями

$$\begin{aligned} c_1 &= c\frac{-g_{01} + \sqrt{g_{01}{}^2 - g_{00}g_{11}}}{g_{11}}; \\ c_2 &= c\frac{-g_{01} - \sqrt{g_{01}{}^2 - g_{00}g_{11}}}{g_{11}}. \end{aligned} \qquad (14)$$

В итоге $c_1 + c_2 = -2cg_{01}/g_{11}$; коэффициенты метрики могут быть записаны как g_{00}, $g_{01} = g_{10} = -g_{00}c(c_1 + c_2)/2c_1c_2$, $g_{02} = g_{20} = g_{03} = g_{30} = 0$, $g_{11} = g_{00}c^2/c_1c_2$, $g_{22} = g_{33} = -1$. Аффинность пространства проявляется в отличии угла между осью $x^0 = ct$ и осью x в аффинной системе отсчета K_A от 90^o. Действительно, следую [46], и вводя направляющие векторы координатных осей системы K_A в виде $\mathbf{e}_0 = (1, 0, 0, 0)$, $\mathbf{e}_1 = (0, 1, 0, 0)$, $\mathbf{e}_2 = (0, 0, 1, 0)$, $\mathbf{e}_3 = (0, 0, 0, 1)$, находим, что $cos(\mathbf{e}_0\mathbf{e}_1) = \mathbf{e}_0\mathbf{e}_1/\sqrt{\mathbf{e}_0{}^2\mathbf{e}_1{}^2} = g_{01}/\sqrt{g_{00}g_{11}} = -(c_1 + c_2)/2\sqrt{c_1c_2} \neq 0$, где учтено, что $\mathbf{e}_1\mathbf{e}_2 = g_{01}$, $\mathbf{e}_0{}^2 = g_{00}$, $\mathbf{e}_1{}^2 = g_{11}$. Подобно преобразованиям Лоренца в псевдо-ортогональном пространстве, в пространстве аффинном существует их аналог, переводящий квадрат интервала (13) в себя при переходе к переменным t', x', y', z':

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x + Vt}{\sqrt{1 + \frac{V}{c_1}}\sqrt{1 + \frac{V}{c_2}}}; y' = y; z' = z; \\ t' &= \frac{(1 + \frac{V}{c_1} + \frac{V}{c_2})t - \frac{Vx}{c_1c_2}}{\sqrt{1 + \frac{V}{c_1}}\sqrt{1 + \frac{V}{c_2}}}. \end{aligned} \qquad (15)$$

При $c_1 + c_2 = 0$ метрика аффинная переходит в псевдо-ортогональную; скорость света становится изотропной ($c_1 = -c_2$), преобразования Логунова переходят в преобразования Лоренца.

Итог этих исследований можно сформулировать следующим образом. Если под скоростью света c в псевдо-ортогональном пространстве, а также под скоростью света c_1 и c_2 в пространстве аффинном понимать скорость света математическую - по Логунову - координатную [37] (математические символы $c,\ c_1,\ c_2$), то нарушение требования инвариантности $c' \neq c,\ c_1 \neq c_2$ в электродинамике может быть осуществлено последовательным образом без противоречия с экспериментом. Соответствующие теории представляют собой переформулировку СТО. С точки зрения симметрийного подхода такую возможность можно объяснить тем, что генератор $D = c\partial_c - t\partial_t$ масштабных преобразований времени-скорости света $t' = \gamma^{-1}t,\ c' = \gamma c$ в формулах (5) при $V = 0$, равно как и генераторы $G_{ab} = x_a\partial_b,\ G_a = \partial_a$ аффинных преобразований 20-мерной группы $IGL(4, R)$ линейных неоднородных преобразований

$$x_a{}' = A_{ab}x_b + A_a \tag{16}$$

являются операторами симметрии уравнения Даламбера в силу соотношений $[\Box, D] = 0,\ [\Box, G_a] = 0,\ [\Box[\Box, G_{ab}]] = 0$ [25, 31, 32]. Допустимость таких обобщений можно интерпретировать как проявление "масштабного принципа относительности", "аффинного принципа относительности", согласно которым законы природы не должны зависеть ни от выбора единиц измерения [64], ни от арифметизации пространства-времени [37]. Основополагающая теория - СТО [46, 35, 37] и ее модификации в формах [15, 88, 31, 37] оказались описывающими одну и ту же физическую реальность, проявляя различие на уровне формально-математическом. Скрытая причина этого явления состоит в том, что пассивная точка зрения реализует постулат общековариантности законов природы [46]. Теоретическая значимость этого принципа, который "...вообще не содержит высказываний о физическом *содержании* законов природы, а говорит лишь о их математической *формулировке*" [46] обсуждалась рядом авторов, например Кречманом (Kretschmann) [46], Паули [46], Фоком [56], Ромейном [119]. Согласно [46, 56, 119], постулат общековариантности означает возможность использования широкого класса пространственно-временных преобразований для формулировки уравнений движения, что и было продемонстрировано в обсуждаемых выше работах с нарушенной инвариантностью скорости света в частном случае плоского пространства-времени на примере уравнений классической электродинамики.

Далее мы переходим к систематическому изложению теории с нарушенной инвариантностью скорости света в плоском пространстве - времени, и вопросам интерпретации этой теории в духе "пассивной" и "активной" точек зрения.

2 Формально-математическое построение теории

2.1 Метрика пространства-времени, преобразования дифференциалов координат

Подобно работам Рапье и Ромейна [115, 116, 119]), но не накладывая ограничений на свойства скорости света, будем исходить из условия инвариантности дифференциала 4 - интервала в пространстве Минковского с метрикой:

$$\begin{aligned} ds^2 = -(dx'_1)^2 - (dx'_2)^2 - (dx'_3)^2 - (dx'_4)^2 = \\ -(dx_1)^2 - (dx_2)^2 - (dx_3)^2 - (dx_4)^2 - inv, \end{aligned} \tag{17}$$

Здесь $dx_1 = dx,\ dx_2 = dy,\ dx_3 = dz,\ dx_4 = icdt$, скорость света c$'$ не обязательно равно c. Соответствующие инфинитезимальные пространственно - временные преобразования, сохраняющие инвариантность формы (17), очевидным образом содержат группу, локально изоморфную группе Лоренца [35]:

$$dx'_a = dx_a,\ dx'_a = L_{ab} dx_b,\ a, b = 1, 2, 3, 4, \tag{18}$$

где L_{ab} - матрица шестимерной группы Лоренца L_6. В качестве примера выпишем матрицу L_1 с локально значимым кинематическим параметром $\beta = V/c$, где V - мгновенное значение скорости движения системы отсчета K' относительно K. Формально L_1 совпадает с матрицей [35]:

$$L_{ab} = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{(1-\beta^2)^{1/2}} & 0 & 0 & +\dfrac{i\beta}{(1-\beta^2)^{1/2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\dfrac{i\beta}{(1-\beta^2)^{1/2}} & 0 & 0 & \dfrac{1}{(1-\beta^2)^{1/2}} \end{pmatrix} \tag{19}$$

Матрица порождает одномерные инфинитезимальные пространственно - временные преобразования, как известно, имеющие вид:

$$dx'_1 = \frac{dx_1 + i\beta dx_4}{\sqrt{1-\beta^2}};\ dx'_4 = \frac{dx_4 - i\beta dx_1}{\sqrt{1-\beta^2}};\ dx'_2 = dx_2;\ dx'_3 = dx_3 \tag{20}$$

Обратные преобразования могут быть получены перестановкой штриха, групповые параметры связаны соотношением $\beta' = -\beta$ [35]. Но в отличие от преобразований Лоренца глобальных [35], здесь параметры β и β' могут явно или неявно зависеть от пространственно-временных переменных $\beta = \beta(f(\mathbf{x}, t))$, $\beta' = \beta'(f'(\mathbf{x}', t'))$. Это важное обстоятельство, которое впоследствии позволит реализовать "активную точку зрения". Индуцируемые (20) интегральные преобразования пространства-времени суть:

$$\begin{aligned} x_1' &= \int \frac{dx_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + i\int \frac{\beta dx_4}{\sqrt{1-\beta^2}} + d_1; \\ x_4' &= \int \frac{dx_4}{\sqrt{1-\beta^2}} - i\int \frac{\beta dx_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + d_4; \\ x_2' &= x_2 + d_2;\ x_3' = x_3 + d_3, \end{aligned} \tag{21}$$

где $d_1 - d_4$ - параметры сдвигов; обратные преобразования могут быть получены перестановкой штриха; $d_a' = -d_a$, $a = 1, 2, 3, 4$. Именно данные преобразования (21) приходят на смену преобразованиям Пуанкаре в СТО. Если в них дополнительно положить c=cost, $c' = c$ и ограничиться инерциальными движениями (β=const), то после интегрирования они перейдут в стандартные преобразования из группы Пуанкаре (неоднородной группы Лоренца), которые, таким образом, содержатся здесь как частный случай. Групповые свойства интегральных преобразований (21) выполняются в силу групповых свойств преобразований дифференциальных (20) и релятивистской теоремы сложения скоростей $\beta'' = (\beta + \beta')/(1 + \beta\beta')$. В силу интегральных преобразований (21), штрихованные и не штрихованные частные производные связаны теми же самыми соотношениями, что и в СТО:

$$\frac{\partial}{\partial x_1'} = \frac{\partial x_1}{\partial x_1'}\frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{\partial x_4}{\partial x_1'}\frac{\partial}{\partial x_4} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta'^2}}\frac{\partial}{\partial x_1} - \frac{i\beta'}{\sqrt{1-\beta'^2}}\frac{\partial}{\partial x_4} =$$
$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{\partial}{\partial x_4};$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial x_4'} = \frac{\partial x_4}{\partial x_4'}\frac{\partial}{\partial x_4} + \frac{\partial x_1}{\partial x_4'}\frac{\partial}{\partial x_1} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta'^2}}\frac{\partial}{\partial x_4} + \frac{i\beta'}{\sqrt{1-\beta'^2}}\frac{\partial}{\partial x_1} = \\ &\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{\partial}{\partial x_4} - \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{\partial}{\partial x_1}; \end{aligned} \tag{22}$$

$$\frac{\partial}{\partial x'_2} = \frac{\partial}{\partial x_2};\ \frac{\partial}{\partial x'_3} = \frac{\partial}{\partial x_3};\ \frac{\partial}{\partial x'_4} = -\frac{i}{c'}\frac{\partial}{\partial t'}. \tag{23}$$

Так же, как и в СТО они могут быть использованы для доказательства инвариантности уравнений Максвелла относительно преобразований (21) методом замены переменных.

2.2 Трансформационные свойства скорости, направляющих косинусов

Исходим из формул преобразования дифференциалов координат (18) с помощью матрицы L_{ab} (19). Они порождают преобразования 4-скорости $U_a{}' = L_{ab}U_b$, $U_a = dx_a/ds$, откуда следуют трансформационные свойства скорости 3-мерной. Соответствующие выражения безразмерны и имеют вид

$$\frac{v'_x}{c'} = \frac{\frac{v_x}{c} - \frac{V}{c}}{1 - \frac{v_x V}{c^2}};\quad \frac{v'_y}{c'} = \frac{v_y}{c}\frac{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_x V}{c^2}};\quad \frac{v'_z}{c'} = \frac{v_z}{c}\frac{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_x V}{c^2}}; \tag{24}$$

$$\begin{gathered}\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c'^2}} = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_x V}{c^2}};\\ \frac{v'^2}{c'^2} = \frac{\frac{(\mathbf{v}-\mathbf{V})^2}{c^2} - \frac{(\mathbf{V}\mathrm{x}\mathbf{v})^2}{c^4}}{\left(1 - \frac{\mathbf{V}\cdot\mathbf{v}}{c^2}\right)^2},\end{gathered} \tag{25}$$

где $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ и $\mathbf{v}' = (v_x{}', v_y{}', v_z{}')$ - скорости материального тела в системах отсчета К и К$'$ соответственно, $\mathbf{V} = (V, 0, 0)$ - скорость движения системы отсчета К$'$ относительно К. Согласно приведенным соотношениям, абсолютная величина скорости тела $\mathbf{v}$ не превосходит скорости света c $(v \le c)$, а модуль штрихованной скорости $\mathbf{v}'$ не превосходит штрихованной скорости света c' $(v \le c')$; скорости света c в системе К соответствует скорость света c' в системе К$'$. Здесь существенно, что скорость V локально постоянна и становится постоянной в глобальном смысле в случае инерциального движения. При $c' = c$ приведенные формулы переходят в формулы СТО.

Трансформационные свойства направляющих косинусов $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ траектории частицы могут быть найдены с помощью закона преобразования скорости тела. Полагая $\mathbf{v} = (vn_x, vn_y, vn_z)$ и $\mathbf{v}' = (v'n'_x, vn'_y, vn'_z)$, имеем:

$$\frac{v'n'_x}{c'} = \frac{\frac{vn_x}{c} - \frac{V}{c}}{1 - \frac{v_xV}{c^2}}; \quad \frac{v'n'_y}{c'} = \frac{vn_y}{c}\frac{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_xV}{c^2}}; \quad \frac{v'n'_z}{c'} = \frac{vn_z}{c}\frac{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_xV}{c^2}}. \tag{26}$$

Данные преобразования в сочетании с трансформационными свойствами 3-скорости, как и в СТО, сохраняют геометрический инвариант

$$n'^2_x + n'^2_y + n'^2_z = {n_x}^2 + {n_y}^2 + {n_z}^2 = 1 \tag{27}$$

2.3 Действие, энергия, импульс

Обратимся к интегралу действия в СТО [35]:

$$S = -mc\int ds + \frac{e}{c}\int A_a dx_a + \frac{i}{16\pi c}\int {F_{ab}}^2 d^4x \tag{28}$$

Нетрудно видеть, интеграл действия S не инвариантен относительно замены $c \to c' = \gamma c$. Однако это свойство можно скорректировать, если левую и правую части выражения (28) умножить на величину c, и исходить из инвариантного интеграла действия вида [15]:

$$\begin{gathered} S^* = cS = -mc^2\int ds + e\int A_a dx_a + \frac{i}{16\pi}\int {F_{ab}}^2 d^4x = \\ -mc^2\int ds - i\int A_a j_a d^4x + \frac{i}{16\pi}\int {F_{ab}}^2 d^4x = \\ \int(-mc^2\sqrt{1-\beta^2} + e\mathbf{A}\cdot\beta - e\phi)(cdt) + \frac{1}{8\pi}\int(E^2 - H^2)d^3x(cdt). \end{gathered} \tag{29}$$

Здесь S^* - новый интеграл действия, который назовем обобщенным; mc^2 - инвариантная комбинация, соответствующая энергии покоя частицы (m - масса покоя, c - скорость света); e - инвариантный заряд частицы; $A_a = (A_1, A_2, A_3, A_4) = (\mathbf{A}, i\phi)$ - 4-потенциал [35]; $j_a = (j_1, j_2, j_3, j_4) = (\rho\mathbf{v}/c, i\rho)$ - 4-вектор плотности тока [46] вместо $j_a = (\rho\mathbf{v}, ic\rho)$ [35], ρ - плотность заряда, $\mathbf{v}$ - его скорость; $F_{ab} = \partial A_b/\partial x_a - \partial A_a/\partial x_b$ - тензор электромагнитного поля; $\mathbf{E} = -(1/c)\partial\mathbf{A}/\partial t - \nabla\phi$ - электрическое поле; $\mathbf{H} = \nabla \mathrm{X} \mathbf{A}$ - магнитное поле; ${F_{ab}}^2 = 2(H^2 - E^2)$; $d^4x = dx_1dx_2dx_3dx_4$ - инвариантный элемент 4-мерного объема [35].

Особенностью введения обобщенного интеграла действия S^* является изменение трансформационных свойств массы покоя. Масса не является более величиной скалярной, а преобразуется по закону $m' = (c^2/c'^2)m =$

$\gamma^{-2}m$. Скалярным свойством обладает энергия покоя mc^2. Изменились также трансформационные свойства постоянной Планка. Инвариантной оказывается не величина $\hbar$, а произведение $\hbar c$. В силу неизменности свойств электрического заряда e, трансформационные свойства постоянной тонкой структуры остались прежними $\alpha = e^2/\hbar c$ - inv. [1]

Введению обобщенного интеграла действия соответствует ведение обобщенного лагранжиана, энергии и 4 - импульса частицы. Условимся метить обобщенные величины верхним символом *:

$$L^* = cL = -mc^2\sqrt{1-\beta^2} + e\mathbf{A}\cdot\beta - e\phi; \tag{30}$$

$$\mathbf{P}^* = \frac{\partial L^*}{\partial\beta} = \frac{cm\mathbf{v}}{\sqrt{1-\beta^2}} + e\mathbf{A} = c\mathbf{p} + e\mathbf{A}; \tag{31}$$

$$E^* = \mathbf{P}^*\cdot\beta - cL = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} + e\phi = E. \tag{32}$$

Отсюда видно, смысл интегралов движения имеют прежняя энергия E и произведение скорости света на прежний импульс $c\mathbf{P} = c\mathbf{p} + e\mathbf{A}$. Параметр β имеет смысл обобщенной скорости. Роль дифференциала времени играет величина $dx^0 = cdt$. Существенно, что в результате дифференцирования по параметру β получившиеся выражения не зависят от конкретных предположений относительно свойств скорости света, поскольку величина c входит в выражение $\beta = v/c$.

Для свободной частицы из выражения для обобщенного 4 - импульса $p_a{}^* = mc^2u_a$ в сочетании с известным свойством 4 - скорости $u^2 = -1$ получаем:

$$p_a{}^{*2} = c^2p^2 - E^2 = -m^2c^4 - inv. \tag{33}$$

Аналогично [35], в случае частицы в электромагнитном поле

$$P_a{}^* = mc^2u_a + eA_a; \tag{34}$$

$$(P_a{}^* - eA_a)^2 = (cP_a - eA_a)^2 = -m^2c^4 - inv. \tag{35}$$

[1] Выбор интеграла действия в виде (29) [15] неоднозначен. Вместо cS можно ввести действие как S/c [88]. В этом случае инвариантными величинами оказываются масса m, отношения e/c и $\hbar/c$, постоянная тонкой структура α. Имея в виду возможность экспериментальной проверки теории, вариант [88] представляется менее удачным, поскольку приводит к зависимости величины электрического заряда от скорости его движения $e \sim c(v)$, что не согласуется с опытными данными.

2.4 Уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле

Имея в виду выражение (30), исходим из уравнений Лагранжа $d(\partial L^*/\partial\beta)/dx^0 - \partial L^*/\partial\mathbf{x} = 0$ с учетом векторного равенства $\nabla(\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}) = (\mathbf{a}\cdot\nabla)\mathbf{b} + (\mathbf{b}\cdot\nabla)\mathbf{a} + \mathbf{a}\mathrm{x}(\nabla\mathrm{x}\mathbf{b}) + \mathbf{b}\mathrm{x}(\nabla\mathrm{x}\mathbf{a})$ [35]. Для уравнений движения заряженной частицы в электромагнитном поле в 3-мерном и 4-мерном виде получаем:

$$\frac{d\mathbf{p}^*}{dt} = \frac{d(c\mathbf{p})}{dt} = ce\mathbf{E} + e\mathbf{v}\mathrm{x}\mathbf{H}; \tag{36}$$

$$\frac{dE^*}{dt} = \frac{dE}{dt} = e\mathbf{E}\cdot\mathbf{v}; \tag{37}$$

$$mc^2\frac{du_a}{ds} = eF_{ab}u_b. \tag{38}$$

2.5 Уравнения Максвелла

Исходим из перестановочных соотношений для тензора электромагнитного поля и полевых уравнений Лагранжа $\partial(\partial\mathcal{L}^*/\partial A_{a,b})/\partial x_b - \partial\mathcal{L}^*/\partial A_a = 0$ [6, 35] с учетом выражения $\partial F_{ab}^2/\partial A_{a,b} = 4F_{ab}$ [35] и плотности функции Лагранжа $\mathcal{L}^* = c\mathcal{L} = iA_a j_a + (i/16\pi){F_{ab}}^2$, где $A_a(x)$ - 4-потенциал; $A_{a,b} = \partial A_a/\partial x_b$; $a,b = 1,2,3,4$; $g_{ab} = diag(-,-,-,-)$. В итоге имеем:

$$\begin{gathered}\frac{\partial F_{ab}}{\partial x_c} + \frac{\partial F_{ca}}{\partial x_a} + \frac{\partial F_{ca}}{\partial x_b} = 0,\\ \frac{\partial F_{ab}}{\partial x_b} = 4\pi j_a;\end{gathered} \tag{39}$$

$$\begin{aligned}&\nabla\mathrm{X}\mathbf{E} + \frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} = 0; \qquad \nabla\cdot\mathbf{E} = 4\pi\rho;\\ &\nabla\mathrm{X}\mathbf{H} - \frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} = 4\pi\frac{\mathbf{j}}{c}; \quad \nabla\cdot\mathbf{H} = 0.\end{aligned} \tag{40}$$

Из них уравнение движения (37) и уравнения электромагнитного поля (39) и (40) совпадают с уравнениями, известными в СТО. Уравнение для изменения обобщенного импульса со временем (36) переходит в уравнение СТО при c=const.

2.6 Трансформационные свойства импульса, энергии, плотности тока и напряженности электромагнитного поля

Введению обобщенного интеграла действия соответствуют трансформационные свойства обобщенного 4-импульса в виде $p_a{}^{*\prime} = L_{ab}p_b{}^*$, L_{ab} - матрица (19). Отсюда могут быть найдены формулы преобразования 3-мерного импульса и энергии [15]:

$$p'_x = \gamma^{-1}\frac{p_x - \frac{VE}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}},\ p'_y = \gamma^{-1}p_y,\ p'_z = \gamma^{-1}p_z; \tag{41}$$

$$E' = \frac{E - Vp_x}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \tag{42}$$

Полагая $j_a{}' = L_{ab}j_b$, где j_a - плотность 4 - тока, находим, что преобразования вещественных компонент приводят к закону преобразования 3-скорости. Мнимая компонента плотности тока приводит к закону преобразования плотности электрического заряда:

$$\rho' = \rho\frac{1-\frac{v_xV}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \tag{43}$$

Повторяя рассуждения [46] находим, что формула (43) согласуется с требованием инвариантности электрического заряда e в инвариантном интеграле действия (29):

$$e' = \int \rho_0{}'dx'^3 = \int \rho(1-V^2/c^2)^{1/2}det(\frac{\partial x_j{}'}{\partial x_k})dx^3 = \int \rho dx^3 = e, \tag{44}$$

где учтено $j,k = 1,2,3$; электрический заряд покоится в системе отсчета К$'$; $\rho_0{}' = \rho(1-V^2/c^2)^{1/2}$ при $v_x = V$, $det(\partial x_j{}'/\partial x_k) = (1-V^2/c^2)^{-1/2}$.

Записывая также закон преобразования тензора электромагнитного поля, как обычно, в виде $F_{ab}{}' = L_{ac}L_{bd}F_{cd}$, получаем формулы преобразования электрического и магнитного поля:

$$\begin{aligned} &E_x{}' = E_x;\ E_y{}' = \frac{E_y - \frac{VH_z}{c}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ E_z{}' = \frac{E_z + \frac{VH_y}{c}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\\ &H_x{}' = H_x;\ H_y{}' = \frac{H_y + \frac{VE_z}{c}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ H_z{}' = \frac{H_z - \frac{VE_y}{c}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \end{aligned} \tag{45}$$

С точностью до формул преобразования 3-импульса (41), приведенные результаты совпадают с соответствующими формулами СТО [35].

3 СТО с нарушенной инвариантностью скорости света

3.1 Масштабная инвариантность электродинамики

Обратимся к случаю инерциального движения, и положим, что величина скорости света в преобразованиях (20) является величиной постоянной, не зависящей явно или не явно от переменных $\mathbf{x}$ и t. Интегрируя (20), в случае инерциального движения с учетом постоянства скорости света можем написать

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - V^2/c^2}};\ y' = y;\ z' = z;\ t' = \gamma^{-1}\frac{t - xV/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}};\ c' = \gamma c. \qquad (46)$$

Здесь параметры $\beta = V/c$ и $\gamma = c'/c$ постоянны в глобальном смысле, $\gamma \to 1$, $\beta \to 0$ при $V \to 0$. Обратные преобразования получаются перестановкой штриха; групповые свойства выполняются, если положить $\beta' = V'/c' = -V/c = -\beta$, $\gamma' = \gamma^{-1}$.

Обратим внимание на то, что преобразования (46) можно рассматривать на векторах $x = (t, \mathbf{x}, c)$ вещественного 5-мерного пространства V^5, которое содержит подпространство Минковского M^4 на гиперплоскости c=const [25]. В пространстве V^5 преобразования (46) образуют группу прямого произведения $L_1 \mathrm{X} \Delta_1'$, где L_1 - одномерная группа Лоренца, а Δ_1' -группа масштабных преобразований времени-скорости света $t' = \gamma^{-1}t$, $\mathbf{x}' = \mathbf{x}$, $c' = \gamma c$ [16]. В более общем случае композиция $G_2 = L_1 \mathrm{X} \Delta_1'$ является подгруппой группы прямого произведения конформной группы C_{15} и бесконечномерной группы Вирасоро, индуцируемой генераторами типа $X_m = c^m(c\partial_c - t\partial_t)$, $[X_m, X_n] = (n-m)X_{m+n}$ [25]. В дальнейшем мы будем рассматривать 3-мерную подгруппу G_3^{Vir} при $m = 0, \pm 1$. Соответствующие генераторы группы $C_{15} \mathrm{X} G_3^{Vir}$ имеют вид:

$$
\begin{array}{lll}
\text{– группы сдвигов } T_4: & P_0 = \partial_t/c, P_j = \partial_j; & \\
\text{– группы Лоренца } L_6: & M_{0j} = ct\partial_j - x_j\partial_t/c, & \\
 & M_{ij} = x_i\partial_j - x_j\partial_i; & \\
\text{– масштабной группы } \Delta_1: & D = t\partial_t + x^j\partial_j; & \\
\text{– специальной конформной} & & \\
\quad\text{группы } C_4: & K_0 = 2ctD - x^2\partial_t/c, & (47)\\
 & K_j = 2x_jD - x^2\partial_j \ [64]; & \\
\text{– образ группы сдвигов } T_1': & X_{-1} = \partial_c - t\partial_t/c; & \\
\text{– образ масштабной группы } \Delta_1': & X_0 = c\partial_c - t\partial_t; & \\
\text{– образ проективной группы } P_1': & X_{+1} = c^2\partial_c - ct\partial_t \ [16,\ 32]. &
\end{array}
$$

Генераторы удовлетворяют перестановочным соотношениям

$$
\begin{array}{ll}
[Q_s, Q_p] = C_{spq}Q_q; & [X_m, X_n] = (n-m)X_{m+n}; \\
[P_a, X] = 0; & [M_{ab}, X] = 0; \\
[D, X] = 0; & [K_a, X] = 0; \\
[X_{-1}, X_0] = X_{-1}; & [X_{-1}, X_1] = 2X_0 \\
[X_0, X_1] = X_1 &
\end{array}
\tag{48}
$$

Здесь $Q_s = (P_i, M_{ij}, D, K_i)$ - генераторы группы C_{15}; C_{spq} - структурные постоянные группы; $s, p, q = 1, 2, ...15$; $a, b = 0, 1, 2, 3$; $x_j = -x^j$; $j = 1, 2, 3$; $X = (X_1, X_0, X_{-1})$. Собственные функции и индуцируемые генераторами алгебры Вирасоро преобразования скорости света-времени можно записать как:

$$
\begin{array}{llll}
X_{-1}: & F_{-1}(ct) = e^{Lc}\cdot f(ct); & c' = c + \delta, & t' = ct/(c+\delta); \\
X_0: & F_0(ct) = c^M \cdot f(ct); & c' = \gamma c, & t' = \gamma^{-1}t; \\
X_{+1}: & F_{+1}(ct) = e^{-N/c}f(ct); & c' = c/(1-\theta c), & t' = (1-\theta c)t,
\end{array}
\tag{49}
$$

где L, M, N - соответствующие собственные значения; δ, γ, θ - групповые параметры; учтено $c't' = ct$ - inv, $X_0ct = 0$. В качестве своих подгрупп группа прямого произведения $C_{15}\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ содержит группу $L_6\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ с генераторами $(M_{ij}, X_{-1}, X_0, X_1)$; группу $P_{10}\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ с генераторами $(P_i, M_{ij}, X_{-1}, X_0, X_1)$; группу $W_{11}\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ с генераторами $(P_i, M_{ij}, D, X_{-1}, X_0, X_1)$; группу $C_4\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ с генераторами (K_i, X_{-1}, X_0, X_1), где L_6, P_{10}, W_{11} - группы Лоренца, Пуанкаре и Вейля соответственно. Наибольший интерес из них, очевидно, представляют группы прямого произведения $L_6\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ и $P_{10}\mathrm{X}{G_3}^{Vir}$ ввиду явного нарушения инвариантности скорости света в однородных и неоднородных преобразованиях Лоренца с введением соответствующих генераторов $X_{-1} = X_0/c, X_{+1} = cX_0, X_0 = c\partial_c - t\partial_t$ [16], содержащих производную по скорости света.

Будем считать, что формулы (46) при $\beta = 0$, то-есть $x' = x,\ y' = y,\ z' = z,\ t' = \gamma^{-1}t,\ c' = \gamma c$, характеризуют различие двух инерциальных систем отсчета, в которых рассматривается один и тот же физический объект. Тогда формулу преобразования времени $t' = \gamma^{-1}t$ можно рассматривать как способ пересчета одних собственных временных единиц измерения в другие посредством масштабного фактора γ. В этом случае в силу инвариантности произведения $c't' = ct$ штрихованное значение скорости света c', связанное с нештрихованным значением преобразованием $c' = \gamma c = (t/t')c$, определяется отношением собственных единиц измерения времени в системах отсчета K$'$ и K, и числовая ось скоростей света будет представлять собой непрерывный спектр отношений различных временных единиц измерения, например секунд в минуты, часы, годы и т.д. Смысл новых значений энергии и импульса из формул (31) и (32) состоит в математической переформулировке старых понятий. Естественно ожидать, что в этом случае будет наблюдаться полное совпадения кинематических и динамических эффектов излагаемой теории с результатами специальной теории относительности [15, 16]. Например, уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле (36) и (37) переходят в уравнения СТО. Чтобы убедиться в этом, необходимо учесть независимость скорости света от пространственно-временных переменных. Вынося величину c за скобки при дифференцировании по времени, и умножая правую и левую части поучившегося уравнения на множитель c^{-1}, приходим к известному уравнению Максвелла-Лоренца $d\mathbf{p}/dt = e\mathbf{E} + (e/c)\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H}$. Естественно, что и решения полученных уравнений и уравнений движения в СТО будут одними и теми же.

Отмеченную особенность, следуя Баруту и Хаугену [64], можно интерпретировать как проявление "масштабного" принципа относительности, согласно которому законы природы не должны зависеть от выбора единиц измерения, то-есть должны быть масштабно инвариантными. Как уже отмечалось во введении, физический смысл масштабной инвариантности в этом случае состоит в континуальности времени и массовых спектров (в силу непрерывности группового параметра γ) [16], в возможности объединения массы покоя, энергии, импульса в единый нулевой 5-вектор [31].

Дополнительное смысловое наполнение преобразований $c' = \gamma c,\ t' = \gamma^{-1}t$ появляется в связи с эффектами синхронизации хода пространственно разноместных часов. До сих пор вопрос о синхронизации часов не возникал, и изложенную выше теорию можно интерпретировать как переформулированную СТО с несинхронизированным временем. Теория допускает возможность каждому из наблюдателей пользоваться своими локальными часами, получая при этом правильные результаты. Что будет, если пространственно разноместные часы синхронизировать?

3.2 Синхронизация хода разноместных часов

Релятивистский способ синхронизации. Как известно, в СТО ход разноместных часов принято синхронизировать по способу Эйнштейна [59]. Полагается, что разноместные часы A и B следует считать синхронными, если показания часов в точке B учитывают время распространения светового сигнала от A к B: $t_B = t_A + (x_B - x_A)/c$ [37, 60, 59]. Переформулируем этот способ так, что бы дальнейшее изложение стало более понятным. Для этого воспользуемся формулой для замедления времени $t = (c'/c)t'_0/(1 - V^2/c^2)^{1/2}$, вытекающей из преобразований (5). Предположим, что существует некоторая выделенная система отсчета $K' = K_o$, скорость света в которой обозначим через c$' = c_o$. Вместо символа V, обозначим скорость движения выделенной системы K_o относительно системы K через $\mathbf{U} = (U, 0, 0)$, а скорость движения системы K относительно K_o - через $\mathbf{U}_o = (U_o, 0, 0)$, где $U/c = -U_o/c_o$. Выберем часы, покоющиеся в начале координат системы K_o в качестве эталона времени t_o и синхронизируем ход разноместных часов в произвольной системы отсчета K так, что бы их показания были связаны с показаниями эталонных часов соотношением:

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}. \tag{50}$$

Согласно формуле $t = (c_o/c)t_o/(1 - U^2/c^2)^{1/2}$ приведенное равенство выполняется, если $c_o = c$, то-есть реализуется постулат СТО, что в сочетании с инвариантностью интервала означает и инвариантность собственных отрезков времени $\Delta t_o(K_o) = \Delta t_0(K)$, и понятие выделенной системы отсчета стирается. В результате мы приходим к известной формуле замедления времени в СТО, которая в контексте настоящей работы означает кинематический эффект способа синхронизации разноместных часов.

Синхронизация посредством переноса эталонного хронометра. Данный способ синхронизации, равно как и Эйнштейновский, известен и неоднократно обсуждался в литературе, например, Александровым, Мандельштамом, Фоком, Грюнбаумом (Grünbaum), Бриджменом (Bridgman), Рейхенбахом (Reichenbach) [43]. Различные аспекты этого способа и обширная литература по данному вопросу изложены в обзоре Молчанова [43]. Ниже мы придадим ему необходимую математическую формулировку для возможности использования в релятивистской физике.

Подобно изложенному выше, выберем часы, покоющиеся в начале координат выделенной системы K_o, в качестве эталона времени и синхронизируем ход разноместных часов в системе отсчета K так, что бы их показания совпадали с показаниями эталонных часов:

$$t(x) = t_o. \qquad (51)$$

Согласно $t = (c_o/c)t_o/(1 - U^2/c^2)^{1/2}$, это возможно, если вместо $c_o = c$ будут выполняться равенства $c_o = (c^2 - U^2)^{1/2} = c(1 - U^2/c^2)^{1/2}$, $c = ({c_o}^2 + U^2)^{1/2} = c_o/(1 - {U_o}^2/{c_o}^2)^{1/2}$ [15]. К этим же результатам можно прийти и непосредственно из выражения для 4-интервала (17). Полагая $K' \equiv K_o$, $d\mathbf{x}' \equiv d\mathbf{x}_o = 0$ (эталонные часы покоются в системе K_o), получаем ${c_o}^2 d{t_o}^2 = c^2 dt^2 - d\mathbf{x}^2$. Отсюда при $dt = dt_o$ следует $c_o = c(1 - v^2/c^2)^{1/2}$, или

$$c = c_o\sqrt{1 + \frac{v^2}{{c_o}^2}}, \qquad (52)$$

где $v^2 = (d\mathbf{x}/dt)^2$ - абсолютное значение скорости движения тела относительно наблюдателя в лабораторной системе отсчета K. В случае произвольной системы отсчета K', движущейся относительно системы K с локально постоянной скоростью $V = (V, 0, 0)$, из аналогичных вычислений находим: ${c_o}^2 d{t_o}^2 = c^2 dt^2 - d\mathbf{x}^2 = {c'}^2 {dt'}^2 - d\mathbf{x}'^2 \to {c_o}^2 = c^2 - \mathbf{v}^2 = {c'}^2 - \mathbf{v}'^2$, если $dt_o = dt = dt'$. С помощью трансформационных свойств 3-скорости (24) отсюда получаем:

$$c' = c\frac{1 - \frac{v_x \cdot V}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \qquad (53)$$

Выражение (53) совпадает с аналогичной формулой (7) с тем, однако, принципиальным различием, что в (53) скорость V постоянна только локально, допуская не инерциальное движение систем отсчета K и K$'$. Естественно, что при V=const формула (53) переходит в формулу (7). Соответствующие пространственно-временные преобразования совпадают с формулами (6), где $U/c = -U_o/c_o$. Как уже отмечалось, прямые и обратные преобразования несимметричны, но в случае взаимосвязи между произвольными системами отсчета K и K$'$ могут быть симметризованы и записаны в виде (7), где обратные преобразования получаются перестановкой штриха. Групповые параметры связаны соотношениями

$V'/c' = -V/c$. Существование этих преобразований означает, что время типа (51) не является временем Ньютона и отличается от него по ряду признаков.

- У Ньютона соотношение $t = t_o$ выполняется как для собственных отрезков времени, так и для отрезков времени, измеренных по разноместным часам. В обсуждаемой же теории оно справедливо только в случае, когда t_o есть собственное время эталонного хронометра в системе K_o, а t есть время, измеряемое по разноместным часам в системе отсчета K.

- У Ньютона отрезки собственного времени инвариантны $\Delta t_0 = \Delta t_o$. В обсуждаемой теории отрезки собственного времени преобразуется по закону $\Delta t_0 = (c_o/c)\Delta t_o = (1 - {U_o}^2/{c_o}^2)^{1/2}\Delta t_o$.

- У Ньютона преобразование $t' = t$ не зависит от пространственной точки (x, y, z). В обсуждаемой теории в общем случае преобразование времени $t(x) = t_o - x_o U_o/{c_o}^2$ сопровождается и преобразованием пространственных переменных $x(t) = (x_o - U_o t_o)/(1 - {U_o}^2/{c_o}^2)^{1/2}$.

- У Ньютона соотношение $t = t_o$ выполняется всюду в пространстве $R^4(t, \mathbf{x})$. В обсуждаемой теории оно справедливо только на траектории движения системы отсчета K_o.

Поэтому, несмотря на внешнее сходство, время $t(x) = t_o$ не есть время Ньютона. Его можно назвать квазиньютоновым. Соответственно и избранный способ синхронизации путем переноса эталонного хронометра можно назвать квазиньютоновым. Отмеченное обстоятельство накладывает существенные ограничения на свойства такого времени. Для иллюстрации остановимся на интерпретации эффекта замедления времени в рамках кинематических преобразований (6). Как уже отмечалось, при наблюдении выделенной системы отсчета в силу избранного способа синхронизации замедление времени будет отсутствовать, поскольку согласно введенным преобразованиям $t_o(0) = t(x) = t'(x')$. Однако при сравнении хода разноместных часов в системе отсчета К с ходом локальных часов, показывающих собственное время в системе К, будет по-прежнему наблюдаться эффект замедление времени в силу неинвариантности собственного времени. В самом деле, в силу инвариантного соотношения $ct_0 = c_o t_o$ для преобразования времени получаем $t(x) = t_o = ct_0/c_o = t_0/(1 - U^2/c^2)^{1/2}$ в согласии с результатом СТО. Здесь $t(x)$ - показания разноместных часов в системе К (совпадают с показаниями t_o эталонного хронометра), t_0 - собственное время в системе К, U - скорость движения эталонного хронометра (выделенной системы отсчета К$_o$) относительно системы К.

Таким образом, мы еще раз приходим к выводу, промежутки времени $t(x)$, измеренные по разноместным часам, и по часам, покоющимся в одной точке и измеряющих собственное время t_0, связаны соотношением замедления времени. Соотношение $t(x) = t_o(0)$ в отличие от времени Ньютона не универсально, реализуются только на траектории движения выделенной системы отсчета, и обусловлено избранным способом синхронизации разноместных часов. Имея это в виду, обратимся к формулам преобразования скорости света из соотношений (6) и (7) и связанной с ними концепции выделенной системы отсчета.

3.3 Инвариантность электродинамики относительно абсолютного значения скорости света

Непосредственно из формул (6) и (7) видно, что в отличие от предыдущего раздела интерпретировать параметр $\gamma = c'/c = (1 - \mathbf{V} \cdot \mathbf{U}/c^2)/(1 - V^2/c^2)^{1/2}$ как отношение масштабных единиц измерения времени типа мин/сек уже нельзя, поскольку в рассматриваемом случае параметр γ существенно безразмерный. Приходится констатировать, что размерные величины скоростей света c' и c в лабораторных системах K' и K связаны между собой через посредство выделенной системы отсчета K_o. Возникает естественный вопрос, а существует ли вообще в природе нечто такое, с чем можно было бы связать выделенную систему отсчета K_o?

Здесь важно отметить, в теории отсутствуют прямые указания на существование такой системы. Умозрительно ее можно попытаться совместить с излучателем, с наблюдателем, с гипотетическим эфиром или каким либо другим подобным объектом. Из них первые две возможности следует отбросить, поскольку наблюдатель и излучатель могут совершать не инерциальные движения и выражение для скорости света $c = c_o(1 + U^2/c_o{}^2)^{1/2}$ в рамках "пассивной точки зрения" будет неявным образом зависеть от пространственно-временной точки $(\mathbf{x}, t)$ через посредство скорости $U(\mathbf{x}, t)$. Поэтому остается только предположить, что в природе действительно имеется нечто (светоносный эфир), куда можно поместить выделенную систему отсчета K_o. Остальные системы $(K_i, i \to \infty)$ совершают относительно K_o инерциальные движения и различаются по величине скорости света $c_i = c_o(1 + U_i{}^2/c_o{}^2)^{1/2}$. Выделенность K_o состоит в том, что именно в ней реализуются известные уравнения движения электромагнитного поля со скоростью распространения c_o и уравнения движения заряженных частиц в форме Максвелла-Лоренца. Как уже отмечалось, обозначим собственные единицы длины и времени в системе K_o через l_o и t_o, массу покоя (собственное значение массы) через m_o, постоянную Планка через $\hbar_o$, электрический заряд как e_o, постоянную тонкой структуры через α_o. Значения этих же величин в произвольной системе K, движущейся со скоростью U_o относительно системы K_o, приведем в Таблице 1.

Таблица 1. Кинематическая зависимость основных физических величин от состояния движения относительно выделенной системы отсчета K_o $(\beta_o = U_o/c_o)$

Система отсчета :	K_o	K
Единица длины :	l_o[см]	$l_0 = l_o$[см]
Единица времени :	t_o[сек]	$t_0 = t_o(1-{\beta_o}^2)^{1/2}$[сек]
Скорость света :	c_o[см/сек]	$c = c_o/(1-{\beta_o}^2)^{1/2}$[см/сек]
Масса покоя :	m_o[г]	$m_0 = m_o(1-{\beta_o}^2)$[г]
ПостояннаяПланка :	$\hbar_o$[эрг $\cdot$ сек]	$\hbar(1-{\beta_o}^2)^{1/2}$[эрг $\cdot$ сек]
Электрический заряд :	e_o[Кул]	$e = e_o$[Кул]
Постоянная тонкой структуры :	α_o[0]	$\alpha = \alpha_o$[0]

Отсюда видно, за исключением собственной длины, электрического заряда и постоянной тонкой структуры значения остальных величин зависят от скорости движения системы K относительно K_o. Состояние равномерного и прямолинейного движения произвольной лабораторной системы отсчета K относительно выделенной системы K_o оказывает влияние на значения размерных величин скорости света, времени, массы покоя, постоянной Планка. (В рамках избранной модели. В других теоретических моделях влияет и на величину единицы собственной длины, и на величину электрического заряда [16, 88]). С ростом скорости движения лабораторной системы отсчета К относительно выделенной системы K_o увеличивается и скорость света c, хотя сама величина скорости перемещения U_o в системе K_o ограничена сверху значением c_o. Уменьшаются собственная единица времени и величина массы покоя. Естественно задаться вопросом о наблюдаемости этих эффектов в эксперименте.

Здесь важно определить, что мы понимаем под наблюдением. В экспериментальной физике наблюдение - это совокупность измерительных операций. Каждый раз в процессе определения длины, времени, массы используется некоторые условные единицы измерений, например, длина волны красной линии кадмия, период колебания кварцевой пластинки, эталонная масса платино-иридиевого сплава [5]. Эти эталонные единицы мы и наделяем собственно размерностью длины [см], времени [сек], массы [г]. Результаты измерений указывают, сколько раз избранный эталон укладывается в измеряемом объекте [59]. Имея это в виду, для произвольных отрезков длины L, времени T и величины массы M в системах отсчета K_o и K можем написать: $L_o = l_{\text{эксп}} l_o$, $L_0 = l_{\text{эксп}} l_0$; $T_o = t_{\text{эксп}} t_o$, $T_0 = t_{\text{эксп}} t_0$; $M_o = m_{\text{эксп}} m_o$, $M_0 = m_{\text{эксп}} m_0$. Поскольку любая из размерных единиц при переходе $\mathrm{K}_o \to \mathrm{K}$ преобразуется одинаковым образом ($L_0 = L_o$, $l_0 = l_o$, $T_0 = (1-{\beta_o}^2)^{1/2} T_o$, $t_0 = (1-{\beta_o}^2)^{1/2} t_o$ и т.д.), то собственные значения отрезков безразмерной физической длины $l_{\text{эксп}}$, безразмерного физического времени $t_{\text{эксп}}$ и массы $m_{\text{эксп}}$, а также безразмерной скорости света $c_{\text{эксп}}$ оказываются инвариантами преобразований [16]:

$$l_{\text{эксп}} - inv;\ t_{\text{эксп}} - inv;\ m_{\text{эксп}} - inv;\ c_{\text{эксп}} - inv. \tag{54}$$

В случае величины $c_{\text{эксп}}$ в этом можно убедиться при анализе трансформационного свойства экспериментального значения скорости света, измеренного путем отражения света от неподвижного зеркала: $c'_{\text{эксп}} = (2\Delta {x_0}'/{l_0}')/(\Delta {T_0}'/{t_0}') = c' {t_0}'/{l_0}' = c t_0/l_0 = c_{\text{эксп}}$, где $\Delta {x_0}'$ - расстояние между излучателем и зеркалом, $\Delta {T_0}'$ - время прохождения светового сигнала "туда и обратно", ${l_0}'$ и ${t_0}'$ - пространственно-временные единицы измерения в системе отсчета K', c' - математическое значение скорости света. Смысл нештрихованных величин аналогичен. Отсюда следует, кинематические эффекты Таблицы 1 экспериментально не наблюдаемы [16]. Поскольку любую размерную величину можно представить в виде произведения трех основных размерностей $[\text{см}]^a[\text{сек}]^b[\text{г}]^c$, где a, b, c - целые или полуцелые положительные или отрицательные вещественные числа [49], то соотношения инвариантности будут выполняться и для других безразмерных значений размерных физических величин, в частности, постоянной Планка. Кинематическая параметризация постоянной Планка оказывается также экспериментально не наблюдаемой. Отмеченные особенности можно объяснить и по другому: в релятивистской физике скорость света и время существуют не порознь, а всегда в виде произведения. Поэтому уменьшение значения собственной единицы времени в точности компенсируется возрастанием скорости света, сохраняя неизменным произведение $c't' = ct$ - inv (опущены нижние индексы). Случай массы покоя и постоянной Планка аналогичен. Инвариантами преобразований являются не сами величины m и $\hbar$, а произведения mc^2 - inv и $\hbar c$ - inv. Уравнения электродинамики сформулированы так, что они не зависят от абсолютного (численного) значения скорости света, что в рассматриваемом случае закодировано в инвариантном соотношении $c't' = ct = c_o t_o$ - inv. Более того, уравнения электродинамики инвариантны и относительно замены знака скорости света, то-есть относительно дискретного преобразования $c \to -c$ [101]. Таким образом, можно утверждать, что закон преобразования скорости света в форме Абрагама не противоречит эксперименту в рамках соотношения $c't' = ct$ - inv и удовлетворяет принципу относительности в более широком понимании. А именно, *законы электродинамики не должны зависеть не только от состояния равномерного и прямолинейного движения, но также и от абсолютного значения и знака скорости света* [34, 101].

* * *

В итоге в рамках пассивной точки зрения на рассмотренные преобразования с нарушенной инвариантностью скорости света можно сформулировать следующие утверждения [16]:

- в рамках "пассивной точки зрения" принцип относительности в существующей формулировке относится к физическому, безразмерному пространству-времени;

- свойства математического пространства-времени конвенциальны [48] и допускают существование ненаблюдаемого эфира;

- стремления авторов [38, 39, 45, 107, 108] на основе рассмотренных преобразований, или подобных им, подвергнуть ревизии экспериментальные основы СТО представляются внутренне противоречивыми; на теоретико - групповом уровне эта особенность может быть осознана как проявление дополнительной симметрии уравнений электродинамики относительно преобразований времени-скорости света $t' = \gamma^{-1}t$, $c' = \gamma c$ ($c't' = ct$ - inv);

- принцип относительности (например, в формулировке [35]) допускает расширение: законы электродинамики не должны зависеть не только от состояния равномерного и прямолинейного движения, но также и от абсолютного значения и знака скорости света;

- изложенную теоретическую модель можно квалифицировать как *СТО с неинвариантной скоростью света* (математический символ c, входящий в уравнения Максвелла).

Эта модель обладает некоторым специфическим свойством. Ввиду ее $P_{10}XG_3{}^{Vir}$ - инвариантности, здесь полевые функции должны преобразовываться по представлениям этой группы (в СТО по представлениям группы P_{10}). В соответствии с размерностью группы $G_3{}^{Vir}$, релятивистские поля могут группироваться в специфические мультиплеты размерностью три. (Подобно тому, как в нейтринной физике существует три типа нейтрино - электронное, мюонное и тау). 3 - мультиплетов может быть бесконечно много, поскольку $G_3{}^{Vir}$ является конечномерной подгруппой бесконечной группы, порождаемой бесконечно-мерной алгеброй Вирасоро. Тем самым СТО с неинвариантной скоростью света обладает дополнительными классификационными возможностями.

4 Локальный принцип относительности

Активная точка зрения на пространственно-временные преобразования с неинвариантной скоростью света подразумевает, что формально математическое неравенство $c \neq c$ должно сопровождаться физически наблюдаемыми следствиями, отличными от предсказаний СТО и родственных ей теорий. Одно из очевидных следствий такого рода - это возможность существования сверхсветового движения. Несмотря на длительный период ведущихся исследований, начиная с работы Абрагама 1908 г. [46], продвижение здесь довольно незначительное. Сложившаяся ситуация определяется, по-видимому:

1. Огромным влиянием идей, результатов и формально - математического аппарата СТО.

2. Возможностью формулировки уравнений электродинамики с реализацией пассивной точки зрения в рамках преобразований пространства - времени - скорости света, принадлежащих группе прямого произведения $P_{10}X\Delta_1'$, где Δ_1' - группа масштабных преобразований времени-скорости света $c' = \gamma c,\ t' = \gamma^{-1}t,\ c't' = ct,\ c = \mathrm{const}$.

3. Отсутствием четкого осознания необходимости замены постулата инвариантности скорости света $c' = c$ на некоторый эквивалентный постулат, совместный с возможностью сверхсветовых движений без нарушения принципа относительности.

Имея это в виду, можно последовательно реализовать "активную точку зрения" на преобразования пространства-времени с нарушенной инвариантностью скорости света, и учесть критическое замечание Паули [46] по поводу нарушения принципа относительности в случае реализации формулы Абрагама (2).

С этой целью обратимся к понятию выделенной системы отсчета из предыдущего раздела. Предположим, что физически выделенная система отсчета K_o существует на самом деле и может быть связана с излучателем. Следуя Ритцу примем, что скорость света относительно излучателя равна $c_o = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Пополним инфинитезимальные преобразования (18) и основанную на них модель с уравнениями движения (36), (37), (40) дополнительным физическим элементом. Предположим, что состояние движения (равномерное, или неравномерное) не оказывает влияния на собственные значения скорости света c_0, постоянной Планка $\hbar_0$, постоянной тонкой структуры α и собственные значения других физических величин, например, собственной длины l_0, собственного времени t_0, собственного значения частоты колебаний ω_0, массы покоя m_0, электрического заряда e. В процессе движения они сохраняют инвариантные значения:

$$\begin{gathered} c'_0 = c_0 = c_o = 3 \cdot 10^{10} \text{см/сек}; \\ \hbar'_0 = \hbar_0 = 1,0 \cdot 10^{-27} \text{эрг} \cdot \text{сек}; \\ \alpha' = \alpha = \tfrac{1}{137}; \\ l'_0 = l_0;\ t'_0 = t_0;\ \omega'_0 = \omega;\ m'_0 = m_0;\ e' = e. \end{gathered} \tag{55}$$

Здесь постоянная тонкой структуры и электрический заряд помимо локальной обладает также свойством инвариантности глобальной ввиду выбора интеграла действия в виде (29): $c\hbar = c_0\hbar_0$, $e = e_0$. Свойство локальной инвариантности для них выполняется автоматически.

Гипотезу независимости собственных значений физических величин от состояния движения условимся называть локальным принципом относительности в отличие от принципа относительности в известной формулировке Пуанкаре [48], когда "... законы природы должны быть одинаковыми для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, совершающего равномерное поступательное движение, ...", который будем называть классическим. (Здесь скорость света сохраняет инвариантное значение в интервале скоростей от нуля до бесконечности). Теоретическую модель, реализующую локальный принцип относительности в плоском пространстве-времени в сочетании с гипотетическим свойством времени $dt_o = dt = dt'$, условимся называть *локальной специальной теорией относительности* (ЛСТО, LSR)) в отличие от классической *специальной теории относительности* (СТО, SR).

5 Локальная СТО

5.1 Аксиоматика

Помня, что индекс "o" относится к величине интервала, отрезкам времени и значению скорости света в выделенной системе системе отсчета K_o, имеем:

$$\begin{gathered} c_o = c_0 = c'_0; \\ d{s_o}^2 = ds^2 = ds'^2 \to {c_o}^2 d{t_o}^2 - d{\mathbf{x}_o}^2 = c^2 dt^2 - d\mathbf{x}^2 = c'^2 dt'^2 - d\mathbf{x}'^2; \\ dt_o(\mathbf{x}_o = 0) = dt(\mathbf{x}) = dt'(\mathbf{x}'); \end{gathered} \tag{56}$$

Условимся отождествлять выделенную систему отсчета K_o с системой отсчета сопутствующей и вместо индекса o в дальнейшем будем использовать индекс 0.

5.2 Инфинитезимальные преобразования пространства-времени-скорости света

Переход от сопутствующей системы отсчета K_0 к движущейся системе K, обратный переход:

$$
\begin{gathered}
dx_0 = \frac{dx - vdt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};\ dy_0 = dy;\ dz_0 = dz;\ dt_0 = \frac{dt - vdx/c^2}{1-\frac{v^2}{c^2}};\\
c_0 = c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}};\\
dx = \frac{dx_0 - v_0 dt_0}{\sqrt{1-\frac{{v_0}^2}{{c_0}^2}}};\ dy = dy_0;\ dz = dz_0;\ dt = dt_0 - \frac{v_0 dx_0}{{c_0}^2};\\
c = \frac{c_0}{\sqrt{1-\frac{{v_0}^2}{{c_0}^2}}};\\
\frac{v}{c} = -\frac{v_0}{c_0};\ (1-\frac{v^2}{c^2})\cdot(1+\frac{v^2}{{c_0}^2}) = 1
\end{gathered}
\tag{57}
$$

Переход от произвольной системы отсчета K' к системе отсчета K:

$$
\begin{gathered}
dx' = \frac{dx - Vdt}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ dy' = dy;\ dz' = dz;\ dt' = \frac{dt - Vdx/c^2}{1-\frac{Vv_x}{c^2}};\\
c' = c\frac{1-\frac{Vv_x}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\\
\frac{V'}{c'} = -\frac{V}{c}.
\end{gathered}
\tag{58}
$$

Обратные преобразования получаются перестановкой штриха. Строчными буквами $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ и $\mathbf{v}' = (v'_x, v'_y, v'_z)$ обозначены локальные значения скорости системы отсчета K' и K_0 (исследуемого тела) относительно наблюдателя K. Прописная буква $\mathbf{V} = (V, 0, 0)$ обозначает локальное значение скорости движения системы отсчета K' относительно K. Существенно, что в локальной теории скорость $\mathbf{V}$ может зависеть от пространственно-временной точки $(\mathbf{x}, t)$ в отличие от СТО и СТО с неинвариантной скоростью света, где скорость движения $\mathbf{V}$=const. Поскольку в приведенных соотношениях выбор сопутствующей системы отсчета K' является произвольным, то в теории отсутствует выделенная система отсчета. В сочетании с принципом относительности, понимаемым локально, это означает, что возражения Паули [46] относительно свойств скорости света в формуле Абрагама может быть снято, и формула Абрагама допускает интерпретацию в релятивистском смысле.

5.3 Общие свойства движения в локальной СТО

5.3.1 Квази-единое время

Из соотношений $c'_0 dt'_0 = c_0 dt_0$ и $c'_0 = c_0$ в сочетании в правилом преобразования отрезков времени в формулах (57), (58) $dt' = dt = dt_0$ вытекает, что $dt' = dt = dt'_0 = dt_0$. Это означает отсутствие эффекта замедления времени в смысле СТО на траектории движения сопутствующей системы отсчета. В результате на траектории движения реализуется некоторый релятивистски инвариантный аналог единого времени Ньютона.

5.3.2 Сокращение длин

По аналогии с СТО из формул (57) также следует, что в модели сохраняется кинематический эффект сокращения длин, поскольку при $dt = 0$ (измерения длины отрезка dx_0 производятся в один и тот же момент времени по часам K) имеем $dx = \sqrt{1 - {v_0}^2/{c_0}^2} dx_0$. Полученный результат формально совпадает с результатом СТО. Однако формула записана в терминах скорости движения v_0 системы отсчета K относительно излучателя K_0. В СТО это обстоятельство не играет роли в силу соотношения $v = -v_0$. В локальной теории следует перейти к наблюдательным величинам v и c_0. Учитывая инвариантность собственной длины dx_0 - inv и взаимосвязь $(1 - v^2/c^2) \cdot (1 + v^2/{c_0}^2) = 1$, вытекающую из закона преобразования скорости света, окончательно получаем $dx = dx_0/\sqrt{1 + v^2/{c_0}^2}$, то-есть сокращение длин имеет место, но по другому закону.

5.3.3 Квадратичная зависимость скорости света от скорости излучателя

При наблюдении фотона, испущенного движущимся со скоростью v телом, скорость фотона для наблюдателя из системы отсчета K окажется равной

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 - \frac{{v_0}^2}{{c_0}^2}}} = c_0 \sqrt{1 + \frac{v^2}{{c_0}^2}} > c_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}. \tag{59}$$

Скорость движения излучателя и скорость света относительно излучателя в (59) складываются квадратично, вследствие чего отсутствует зависимость скорости света от направления излучения, что было присуще теории Ритца. Кроме того и в отличие от СТО здесь скорость света c всегда превышает скорость света c_0 от источника неподвижного, и при $V \to \infty$ стремится к бесконечности. Тем самым координаты события (в данном случае акта испускания фотона) определяются не только пространственными переменными $\mathbf{x}$ и временем t, но и пятой координатой фотона c. Смысл оси c этом случае состоит в допустимости всевозможных значений скорости света $c \geq c_0$ для наблюдателя K [18]. Параметр $\gamma = c_0/c$ можно интерпретировать как отношение собственного значения скорости света в системе K к значению скорости света, испущенного источником K_0 и зарегистрированного в системе K. Для наблюдателя K спектр значений скоростей света может простираться от величины c_0 до бесконечности в соответствии с результатом (59). То-есть величина скорости света, испущенная космическими излучателями, должна всегда превышать значение скорости света, полученное в наземных экспериментах. Формулу $c' = c(1 - Vv_x/c^2)/(1 - V^2/c^2)^{1/2}$ из (58) следует рассматривать как взаимосвязь между значениями скоростей света, измеренных в произвольных системах отсчета K' и K, где V - скорость движения системы K' относительно K. Уравнения движения остаются инвариантными, когда их записывают в новых переменных для преобразованных величин массы, скорости света, электромагнитного поля и т.д. Согласно трансформационным свойствам 3-скорости (24) ($V = c$, $\mathbf{c}' = (c', 0, 0)$, $v_x/c = (1 + V/c)/(1 + V/c) = 1$), скорость движущегося излучающего тела не может превосходить величины скорости испущенного им света c, но естественно может превышать скорость света $c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек от неподвижного излучателя. В этом смысле сверхсветовое движение и запрещено, и одновременно разрешено. Все зависит от того смысла, который вкладывается в это утверждение. Сверхсветовое движение разрешено в том смысле, что скорость материального тела может превышать собственное значение скорости света $c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек в системе отсчета наблюдателя. Сверхсветовое движение запрещено в том смысле, что скорость материального тела не может быть больше скорости фотона, испущенного (реально или потенциально) этим телом.

5.4 Обобщенный импульс

Подставим выражение для скорости света $c = c_0(1 + v^2/{c_0}^2)^{1/2}$ из формулы (59) в выражение (31), учитывая, что здесь v - мгновенная скорость движения частицы. В результате находим:

$$\mathbf{p}^* = \frac{mc\mathbf{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{mc^2\mathbf{v}}{c_0} = m_0c_0\mathbf{v}. \qquad (60)$$

Здесь принято во внимание, что $c(1-v^2/c^2)^{1/2} = c_0$, а также свойство инвариантности комбинации mc^2, входящей в интеграл действия (29). Замена $mc^2 \to m_0{c_0}^2$ в выражении для обобщенного импульса приводит к окончательному результату $\mathbf{p}^* = m_0c_0\mathbf{v}$. При $v \to \infty$ абсолютное значение обобщенного импульса стремится к бесконечности. Выражение для импульса в стандартном понимании принимает вид

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{p}^*}{c} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0\mathbf{v}}{\sqrt{1+\frac{v^2}{{c_0}^2}}} = \frac{m_0c_0\mathbf{v}}{c}. \qquad (61)$$

При $v \to \infty$ величина $p \to m_0c_0$=const.

5.5 Энергия

Подставим в выражение для энергии из формулы (32) величину скорости света c и учтем, что $mc^2 = m_0{c_0}^2$. Тогда

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = m_0{c_0}^2\sqrt{1+\frac{v^2}{{c_0}^2}} = m_oc_0c. \qquad (62)$$

Как и в СТО, с ростом скорости v увеличивается и энергия частицы, но по другому закону. При малых скоростях, когда $v^2/{c_0}^2 << 1$, величина энергии зависит от скорости квадратично $E \approx m_0{c_0}^2 + m_0v^2/2$, как и в СТО [35]. С ростом скорости v величина энергии стремится к абсолютному значению обобщенного импульса $\mathbf{p}^*$: $E \to cp \approx m_0c_0v$, то-есть зависимость энергии от скорости движения становится линейной.

5.6 Взаимосвязь между энергией и импульсом

Между обобщенным импульсом и энергией как для материальной частицы, так и для частицы с нулевой массой покоя в переменных c и c_0 сохраняются прежние взаимосвязи:

$$E^2 - {\mathbf{p}^*}^2 = E^2 - c^2\mathbf{p}^2 = {m_0}^2{c_0}^4(1+\frac{v^2}{{c_0}^2}) - {m_0}^2{c_0}^2\mathbf{v}^2 = {m_0}^2{c_0}^4; \qquad (63)$$

$$\mathbf{p}^* = c\mathbf{p} = \frac{E\mathbf{v}}{c}, \ p^* = cp = \beta E; \tag{64}$$

$$p^* = cp = E, \text{ если } m_0 = 0, \ \beta = 1. \tag{65}$$

Введем нижний индекс lsr для величин в локальной теории (ЛСТО, LSR), и индекс sr для тех же величин в СТО (SR). Тогда взаимосвязь между скоростью и энергией в том и другом случае можем записать как

$$v_{lsr} = c_0 \frac{\sqrt{(E_{lsr} - E_0)(E_{lsr} + E_0)}}{E_0} \to \infty, \text{ если } E_{lsr} \to \infty; \tag{66}$$

$$v_{sr} = c_0 \frac{\sqrt{(E_{sr} - E_0)(E_{sr} + E_0)}}{E_{sr}} \to c_0, \text{ если } E_{sr} \to \infty, \tag{67}$$

где $E_0 = m_0 {c_0}^2$. В соответствии с принятым постулированием, поведение величин v_{lsr} и v_{sr} с ростом энергии существенно различное. В СТО скорость частицы не превышает скорости света, в локальной теории - ЛСТО - стремится к бесконечности.

Найдем взаимосвязь между скоростями v_{lsr} и v_{sr}, при которой энергии частицы совпадают. Имеем при $E_{lsr} = E_{sr}$:

$$\begin{aligned} E_{lsr} &= E_0\sqrt{1 + \frac{{v_{lsr}}^2}{{c_0}^2}}; \ E_{sr} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{{v_{sr}}^2}{{c_0}^2}}}; \\ v_{lsr} &= \frac{v_{sr}}{\sqrt{1 - \frac{{v_{sr}}^2}{{c_0}^2}}}; \ v_{sr} = \frac{v_{lsr}}{\sqrt{1 + \frac{{v_{lsr}}^2}{{c_0}^2}}}. \end{aligned} \tag{68}$$

Отсюда видно, когда скорость частицы в СТО приближается к скорости света, соответствующее ей значение скорости в ЛСТО при равной энергии стремится к бесконечности. И наоборот, если $v_{lsr} \to \infty$, то $v_{sr} \to c_0$, как и положено в СТО. При равной энергии в локальной теории скорость движения частицы всегда больше, нежели в СТО $(v_{lsr} > v_{sr})$.

Величина отношения $E_{lsr}/E_{sr} = \sqrt{1 + v^2/{c_0}^2} \cdot \sqrt{1 - v^2/{c_0}^2} = f(v)$ монотонно $((f'(v) < 0)$ меняется от единицы до нуля, если $0 \leq v \leq c_0$. Поэтому при одинаковых ненулевых скоростях движения в диапазоне скоростей $v \leq c_0$ значение энергии в локальной теории всегда меньше, чем в СТО $(E_{lsr} < E_{sr})$.

5.7 Энергия и сверхсветовое движение

Выражение для обобщенного импульса (60) и взаимосвязь между обобщенным импульсом и энергией (63) позволяют найти пороговую энергию, начиная с которой частица может совершать сверхсветовое движение. Записывая $cp = \sqrt{E^2 - m_0{}^2 c_0{}^4}$ и $cp = m_0 c_0 v$, с помощью соотношения $v = \sqrt{E^2 - m_0{}^2 c_0{}^4}/m_0 c_0$ находим, что частица будет двигаться со сверхсветовой скоростью $v \geq c_0$, если ее энергия будет удовлетворять неравенству

$$E \geq \sqrt{2} E_0, \tag{69}$$

где через $E_0 = m_0 c_0{}^2$ обозначена энергия покоя соответствующей частицы. Воспользуемся данными [58] для энергий покоя наиболее характерных частиц, к которым отнесем: электрон, протон, нейтрон, "мю" и "пи" мезоны. С помощью (69) получаем, что эти частицы в рамках ЛСТО могут двигаться со сверхсветовыми скоростями, начиная со следующих пороговых энергий:

$$\begin{array}{lll}
\text{Электрон}: & E_0 = 511 \text{ кэВ}, & E_{\text{пор}} = \ 723 \text{ кэВ}; \\
\text{Протон}: & E_0 = 938 \text{ МэВ}, & E_{\text{пор}} = 1327 \text{ МэВ}; \\
\text{Нейтрон}: & E_0 = 940 \text{ МэВ}, & E_{\text{пор}} = 1329 \text{ МэВ}; \\
\mu^{+,-} \text{мезоны}: & E_0 = 106 \text{ МэВ}, & E_{\text{пор}} = \ 150 \text{ МэВ}; \\
\pi^{+,-} \text{мезоны}: & E_0 = 140 \text{ МэВ}, & E_{\text{пор}} = \ 198 \text{ МэВ}; \\
\pi^{0} \text{мезон}: & E_0 = 135 \text{ МэВ}, & E_{\text{пор}} = \ 191 \text{ МэВ}.
\end{array} \tag{70}$$

Отсюда видно, что нейтронная физика ядерных реакторов как в СТО, так и в ЛСТО может быть описана в нерелятивистском приближении. Электроны с энергией $E > 723$ кэВ (например, из радиоактивного распада) должны быть сверхсветовыми частицами. Физика элементарных частиц на современных ускорителях типа Серпуховского с энергией протонного пучка 66 ГэВ (1 ГэВ=1000 МэВ) в рамках ЛСТО, если бы она реализовалась в действительности, должна быть физикой сверхсветовых движений.

5.8 Уравнения Максвелла

$$\begin{array}{ll}
\nabla \text{X} \mathbf{E} + \dfrac{1}{c_0\sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}}}\dfrac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0; & \nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho; \\
\nabla \text{X} \mathbf{H} - \dfrac{1}{c_0\sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}}}\dfrac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 4\pi\rho\dfrac{\mathbf{v}}{c_0\sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}}}; & \nabla \cdot \mathbf{H} = 0.
\end{array} \tag{71}$$

Здесь $\mathbf{v}$ - скорость частицы; $c = c_0(1 + v^2/c_0{}^2)^{1/2}$ - координата частицы по оси c (величина скорости света в лабораторной системе K, как если бы свет был испущен движущейся частицей); c_0 - собственное значение скорости света в системе K.

5.9 Уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле

5.9.1 Следствие вариационного принципа и квадратичной зависимости скорости света от скорости излучателя

С помощью уравнения (36) находим:

$$\frac{d(c\mathbf{p})}{dt} = \mathbf{p}\frac{dc}{dt} + c\frac{d\mathbf{p}}{dt} = ce\mathbf{E} + e\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H} \to \frac{d\mathbf{p}}{dt} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c}\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H} - \frac{\mathbf{p}}{c}\frac{dc}{dt}, \qquad (72)$$

где слагаемое $-\mathbf{p}dc/cdt$ можно интерпретировать, как реакцию частицы на изменение ее положения по оси c. Из уравнения следует, в отсутствии внешних сил производная $d(c\mathbf{p})/dt = 0$, и произведение $c\mathbf{p}$ сохраняет постоянное значение $c(t)\mathbf{p}(t) = c(0)\mathbf{p}(0)$. Соотношение будет выполняться, если положить $c(t) = c(0)$=const, $\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}(0)$=const. Следовательно, в отсутствии внешних сил обобщенный импульс $c\mathbf{p}$, а также порознь импульс $\mathbf{p}$ и скорость света c сохраняют смысл интегралов движения.

В силу $c\mathbf{p} = m_0c_0\mathbf{v}$ $d(c\mathbf{p})/dt = m_0c_0\mathbf{a}$ ($\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$ - ускорение) уравнение движения можно переписать в более простом виде

$$m_0c_0\mathbf{a} = ce\mathbf{E} + e\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H}, \qquad (73)$$

либо в эквивалентной форме

$$\frac{m_0c_0}{c}\mathbf{a} = \frac{m_0}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}}}\mathbf{a} = M\mathbf{a} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c}\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H}. \qquad (74)$$

Величину $M = m_0/\sqrt{1+v^2/c_0{}^2}$ здесь, по аналогии со СТО, можно интерпретировать как массу движения частицы с соответствующей формулировкой выражений для энергии и импульса в виде $E = Mc^2 = m_0c_0{}^2\sqrt{1+v^2/c_0{}^2}$; $\mathbf{p} = M\mathbf{v} = m_0\mathbf{v}/\sqrt{1+v^2/c_0{}^2}$. Отличие от СТО в этом случае, как видим, состоит в уменьшении массы движения с ростом скорости. Но можно этого и не делать и основываться непосредственно на уравнении (73) без обращения к понятию массы движения и преобразовать это уравнение, а также уравнение изменения энергии со временем, к виду

$$\begin{gathered} m_0\mathbf{a} = \frac{c}{c_0}e\mathbf{E} + \frac{e}{c_0}\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H} \to m_0\mathbf{a} = \sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}}e\mathbf{E} + \frac{e}{c_0}\mathbf{v}\text{x}\mathbf{H}; \\ \frac{dE}{dt} = e\mathbf{v}\cdot\mathbf{E} \to m_0\frac{dc}{dt} = \frac{e}{c_0}\mathbf{v}\cdot\mathbf{E}. \end{gathered} \qquad (75)$$

Из них первое напоминает уравнение Лоренца в нерелятивистской теории с поправочным множителем c/c_0 в правой части перед силой электрического взаимодействия. Смысл понятия массы частицы как меры инерции в процессе движения в этом случае не затрагивается. Масса частицы остается неизменной. Рост обобщенного импульса $\mathbf{p}^* = c\mathbf{p} = m_0 c_0 \mathbf{v}$ происходит за счет увеличения скорости частицы $\mathbf{v}$. Увеличение энергии $E = m_0 c_0 c = m_0 {c_0}^2 \sqrt{1 + v^2/{c_0}^2}$ обусловлено ростом скорости света $c = c_0 \sqrt{1 + v^2/{c_0}^2}$. Здесь $c_0 \sqrt{1 + v^2/{c_0}^2} = c$ - величина скорости света в уравнениях Максвелла и уравнениях движения заряженной частицы; через $\mathbf{v}$ обозначена скорость движения электрического заряда в (71), и скорость движения электрически заряженной частицы в (75); ρ - плотность заряда; $\mathbf{p}$ импульс частицы; E - ее энергия. Если здесь положить $\mathbf{v} = 0$, то-есть перейти к сопутствующей системе отсчета K_0, то уравнения движения упрощаются и переходят в те же уравнения Ньютона, что и в СТО.

5.9.2 Вывод уравнений движения заряженной частицы, исходя из уравнения Ньютона

Уравнение (75) может быть также получено путем преобразования уравнения Ньютона $m'_0 \mathbf{a}' = e' \mathbf{E}'$ от сопутствующей системы отсчета K' к движущейся системе K, буквально повторяя выкладки [46, 60]. Для этого воспользуемся формулами преобразования электромагнитного поля (45) в сочетании с трансформационными свойствами массы покоя и электрического заряда (55). Введем локальную безразмерную 3-скорость $\mathbf{u}$, 4-скорость U и 4-ускорение B:

$$\begin{aligned} \mathbf{u} = \frac{\mathbf{v}}{c};\ U = (\mathbf{U}, \mathrm{U}_4) = \left(\frac{d\mathbf{x}}{ds}, \frac{dx_4}{ds}\right) = \left(\frac{\mathbf{u}}{\sqrt{1-u^2}}, \frac{i}{\sqrt{1-u^2}}\right); \\ B = (\mathbf{B}, \mathrm{B}_4) = \frac{dU}{ds} = \left(\frac{\dot{\mathbf{u}}}{c(1-u^2)} + \frac{\mathbf{u}(\mathbf{u}\cdot\dot{\mathbf{u}})}{c(1-u^2)^2}, \frac{i(\mathbf{u}\cdot\dot{\mathbf{u}})}{c(1-u^2)^2}\right), \end{aligned} \tag{76}$$

где точкой обозначена производная по времени $\dot{\mathbf{u}} = d\mathbf{u}/dt$. В сопутствующей системе отсчета $U' = (0, 0, 0, i)$, $B' = (\dot{\mathbf{u}}'/c', 0)$. Воспользуемся матрицей преобразования (6.1.20), где обозначим $\beta = u_1 = u$. Используя трансформационные свойства 4-ускорения $B'_a = L_{ab} B_b$, можем написать

$$\frac{\dot{u}'_1}{c'} = \frac{\dot{u}_1}{c(1-u^2)^{3/2}};\ \frac{\dot{u}'_2}{c'} = \frac{\dot{u}_2}{c(1-u^2)};\ \frac{\dot{u}'_3}{c'} = \frac{\dot{u}_3}{c(1-u^2)}. \tag{77}$$

Это в точности совпадает с формулами преобразования 3-ускорения при переходе от сопутствующей к движущейся системе отсчета [46, 60], если положить $c' = c$. Однако в ЛСТО трансформационные свойства скорости света иные, поскольку $c' = c_0 = c\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Учитывая $\dot{\mathbf{u}} = (c\dot{\mathbf{v}} - \mathbf{v}\dot{c})/c^2$ находим, что закон преобразования 3-ускорения в ЛСТО имеет вид:

$$a'_1 = a_1 \frac{c}{c_0} - v_1 \frac{\dot{c}}{c_0};\ a'_2 = a_2 - v_2 \frac{\dot{c}}{c};\ a'_3 = a_3 - v_3 \frac{\dot{c}}{c}. \tag{78}$$

Подставляя эти выражения в уравнение Ньютона в сопутствующей системе отсчета, находим, что в движущейся системе отсчета K оно может быть записано в ковариантной форме как

$$m_0 {c_0}^2 \frac{d}{dx^0} \left(\frac{\mathbf{u}}{\sqrt{1 - u^2}} \right) = e\mathbf{E} + e\mathbf{u}\mathrm{x}\mathbf{H}. \tag{79}$$

Ему соответствует ковариантная форма закона изменения энергии со временем

$$\frac{dE}{dx^0} = e\mathbf{E} \cdot \mathbf{u}, \tag{80}$$

где $dx^0 = cdt$. Учитывая здесь $\mathbf{u} = \mathbf{v}/c$, получаем искомое уравнение (75): $m_0 {c_0}^2 d(c\mathbf{u}/c_0)/cdt = e\mathbf{E} + e\mathbf{u}\mathrm{x}\mathbf{H} \to m_0 c_0 d\mathbf{v}/cdt = e\mathbf{E} + e\mathbf{v}\mathrm{x}\mathbf{H}/c \to m_0\mathbf{a} = (c/c_0)e\mathbf{E} + (e/c_0)\mathbf{v}\mathrm{x}\mathbf{H}$. Запись уравнений движения в форме (79) автоматически приводит к трем частным случаям: при $c' = c$ - inv здесь содержатся уравнения СТО; при $c' \neq c$, $c't'_0 = ct_0$ - inv реализуются уравнения СТО с неинвариантной скоростью света; постулирование $c' \neq c$, $c'_0 = c_0$ - inv приводит к уравнениям ЛСТО.

Обратимся к простейшим случаям интегрирования уравнения (75).

5.10 Интегрирование уравнения движения заряженной частицы

5.10.1 Заряженная частица в постоянном однородном электрическом поле

Рассмотрим двумерное движение в плоскости (x_1, x_2). Пусть $\mathbf{E} = (E_1, 0, 0)$, $\mathbf{H} = (0, 0, 0)$, $\mathbf{v} = (v_1, v_2, 0)$. Подставим эти величины в уравнение (75) с начальными условиями $\mathbf{v}(0) = (0, v_2(0), 0)$.

$$\begin{aligned} dv_1 &= \sqrt{1 + \frac{{v_1}^2(t)}{{c_0}^2} + \frac{{v_2}^2(0)}{{c_0}^2}} \frac{eE_1}{m_0} dt; \\ dv_2 &= 0; \\ dv_3 &= 0. \end{aligned} \tag{81}$$

Интегрируя, находим:

$$\begin{aligned}
&\int \frac{d\beta_1}{\sqrt{1+{\beta_1}^2+{\beta_2}^2}} = Arsh\left[\frac{v_1(t)}{c_0\sqrt{1+\frac{{v_2}^2}{{c_0}^2}}}\right] = \frac{eE_1 t}{m_0 c_0};\\
&v_2(t) = v_2(0);\\
&v_3(t) = v_3(0) = 0,
\end{aligned} \tag{82}$$

где $\beta_1 = v_1(t)/c_0$, $\beta_2 = v_2(0)/c_0$. Для зависимости скорости частицы по оси иксов от времени отсюда получаем:

$$v_1(t) = c_0\sqrt{1+\frac{{v_2}^2(0)}{{c_0}^2}} Sh\frac{eE_1 t}{m_0 c_0}. \tag{83}$$

При $t \to \infty$ величина скорости частицы стремится к бесконечности по экспоненциальному закону:

$$v_1(t) \to \frac{c_0}{2} e^{\frac{eE_1 t}{m_0 c_0}}. \tag{84}$$

В приближении $t < (m_0 c_0)/(eE_1)$, $v_2(0)/c_0 < 1$ выражение для скорости, как и в СТО, совпадает с соответствующим выражением в нерелятивистской теории

$$v_1(t) \sim \frac{eE_1 t}{m_0}. \tag{85}$$

Зависимость координат частицы от времени при нулевых начальных условиях $x_1(0) = 0,\ x_2(0) = 0,\ x_3(0) = 0$ дается формулами

$$\begin{aligned}
&x_1(t) = \int v_1 dt = \frac{m_0 {c_0}^2}{eE_1}\sqrt{1+\frac{{v_2}^2(0)}{{c_0}^2}}\left[Ch\frac{eE_1 t}{m_0 c_0} - 1\right];\\
&x_2(t) = v_2(0)t;\\
&x_3(t) = 0.
\end{aligned} \tag{86}$$

Подставляя в первую формулу выражение $t = x_2/v_2(0)$, находим уравнение для траектории движения частицы:

$$x_1 = \frac{m_0 {c_0}^2}{eE_1}\sqrt{1+\frac{{v_2}^2(0)}{{c_0}^2}}\left[Ch\frac{eE_1 x_2}{m_0 c_0 v_2(0)} - 1\right]. \tag{87}$$

Для сравнения, аналогичное уравнение в СТО имеет вид: $x_1 = (m_0 {c_0}^2/eE_1) Ch(eE_1 x_2\sqrt{1-{v_2}^2(0)/{c_0}^2}/m_0 c_0 v_2(0))$ [35]. Как и (87), оно описывает тот же тип кривой - цепную линию. При малых поперечных импульсах, когда $v_2{}^2(0)/c_0{}^2 << 1$, обе траектории совпадают (с точностью до начальных условий).

Координата частицы по оси c дается выражением

$$c = c_0\sqrt{1+\frac{v^2}{c_0{}^2}} = c_0\sqrt{\left[1+\left(1+\frac{v_2{}^2(0)}{c_0{}^2}\right)Sh^2\left(\frac{eE_1t}{m_0c_0}\right)+\frac{v_2{}^2(0)}{c_0{}^2}\right]} \qquad (88)$$

и стремится к бесконечности при $t\to\infty$.

Величины обобщенного импульса и энергии суть

$$\mathbf{p}^* = (m_0c_0v_1, m_0c_0v_2, 0) = m_0c_0\left[c_0\sqrt{1+\frac{v_0{}^2}{c_0{}^2}}Sh\frac{eE_1t}{m_0c_0}, v_2(0), 0\right];$$
$$E = m_0c_0c = m_0c_0{}^2\sqrt{1+\left(1+\frac{v_0{}^2}{c_0{}^2}\right)Sh^2\frac{eE_1t}{m_0c_0}+\frac{v_2{}^2(0)}{c_0{}^2}}. \qquad (89)$$

Как и в СТО, при $t\to\infty$ величины обобщенного импульса и энергии неограниченно возрастают, но по другому закону. (В СТО выражение для энергии имеет вид $E = m_0c_0{}^2\sqrt{1+(eE_1t/m_0c_0)^2}$ [35]).

В итоге можно отметить, детали описания в специальной теории относительности и в локальной специальной теории относительности различны. В частности, в СТО скорость частицы ограничена сверху значением $c_0 = 3\cdot10^{10}$ см/сек, в локальной теории - величиной $c = c_0\sqrt{1+v^2/c_0{}^2}$, стремящейся к бесконечности. Различны параметрические уравнения движения частицы по осям икс и игрек. Но удивительным образом эти различия не сказываются на итоговом уравнении для траектории, которая оказалась относящейся к одному и тому же типу кривых - цепной линии.

5.10.2 Заряженная частица в постоянном однородном магнитном поле

Рассмотрим движение частицы в плоскости (x_1, x_2). Положим $\mathbf{E} = (0,0,0)$, $\mathbf{H} = (0,0,H_3)$, $\mathbf{v} = (v_1, v_2, v_3)$. Воспользуемся уравнением (75) и перепишем его в виде

$$m_0\mathbf{a} = \frac{e}{c_0}\mathbf{v}\mathrm{x}\mathbf{H}. \qquad (90)$$

Отсюда находим:

$$m_0dv_1 = \frac{e}{c_0}v_2H_3dt;\ m_0dv_2 = -\frac{e}{c_0}v_1H_3dt;\ m_0dv_3 = 0. \qquad (91)$$

Обозначая $\omega = eH_3/m_0c_0$ и следуя [35], после интегрирования получим

$$\begin{aligned} &v_1 = vCos(\omega t + \alpha);\ v_2 = vSin(\omega t + \alpha);\ v_3 = v_3(0); \\ &x = x_0 + rSin(\omega t + +\alpha);\ y = y_0 + rCos(\omega t + \alpha);\ z = z_0 + v_3(0)t. \end{aligned} \tag{92}$$

Здесь $v = \sqrt{{v_1}^2 + {v_2}^2}$ - скорость, $r = v/\omega = vm_0c_0/qH_3$ - радиус вращения, ω - частота вращения частицы в магнитном поле. С помощью выражения для энергии $E = m_0c_0c$ частоту и радиус вращения можно записать в том же самом виде, как и в СТО [35]:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{eH_3}{m_0c_0} = \frac{eH_3c}{E}; \\ r &= \frac{v}{\omega} = \frac{vm_0c_0}{eH_3} = \frac{vE}{ecH_3}. \end{aligned} \tag{93}$$

Следует только иметь в виду, что это сходство обманчиво. В СТО, в силу постоянства величин $c = c_0, e, m_0, H_3$ частота вращения ω обратно пропорциональна энергии E и уменьшается с ростом величины E. В локальной теории, в силу одинаковой зависимости энергии и скорости света c от скорости частицы v, частота вращения остаются постоянной, и от энергии частицы не зависит. Аналогично, в СТО радиус вращения увеличивается по мере роста скорости частицы по закону $r = vm_0c/eH_3\sqrt{1 - v^2/c^2}$, что означает линейную зависимость от энергии в ультра релятивистском случае при $v \sim c$ $(r \sim E/eH_3)$. В локальной теории радиус вращения $r = vm_0c_0/eH_3$ и при больших, и при малых энергиях пропорционален скорости. Поскольку при $(v/c_0)^2 >> 1$ величина энергии, согласно формуле (68), тоже пропорциональна скорости $E \sim m_0c_0v$, то и в ЛСТО, как и в СТО, по мере увеличения энергии частицы радиус вращения становится связанным с энергией тем же соотношением линейной зависимости $r \sim E/eH_3$. Таким образом, зависимость радиуса вращения частицы от энергии при малых и при больших энергиях одинакова как в СТО, так и в ЛСТО. Различие наблюдается в промежуточной области энергий, когда $m_0{c_0}^2 < E < m_0c_0v$ при $v >> c_0$.

5.11 Распад и рождение новых частиц

5.11.1 Распад нестабильных частиц

Ввиду одинаковости энергий покоя частиц в СТО и ЛСТО, условие самопроизвольного распада частиц на фрагменты в ЛСТО имеет тот же самый вид, что и в СТО. В частности, в случае распада покоющейся частицы с массой M на два фрагмента с массами покоя m_1 и m_2 закон сохранения энергии дает [35]:

$$Mc_0{}^2 = E_1 + E_2, \tag{94}$$

где E_1 и E_2 - энергии образовавшихся частиц. Поскольку $E_1 > m_1c_0{}^2$ и $E_2 > m_2c_0{}^2$, то отсюда следует, что распад возможен, если $M > m_1 + m_2$ (как и в СТО [35]). Из закона сохранения обобщенного импульса следует $c_1\mathbf{p}_1 + c_2\mathbf{p}_2 = 0$, или $c_1{}^2p_1{}^2 = c_2{}^2p_2{}^2$. В результате, подобно [35], можем написать $E_1{}^2 - m_1{}^2c_0{}^4 = E_2{}^2 - m_2{}^2c_0{}^4$. Совместное решение полученного уравнения с уравнением (94) определяет величины энергий разлетающихся фрагментов

$$E_1 = \frac{(M^2 + m_1{}^2 - m_2{}^2)c_0{}^2}{2M}; \ E_2 = \frac{(M^2 - m_1{}^2 + m_2{}^2)c_0{}^2}{2M}. \tag{95}$$

Это в точности совпадает с результатом СТО [35]. Отличие состоит в предсказании величин скоростей разлета образующихся фрагментов. Имея в виду формулу (62), для скоростей фрагментов распада можем написать:

$$v_{1,lsr} = \sqrt{\frac{(M^2 + m_1{}^2 - m_2{}^2)^2}{4m_1{}^2M^2} - 1}c_0; \ v_{2,lsr} = \sqrt{\frac{(M^2 - m_1{}^2 + m_2{}^2)^2}{4m_2{}^2M^2} - 1}c_0. \tag{96}$$

В СТО аналогичные величины равны:

$$v_{1,sr} = \frac{2m_1Mv_{1,lsr}}{M^2 - m_1{}^2 + m_2{}^2} < v_{1,lsr}; \ v_{2,sr} = \frac{2m_2Mv_{2,lsr}}{M^2 + m_1{}^2 - m_2{}^2} < v_{2,lsr}. \tag{97}$$

Поскольку $2m_1M/(M^2 - m_1{}^2 + m_2{}^2) < 1, \ 2m_2M/(M^2 + m_1{}^2 - m_2{}^2) < 1$, то в Локальной теории относительности скорости разлета фрагментов всегда больше, нежели в СТО. В СТО скорость разлета фрагментов ограничена сверху величиной c_0. В локальной теории мыслима ситуация, когда скорость фрагментов может превосходить скорость света c_0. Обращаясь к формулам (96), и решая совместно систему неравенств $(M^2+m_1{}^2-m_2{}^2)^2/4m_1{}^2M^2 \geq 2$; $(M^2-m_1{}^2+m_2{}^2)^2/4m_2{}^2M^2 \geq 2$ находим, что скорости $v_{1,lsr}$ и $v_{2,lsr}$ будут превосходить или составлять скорость света c_0, если $(m_1 + m_2) \leq M/\sqrt{2}$ (когда дефект масс $Q = M - m_1 - m_2$ не менее 29%, то-есть $Q \geq (1 - 1/\sqrt{2})M = 0,29M$). В случае реализации обратного неравенства скорости разлета фрагментов будут меньше скорости света c_0.

5.11.2 Рождение новых частиц

Аналогичная ситуация возникает при вычислении пороговой энергии рождении новых частиц. Рассмотрим, например, реакцию рождения антипротона в столкновении протона с протоном в лабораторной системе отсчета K:

$$p^+(\text{движущийся}) + p^+(\text{покоющийся}) = p^+ + p^+ + p^+ + p^-. \qquad (98)$$

Обозначим энергию движущегося протона через E_1, обобщенный импульс через $c_1\mathbf{p}_1$, массу покоя протона через m_p. Следуя [58], и используя релятивистскую взаимосвязь между обобщенным импульсом и энергией, можем написать в силу инвариантности правой части соотношения (63) и одинаковости масс покоя протона и антипротона:

$$(E_1 + m_p{c_0}^2)^2 - {c_1}^2{p_1}^2 = 16{m_p}^2{c_0}^4. \qquad (99)$$

Возводя в квадрат и учитывая ${E_1}^2 - {c_1}^2{p_1}^2 = {m_p}^2{c_0}^4$, имеем $2E_1m_p{c_0}^2 = 14{m_p}^2{c_0}^4$. Отсюда находим, пороговая энергия рождения антипротона в ЛСТО, как и в СТО, составляет $E_1 = 7m_p{c_0}^2 \sim 7$ БэВ [55]. Как и в случае распада частиц, различие в описании реакции рождения (98) с точки зрения СТО и ЛСТО состоит в наделении продуктов реакции разными скоростями в соответствии с различными выражениями для энергии и импульса в рассматриваемых теориях. В частности, с точки зрения ЛСТО скорость протона p^+ с энергией 7БэВ, вычисленная из формулы $c_1p_1 = m_pc_0v_1 = \sqrt{{E_1}^2 - {m_p}^2{c_0}^4} = \sqrt{49-1}m_p{c_0}^2$, составит величину $v_1 = \sqrt{48}c_0 = 6,9c_0$. Скорость конгломерата частиц p^+, p^+, p^+, p^- вблизи порога рождения в лабораторной системе отсчета, где все четыре частицы p^+, p^+, p^+, p^- движутся с одинаковой скоростью v_2, согласно уравнениям $E_1 + m_p{c_p}^2 = E_2 = (7+1)m_p{c_0}^2 = 8m_p{c_0}^2$, ${E_2}^2 - {c_2}^2{p_2}^2 = 16{m_p}^2{c_0}^4$, может быть вычислена из $c_2p_2 = 4m_pc_0v_2 = \sqrt{{E_2}^2 - 16{m_p}^2{c_0}^2} = \sqrt{64-16}m_p{c_0}^2 = \sqrt{48}m_p{c_0}^2$ и оказывается равной $v_2 = \sqrt{48/16}c_0 = 1,7c_0$. Следовательно, при использовании времяпролетной методики сигналы от первичных протонов и продуктов их взаимодействия вблизи порога реакции должны быть значительно разнесены во времени (если бы ЛСТО реализовалась в действительности).

5.12 Локальная СТО и эксперимент

Рассмотрим, как можно интерпретировать известные опытные факты, положенные в основу СТО, в рамках активной точки зрения.

Опыт Майкельсона. *Квазирелятивистская интерпретация.* Эта интерпретация по сути дела изложена в монографии Паули [46], которой мы и будем придерживаться ниже в несколько развернутом виде. С точностью до учета эффекта замедления времени интерпретация аналогична принятой в СТО. Поэтому условимся называть ее квазирелятивистской. Следуя [46], рассмотрим опыт Майкельсона с точки зрения несопутствующей системы отсчета K, относительно которой интерферометр движется со скоростью V. Свяжем с интерферометром систему отсчета K', скорость света относительно которого обозначим через c'. "... Пусть l_1 и l_2 суть длины параллельного и перпендикулярного к направлению движения плеч прибора, измеренные в системе K. Временные интервалы t_1 и t_2, за которые свет проходит эти расстояния определяются, как известно, из соотношений $ct_1 = 2l_1/(1-\beta^2); /ct_2 = 2l_2/\sqrt{1-\beta^2}$" [46]. Пусть кроме того здесь $l_1 = l_2 = l$. Тогда разность времен, обусловленная движением Земли относительно эфира будет равна $t_1 - t_2 \sim l/c\beta^2$ [36], где $\beta = V/c$. При повороте интерферометра эта разность меняет знак, что должно сопровождаться изменением интерференционной картины, чего на самом деле обнаружено не было. Для объяснения отрицательного результата, как известно, необходимо учесть сокращение продольных длин Лоренца-Фитцджеральда $l_1 = l_0\sqrt{1-\beta^2}$, $l_2 = l_0$, после чего получаем $t_1 = t_2 = 2l_0/c\sqrt{1-\beta^2}$, и смещение интерференционных полос исчезает. Обратим внимание на то, что согласно разделу **5.3.2** формуле сокращения длин может быть придан стандартный вид, не зависящий от трансформационных свойств скорости света. Поэтому приведенное объяснение может быть распространено и на случай преобразования скорости света в виде (2) в соответствии с замечанием Паули [46]: "Может показаться, что наблюдатель в системе K', движущейся вместе с прибором, обнаружит скорость света, равную

$$c' = c(1-\beta^2)^{1/2}, \tag{9}$$

отличную от измеряемой наблюдателем в K. Такого мнения придерживался Абрагам" [46]. Далее можно рассуждать двояко. Предположим, что несопутствующая система отсчета K связана с неподвижным мировым эфиром в версии Абрагама. Естественно принять величину скорости света относительно эфира за универсальную константу c. Тогда значение скорости света в системе интерферометра на Земле, равное $c' = 3\cdot 10^{10}$ см/сек, будет связано с универсальной константой соотношением $c' = c(1 - V^2/c^2)^{1/2}$. Отсюда находим, что величина константы равна $c = c'(1 + V^2/c'^2)^{1/2}$. Именно так рассуждал Руссо при интерпретации отрицательного результата опыта Майкельсона в пользу существования неподвижного эфира [121]. Подставляя в выражение для c' более точные значения величин $c = 299792458$; $V = 53198115,45$ м/сек, автор с точностью до обозначений ($c \to c_A, A - absolute, c' \to c_R, R - relative$) получил значение универсальной константы равным $c = 304475873,2$ м/сек [121].

С другой стороны, можно исходить из гипотезы полностью увлекаемого эфира в версии Рапье [115] и полагать, что универсальное значение скорости света реализуется в системе отсчета, связанной с излучателем. Тогда величину $c' = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек следует рассматривать как мировую константу, а значение $c = c'(1 + V^2/c'^2)^{1/2}$ следует интерпретировать в качестве значения скорости света "c" в лабораторной системе отсчета K, как если бы свет был испущен излучателем.

В итоге можно констатировать, что закон преобразования скорости света в форме Абрагама согласуется с отрицательным результатом опыта Майкельсона и для неподвижного, и для полностью увлекаемого эфира. Различие состоит лишь в том, что в модели неподвижного эфира величина скорости света в лабораторной системе отсчета будет всегда меньше универсального значения скорости света в эфире c, в модели полностью увлекаемого эфира - всегда больше этого значения. Тем не менее с теоретической точки зрения оба объяснения представляются непоследовательными. В первом случае эфир наделяется метрикой Евклида, где длины являются инвариантами преобразований Галилея. Для объяснения же отрицательного результата наблюдений привлекается гипотеза сокращения длин, реализующаяся в геометрии Минковского. Во втором случае теория исходит и из гипотезы существования эфира, и из гипотезы реализации принципа относительности одновременно, что представляется неестественным. Оба объяснения характеризуются появлением абсолютного движения Земли относительно эфира и тем самым нарушением принципа относительности в его общепринятом понимании, что и было отмечено Паули [46] применительно к объяснению Абрагама. Недостаток настолько серьезный, что интерпретация Абрагама, равно как и формула преобразования скорости света (2) были отвергнуты. Поэтому далее мы перейдем к интерпретации опыта Майкельсона с позиции локального принципа относительности. Вместо учета эффекта замедления времени $t_1 = t_2 = t = t_0/\sqrt{1-\beta^2}$, $c' = c$ [46], как это принято в СТО, здесь необходимо опираться на общие свойства пространства-времени [16].

Интерпретация в духе локального принципа относительности. Отрицательный результат опыта Майкельсона для наблюдателя, связанного с земным источником света (система отсчета K, скорость света $c = c_0$), обусловлен изотропностью пространства. Поскольку скорость света c_0 во всех направлениях одинакова и не зависит от состояния движения источника света, то во всех положениях $t_1 = t_2$ и смещение интерференционных полос будет отсутствовать. Аналогично, в случае внеземного излучателя (система отсчета K' - звезда, движущаяся инерциально со скоростью U относительно Земли), скорость света от звезды $c = c_0\sqrt{1 + U^2/c_0{}^2}$ на Земле будет одинаковой во всех направлениях, вследствие чего интерференционная картина при вращении интерферометра не изменится.

Опыт Физо. Следуя [4, 35, 37, 46, 59], свяжем систему отсчета K (скорости света c и c_0) с неподвижными лабораторными приборами, а систему отсчета K' с движущейся с постоянной скоростью жидкостью. Обозначим скорость жидкости (скорость системы K') относительно наблюдателя K через $\mathbf{V} = (V, 0, 0)$. В системе K' свет распространяется относительно покоющейся жидкости со скоростью $\mathbf{U}' = (c_0'/n, 0, 0) = (c_0/n, 0, 0)$, где n - показатель преломления. Для наблюдателя K его скорость распространения в жидкости $\mathbf{U} = (U, 0, 0)$ окажется другой и может быть вычислена с помощью формулы $U/c = (U'/c' + V/c)/(1 + VU'/c'c)$. Отсюда находим $U = c(1/n + V/c)/(1 + V/cn) \sim c[1/n + V(1 - 1/n^2)/c]$ - результат, формально такой же, как и в СТО. Подставим сюда значение $c = c_0\sqrt{1 + V^2/c_0{}^2} \sim c_0$ при $V^2/c_0{}^2 << 1$. Учтем, что величина поправки $\beta^2 = V^2/c_0{}^2$ сравнима с точностью вывода приближенной формулы для скорости U и может быть опущена вследствие малости скорости жидкости V по сравнению со скоростью света c_0. В итоге получаем результат, известный в литературе [4, 35, 37, 46, 59].

$$U \sim c_0\left[\frac{1}{n} + \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\frac{V}{c_0}\right]. \tag{100}$$

Аберрация света. Предположим, что в системе отсчета K', связанной с Солнцем, и движущейся со скоростью $(V, 0, 0)$ относительно земного наблюдателя K, свет от Звезды (система отсчета K_0) распространяется со скоростью c' в направлении вектора $\mathbf{n}' = (0, 1, 0)$. Для земного наблюдателя скорость распространения света, испущенного Звездой, окажется равной $c = c_0\sqrt{1 + U^2/c_0{}^2}$, где U - скорость Звезды относительно Земли. В соответствии с формулами преобразования направляющих косинусов (26) при $v' = c'$, $v = c$, наблюдатель K обнаружит компоненты вектора $\mathbf{n}$ равными $\mathbf{n} = (cos\theta, sin\theta, 0) = (V/c, \sqrt{1 - V^2/c^2}, 0)$, где V - скорость движения Солнца относительно Земли. Определим половину аберрационного угла соотношением $\alpha = 90^o - \theta$. Подставляя сюда величину скорости света c, получим

$$
\begin{gathered}
sin\alpha = \frac{V}{c} = \frac{V}{c_0}\cdot\frac{c_0}{c} \sim \frac{V}{c_0(1+\frac{U^2}{2c_0{}^2})} \to \\
\alpha \sim 10^{-4}\frac{c_0}{c} = 10^{-4}\left(1-\frac{c-c_0}{c}\right) \sim 10^{-4}\left(1-\frac{U^2}{2c_0{}^2}\right).
\end{gathered}
\tag{101}
$$

Величина поправки $\triangle\alpha = -1 + c_0/c \sim -U^2/2c_0{}^2$ к аберрационному углу будет заметной только при достаточно больших значениях скорости движения U. Например, 20% уровню значимости поправки ($U_2/2c_0{}^2 = 0,2$) соответствует скорость $U = \sqrt{2/5}c_0 \sim 0,6c_0$. Поскольку скорость U связана с величиной продольного красного смещения длины волны соотношением $z_{\partial в} \sim U/c_0$, то в рамках ЛСТО заметные отклонения от результата СТО будут наблюдаться при смещениях порядка $z_\lambda \sim 0,6$ и выше. Таких объектов достаточно много. Сюда относятся, например, проявляющие сверхсветовое расширение квазары 3C345 ($z = 0,595$), 3C179 ($z = 0,846$), NRAO140 ($z = 1,258$) [124], а также квазары LB8796 ($z = 1,320$), PKS 2134+004 ($z = 1,936$), PKS 0106+0119 ($z = 2,170$), PHL957 ($z = 2,690$), OQ172 ($z = 3,530$) [102], Q 1158+4635 ($z = 4,73$) [68]. С точки зрения ЛСТО измерение аберрационных углов этих объектов, равно как и других с $z_\lambda > 0,6$, представляет непосредственный интерес. Следует отметить, что подобные измерения уже предпринимались для проверки гипотезы Ритца [76]. Для удаляющегося объекта формулу (101) в этом случае следует записать как $\alpha \sim V/c \sim 10^{-4}(1+U/c_0)$. Поскольку здесь аберрационная поправка составляет величину первого порядка, то при надлежаще выбранном объекте наблюдения эффект может составлять заметную величину. В качестве такого объекта был выбран квазар $_3C_48$ с видимой радиальной скоростью удаления 110.200 км/сек, что соответствует красному смещению $z_\lambda = 110.200/300.000 = 0,37$. Результат эксперимента оказался отрицательным, значимой поправки обнаружено не было. Аналогичные результаты были получены также при наблюдении аберрационных углов семи туманностей с радиальными скоростями удаления от 20.380 до 61.046 км/сек. Находясь в противоречии с предсказаниями модели Ритца, эти наблюдения, тем не менее, не могут быть противопоставлены ЛСТО, поскольку красные смещения избранных объектов наблюдения были недостаточными ($z_\lambda < 0,6$), чтобы заметным образом повлиять на величину аберрационной поправки в формуле (101). Обратим также внимание на существование не галилеевской поправки к величине аберрационного угла в других теоретических моделях, в частности в анизотропной модели Чанга [69, 70]. Чанг подметил существование некоторого разброса в величинах аберрационных углов, измеренных в разное время разными авторами: Брадлей (1728) - 20,25; Струве (1844) - 20,445; Спэтер (1853) - 20,313; Гилл (1877) - 20,496; Ньюкомб (1896) - 20,47; Куликов (1915) - 20,512; Яшчилина (1840) - 20,486; Романская (1929) - 20,511 угловых секунд [70]. Если указанный разброс выходит за пределы ошибок измерений, то его существование требует теоретической интерпретации - с одной стороны, и уточненных измерений (по предложению Чанга) - с другой. К сожалению, в цитируемой работе [70] величины аберрационных углов никак не увязаны с параметрами красного смещения, в результате чего приведенные результаты для ЛСТО не являются представительными. Таким образом, для ЛСТО эксперименты по измерению аберрационных углов небесных светил имеют непосредственное значение, но их необходимо увязывать с величинами красных смещений объектов наблюдения.

Эффект Доплера. Свяжем источник излучения с системой отсчета $K' = K_0$ (скорость света c_0, частота колебаний ω_0), скорость движения которой относительно наблюдателя обозначим через U. С помощью трансформационных свойств нулевого 4-вектора $k'_a = L_{ab}k_b$, где $k_a = (\mathbf{k}, k_4)$, $\mathbf{k} = \mathbf{n}k$, $k_4 = ik$, $k = \omega/c$, находим, что при наблюдении испущенного источником фотона его частота колебаний ω и длина волны λ в лабораторной системе отсчета K окажутся равными

$$\omega = \omega_0 \frac{c}{c_0} \frac{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}{1 - \frac{Un_1}{c}} = \frac{\omega_0}{1 - \frac{Un_1}{c}} = \omega_0 \frac{\sqrt{1 + \frac{U^2}{{c_0}^2}}}{\sqrt{1 + \frac{U^2}{{c_0}^2}} - \frac{Un_1}{c_0}}; \tag{102}$$

$$\lambda = \lambda_0 \frac{1 - \frac{Un_1}{c}}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}} = \lambda_0 \left[\sqrt{1 + \frac{U^2}{{c_0}^2}} - \frac{Un_1}{c_0} \right], \tag{103}$$

где $\theta = \underline{arcCosn_1}$ - угол наблюдения; учтено, что ω_0 - inv; λ_0 - inv; $c = c_0\sqrt{1 + U^2/c_0}$; $c_0 = c\sqrt{1 - U^2/c^2} = c/\sqrt{1 + U^2/{c_0}^2}$; $(1 - U^2/c^2) \cdot (1 + U^2/{c_0}^2) = 1$. Отсюда следует, в ЛСТО отсутствует частотный поперечный эффект Доплера, поскольку при $n_1 = 0$ $\omega = \omega_0$. В случае длины волны поперечный сдвиг сохраняется. Для параметров смещения частоты колебаний z_ω и длины волны z_λ получаем:

$$z_\omega = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega} = \left(1 - \frac{Un_1}{c}\right) - 1 = -\frac{Un_1}{c_0\sqrt{1 + \frac{U^2}{{c_0}^2}}}; \tag{104}$$

$$z_\lambda = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{c}{c_0}\left(1 - \frac{Un_1}{c}\right) - 1 = \left[\sqrt{1 + \frac{U^2}{{c_0}^2}} - \frac{Un_1}{c_0}\right] - 1. \tag{105}$$

В отличие от величины скорости света $c = c_0\sqrt{1 + U^2/{c_0}^2}$, параметры z_ω и z_λ оказались зависящими от направления движения излучателя относительно наблюдателя и могут проявлять как красное ($n_1 = -1$), так и голубое смещения ($n_1 = 1$). При досветовых скоростях движения излучателя, когда $U^2/{c_0}^2 << 1$, параметры смещения частоты и длины волны, как и в СТО, одинаковы: $z_\omega \sim -Un_1/c_0$, $z_\lambda \sim -Un_1/c_0$. В случае сверхсветовых скоростей при $U^2/{c_0}^2 >> 1$ ситуация иная, так как $z_\omega \sim -n_1$, $z_\lambda \sim (1 - n_1)U/c_0 - 1$. Если бы это имело отношение к действительности, то должно было бы наблюдаться значительное расхождение в параметрах смещения частоты и длины волны. Например, при удалении объекта со скоростью $U \sim 2c_0$ и $n_1 \sim -1$ параметры смещения были бы равны $z_\omega \sim 1$, $z_\lambda \sim 3$, то-есть различались бы в три раза.

Как следует из (104), величина смещения z_ω и скорость движения объекта связаны соотношением

$$U = \frac{z_\omega}{\sqrt{{n_1}^2 - z_\omega^2}}\mathrm{c}_0. \tag{106}$$

Если в (104) положить $U^2/{c_0}^2 << 1$, то $z_\omega \sim -(Un_1)/c_0 \to U/c_0$ при $n_1 \to -1$. В случае, когда $n_1 \to -1$, $U^2/{c_0}^2 >> 1$ величина смещения $z_\omega \to 1$. Отсюда, а также из формулы (106) видно, в ЛСТО в области вещественных движений значение параметра смещения z_ω ограничены сверху единицей, то-есть $z_\omega \leq 1$. В силу произвольности скоростей движения последнее означает, что параметры частотного красного смещения должны группироваться вблизи значения, равному единице, не превосходя этой величины. Это важный идентифицирующий признак ЛСТО, отличающий ее от СТО, где подобное свойство отсутствует. Если в эксперименте будет установлено, что значения частотных красных смещений превосходят единицу, это будет означать, что ЛСТО не реализуется. В настоящий момент такой однозначный вывод сделать, по-видимому, не представляется возможным ввиду ограниченности наблюдательных данных. Удобной для регистрации дискретной частотой колебаний в радиодиапазоне, наблюдения которой могли бы прояснить ситуацию, является частота, соответствующая линии 21 см нейтрального водорода H_I. Табличные значения смещений этой частоты для ряда галактик в сопоставлении с данными оптических наблюдений опубликованы Эпштейном [78]. Среди них максимальная величина смещения в радиодиапазоне соответствует скорости удаления $+660 \pm 30$ км/сек, в оптическом диапазоне - $+721 \pm 60$ км/сек (галактика NGC 4656, $z_\omega \sim 0,22$, $z_\lambda \sim 0,24$). Поскольку при данных z параметр $U^2/{c_0}^2 << 1$, то предсказания СТО и ЛСТО здесь одинаковы ($z_\omega \sim z_\lambda$). Так как, согласно Эпштейну, наблюдательные данные для величин красных смещений в оптическом и радиодиапазоне в пределах ошибок измерений совпадают, то можно сказать, что наблюдательные данные подтверждают обе теории, не позволяя сделать между ними однозначного выбора. Существенные различия должны наблюдаться в области скоростей, интерпретируемых в ЛСТО как сверхсветовые. Согласно (106) эта область красных смещений может быть оценена из неравенства $z_\lambda/\sqrt{{n_1}^2 - {z_\omega}^2} \geq 1$, или ${z_\omega}^2 \geq {n_1}^2/2$. Для продольных смещений, когда $n_1 \sim -1$, это соответствует области $z_\omega \geq 1/\sqrt{2} \sim 0,7$, в случае поперечных - области $z_\omega \geq n_1/\sqrt{2}$, которая зависит от величины проекции n_1. Как раз в области $z_\omega \geq 0,7$ и отсутствуют наблюдательные данные частотных смещений водородной линии 21 см. Отсутствуют такие данные и для радио-галактики 3C120 ($z = 0,033$) и квазаров 3C273 ($z = 0,158$), 3C279 ($z = 0,536$), 3C345 ($z = 0,595$), 3C179 ($z = 0,846$), NRAO 140 ($z = 1,258$) [124], проявляющих сверхсветовые расширения. Величина красного смещения этих объектов, согласно Шмидту [123], измеряется в оптическом диапазоне и соответствует параметру z_λ. Несмотря на то, что сам феномен сверхсветового расширения был обнаружен в радиодиапазоне на длинах волн 1,35; 2,8; 3,75; 6; 18 см, данные по наблюдению красного смещения частоты колебаний, соответствующей дискретной линии 21 см нейтрального водорода H_I, отсутствуют. Как уже отмечалось, для проверки ЛСТО такие наблюдения представляют принципиальное значение.

В случае наблюдений в оптическом диапазоне из формулы (105) следует, что скорость движения объекта излучения может быть вычислена из уравнения

$$\left(\frac{U}{c_0}\right)^2 - \frac{2n_1(1+z_\lambda)}{(1-n_1)^2}\left(\frac{U}{c_0}\right) - \frac{z_\omega(2+z_\lambda)}{(1-n_1)^2} = 0. \tag{107}$$

Как уже отмечалось, в отличие от смещения z_ω, здесь отсутствует ограничение на величину смещения z_λ при $U \to \infty$, поскольку $z_\lambda \to (U/c_0) \cdot (1-n_1) - 1 \to \infty$. Для продольного движения ($n_1 = -1$) из уравнения (107) находим $U_{||} = z_\lambda(z_\lambda + 2)c_0/2(1+z_\lambda)$, и критерием сверхсветового движения излучателя является выполнение неравенства $z_\lambda \geq \sqrt{2} = 1,41$. Если движение трансверсально ($n_1 = 0$), то $U_\perp = \sqrt{z_\lambda(2+z_\lambda)}c_0$ и критерием сверхсветового движения является неравенство $z_\lambda \geq \sqrt{2} - 1 = 0,41$. Последнему критерию удовлетворяют "сверхсветовые" квазары 3C279 ($z_\lambda = 0,536$), 3C345 ($z_\lambda = 0,595$), 3C179 ($z_\lambda = 0,846$), NRAO 140 ($z_\lambda = 1,258$) [124]. В частности, расчетная трансверсальная скорость расширения QSO NRAO 140, по оценке, может составить величину $U_\perp = \sqrt{(1,258 \cdot 3,258)} \sim 2,02c_0$. Удивительным образом эта оценка близка к нижней границе скорости сверхсветового расширения $3c_0$ данного квазара в рамках космологической модели Фридмана [124]. В то же время сейфертовская радио-галактика 3C120 ($z_\lambda = 0,033$) и квазар 3C273 ($z_\lambda = 0,158$) критерию $z \geq 0,41$ не удовлетворяют. Модели их сверхсветовых расширений должны быть иными, например, основанными на интерпретации красного смещения, как проявления эффекта Доплера [29, 30].

Отметим также, что в рамках ЛСТО для отыскания двух неизвестных U и n_1 имеется два независимых уравнения (104) и (105). Их совместное решение позволяет определить интересующие нас величины. В качестве примера приведем результат их совместного решения для случая сверхсветового движения: $n_1 \sim z_\omega$, $U \sim (1+z_\lambda)c_0/(1-n_1) = (1+z_\lambda)c_0/(1-z_\omega)$. Отсюда может быть найдена величина продольной скорости перемещения излучателя $Un_1 \sim Uz_\omega$, и расстояние до объекта излучения в смысле Хаббла $D_H = Uz_\omega/H$ (H - постоянная Хаббла).

Исключая кинематический параметр Un_1/c путем совместного решения уравнений (102) и (103), можно найти величину скорости света c с точки зрения наблюдателя K [20]:

$$c = c_0 \frac{1+z_\lambda}{1+z_\omega}. \qquad (108)$$

Это ни что иное, как формула Луазо [103, 104]. Ее применение к интерпретации наблюдательных данных обсуждалось выше и привело к заключению, что величина скорости света c, испущенного квазаром NGC 5668 с параметрами красного смещения $z_\lambda = 0,00580$ и $z_\omega = 0,00526$, может быть равной $c = c_0 + 182,04$ км/сек. В духе настоящей работы этот результат, однако, не имеет статистической значимости, поскольку при указанных смещениях параметр $z_\lambda = 0,00580 << 1,41$ и заключение о сверхсветовом движении галактики NGC 5668 становится бессодержательным.

Остановимся также на результате Луазо, относящемуся к квазару PKS 2134 с параметром смещения $z_\lambda = 1,936$. Согласно [104], величина скорости света, испущенного квазаром, для земного наблюдателя должна составить значение 440.000 км/сек. В то же время в статье отсутствует наблюдательные данные для смещения z_ω на длине волны 21 см. Тем не менее, предложенную автором оценку можно получить, если приписать величине z_ω предельное значение, равное $+1$. Действительно, подставляя z_λ и z_ω в формулу (108), находим: $c = 300.000 \cdot 2,936/2 = 440.400 \sim 440.000$ км/сек. Таким образом, оценка Луазо носит гипотетический характер. Ее полезно сочетать с оценкой аберрационного угла из формулы (101). Подставляя в нее значения скорости света c для упоминавшихся выше квазаров с большими величинами красного смещения можем составить следующую Таблицу 2:

Таблица 2. Расчетные значения скорости света
и аберрационных углов для некоторых квазаров

Квазар (QSO)	Параметр z_λ	Скорость света c	Угол аберрации
$Q\ 1158+4635$	$4,73$ [68]	$2,86\ c_0$	$14,38$
$OQ172$	$3,530$ [102]	$2,26\ c_0$	$18,20$
$PHL957$	$2,690$ [102]	$1,84\ c_0$	$22,32$
$PKS\ 0106+0119$	$2,170$ [102]	$1,59\ c_0$	$25,96$
$PKS\ 2134+004$	$1,936$ [102]	$1,47\ c_0$	$28,06$
$LB\ 8796$	$1,320$ [102]	$1,16\ c_0$	$35,52$
$NRAO\ 140$	$1,258$ [102]	$1,13\ c_0$	$36,46$

Полученные оценки довольно значительно отличаются от стандартных значений $c_0 = 300.000$ км/сек и $\alpha = 41,2$ угл.сек и могут быть использованы для экспериментальной проверки ЛСТО.

5.13 Сверхсветовое движение продуктов ядерных реакций

Распад атмосферных μ - мезонов В рамках ЛСТО, в силу отсутствия эффекта замедления времени, при наблюдении быстрых нестабильных частиц из ядерных реакций необходимо допустить существование сверхсветового движения. Например, причиной появления у поверхности Земли атмосферных μ - мезонов (время жизни $2,2\cdot10^{-6}$ сек [58]), приходящих с высоты 6 км, следует считать не эффект замедления времени, а сверхсветовое движение мезонов со скоростью порядка $6\cdot10^6/2,2\cdot10^{-6}\sim 3\cdot10^{12}$ см/сек=$100\cdot c_0$. В ЛСТО данной скорости соответствует величина энергии $E_\mu = m_{0,\mu}{c_0}^2\sqrt{1+(3\cdot10^{12}/3\cdot10^{10})^2}\sim 100 m_{0,\mu}{c_0}^2 = 10.565,9$ МэВ$\sim 10,6$ ГэВ. Поскольку здесь отсутствуют ограничения на верхнее значение скорости света, то перед фронтом частиц, генерирующих атмосферные ливни, или частиц из ядерных реакций могут наблюдаться более быстрые частицы, объясняющие результаты экспериментов [72, 74].

Альтернативная интерпретация Дубненских время - пролетных спектров. Напомним, что речь идет об электронных и мезонных время-пролетных спектрах из работы Бунятова и его соавторов [9]. В разделе "Сверхсветовые частицы в ОИЯИ?" приведен вариант их интерпретации в духе СТО. Ниже мы рассмотрим возможность интерпретации в рамках ЛСТО. Для этого будем исходить из предположения, что энергия π^- - мезонов (367,3 МэВ) из работы [9] соответствует данным калориметрических измерений и может быть принята в качестве меры энергии и в ЛСТО. В этом случае, исходя из формулы (62), для скорости π^- - мезона находим $v_{lsr} = \sqrt{(E/m_0c_0{}^2)^2 - 1}c_0 = \sqrt{(367,3/140)^2 - 1}c_0 = \sqrt{5,88}c_0 = 2,42c_0$. Соответствующее пролетное время π^- - мезона равно $T = 600/(2,42c_0) = 0,82 \cdot 10^{-8}$ сек. Это означает, что при пороговом устройстве, эквивалентном $T_n = 2,03 \cdot 10^{-8}$ сек (раздел "Сверхсветовые частицы в ОИЯИ?"), пионная линия вообще не должна была бы наблюдаться на экране анализатора в противоречии с тем, что было на самом деле. С точки зрения СТО это есть доказательство против сверхсветового движения π^- - мезона со скоростью $2,42 \cdot c_0$. Ситуация изменится, если допустить, что указанное время задержки имеет не экспериментальный, а расчетный характер. Тогда не исключено, что при временной цене канала 8 псек истинный номер канала пионной линии был равен $N_\pi = 8,2 \cdot 10^{-8}/(8 \cdot 10^{-12}) = 1032$, а уровень дискриминации $T_n = (1032 - 175) \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 857 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 0,69 \cdot 10^{-8}$ сек. Соответствующие значения времен пролета μ - мезонов и электронов должны были бы быть равными $T_\mu = (857 + 125) \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 982 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 0,78 \cdot 10^{-8}$ и $T_e = (857+50) \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 907 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 0,73 \cdot 10^{-8}$ сек. Им соответствуют сверхсветовые скорости движения $v_\mu = 2,54 \cdot c_0$ и $v_e = 2,76 \cdot c_0$. (В частном сообщении А.В. Мамаев получил несколько меньшие. но тем не менее близкие к изложенным оценки: $v_\pi = 1,87 \cdot c_0$, $v_\mu = 1,87 \cdot c_0$, $v_e = 1,98 \cdot c_0$). Таким образом, наблюдательные данные из работы [9] не исключают последовательного объяснения и в рамках ЛСТО. Для выбора того или иного варианта объяснения необходимы уточненные экспериментальные значения цены канала временного анализатора и порогового значения временного дискриминатора, а также данные по соответствию калориметрических и время-пролетных значений энергии.

5.14 Опыты по проверке независимости скорости света от скорости движения источника света

Бонч-Бруевич и Молчанов [8] сравнивали скорость света, излученного восточным и западным экваториальным краем солнечного диска. Экваториальная линейная скорость вращения Солнца хорошо известна и составляет 1,95 км/сек. Поэтому переход от излучения восточного к излучению западного экваториальных краев Солнца соответствует изменению скорости излучателя в плоскости эклиптики на величину 3,9 км/сек. На базе длиной L=2.000 м такому изменению скорости соответствует временной сдвиг западного светового луча по отношению к восточному на $90 \cdot 10^{-12}$ сек, если бы скорости складывались по правилу Галилея $c = c_0 \pm U$, где U - экваториальная скорость вращения Солнца [8]. Такой временной сдвиг доступен для измерений соответствующими радиотехническими средствами (фазовым методом). Тем не менее в пределах экспериментальных ошибок никакого сдвига обнаружено не было, что, естественно, интерпретировалось авторами как экспериментальное подтверждение второго постулата СТО и несостоятельность баллистической гипотезы Ритца. Однако полученный результат очевидным образом не противоречит ЛСТО, поскольку здесь скорость света $c = c_0\sqrt{1 + U^2/c_0{}^2}$ не зависит от направления движения источника света, и, следовательно, будет одной и той же как для западного, так и для восточного края солнечного диска. Поэтому временного сдвига одного луча по отношению к другому и не должно быть в согласии с экспериментом.

Аналогично могут быть объяснены результаты эксперимента по наблюдению различия скоростей гамма-квантов, возникающих при аннигиляции электрона и позитрона на лету [52, 122]. При покоющемся источнике излучения (центре масс электрона и позитрона) гамма-кванты разлетаются под углом 180^o с одинаковой скоростью. В случае, когда центр масс (источник аннигиляции) движется, гамма-кванты разлетаются под углом меньше 180^o. Если постулат постоянства скорости света (СТО) верен, то скорость гамма-квантов не зависит от угла их разлета. Если же скорость света складывается со скоростью источника по правилу Галилея, то скорость аннигиляционных квантов будет зависеть от угла их разлета. Гамма-квант, излученный в направлении падающего позитрона будет иметь скорость больше "c". Квант, летящий в направлении противоположном позитрону будет иметь скорость меньше "c". Это различие или же наоборот постоянство скоростей аннигиляционных квантов может быть зарегистрировано в эксперименте методом совпадений - такова идея опытов, предпринятых **Садехом** [122]. Результаты эксперимента отрицательные - различия в скоростях движения аннигиляционных гамма-квантов не обнаружено, что, естественно, интерпретировалось автором в пользу СТО. Как и в случае опытов Бонч-Бруевича и Молчанова, эти эксперименты на самом деле свидетельствуют только против галилеевой теоремы сложения скоростей в области релятивистских движений. Они не противоречат квадратичному закону сложения скорости света со скоростью источника света $c = c_0\sqrt{1 + U^2/c_0{}^2}$ ввиду независимости скорости света c от направления излучателя.

Точно также могут быть объяснены результаты опытов **Филиппса и Фокса** [80] по наблюдению влияния скорости движения быстрых π^0 - мезонов на скорость гамма-квантов, образующихся при распаде $\pi^0 \to \gamma + \gamma$.

Подобно случаю аннигиляции электрона и позитрона на лету, результаты экспериментов [80] могут быть истолкованы в пользу СТО, но не противоречат и ЛСТО.

Принципиально иные возможности возникают в опытах типа **Ольвегера, Нильсона и Кжельмана** [61]. Авторы сравнивали скорость гамма-квантов, излученных движущимся возбужденным ядром $^*C^{12}$ из реакции $C^{12}(\alpha,\alpha')^*C^{12}$ и покоющимся возбужденным ядром $^*O^{16}$ из реакции $O^{16}(\alpha,\alpha')^*O^{16}$. Период полураспада возбужденного уровня углерода (4,43 МэВ) составляет $6,5\cdot10^{-14}$ сек, вследствие чего ядро $^*C^{12}$ успевает распасться прежде, чем оно остановится, и гамма-квант излучается на лету. По результатам измерения доплеровского сдвига скорость возбужденного ядра $^*C^{12}$ в момент излучения составляет $U=1,8\cdot10^{-2}\cdot c_0$. Иная ситуация реализуется в случае ядра $^*O^{16}$. Возбужденный уровень кислорода с энергией 6,13 МэВ распадается гораздо медленнее ($T_{1/2}=1,2\cdot10^{-11}$ сек), и ядро $^*O^{16}$ сначала остановится, а затем уже излучит гамма-квант. В эксперименте сравнивались времена пролета гамма-кванта от движущегося источника (ядро $^*C^{12}$) и от неподвижного источника (ядро $^*O^{16}$). Если скорость гамма-кванта c зависит от скорости источника U в соответствии с галилеевой теоремой сложения скоростей $\mathrm{c}=\mathrm{c}_0+U$, то для разности времен пролета на базе длиной L можно написать $\triangle t_1=2(L/c_0-L/(c_0+U))\sim 2LU/{c_0}^2=0,5\cdot10^{-9}$ сек, где дополнительный множитель 2 возникает за счет перестановки мишеней местами [8, 61]. Экспериментально измеренное значение времени $\triangle t_1$ составляет $(-0,2\pm0,2)\cdot10^{-9}$ сек, что, следуя авторам публикаций, естественно интерпретировать в пользу постулата о независимости скорости света от скорости движения источника света. Однако в рамках ЛСТО оценка разности времен пролета гамма-квантов уже иная, так как $\triangle t_2=2(L/c_0-L/c_0\sqrt{1+U^2/{c_0}^2})\sim LU^2/{c_0}^3=0,5\cdot0,5\cdot10^{-9}\cdot1,810^{-2}=4,5\cdot10^{-12}$ где учтено, что $U/c_0=1,8\cdot10^{-12}$. Поскольку полученная оценка много меньше экспериментально измеренной величины, то следует признать явную недостаточность чувствительности поставленного эксперимента для однозначного заключения о несостоятельности ЛСТО.

Информация о дальнейшем развитии поставленных экспериментов содержится в публикации **Ольвегера, Фарли, Кжельмана и Вэллина** [62]. Гамма-кванты из распада 6 ГэВ пи-ноль мезонов ($\beta=0,99975,\gamma=1/\sqrt{1-\beta^2}>45$, $\pi^0\to\gamma+\gamma$) пропускались через полупрозрачный детектор, вырабатывая старт-импульс. Затем, после прохождения базы длиной $L=31,450\pm0,0015$ м они достигали второго детектора, где генерировали стоп-сигнал. Зная промежуток лабораторного времени T между старт-импульсом и стоп-сигналом, можно определить скорость света

$c = L/T$ пролетных гамма-квантов, испущенных мезонами. В эксперименте промежуток времени T заполнялся радио-частотными импульсами от генератора с частотой $f = 9,53220 \pm 0,00005$ МгГ, которая была выбрана априорно, исходя из гипотезы, что ожидаемая величина скорости гамма-квантов должна составить величину $c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек, а точнее величину $c_0 = (2,99792458 \pm 0,00000012) \cdot 10^{10}$ см/сек [53]. И действительно, вблизи старт-импульса и стоп-сигнала в координатах время-скорость счета обнаружены четкие пики, указывающие на присутствие зарегистрированных гамма-квантов. В результате экспериментально измеренная скорость распространения гамма-квантов оказалась равной $c = L/(1/f) = 2,99787700 \cdot 10^{10}$ см/сек (более точное авторское значение составляет $(2,99777 \pm 0,0004) \cdot 10^{10}$ см/сек). Согласно оценке авторов, в предположении справедливости теоремы о сложении скоростей типа $c' = c + kv$ ($k = 1$ соответствует случаю классической механики), для согласования экспериментальных данных с табличным значением скорости света коэффициенту k следует приписать значение $k = (-3 \pm 13) \cdot 10^{-5}$. Полученное значение однозначно указывает на независимость скорости гамма-квантов от скорости движения их источника излучения. Таково объяснение эксперимента с позиций СТО [62].

Рассмотрим возможную интерпретацию экспериментальных данных с точки зрения ЛСТО. Трудность этой интерпретации обусловлена отсутствием информации об истиной, а не расчетной скорости движения π^0 мезонов. Если предположить, что значение энергии мезонов в СТО совпадает с величиной энергии в ЛСТО, то для скорости мезонов из формулы (6.2.19) находим: $v \sim (E/m_0 {c_0}^2) \cdot c_0 = (6000/135) \cdot c_0 = 44,4 \cdot c_0$. В этом случае скорость движения гамма-квантов должна была бы быть равной с $= c_0\sqrt{1 + v^2/{c_0}^2} \sim v = 44,4 \cdot c_0$. Этой скорости на пролетной базе L=31,45 м соответствует пролетное время $T = L/v = L/(44,4 \cdot c_0)$ сек. В результате пики гамма-квантов следовало бы искать не на частоте 9,53220 МгГ, а на частоте $f = 1/T = 423,660$ МгГ. В свете данной гипотезы не исключено, что результаты эксперимента были обусловлены регистрацией не искомых, а комптоновских гамма-квантов, распространяющихся со скоростью $c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек в направлении падающего излучения и испущенных полупрозрачным детектором, вырабатывавшим стартовый импульс. Как следует из кинематики эффекта Комптона в ЛСТО, законами сохранения такая возможность не исключена. Действительно, обозначая через E_1 энергию падающего гамма-кванта, через E_2 - энергию рассеянного гамма-кванта, через E_0 - энергию покоющегося свободного электрона, через E - энергию электрона рассеянного, из законов сохранения энергии и обобщенного импульса находим:

$$
\begin{aligned}
&E_1 + E_0 = E_2 + E; \\
&\hbar_1\omega_1 = \hbar_2\omega_2 cos\theta + m_0 c_0 v_x \to E_1 = E_2 + E\beta_x; \qquad (109) \\
&0 = \hbar\omega_2 sin\theta - m_0 c_0 v_y \to 0 = E_2 sin\theta - E\beta_y.
\end{aligned}
$$

Здесь направляющий вектор падающего кванта выбран в виде $\mathbf{n}_1 = (1,0,0)$; угол рассеянного кванта с осью x обозначен через θ, проекции скорости комптоновского электрона на оси x и y обозначены через v_x и v_y, через ω_1 и ω_2 обозначены частоты падающего и рассеянного гамма-квантов, $\hbar_1$ и $\hbar_2$ - значения постоянной Планка для падающего и рассеянного квантов. Уравнения (109) для величин энергии имеют одинаковый вид как в ЛСТО, так и в СТО. Из их совместного решения для энергии E_2 рассеянного гамма-кванта получаем:

$$
E_2 = \frac{E_1}{1 + \frac{E_1}{E_0}(1 - cos\theta)} \to \omega_2 = \frac{c_2}{c_1}\frac{\omega_1}{1 + \frac{\hbar_1\omega_1}{m_0 {c_0}^2}(1 - cos\theta)}, \qquad (110)
$$

где взаимосвязь между величинами энергий E_2, E_1, E_0 согласуется с [1], и где использовано инвариантное соотношение $\hbar_1 c_1 = \hbar_2 c_2$ для перехода к частотам ω_2 и ω_1. С точностью до множителя c_2/c_1 получившееся выражение для частоты рассеянного кванта совпадает с аналогичным выражением в СТО (при $c_1 = c_2$ переходит в него). При этом энергия рассеянного комптоновского электрона дается формулой

$$
E = \frac{{E_0}^2 + ({E_1}^2 {E_0}^2)(1 - cos\theta)}{E_0 + E_1(1 - cos\theta)}. \qquad (111)
$$

В направлении $\theta = 0$ $\;E = E_0$, и можно принять, что вторичный квант переизлучается покоющимся электроном, вследствие чего скорость распространения этого кванта должна быть равна $c_2 = c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Согласно (111), энергия кванта составит величину $E_2 = E_1$, то-есть будет совпадать с энергией кванта первичного (как и в СТО). Частота колебания кванта равна $\omega_2 = (c_0/c_1)\omega_1$ и существенно меньше, нежели частота кванта падающего (в СТО $\omega_2 = \omega_1$). Поскольку в обсуждаемом эксперименте частотные характеристики гамма-квантов не исследовались, то полностью исключить гипотезу о наблюдении вторичных, а не первичных гамма-квантов исключить не удается. Несмотря на определенную условность приведенного объяснения отвергнуть его затруднительно хотя бы потому, что такое объяснение не предусматривалось при постановке эксперимента.

Таким образом, по разным причинам ни один из приведенных экспериментов по прямому определению зависимости скорости света от скорости движения источника света в настоящее время не позволяет отвергнуть ЛСТО.

5.15 Обсуждение

Приведенные примеры не являются, естественно, исчерпывающими. Необходимо осмысливание экспериментов по релятивистской зависимости массы от скорости, опытов по предложению Хейфела на борту Боинга-747 с атомными часами [87, 130] также других экспериментов, традиционно интерпретируемых в пользу СТО. Все подобные вопросы требуют дополнительного специального исследования. В рамках же проделанной работы можно констатировать, что в дополнение к СТО с постулатом $c' = c$ - inv, возможно последовательное построение релятивистской теории, реализующей принцип относительности в локальном смысле $c_0' = c_0$ - inv на основе преобразований (57) и (58). Предсказания локальной теории (ЛСТО) в ряде случаев совпадают, а ряде случаев расходятся с предсказаниями СТО и доступны экспериментальной проверке. Сюда относятся, например, измерения аберрационных углов небесных светил с большими величинами красного смещения, определение красных смещений в радиочастотном диапазоне спектра и сравнения их с величинами смещений в оптическом диапазоне для длин волн, обнаружение сверхсветовых движений во время-пролетных экспериментах. В этом смысле ЛСТО является теорией физической, основанной на иных пространственно-временных преобразованиях, нежели это принято в СТО. Отметим еще раз, что основой этой теории является свойство инвариантности уравнений Максвелла относительно пространственно-временных преобразований (18), (20), локально изоморфных преобразованиям из группы Лоренца и генерирующих интегральные преобразования (21), которые обобщают преобразования Лоренца на случай не инерциального движения. Последнее означает, что уравнения Максвелла в стандартной формулировке обладают свойством инвариантности не только относительно преобразований Лоренца в инерциальных системах отсчета (что хорошо известно), но и в системах отсчета, движущихся не инерциально в плоском псевдо-евклидовом пространстве-времени с метрикой $ds^2 = c^2dt^2 - d\mathbf{x}^2$. Данное утверждение побуждает отнестись к полученным результатам с позиций ОТО. И здесь необходимо отметить, что при кажущейся необычности это свойство уравнений Максвелла на самом деле уже известно и было отмечено академиком Логуновым: "... в рамках специальной теории относительности возможно описание физических явлений и в не инерциальных системах отсчета. Это предельно ясно понимал Фок ...” [37]. Утверждение вытекает из общековариантной записи уравнений Максвелла [35, 37]:

$$\frac{\partial F_{ik}}{\partial x^l}+\frac{\partial F_{il}}{\partial x^k}+\frac{\partial F_{kl}}{\partial x^i}=0;$$
$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial\sqrt{-g}F^{ik}}{\partial x^k}=-\frac{4\pi}{c}\frac{\rho c}{\sqrt{-g_{00}}}\frac{dx^i}{dx^0}. \tag{112}$$

Здесь $F_{ik}=\partial A_k/\partial x^i-\partial A_i/\partial x^k$ - тензор электромагнитного поля; $(-g)$ - детерминант метрического тензора в выражении 4-интервала $ds^2=g_{ik}dx^i dx^k$; $i,k=0,1,2,3$; $dx^0=cdt$, $dx^{1,2,3}=dx,dy,dz$; ρ - плотность электрического заряда. Полагая здесь $g_{00}=1,\ g_{11}=g_{22}=g_{33}=-1,\ g_{ik}=0$ при $i\neq k$, $-g=1$ приходим к известным уравнениям Максвелла в классической теории поля, но с условием их инвариантности относительно инфинитезимальных преобразований, переводящих в себя 4-интервал $ds^2=c^2dt^2-d\mathbf{x}^2$, то-есть преобразований, допускающих не инерциальные движения. В качестве примера такой возможности Логуновым построены интегральные преобразования пространства-времени, соответствующие равноускоренному движению [37]. Обратим также внимание на то, что в случае общековариантной формулировки постулат постоянства скорости света не является обязательным, поскольку дифференцирование осуществляется по переменному $dx^0=cdt$, куда скорость света и время входят в виде произведения, а не порознь. Именно поэтому уравнения Максвелла сохраняют свой вид и в случае $c'\neq c$ при измененных трансформационных свойствах времени. Пополнение данного математического свойства уравнений Максвелла локальным принципом относительности в форме $c'_0=c_0$ - inv в сочетании с синхронизацией времени по способу $dt'_0=dt$ и приводит к обсуждаемой модели. Помимо моделей в плоском пространстве, отмеченная синхронизация возможна и моделях ОТО, как это следует из соотношения $g'_{00}c'^2_0dt'^2_0=g_{00}c^2dt^2+2g_{0p}cdtdx^p-g_{pq}dx^pdx^q$, $p,q=1,2,3$ при $dt'_0=dt$, $c'_0=c\sqrt{g_{00}/g'_{00}}\sqrt{1+2g_{0p}v^p/cg_{00}-g_{pq}v^pv^q/c^2g_{00}}$. Эта возможность, по-видимому, и была использована Луазо в работе [103], если судить по ее автореферату. Позднее данное свойство времени в моделях ОТО было отмечено Климцом [13].

6 Заключение

Проведено нарушение инвариантности скорости света в плоском пространстве - времени Минковского. Установлено, что возможно построение по крайне мере двух теоретических схем, которые были интерпретированы как СТО *с неинвариантной скоростью света* и как *локальная* СТО.

СТО *с неинвариантной скоростью света*. Соответствует условию инвариантности 4-интервала в виде

$$s^2 = c'^2 t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2 - inv,$$

где скорость света c' постоянна, но не обязательно равна c. Формулы преобразования пространства-времени-скорости света, сохраняющие данное выражение интервала, имеют вид:

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}};\ y' = y;\ z' = z;\ t' = \gamma^{-1} \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}};\ c' = \gamma c.$$

Показана инвариантность уравнений Максвелла и уравнений движения заряженной частицы в электромагнитном поле относительно введенных преобразований. Вместо известных инвариантов СТО - скорости света c, собственного времени, которое обозначим t, массы покоя m_0, постоянной Планка $\hbar$ - введены новые инварианты теории: произведение ct, энергия покоя $m_0 c^2$, произведение $\hbar c$ при неизменных трансформационных свойствах электрического заряда $e' = e$ и постоянной тонкой структуры $\alpha' = \alpha$. Интегралами движения, как и в СТО, являются импульс $\mathbf{p}$ и энергия частицы E. Осуществлена синхронизация хода разноместных часов путем переноса эталонного хронометра $t(x) = t_o(0)$, где K_o - некоторая физически не наблюдаемая выделенная система отсчета. Важнейшей особенностью схемы в экспериментальном плане является предсказание тех же самых экспериментальных явлений, что и в СТО. С точки зрения теоретико-группового подхода это обусловлено свойством инвариантности электродинамики относительно группы прямого произведения $C_{15} \mathrm{X} {G_3}^{Vir}$, где C_{15} - конформная группа, ${G_3}^{Vir}$ - группа преобразований скорости света-времени, индуцируемая генераторами 3-мерной алгебры Вирасоро $[X_m, X_n] = (m-n)X_{m+n}$, $m, n = 0, \pm 1$, $X_{-1} = \partial_c - t\partial_t / c, X_0 = c\partial_c - t\partial_t, X_1 = c^2 \partial_c - ct\partial_t$, и соответствующая инвариантному произведению $c't' = ct$. С точки зрения принципа относительности переформулировка возможна ввиду независимости законов электродинамики не только от состояния равномерного и прямолинейного движения, но также и от абсолютного значения и знака скорости света. Следствием данной симметрии является дополнительная возможность классификации полей по представлениям алгебры Вирасоро. При $c' = c$ СТО *с неиварианнтной скоростью света* автоматически переходит в СТО.

Локальная СТО. Соответствует условию инвариантности 4-интервала на инфинитезимальном уровне

$$ds^2 = -(c'dt')^2 - (dx')^2 - (dy')^2 - (dz')^2 = -(cdt)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2 - inv,$$

где скорость света с$'$ не обязательно равно c и может явно или неявно зависеть от пространственно-временной точки $(\mathbf{x}, t)$. Соответствующие инфинитезимальные пространственно - временные преобразования образуют группу

$$dx'_a = dx_a,\ dx'_a = L_{ab} dx_b,\ a, b = 1, 2, 3, 4,$$

локально изоморфную группе Лоренца L_6 (L_{ab} - матрица преобразований группы L_6). Введен принцип относительности, понимаемый локально, согласно которому скорость света сохраняет инвариантное значение в собственной системе отсчета ${c_0}' = c_0 = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Осуществлена синхронизацию хода разноместных часов по правилу $dt_0(0) = dt(x)$. Соответствующая принятому постулированию схема и образует *локальную* СТО с отличными от СТО предсказаниями экспериментального плана. Сформулирована теорема сложения скоростей, построено выражение инвариантного интеграла действия. Получены уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле. Показана инвариантность уравнений Максвелла. Построены интегралы движения - произведение скорости света на импульс и энергия $c\mathbf{p}$, E. Показано, что в *локальной* СТО допустимы сверхсветовые движения с действительной массой, возможна зависимость аберрационного угла от параметров красного смещения космических излучателей, величины красных смещений в радио и оптическом диапазоне z_ω и z_λ не совпадают между собой. Существование теоретической возможности построения такой теории поднимает вопрос о причинах и механизме выбора предпочтительной (глобальной, локальной) симметрии в природе. Постулирование $c' = c$ приводит к СТО.

Список литературы

[1] А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика. М., Наука, 1969, с. 368.

[2] Н.Г. Басов, О.Н. Крохин, А.Н. Ораевский, Г.М. Страховский, Б.М. Чихачев. О возможности исследования релятивистских эффектов с помощью молекулярных и атомных стандартов. УФН, 1961, т. 75, вып. 1, с. 3-59.

[3] Б.Н. Беляев. О случайных флуктуациях скорости света в вакууме. Изв ВУЗов, Физика, 1980, N 11, с. 37-42.

[4] П.Г. Бергман. Введение в теорию относительности. М., И-Л., 1947, с. 337, 359.

[5] Каньяк Бернар. Атомные или молекулярные часы. В сб.: Время и современная физика. - М.: Мир, 1970, с. 64-80.

[6] Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей. М., Наука, 1973, с. 76.

[7] Г.Ю. Богословский. О специальной релятивистской теории анизотропного пространства-времени. ДАН, 1973, т. 213, вып. 5, с. 1055-1058.

[8] А.М. Бонч-Бруевич, В.А. Молчанов. Новый оптический релятивистский опыт. Оптика и спектроскопия, 1956, т. 1, вып. 2, с. 113-124.

[9] С.А. Бунятов, Б.Ж. Залиханов, В.С. Курбатов, В.С. Халбеев. Сцинтилляционные спектрометры по времени пролета. ПТЭ, 1978, N 1, с. 23-25.

[10] Б.Н. Васильев. Об экспериментальной проверке постулата изотропности скорости света. Сообщение ОИЯИ Р13-9411, Дубна, 1975, 6 с.

[11] В.Л. Гинзбург. Теоретическая физика и астрофизика. М., Наука, 1987, с. 210-225.

[12] Б.Б. Кадомцев, И.Ю. Кобзарев, Р.З. Сагдеев. По поводу статьи А.А. Тяпкина "Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности". УФН, 1973, т. 106, вып. 4, с. 660-662.

[13] А.П. Климец. Физика и философия. Поиск истины. Брест, 1997, с. 13-20, 36.

[14] М.А. Ковнер. Электронная теория и теория относительности, Саратовский Унив., 1967, с. 287-291.

[15] Г.А. Котельников. Об инвариантности скорости света в специальной теории относительности. Отчет ОЯФ ИАЭ им. И. В. Курчатова, N 28/696, М., 1968, 21 с.; Вест. Моск. Ун-та, сер. Физика, Астрономия, 1970, N 4, с. 371-373.

[16] Г.А. Котельников. Применение группы конформных преобразований для построения релятивистских теорий. Препринт ИАЭ-2306, М., 1973, 8 с.; Препринт ИАЭ-2475, М., 1974, 20 с.

[17] Г.А. Котельников. О дополнительных симметриях уравнений Максвелла. Препринт ИАЭ-2507, М., 1975, 25 с.; Доклад на IV Советской гравитационной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации", БГУ, Минск, 1-3 июля 1976 г.

[18] Г.А. Котельников. О симметрии уравнений Максвелла с неинвариантной скоростью света. Препринт ИАЭ-2813, М., 1977, 14 с.

[19] Г.А. Котельников. О допущении неинвариантности скорости света в уравнениях Максвелла и возможных физических последствиях. Препринт ИАЭ-2883, М., 1977, 7 с.

[20] Г.А. Котельников. О возможности астрофизического приложения групп преобразований с неинвариантной скоростью света. Препринт ИАЭ-3035, М., 1978, 5 с.

[21] Г.А. Котельников. Квазары как объекты с видимым сверхсветовым расширением. Обзор ИАЭ, М., 1979, 37 с.

[22] Г.А. Котельников. Распространение света и движение свободной материальной частицы в 5-мерном пространстве с неивариантной скоростью света. Препринт ИАЭ-3205, М., 1979, 7 с.

[23] Г.А. Котельников. Об интерпретации ${P^1}_{10} \bigotimes {\Delta^1}_1$ - инвариантной схемы с непостоянной скоростью света. Препринт ИАЭ-3205, М., 1979, 7 с.

[24] Г.А. Котельников. Реализация гипотезы Дирака о зависимости фундаментальных констант от времени в схеме с неинвариантной скоростью света. Изв. ВУЗов, Физика, 1979, N 9, с. 93-95.

[25] Г.А. Котельников. Групповые свойства волнового уравнения с неинвариантной скоростью света. ТМФ, 1980, т. 2, N 1, с. 130-144.

[26] Г.А. Котельников. Модифицированные уравнения Максвелла с неинвариантной скоростью света. В кн.: Тезисы докладов V Советской гравитационной конференции. Москва, М., Изд. Моск. Унив., 1981, с. 99.

[27] Г.А. Котельников. Уравнения электродинамики с неинвариантной скоростью света. Изв. ВУЗов, Физика, 1981, N 10, с. 46-51.

[28] Г.А. Котельников. Галилеева симметрия уравнений Максвелла в классической электродинамике. Изв. ВУЗов, Физика, 1985, N 8, с. 78-83.

[29] Г.А. Котельников. Допплеровская интерпретация сверхсветового расширения квазара 3C273. В сб., ВАНТ, сер. Общая и ядерная физика, вып. 2(42), М., 1988, с. 3-4.

[30] Г.А. Котельников. Квазар 3C273 гораздо ближе? В кн.: Экспериментальные тесты теории гравитации. Под редакцией В.Б. Брагинского и В.И. Денисова. М., Изд. Мос. Унив., 1989, с. 218-229.

[31] Г.А. Котельников. Специальная теория относительности с неинвариантной скорость света. В сб.: ВАНТ, сер. Ядерно-физические исследования (Теория и эксперимент), вып. 11(19), М., 1990, с. 75-76.

[32] Г.А. Котельников. Новые алгебры инвариантности уравнений Максвелла. В сб.: ВАНТ, сер. Ядерно-физические исследования, вып. 3, М., 1992, N 12, с. 69-72.

[33] Г.А. Котельников. Специальная теория относительности с нарушенной инвариантностью скорости света. В кн.: Фундаментальные проблемы естествознания. Материалы международного научного конгресса (Санкт-Петербург, 1998), с. 103-104.

[34] Г.А. Котельников. Новые симметрии в электродинамике и квантовой теории. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. РНЦ "Курчатовский Институт", М., 1999, с. 28-30.

[35] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. М., Государственное Издательство Физико-Математической Литературы, 1960, с. 59, 77, 88, 98, 103.

[36] Г.С. Ландсберг. Оптика. М., Наука, 1976, с. 445.

[37] А.А. Логунов. Основы теории относительности (Конспект лекций). Изд. Моск. Унив., 1982, с. 20-40, 63, 64-85.

[38] А.В. Мамаев. Теория равноправия (эквивалентности) инерциальных систем отсчета. В кн.: Тезисы докладов на пятой научно-технической конференции ТВАИУ (25-26 марта, 1985), Тула, 1985, 4 с.; Сущность третьей теории пространства-времени. Приложение к журналу нетрадиционных идей. Вып 3. Теория относительности: за и против. Сборник докладов Всесоюзной конференции ФЕНИД-91, т. 1, Гомель, 1991, с. 101-110.

[39] А.В. Мамаев. Эксперименты, опровергающие специальную теорию относительности. В кн.: [47], с. 192-197.

[40] Л.И. Матвеенко. Видимые сверхсветовые скорости разлета компонент во внегалактических объектах. УФН, 1983, т. 140, вып. 3, с. 463-501.

[41] В.П. Мозалев. Способ выявления анизотропии пространства. Изв. ВУЗов, 1980, N 12, с. 82-83.

[42] А.Г. Молчанов. Опытная проверка постулатов специальной теории относительности и квантовой теории. УФН, 1964, т. 33, вып. 4, с. 753-754.

[43] Ю.Б. Молчанов. К вопросу об определении одновременности с помощью транспортировки часов. В кн.: Эйнштейновский сборник 1971. М., Наука, 1972, с. 226-253.

[44] В.Г. Николенко, А.Б. Попов, Г.С. Самосват. Поиски относительной анизотропии скорости света и скорости нейтронов. Препринт ОИЯИ Р3-11652, Дубна, 1978, 12 с.

[45] Б.Ш. Нимбуев. Инвариантное время, "Серпуховской эффект" и квазар 3С 279. Улан-Уде, 1996, 12 с.

[46] В. Паули. Теория относительности. М.-Л., Гостехиздат, 1947, с. 24, 274, 282.

[47] Проблемы пространства и времени в современном естествознании. Ч. 2, С.-Петербург, 1993, с. 4-10, 158-292.

[48] А. Пуанкаре. Настоящее и будущее математической физики. В кн.: Принцип относительности. М., Атомиздат, 1973, с. 30.

[49] С.С. Санников-Проскуряков. Универсальные константы физики. В сб.: Аксиоматическая теория времени или что такое Бог с точки зрения физики. Березники, Россия, 1998, с. 72-76.

[50] Б.И. Спасский. История физики, Ч. 2, Моск. Унив., 1964, с. 144-200.

[51] В.И. Стражев, Л.М. Томильчик. Электродинамика с магнитным зарядом. Минск: Изд. Наука и Техника, 1975, с. 101-121.

[52] Г.М. Страховский, А.В. Успенский. Экспериментальная проверка теории относительности, УФН, 1965, т. 86, вып. 3, с. 421-432.

[53] Таблицы физических величин. Справочник под редакцией академика И.К. Кикоина. Атомиздат, 1976, с. 31.

[54] А.А. Тяпкин. Выражение общих свойств физических процессов в пространственно-временной метрике специальной теории относительности. УФН, 1972, т. 106, вып. 4, с. 617-659.

[55] Э. Тейлор, Дж. Уилер. Физика пространства-времени. М., Мир, 1971, с. 305.

[56] В.А. Фок. Теория Эйнштейна и физическая относительность. М., Знание, 1967, 40 с.

[57] У.И. Франкфурт. Специальная и общая теория относительности, 1972, М., Наука, 3-130.

[58] Ю.М. Широков, Н.П. Юдин. Ядерная физика, М., Наука, 1975, с. 289-290.

[59] А. Эйнштейн. Принцип относительности. О специальной и общей теории относительности. Петроградъ, Научное книгоиздательство, 1923, с. 20-25.

[60] А. Эйнштейн. К электродинамике движущегося тела. В кн.: Принцип относительности. М., Атомиздат, 1973, с. 97-117.

[61] T. Alvager, A. Nilsson, J. Kjellman. A Direct Terrestrial Test of the Second Postulate of Special Relativity. Nature, 1963, v. 197, N 4873, p. 1191.

[62] T. Alvager, F.J.M. Farly, J. Kjellman, I. Wallin. Test of the Second Postulate of Special Relativity in the GeV Region. - Phys. Lett., 1964, v. 12, N 3, p. 260-262.

[63] K. Assamagan, Ch. Bronnimann, M. Daum, H. Forrer, R. Frosch, P. Gheno, R. Horisberger, M. Janousch, P.-R. Kettle, Th. Spirig, C. Wigger. Measurement of the Muon Momentum in Pion Decay at Rest Using a Surface Muon Beam. Phys. Lett., B, 1994, v. 335, N 2, p. 231-236.

[64] A.O. Barut, R.B. Haugen. Theory of the Conformally Invariant Mass. Annals of Physics, 1972, v. 71, p. 519-541.

[65] A.I. Belesev, A.I. Bleule, E.V. Geraskin, A.A. Golubev, O.V. Kazachenko, E.P. Kiav, Yu.E. Kuznetsov, V.M. Lobashev, B.M. Ovchinnikov, V.I. Parfenov, I.V. Sckachev, A.P. Solodukhin, N.A. Titov, I.E. Yarykin, Yu.I. Zakharov, S.N. Balashov, P.E. Spivak. Results of the Troitsk Experiment on the search for the Electron antineutrino rest mass in tritium beta-decay. Phys. Lett. B, 1995, v. 350, N 2, p. 263-272.

[66] Le M. Bellac, J.M. Levy-Leblond. Galilean Electromagnetism. Nuovo Cim., 1973, v. 14B, N 2, p. 217-234.

[67] G.Yu. Bogoslovsky. A Special-Relativistic Theory of the Locally Anisotropic Space-Time. Nuovo Cim., 1977, v. 43B, N 2, p. 99-133.

[68] B. Carswell, P. Hewett. The Universe at High Redshift. Nature, 1990, v. 343, 11 Jan., p. 117-118.

[69] T. Chang. Maxwell's Equations in Anisotropic Space. Phys. Lett., 1979, v. 70A, N 1, p. 1-2.

[70] T. Chang. A Suggestions to Detect the Anisotropic Effect of the One-Way Velocity of Light. J. Phys. A: Math. Gen., 1980, v. 13, L207-L209.

[71] Andrew E. Chubykalo, Roman Smirnov-Rueda. Action at a distance as a full-value solution of Maxwell equations: the basis and application of the separated-potentials method. Phys. Rev. E, 1996, V. 53, N 5, P. 5373-5381.

[72] R.W. Clay, P.C. Crouch. Possible Observations of Tachyons Associated with Extensive Air Showers, Nature, 1974, v. 248, N 5443, p. 28-30.

[73] F. Combley, F.J.M. Farley, J.H. Field, E. Picasso. g-2 Experiments as a Test of Special Relativity. Phys. Rev. Lett., 1979, v. 42, N 21, p. 1383-1385.

[74] J.C. Cooper. Have Faster-Than-Light Particles Already Been Detected?, Found. Phys., 1979, v. 9, N 5/6, p. 461-466.

[75] P.S. Cooper, M.J. Alguard, R.D. Ehrlich, V.W. Hughes, H. Kobayakawa, J.S. Ladish, M.S. Lubell, N. Sasao, K.P. Schuler, P.A. Souder, D.H. Coward, R.H. Miller, C.Y. Prescott, D.J. Sherden, C.K. Sinclair, C. Baum, W. Ralth, K. Kondo. Experimental Test of Special Relativity from a High-γ Electron g-2 Measurement. Phys. Rev. Lett., 1979, v. 42, N 21, p. 1386-1389.

[76] R.J. Dickens, S.R.C. Malin. A Test of the Ritz Theory of Light Propagation. The Observatory, 1965, v. 85, N 949, p. 260-262.

[77] W.F. Edwards. Special Relativity in Anisotropic Space. Amer. J. Phys., 1963, v. 31, p. 482-489.

[78] E.E. Epstein. Atomic Hydrogen in Galaxies. Astroph. J. 1964, v 69, N 7, p. 490-520.

[79] A.E. Everett. Tachyon Behavior in Theories with Broken Lorentz Invariance. Phys. Rev. D, 1976, v. 13, N 4, p. 795-805.

[80] T.A. Filippas, J.G. Fox. Velocity of Gamma Rays from a Moving Source. Phys. Rev., 1964, v. 135, N 4B, p. B1071-B1075.

[81] A. Flidrzynski, A. Nowick. Can an Anisotropic Effect of the One-Way Velocity of Light Really Be Measured? J. Phys.A: Math. Gen., 1982, v. 15, p. 1051-1052.

[82] K. Fujiwara. Is the Light Velocity in Vacuum Really a Constant? Possible Breakdown of the Linear $\omega - k$ Relation at Extremely High Frequencies. Found. Phys., 1980, v. 10, N 3/4, p. 309-331.

[83] W.I. Fushchich. New Nonlinear Equation for Electromagnetic Field Having Velocity Different from c. ДАН Укр., 1992, N 4, p. 24-27.

[84] E. Giannetto, G.D. Maccarrone, R. Mignani, E. Recami. Are Muon Neutrinos Faster-Than-Light Particles? Phys. Lett. B, 1986, v. 178, N 1, p. 115-120.

[85] Sheldon L. Glashow. How Cosmic-Ray Physicists Can Test Special Relativity. Nucl. Phys., B (Proc. Suppl.), 1999, v. 70, p. 180-184.

[86] Ø. Grøn. Speed of Light as Measured by Stable Clocks According to Special Relativity. Phys. Rev. D, 1978, v. 17, N 6, p. 1666- 1668.

[87] J.C. Hafele. Relativistic Behaviour of Moving Terrestrial Clocks. Nature, 1970, v. 227, N 5255, p. 270-271.

[88] J.P. Hsu. New Four-Dimensional Symmetry. Found. Phys., 1976, v. 6, N 3, p. 317-339.

[89] J.P. Hsu. J.A. Underwood. General Flat Four - Dimensional World Pictures and Clock System. Found. Phys., 1978, v. 8, N 11/12, p. 833-843.

[90] J.P. Hsu. The Analysis of Time: Is the Relativistic Time is Unique? Found. Phys., 1979, v. 9, N 1/2, p. 55-69.

[91] J.P. Hsu. Questions on Universal Constants and Four-Dimensional Symmetry from Broad Viewpoint. Nuovo Cim., 1983, v. 74B, N 1, p. 67-82.

[92] J.P. Hsu, Leonardo Hsu. A Physical Theory Based Solely on the First Postulate of Relativity. Phys. Lett. A, 1994, v. 196, N 1,2, p. 1-6.

[93] M. Di Jorio. The Theory of Restricted Relativity Independent of Postulate on the Velocity of Light. Nuovo Cim., 1974, v. 22B, N 1, p. 70-78.

[94] M. Di Jorio. Reply to the Letter of Comment on Di Jorio's Article "The Theory of Restricted Relativity, Independent of a Postulate on the Velocity of Light". Lett. Nuovo Cim., 1978, v. 21, N 11, p. 387-389.

[95] T.M. Kalotas, Lee A.R. On the Constancy of the Velocity of Light. Found. Phys., 1978, v. 8, N 7/8, p. 603-607.

[96] H.A. Kastrup. Gauge Transformations and the Conformal Group. Phys. Rev., 1966, v. 143, N 4, p. 1021-1071.

[97] R.J. Kennedy, E.M. Thorndike. Experimental Establishment of the Relativity of Time. Phys. Rev., 1932, v. 42, p. 400-418.

[98] L.A. Khalfin. New Method for Investigation of ${M^2}_{\mu_e}$ from Tritium β - Spectrum Experimental Data and Solution of the Negative ${M^2}_{\mu_e}$ Puzzle, PDMI PREPRINT-8/1996, May 1996.

[99] G.A. Kotel'nikov. The Modified Maxwell Equations in 5 - dimensional Space with Noninvariant Velocity of Light. Preprint IAE-3284/1, M., 1980, 19 p.

[100] G.A. Kotel'nikov. Universal Newton Time in Classical Electrodynamics. Elements of Physical Interpretation. Preprint IAE-6073/1, M., 1998, 22 p.; http://xxx.lanl.gov/abs/physics/9802038, 13 p.; Galilean Electrodynamics, 2000, v. 11, N 4, p. 74-80.

[101] G.A. Kotel'nikov. The Sign Invertion of the Speed of Light is the New Transformation of Discrete Symmetry in Electrodynamics. In: Proceedings of the Fifth Workshop, Obninsk, July 1991, Obninsk, 1992, p. 252-254; Инверсия знака скорости света - новое преобразование дискретной симметрии в электродинамике. Изв. ВУЗов, Физика, 1992, N 12, с. 69-72; "Minus c" Symmetry in Classical and Quantum Theories. Preprint IAE-6030/1, M., 1997, 18 p.; In Book of Abstracts: 5th International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations, Balatonfured, Hungary, May 27-31, 1997, p. 67; Poster on VIII International Conference Symmetry Methods in Physics, July 28 - August 02, Dubna, 1997; http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph 9707003, 12 p.; Physics of Atomic Nuclei, 2000, v. 63, N 4, p. 688-691 from Yadernaya Fizika, 2000, v. 63, N 4, p. 753-756; In Book: Photon and Poincaré Group, NY, Nova Science Inc., Commack, 1999, p. 128-141.

[102] W. H.-M. Ku, D.J. Helfand, L.B. Lucy. X-ray Properties of Quasars. Nature, 1980, v. 343, 27 Nov., p. 323-328.

[103] J. Loiseau. L'effet Doppler et le decalage vers le rouge en mecanique rationelle: applications et verifications experimentales. Applied Optics, 1968, v. 7 N 7, p. 1391-1400.

[104] J. Loiseau. Une experience permettant de confimer que la vitesse de la lumiere recue de la QSO PKS 2134 + 004 est superieure a 440,000 km/sec. Applied Optics, 1972, v. 11, N 2, p. 470-472.

[105] R. Mansouri. Broken Lorentz Invariance and Conventionality of Clock Synchronization. Phys. Lett., 1979, v. 71A, N 2,3, p. 177-178.

[106] R. Mansouri. Broken Lorentz Invariance and Conventionality of Clock Synchronization. Phys. Lett., 1979, v. 71A, N 2,3, p. 177-178.

[107] S. Marinov. The Experimental Verification of the Absolute Space-Time. Theory-1. Intern. J. Theor. Phys., 1975, v. 13, N 3, p. 189-212.

[108] S. Marinov. The Coordinate Transformations of the Absolute Space-Time Theory. Found. Phys., 1979, v. 9, N 5/6, p. 445-460.

[109] Massive Neutrinos. http://reprints.cern.ch/ hypertext/ ppe-95-165/ node5.html.

[110] C. Møller. New Experimental Tests of the Special Relativity. Proc. Roy. Soc., 1962, v. A270, p. 306-314.

[111] D. Newman, G.W. Ford, A. Rich, E. Sweetman. Precision Experimental Verification of Special Relativity, Phys. Rev. Lett., 1978, v. 40, N 21, p. 1355-1358.

[112] J. Palacios. Revision de la teoria de la relatividad. Revista de la Real Academia de Ciencias, Madrid, 1957, v. 51, p. 21-101.

[113] J. Palacios. The Relativistic Measures and Units. Nuovo Cim., 1966, v. XLIII A, N 2, p. 413-422.

[114] C.E. Patty. Electromagnetic Behavior in Superluminal Interactions: the Classical Electromagnetic Problem. Nuovo Cim., 1982, v. 70B, N 1, p. 65-79.

[115] P.M. Rapier. An Extension of Newtonian Relativity to Include Electromagnetic Phenomena. Proc. IRE, 1961, v. 49, Nov., p. 1691-1692.

[116] P.M. Rapier. A Proposed Test for Existence of a Lorentz-Invariant Aether. Proc. IRE, 1962, v. 50, N 2, p. 229-230.

[117] M.J. Rees. Appearance of Relativistically Expanding Radio Sources. Nature, 1966, v. 211, N 5048, p. 468-470.

[118] J. Rembielinsky. The Relativistic Ether Hypothesis. Phys. Lett., 1980, v. 78A, N 1, p. 33-36.

[119] J.E. Romain. On Some Misconceptions About Relativistic Coordinate Transformations. Nuovo Cim., 1963, v. XXX, N 5, p. 1254-1270.

[120] M. Roos and L.A. Khalfin. Dangers of unphysical region, Research Institute for Theoretical Physics University of Helsinki, Preprint HU-TFT-96-13, 20 May 1996.

[121] F. P. Russo. The Michelson-Morley Experiment: the Final Solution? Speculations in Science and Technology, 1998, v. 21, p. 73-78.

[122] D. Sadeh. Experimental Evidence for the Constancy of the Velocity of Gamma Rays, Using Annihilation in Flight. Phys. Rev. Lett., 1963, v. 10, N 7, p. 271-273.

[123] M. Schmidt. 3C273: a Star-like Object with Large Red-shift. Nature, 1963, v. 197, N 4872, p. 1040.

[124] Six "Superluminal" Quasars Identified. Science News, 1981, v. 120, N 8, p. 118.

[125] T. Sjödin. Synchronization in Special Relativity and Related Theories. Nuovo Cim., 1979, v. 51B, N 2, p. 229-246.

[126] G. Spavieri. Nonequivalence of Ether Theories and Special Relativity. Phys. Rev. A, 1986, v. 34, N 3, p. 1708-1713.

[127] K. Svozil. Relativizing Relativity. http://xxx.lanl.gov/abs/physics/9809025 v3, 16 p.

[128] W. Voight. Ueber das Doppler'sche Princip. Nachr. K. Gesel. Wiss. Georg-August-Universitat., Göttingen, 1887, N 2, s. 41-52.

[129] Z. Vrcelj. A Criticism of the " Absolute Space-Time Theory". Found. Phys., 1978, v. 8, N 9/10, p. 797-800.

[130] G. Wick. The Clocks Paradox Resolved. New Scientist, 1972, v. 53, N 781, p. 261-263.

Подписано в печать 01.06.2000. Формат 60x90/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,1
Тираж 75. Заказ Индекс 3624

Отпечатано в РНЦ ≪ Курчатовский институт ≫
123182, Москва, пл. Академика Курчатова

Index 3624

Препринт ИАЭ-6174/1, М., 2000