

О ВЛИЯНИИ ПРИБОРА НА НАБЛЮДАЕМЫЕ ЭФФЕКТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Л. И. Филиппов,¹ Д. П. Барсуков,² В. В. Клименко²

¹Лицей «Физико-техническая школа» Академический университет РАН 194021,
Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 6, корп. 3, литера «А»

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе 194021,
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26

В теории относительности принцип постоянства скорости света является фундаментальным и вводится аксиоматически. Вопрос о влиянии на наблюдаемые эффекты способа измерения координат и времени не рассматривается. В настоящей работе показано следующее: в любой инерциальной системе отсчета (ИСО) наблюдатель, для которого базовым "измерительным прибором" являются электромагнитные волны, необходимо обнаружит на опыте соблюдение названного принципа. Для этого достаточно постулировать изотропию скорости света в одной произвольно взятой ИСО. Это предположение позволяет вывести преобразования Лоренца и принцип постоянства скорости света, что делает его постулирование необязательным. Показано, что сигналы, играющие роль прибора-переносчика информации, определяют получаемые закономерности ("приборный принцип"). Рассмотрены эксперименты, в которых переносчиком информации служат звуковые волны, и в результате наблюдаются релятивистские эффекты, в формулах которых скорость света заменена на скорость звука. Таким образом, поднимается вопрос о ключевой роли физического объекта, переносящего информацию, в наблюдаемых эффектах СТО.

Ключевые слова: Теория относительности, приборный принцип, преобразования Лоренца, принцип Маха.

1. ВВЕДЕНИЕ

Постулат независимости скорости света в вакууме от движения источника и наблюдателя обеспечивает в СТО выполнение требования о неразличимости инерциальных систем отсчета и расширяет принцип относительности Галилея на электромагнитные явления.

Огромная база экспериментальных данных безоговорочно подтвердила и сам этот постулат, и выводы теории. Тем не менее интерес к проблеме не угасает. Поиск физических теорий за рамками Стандартной модели допускает подходы, в которых лоренц-инвариантность и постоянство скорости света может нарушаться (см. обзор современных тестов лоренц-инвариантности (Mattingly 2005)). Современные наземные и орбитальные эксперименты ограничивают возможную вариацию скорости света $\delta c/c \simeq 10^{-9}$ (см., например, (Delva et al. 2017, Wolf and Petit 1997), (Consoli and Pluchino 2021)). В то же время интерпретация этих результатов неоднозначна. В частности, в (Consoli and Pluchino 2021)

показано, что при учете систематических эффектов и переоценке коэффициентов чувствительности наблюдаемые значения $\delta c/c$ согласуются с потенциальной вариацией скорости света из-за движения Солнечной системы относительно системы отсчета изотропии реликтового излучения.

В настоящей работе показано, что само предположение об изотропии скорости света влияет на интерпретацию результатов и позволяет теоретически вывести все релятивистские эффекты. То есть априорное постулирование независимости скорости света не является обязательным, но воспроизводится в эксперименте и согласуется с теорией.

Важно отметить, что такой подход не только не противоречит теории относительности, но, напротив, укрепляет позиции теории, снимая вопрос об особых свойствах светового сигнала. Выбор сигнала, играющего роль "прибора", требует только изотропии его скорости. Принцип постоянства скорости света и принцип относительности суть прямые следствия того факта, что переносчиком инфор-

мации во Вселенной являются электромагнитные волны - и только этим определяется выделенность скорости света в нашей физической реальности. Физическая реальность - это взаимодействие. А никакие изменения в одной системе отсчета не могут повлиять на реальность в другой системе быстрее, чем ее достигнет электромагнитная информация об этих изменениях. Стоит на практике реализовать условия, в которых эту роль будут выполнять, например, звуковые волны - и опыты покажут, что в формулах появилась скорость звука. Также эксперименты описаны, в частности, в работе (Musienko and Manevich 2004) и связаны с распространением солитонов в кристаллах. Эти опыты показали, что для солитонов выполняются релятивистские законы, в которые вместо скорости света входит скорость звука: лоренцово сокращение длины объекта, соотношение между массой и энергией покоя вида $E = mc^2$, аннигиляция солитона и антисолитона с излучением энергии в виде звуковых волн. В дозвуковой области энергия солитона асимптотически стремится к бесконечности при приближении скорости к скорости звука, а длина солитона - к нулю. Все эти эффекты - следствие конечности скорости передачи информации (скорости звука), то есть запаздывания сигнала. Уравнения динамики солитонов, как и уравнения электродинамики в вакууме, обладают лоренц-инвариантностью.

В разделе 2 описана методика измерения длин и промежутков времени наблюдателем, который использует в качестве "прибора", передающего информацию о событиях, звуковые волны. В таком мысленном эксперименте выводятся преобразования Лоренца для всех инерциальных систем отсчета. Эта схема показывает физический механизм сокращения длин отрезков и промежутков времени - "приборный принцип".

В разделе 3 дана схема строгого вывода преобразований Лоренца в реальной (не модельной) Вселенной - с использованием световых сигналов в вакууме и без дополнительных предположений - на основе логики "приборного принципа".

2. ПРИБОРНЫЙ ПРИНЦИП

Существует множество подходов к выводу преобразований Лоренца. Мы опишем такую схему, которая наглядно демонстрирует механизм, обеспечивающий измерение наблюдателем сокращения длины движущегося отрезка и промежутка времени, а также показывает, что соблюдение постулатов СТО есть следствие самого метода измерений, заданного физической реальностью. Мы рассмотрим опыт, в котором наблюдатель, движущийся в атмосфере, использует для передачи сигналов звуковые волны. Выполняя измерения, наблюдатель получает преобразования Лоренца, в которых скорость света заменена на скорость звука.

Ключевым моментом является то, что соблюдение основополагающих принципов релятивистской механики выполняется автоматически как следствие метода.

Изложение схемы требует четкого описания процедуры измерений.

Мы предполагаем, что:

(1) в гипотетической произвольно выбранной системе отсчета информация о любых физических событиях распространяется во всех направлениях с одинаковой скоростью. Наблюдатель, находящийся в этой системе отсчета, исследует другие равномерно движущиеся системы отсчета.

(2) При этом наблюдатели в них используют для получения информации те же сигналы, которые в исходной системе отсчета распространяются изотропно.

(3) Эти сигналы - звуковые волны. Для измерения длин и промежутков времени наблюдатели используют только звуковые сигналы и не могут использовать световые.

Назовем систему отсчета, связанную с неподвижной атмосферой, "воздушной выделенной" (ВВ). Все наблюдатели пользуются эйнштейновским определением одновременности (Einstein 1905). Чтобы измерить длину движущегося отрезка, наблюдатель фиксирует его "начало" и "конец" так, чтобы звуковые волны от событий фиксации пришли в середину отрезка между точками этих событий одновременно.

Представляется очевидным, что если в середину отрезка, расположенного в ВВ, звуковые волны с его концов приходят одновременно, то и световые сигналы от тех же событий тоже придут одновременно (звуковые позже). Это положение приводит к парадоксу и при внимательном рассмотрении оказывается ошибочным, что будет показано ниже.

Скорость движения одной из систем отсчета, измеренную в другой системе, мы принимаем одинаковой для каждой из двух систем. Данное положение фактически означает, что исходно задана равноправность всех ИСО, то есть логика строится по той же схеме, что и в СТО (для строгого вывода, описанного в разделе 3, такое предположение не требуется: показано, что и симметрия при измерении относительных скоростей есть следствие конечности скорости света).

Пусть мимо наблюдателя E , покоящегося в центре неподвижного отрезка длиной L в системе отсчета ВВ, со скоростью u движется отрезок (см. Рис. 1). Концы движущегося отрезка F соприкасаются с концами отрезка в системе E одновременно (*звуковые сигналы от соприкосновений приходят в центр отрезка в один и тот же момент*).

Исходя из принятой логики, наблюдатель E в системе ВВ проводит следующие теоретические рассуждения: длина движущегося отрезка равна длине собственного отрезка $L_F = L_E = L$. Точка F движется навстречу звуковому сигналу от соприкосновения левых концов отрезков и удаляется от сигнала, приходящего справа. Сигналы, пришедшие к точке E одновременно, придут к точке F с рассогласованием по времени (измеренным в системе E)¹:

$$\Delta t_E = \frac{L}{2(e-u)} - \frac{L}{2(e+u)} = \frac{L}{u} \left(\frac{1}{\frac{e^2}{u^2} - 1} \right) \quad (1)$$

На Рис. 2 показана та же ситуация с точки зрения наблюдателя F , который рассуждает в рамках тех же положений (1-3). Сигнал слева

приходит раньше, чем сигнал справа, поэтому в его системе длина отрезка E меньше, чем длина собственного отрезка $L_E < L_F$.

Продолжая строить логику на одинаковости подходов, следует найти такие преобразования для длин отрезков и промежутков времени, которые опишут полученную выше экспериментальную ситуацию. У этой задачи возможно только такое решение: длина отрезка, измеренная в движении, меньше, чем его длина, измеренная в покое. При этом функция преобразования длины может зависеть только от двух параметров: скорости движения отрезков u и скорости звука e . В нашу систему аксиом входит положение об однородности и изотропности пространства, поэтому выбираем линейную зависимость

$$L(u) = \frac{L}{\beta(u, e)}, \quad (2)$$

Чтобы определить $\beta(u, e)$, проследим за измерением промежутка времени. Рассмотрим два события, одноместные в системе отсчета F и разделенные в ней промежутком времени Δt_F . Пусть наблюдатель F оставляет на отрезке, расположенном в E , отметки в моменты этих событий, расстояния между которыми с точки зрения F равны $\Delta t_F \cdot u$. Согласно выражению (2), длина того же отрезка с точки зрения E будет равна $\Delta t_F \cdot u \cdot \beta(u, e)$ (события одноместны в системе F). А так как скорость точки F , в E , равна u , то по часам между этими событиями прошло время

$$\Delta t_E = \Delta t_F \beta(u, e), \quad (3)$$

Далее с точки зрения наблюдателя F , отрезок в системе E короче, чем его отрезок на $u\Delta t_F$ (см. Рис. 2), где Δt_F - это время рассогласования прихода сигналов от соприкосновения концов отрезков, измеренное в F . Значит длина собственного отрезка в системе F равна

$$\frac{L}{\beta(u, e)} + u\Delta t_F = \frac{L}{\beta(u, e)} + u \left(\frac{L}{u} \frac{1}{\frac{e^2}{u^2} - 1} \right) \frac{1}{\beta(u, e)}$$

¹ Здесь и далее e - скорость звука (измеренная наблюдателем E).

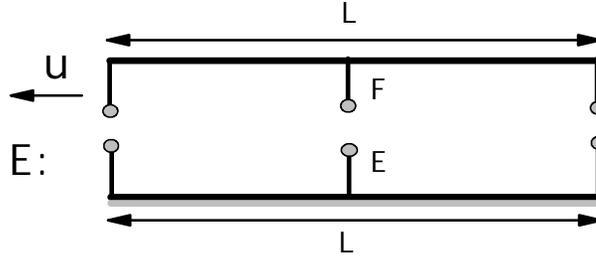


Рис. 1. Измерение длины движущегося отрезка в системе отсчета E .

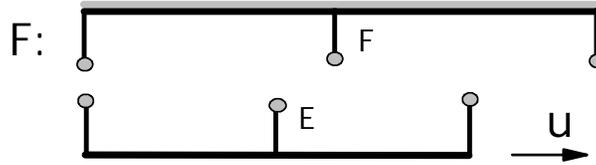


Рис. 2. Измерение длины в системе отсчета F

В то же время длина отрезка в системе F с точки зрения наблюдателя E равна L , а отношение длин - $\beta(u, e)$. Отсюда получаем функцию преобразования $\beta(u, e)$:

$$\beta(u, e) = \frac{1}{\beta(u, e)} + \frac{1}{\frac{e^2}{u^2} - 1} \frac{1}{\beta(u, e)}$$

Откуда

$$\beta(u, e) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{e^2}}} \quad (4)$$

Таким образом, оставаясь в рамках принятой логики, мы получаем в "модельной звуковой Вселенной" преобразования Лоренца для продольной длины движущегося объекта ((2) и (4)) и для промежутка времени, разделяющего события, одноместные в движущейся системе отсчета ((3) и (4)). Наблюдатели, действующие в описанных условиях, проводя измерения скорости звука и скоростей относительного движения своих систем отсчета, получают результаты, приводящие их к гипотезам (при условии $u \ll e$): (1) неразличимость движущихся систем отсчета, то есть принцип относительности, распространяющийся на любые опыты, в том числе со звуком; (2) принцип постоянства скорости звука - при измерениях скорость звука будет

одинаковой независимо от движения источника и наблюдателя (см. подробные выкладки в работе (Filiprov 2020a)). Это показывает, что единственного предположения о изотропности скорости "сигнала" в одной ИСО достаточно для получения при измерениях релятивистских эффектов, даже если "в действительности" постулат о независимости скорости сигнала от движения наблюдателя не выполняется и лоренц-инвариантность отсутствует (разумеется, сказанное верно, если измерения построены именно на данных сигналах и в рамках описанного определения одновременности).

Сказанное о необязательном выполнении постулата нуждается в пояснении. В выражениях, полученных "звуковыми наблюдателями", скорость света в привычных формулах будет заменена скоростью звука e (см. (4)). При этом все тесты СТО, разумеется, показывают, что сокращение длины движущегося отрезка, как и преобразование промежутка времени, описываются уравнениями, в которые входит именно скорость света. Если верно предположение о том, что часы, синхронизированные "по звуку", будут синхронизованы и "по свету", то возникает парадокс: скорость света оказывается выделенной без конкретного физического механизма. В приведен-

ном выше рассуждении свет из процесса был исключен полностью.

Это парадоксальное противоречие между теорией и опытом вызвано ошибочным положением о синхронности "по свету" часов, синхронных "по звуку". Иначе говоря, мы исходили из того, что система отсчета ВВ - "воздушная выделенная" - априори совпадает со "световой выделенной" системой отсчета, если допустить, что такая система существует.

В приведенном выводе формул (2), (3) и (4) звуковые волны являются произвольно выбранным переносчиком сигнала и могут быть заменены на любой другой. Ключевым является "приборный принцип", который и приводит к релятивистским эффектам.

Применение "приборного принципа" к гравитационному взаимодействию приводит к формуле центробежной силы во вращающейся системе отсчета как к следствию гравитационного взаимодействия тела со всеми массами Вселенной, то есть принципу Маха. Скорость распространения гравитационного взаимодействия полагается равной скорости света в вакууме и изотропной (см. работу Filippov 2022). Выражение для центробежной силы в этом подходе оказывается равным

$$F = K \times mw^2r$$

где

$$K = \frac{\pi^2 GR_0^2 \rho}{8c^2}$$

Для современных оценок видимого размера Вселенной R_0 и средней плотности вещества D эта безразмерная константа K оказывается порядка $K \sim 1 \div 10$.

Здесь два ключевых момента. Во-первых, полученное выражение совпадает с классической формулой для центробежной силы. Во-вторых, в работах (Dicke 1957, 1959, Sciama 1953) из анализа эйнштейновского принципа эквивалентности для модели "тестового тела", свободно падающего на Солнце, и из соображений размерности получено следующее условие: соблюдение принципа Маха требует, чтобы безразмерный комплекс $\frac{GM}{R_0 c^2}$ был порядка 1. Положив $M = \frac{4\pi}{3} R_0^3 D$, получаем сов-

падение данного комплекса с найденной нами константой.

3. О СТРОГОМ ВЫВОДЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛОРЕНЦА

В реальной физической Вселенной единственным "прибором" - то есть объектом, переносящим информацию о событиях, являются электромагнитные волны - в отличие от модельной "звуковой Вселенной". Применение "приборного принципа" к световым сигналам и строгое рассмотрение процесса измерения длин движущихся отрезков и промежутков времени позволяет доказать, что все эффекты СТО (включая принцип постоянства скорости света) - следствия конечности скорости электромагнитных волн. Строгий вывод преобразований Лоренца, основанный на единственном предположении о изотропии скорости света в одной ИСО (без дополнительного постулирования равенства относительных скоростей систем отсчета) описан в работе Filippov (2020a). Здесь приводится краткое изложение этого вывода и все результаты.

4. ДЛИНЫ ДВИЖУЩИХСЯ ОТРЕЗКОВ

В произвольной ИСО расположен гипотетический наблюдатель. Исходное положение - изотропия скорости света в вакууме в этой ИСО. Данный наблюдатель исследует две ИСО, движущиеся относительно исходной системы отсчета и друг относительно друга и проводящие измерения с использованием световых сигналов. Скорости этих двух систем относительно исходной ИСО - V_1 V_2 . Подробное рассмотрение процессов измерения в (Filippov 2020a) приводит к такому результату: ситуация с измерением длины симметрична если с точки зрения лабораторной системы отсчета отрезок "В", расположенный в движущейся системе, равен отрезку "А" расположенному в лабораторной системе, то с точки зрения движущейся системы отрезок "А" короче, чем отрезок "В" и коэффициент умень-

шения равен $K < 1$:

$$K = \frac{c^2 - v_1^2}{c^2 - v_1 v_2} \frac{c^2 - v_2^2}{c^2 - v_1 v_2} \quad (5)$$

Может создаваться впечатление, что этот результат отичается от положений СТО. Однако это не так. Далее в Filippov (2016a) показано следующее: если любой из наблюдателей будет измерять скорость другого наблюдателя, используя в качестве единицы измерения полученную им в своей ИСО скорость света, результаты у них получаются одинаковыми:

$$\frac{u_1}{c_1} = \frac{u_2}{c_2} = \frac{1}{c} \frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad (6)$$

где $\frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}$ относительная скорость в СТО.

Аналогичное утверждение справедливо для любых кинематических измерений, произведенных в одной из движущихся ИСО. То есть "приборный принцип" приводит к релятивизму, в том числе - к одинаковым результатам измерения скорости света (подробнее о скорости света в следующем разделе).

4.0.1. Преобразования координат и времени

Применение формулы (5) и логики Эйнштейновского определения одновременности позволяет вывести преобразования координаты, сонаправленной с относительной скоростью систем отсчета, и промежутков времени между событиями, одноместными в "движущейся" системе. Вводим для системы отсчета, имеющей скорость V_1 , собственную координату и время:

$$t'_1 = \sqrt{1 - \frac{V_1^2}{c^2}} t \quad (7)$$

$$x'_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_1^2}{c^2}}} x \quad (8)$$

а для системы имеющей скорость V_1 ,

$$t'_2 = \sqrt{1 - \frac{V_2^2}{c^2}} t' \quad (9)$$

$$x'_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_2^2}{c^2}}} x' \quad (10)$$

где (t, x) - время и координата в первой ИСО измеренные наблюдателем из исходной ИСО, соответственно (t', x') - во второй ИСО. Тогда преобразования координат и времени имеют вид

$$t'_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} t'_1 - V/c^2 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} x'_1 \quad (11)$$

$$x'_2 = -\frac{V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} t'_1 + 1 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} x'_1 \quad (12)$$

где $V = \frac{V_2 - V_1}{1 - V_1 V_2 / c^2}$. То есть это преобразования Лоренца. В этих координатах все параметры (относительные скорости, скорость света, длина движущегося отрезка) приобретают свойства симметрии. В частности, $c_1 = c_2 = c$ (Filippov 2020a).

Итак, применение "приборного принципа" позволяет наглядно получить группу Лоренца, то есть подтвердить выводы СТО. Далее, применение формулы (5) приводит к следующим результатам: йнштейновский закон сложения скоростей, формулы зависимости инерции тела от содержащейся в нем энергии, квадратичный эффект Доплера Filippov (2020a), формула магнитного действия электрического тока - сила Лоренца (Filippov 2020b), (Filippov 2020c) и, как уже было показано, прямая пропорциональная зависимость инертной массы тела от гравитационной - принцип Маха (Filippov 2022). Применение "приборного принципа" к анализу взаимодействия электрических зарядов позволяет не только вывести формулу силы Лоренца, но и предложить эксперимент по измерению электродинамического эффекта первого порядка, не требующего такой чувствительности и точности, как измерение скорости света (Filippov 2016b).

5. ИНВАРИАНТНОСТЬ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛОРЕНЦА. ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ.

Невозможность обнаружить на опыте нарушение Лоренц-инвариантности законов электродинамики и механики может быть вызвана физическими свойствами сигнала или среды. Это принципиально отличается от схемы описанной в разделах 2 и 3, где природа сигнала роли не играет. Ниже приведены два примера: распространение света в среде и слабые звуковые волны в газе. В обоих примерах уравнения, описывающие переносчик сигнала оказываются инвариантны относительно преобразований Лоренца, что делает невозможным обнаружение нарушения Лоренц-инвариантности с помощью часов и линеек, основанных на этих сигналах. Оба эти примера являются мысленными экспериментами и служат прежде всего для иллюстрации положения о необходимости анализа экспериментальной методики.

5.1. Электромагнитные волны в среде с $\varepsilon = \mu$

Пример такой среды был предложен в работе Dicke (1957).

Пусть в системе отсчета $[R]$ покоится некоторая среда и выполняются уравнения Максвелла. Рассматривается переход в другую инерциальную систему отсчета $[R']$. Для определенности ограничимся только случаем когда система отсчета $[R']$ движется с постоянной скоростью $\vec{u} = u \vec{e}_x$ относительно системы отсчета $[R]$. В общем случае уравнения Максвелла (??) не сохраняют свой вид при таком переходе, поскольку среда задает физически выделенную систему отсчета $[R]$, где она покоится. Однако как показано в Dicke (1957) в частном случае равенства диэлектрической ε и магнитной μ проницаемостей возникает дополнительная симметрия.

При $\varepsilon = \mu$ (ε не зависит от t и x) уравнения для $[R]$ с учетом среды совпадают с уравнениями для вакуума с точностью до замены c

на $c_M = c/\varepsilon$, а также ρ_0 на ρ/ε и \vec{j}_0 на \vec{j}_0/ε . Рассматривая систему координат $[R']$, приняв преобразования Лоренца и дополнив их преобразованием полей получаем, что уравнения Максвелла в среде в системе $[R']$ принимают тот же вид что и в системе $[R]$. То есть они инвариантны относительно преобразований Лоренца.

А значит, если часы, сделанные на электромагнитных процессах в такой среде, покоятся в системе отсчета $[R]$ и показывают время t_0 , то точно такие же часы, но покоящиеся уже в системе отсчета $[R']$, покажут время t'_M .

$$t'_M = \frac{t_0 - ux_0/c_m^2}{\sqrt{1 - u^2/c_m^2}} \quad (13)$$

Аналогично, если линейка сделанная на основе электромагнитных процессов в такой среде показывает в системе отсчета $[R]$ расстояние $|\vec{x}_0|$, то точно такая же линейка в системе отсчета $[R']$ покажет уже расстояние $|\vec{x}'_M|$ Dicke (1957).

Следовательно, при измерении времени и расстояния с помощью таких часов и линеек мы получим все релятивистские эффекты. В частности, если "частица" движется в R со скоростью света c_m в среде, то наблюдатель в $[R']$ измерит c_M . Т.е. подобный наблюдатель может сделать вывод о постоянстве скорости света c_M в среде во всех "инерциальных" системах отсчета Dicke (1957).

5.2. Звуковые волны в атмосфере

Вышеприведенные рассуждения можно применить и для слабых звуковых волн в атмосфере. Пусть теперь все пространство заполнено однородным идеальным газом с постоянными концентрацией $n_0^{(0)}$ и давлением $p_0^{(0)}$, покоящимся в системе отсчета $[R]$. Для простоты будем считать, что уравнение состояния газа имеет вид $p_0 = p(n_0)$, где p_0 и n_0 – давление и концентрация частиц газа, измеренные в системе отсчета $[R]$, соответственно. Тогда, в частности, мы имеем $p_0^{(0)} = p(n_0^{(0)})$. И следовательно в системе отсчета $[R]$

в системе координат $K_0 = (t_0, \vec{x}_0)$ уравнение для малых отклонений δn_0 концентрации частиц газа от равновесного значения $n_0^{(0)}$ в линейном по δn_0 приближении имеет вид:

$$\nabla_0^2 \delta n_0 - \frac{1}{c_S^2} \cdot \frac{\partial^2 \delta n_0}{\partial t_0^2} = 0 \quad (14)$$

где $c_S = \sqrt{\frac{1}{m} \frac{\partial p}{\partial n}(n_0^{(0)})}$ – скорость звука в невозмущенной среде, m – масса частиц газа. Снова перейдем в систему отсчета $[R']$ движущуюся относительно системы отсчета $[R]$ с постоянной скоростью $\vec{u} = u \vec{e}_x$ вдоль оси Ox . Дополним преобразования Лоренца преобразованием для отклонения концентрации:

$$\delta n'_S = \delta n_0 \quad (15)$$

и получаем, что в системе координат R' уравнение (14) принимает точно такой же вид как и в системе координат R :

$$(\nabla'_S)^2 \delta n'_S - \frac{1}{c_S^2} \cdot \frac{\partial^2 \delta n'_S}{\partial t'^2_S} = 0 \quad (16)$$

И следовательно, повторяя рассуждения из предыдущего раздела Dicke (1957), в силу инвариантности уравнений (14) при преобразованиях вида (??) мы сразу получаем, что все процессы связанные со слабыми звуковыми волнами в атмосфере в системе отсчета $[R']$, движущейся сквозь атмосферу со постоянной скоростью \vec{u} , будут протекать точно также как в системе $[R]$ покоящейся атмосферы. И если часы и линейки сделаны на основе слабых звуковых волн, то будет получено Лоренцево замедление времени и сокращение длины с заменой в лоренц-факторе скорости света на скорость звука. Если же некий объект имеет скорость звука в атмосфере в $[R]$, то и в $[R']$ при использовании таких же часов и линеек будет получена та же скорость $|\vec{V}'_M| = c_S$.

6. ОБСУЖДЕНИЕ

Принципиальная разница между выводами, полученными при применении "приборного принципа" и выводами, приведенными в параграфах §5.5.2 и выводами работы Dicke

(1957) состоит в том, что для приборного принципа не важна природа сигнала и не нужна среда. Важно еще и то, что приборный принцип не накладывает никаких условий на устройство часов и линеек (как, разумеется, и теория относительности). При этом логика, предложенная в работе Dicke (1957) вынужденно требует рассмотрения природы измерительных приборов, и то делает симметрию неполной. Чтобы избежать того в Dicke (1957) делается модельное предположение, что среда в которой распространяются электромагнитные волны влияет не только на них, но и на движение частиц. В результате и уравнения поля, и уравнения движения частиц становятся Лоренц-инвариантными, что делает невозможным отличить системы отсчета $[R]$ и $[R']$. То есть в Dicke (1957) вводится классическая гипотеза, которая дополняет модель до логической замкнутости, но не имеет физического обоснования.

Возвращаясь к логике приборного принципа отметим еще одно следствие уравнения (5). Оставаясь в условиях описанного в разделе 2 "звукового мира", можно оценить при какой точности измерений нарушение симметрии будет обнаружено экспериментально, и перенести эти расчеты на модель "светового" мира в вакууме. Измеряя скорости друг друга и скорость света наблюдатели обнаружат вариацию результатов на уровне u^2/c^2 (Filippov 2020a). Если проводить сравнение с измерениями возможной вариации скорости света, вызванной движением Солнечной системы относительно системы покоя реликтового излучения то вариация скорости света составит около 10^{-7} от абсолютного значения.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основополагающей работе Альберт Эйнштейн писал: "Суждения всякой теории касаются соотношений между твердыми телами (координатами и системами), часами и электромагнитными процессами. Недостаточное понимание этого обстоятельства является корнем тех трудностей, преодолеть которые приходится теперь электродинамике дви-

жущихся тел" (Einstein 1905). Эти слова не утратили актуальности.

В настоящей работе рассмотрены названные создателем СТО соотношения в двух принципиально различных ситуациях. В ситуации, описываемой приборным принципом, физическая природа сигнала не играет роли: важен прежде всего факт запаздывания этого сигнала.

В двух примерах, где невозможность обнаружить нарушение лоренц инвариантности вызывается свойствами сигнала и среды все иначе: уравнения, описывающие переносчик сигнала Лоренц инварианты и это маскирует нарушение симметрии - при условии, что часы и линейки построены на тех же сигналах. Приборный принцип показывает, что независимость скорости света от движения источника и наблюдателя, а также принцип относительности - суть следствия того факта, что переносчиком информации во Вселенной являются электромагнитные волны.

Показано, что релятивистские эффекты кардинально зависят от процесса измерения, точнее, от используемого в этом процессе "прибора". Это является доводом в пользу того, что и интерпретации результатов экспериментов по лоренц-инвариантности, даже если эти результаты отрицательны, следует подходить с осторожностью и тщательно исследовать экспериментальную методику.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны...

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке...

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- M. Consoli and A. Pluchino, *Universe* **7** (8), 311 (2021).
 P. Delva, J. Lodewyck, S. Bilicki, et al., *Phys. Rev. Lett.* **118** (22), 221102 (2017).
 R. H. Dicke, *Reviews of Modern Physics* **29** (3), 363 (1957).
 R. H. Dicke, *Science* **129** (3349), 621 (1959).
 A. Einstein, *Annalen der Physik* **322** (10), 891 (1905).
 K. V. V. Filippov, L. I., *Физическое образование в вузах* **1** (10), 75 (2022).
 L. I. Filippov, *World journal of mechanics* **6** (1), 52 (2016a).
 L. I. Filippov, *World journal of mechanics* **6** (1), 305 (2016b).
 L. I. Filippov, *Физическое образование в вузах* **3** (10), 84 (2020a).
 L. I. Filippov, *Физическое образование в вузах* **1** (1), 16 (2020b).
 L. I. Filippov, *Физическое образование в вузах* **4** (1), 21 (2020c).
 D. Mattingly, *Living Reviews in Relativity* **8** (1), 5 (2005).
 A. I. Musienko and L. I. Manevich, *Physics Uspekhi* **47** (8), 797 (2004).
 D. W. Sciama, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **113**, 34 (1953).
 P. Wolf and G. Petit, *Phys. Rev. A* **56** (6), 4405 (1997).