

Дневник

Quod sentimus loquamur,
quod loquimur sentiamus!

VEcordia

Извлечение R-ОАКЛ-3

Открыто: 2012.10.07 01:43
Закрито: 2012.12.22 18:16
Версия: 2018.07.27 23:24

ISBN 9984-9395-5-3

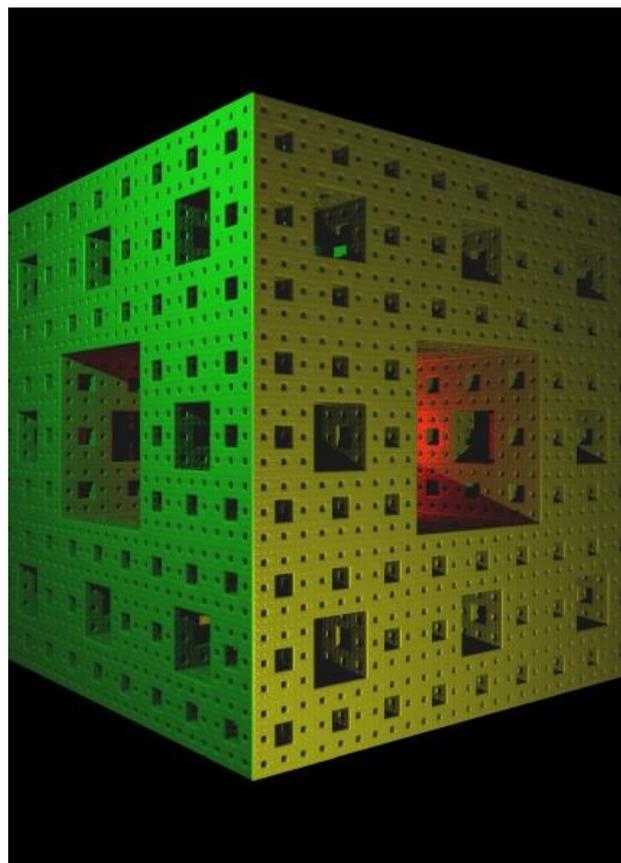
Дневник «VECORDIA»

© Valdis Egle, 2018

ISBN

Олег Акимов. «Критика ТО»

© О.Е. АКИМОВ, 2005



Олег Акимов

Критика ТО

С комментариями Валдиса Эгле

Impositum

Grīziņkalns 2018

Talis hominis fuit oratio,
qualis vita

Критика ТО

(Продолжение; начало в {[R-OAKL2](#)})

10. Эксперимент Майкельсона–Морли

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es10.htm>

– I –

Накануне выхода в свет академического «Собрания научных трудов Альберта Эйнштейна» в четырех томах, т.е. в 1964 г., Президиум АН СССР издал закрытое Постановление о запрете критики теории относительности. Редакторам научных журналов предписывалось не принимать к рассмотрению работы, содержащие антирелятивистскую «ересь». Сегодня наша родная Академия растеряла былой авторитет, про то инквизиторское Постановление все успели забыть, однако сами антирелятивисты оказались не в состоянии договориться относительно трактовки эксперимента Майкельсона–Морли.

Между тем большинство историков естествознания сходятся во мнении, что этот эксперимент положил начало релятивистской физике. В данном случае мы можем смело присоединиться к этому большинству. Событие, произошедшее более ста лет назад, всё еще современно. По словам Роберта Оппенгеймера, видного американского физика, отца атомной бомбы, эксперимент Майкельсона–Морли «был одним из величайших и решающих экспериментов в истории науки» [1,¹ с. 17], а по словам английского ученого Дж. Бернала, «величайшим из всех отрицательных опытов в истории науки» [2,² с. 74].

Это и не удивительно, ведь по результатам эксперимента, точнее, по их отсутствию была создана специальная теория относительности. Значение эксперимента действительно трудно переоценить, ибо он должен был подтвердить наличие светоносной среды – эфира, *гипотезу* которого после этого эксперимента релятивисты отвергли и приняли *теорию* относительности. И хотя отсутствие «эфирного ветра» еще не доказывало отсутствие эфира,³ релятивисты из своего позитивистского понимания «простоты» научной концепции, решили от него избавиться. В то время позитивисты объявили субстанциональные понятия вроде «материи» пережитками метафизики.

Альберт Абрахам Майкельсон (1852–1931) и Эдвард Уильямс Морли (1838–1923) провели свой знаменитый эксперимент в Соединенных Штатах. Но впервые проблемой «эфирного ветра» Майкельсон заинтересовался еще во время прохождения в 1880–1882 гг. стажировки в научных центрах Европы у Гельмгольца, Рэля и Кельвина (У. Томсона). Эксперимент 1881 года проводился в Берлинском университете на средства американского изобретателя телефона А. Белла; затем его перенесли в подвал Потсдамской обсерватории. Однако его установка имела низкую точность и высокую чувствительность к вибрациям. При проведении опытов в США эти недостатки не были устранены полностью, но существенно снижены.

В Кливленде, где проводилась вторая серия опытов, имеется памятная доска, гласящая:

«Недалеко от этого места в июле 1887 года доктор А.А. Майкельсон, профессор института Кейса, и доктор Э.У. Морли, профессор университета «Вестерн Резерв», провели знаменитый эксперимент Майкельсона–Морли, явившийся выдающимся научным достижением XIX века и

¹ Оппенгеймер Р. *Летающая трапеция*. – М.: Атомиздат, 1967.

² Джефф Б. *Майкельсон и скорость света*. – М.: Иностранная литература, 1963.

³ В.Э.: Нет, не так; надо было формулировать следующим образом: «... хотя результат эксперимента Майкельсона–Морли еще не доказывал отсутствие «эфирного ветра»...» (Ведь если результат этого эксперимента объясняется абберацией и эффектом Доплера – как утверждает автор –, то «ветер»-то на самом деле существует, только данным способом его обнаружить нельзя).

ставший краеугольным камнем современной физики. Эта плита установлена обоими выше названными учебными заведениями в день столетия со дня рождения доктора Майкельсона, 9 декабря 1952 года» [2, с. 151].

Сам Альберт Эйнштейн говорил, что с результатами эксперимента «связано само существование или опровержение теории относительности» [3,⁴ с. 188]. Во время торжественного обеда в Калифорнийском технологическом институте, где присутствовал Майкельсон, Эйнштейн поднял бокал и произнес следующие слова:

«Я пришел к тем, кто в течение многих лет были моими верными друзьями и сопутствовали мне в моей работе. Вы, уважаемый д-р Майкельсон, начали эту работу, когда я был совсем маленьким мальчиком меньше трех футов ростом. Именно Вы указали физикам новые пути и своей замечательной экспериментальной работой проложили путь развитию теории относительности. Вы нанесли непоправимый урон существовавшей тогда теории эфира и способствовали появлению идей Лоренца и Фицджеральда, из которых впоследствии развилась специальная теория относительности» [4,⁵ с. 112].

Вряд ли великому экспериментатору, тогда уже смертельно больному человеку (через четыре месяца Майкельсон скончался) было лестно слышать о том, что он «нанес непоправимый урон существовавшей тогда теории эфира». До конца своих дней он свято верил в существование эфира и не принимал теорию относительности Эйнштейна.

В памятной речи в Берлине, произнесенной 17 июля 1931г., Эйнштейн вновь сказал: «Именно это негативное открытие в значительной мере способствовало признанию правильности теории относительности» [4, с. 113]. Еще раньше, 14 декабря 1922 г. в Японии, во время чтения в Киотском университете популярной лекции «Как я создал теорию относительности» он вспоминает:

«Еще студентом я познакомился с необъяснимыми результатами опыта Майкельсона и интуитивно пришел к выводу, что, возможно, мы ошибаемся, считая, будто Земля движется относительно эфира, так как опыт не подтверждает этого. По сути, так я пришел к тому, что сейчас именуется СТО... К тому времени я был знаком лишь с монографией Лоренца 1895 г., в которой ему удалось дать полное решение задач электродинамики в первом приближении, или, иными словами, в случае, когда не учитываются члены более высокого порядка, чем квадрат отношения скорости движущегося тела к скорости света. В этой связи я обратил также внимание на опыт Физо...» [4, с. 115–116].

Напомним, опыт Физо, который Майкельсон повторил незадолго до этого, натолкнул его на идею построения интерферометра, а в работе Лоренца 1895 г. обсуждались причины неудавшихся экспериментов 1881 г. и 1887 г.

Необходимо иметь в виду, что в первой статье 1905 г. Эйнштейн упоминает «неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно "светоносной среды"» [5,⁶ с. 7]. Под «попытками», очевидно, понимаются проведенные Майкельсоном эксперименты. Анализ статьи показывает, что все рассуждения об относительности длины и времени автор выстраивает, исходя из схемы хода лучей в интерферометре Майкельсона. В статье записывались *классические* суммы $(c + v)$ и разности $(c - v)$ скоростей в одном направлении и величина $(c^2 - v^2)^{1/2}$ в другом направлении, перпендикулярном к первому, в точном соответствии со схемой эксперимента.

Несмотря на то, что прошло более 120 лет, эксперимент всё еще лежит в основаниях современной физики, причем является ее «краеугольным камнем», как написано на мемориальной доске. Правда, существует и противоположное мнение, принадлежащее, в частности, Джеральду Холтону, который утверждает, что эксперимент Майкельсона–Морли оказал косвенное влияние на разработку теории относительности. В качестве доказательства он приводит поздние высказывания Эйнштейна, которые сильно расходятся с тем, что цитировалось выше. Холтон привел выдержки из писем и интервью с Эйнштейном, относящиеся к 1950-м годам.

⁴ Эйнштейн А. *Новые опыты по влиянию движения Земли на скорость света относительно Земли*. СНТ. Т. 2. – М.: Наука, 1966.

⁵ Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М.: Наука, 1989.

⁶ Эйнштейн А. *К электродинамике движущихся тел*. СНТ. Т. 1.–М.: Наука, 1965.

Первая цитата: «Когда я спросил Эйнштейна, как он узнал об опыте Майкельсона–Морли, он ответил, что прочитал о нем в работах Лоренца, но обратил на него внимание лишь после 1905 г.! "В противном случае, – сказал он, – я бы упомянул о нем в своей статье". Он также сказал, что из экспериментальных результатов наибольшее влияние на него оказали наблюдения аберрации звезд и опыты Физо по измерению скорости света в потоке воды. "Этого было достаточно", – сказал Эйнштейн» (4 февраля 1950 г.).

Вторая цитата: «Я спросил профессора Эйнштейна, когда он впервые услышал о Майкельсоне и его опыте. Он ответил: "Трудно сказать, когда я впервые услышал об опыте Майкельсона. Я не ощущал его прямого влияния в течение тех семи лет, когда жил теорией относительности. Видимо, я просто считал его результат само собой разумеющимся". Однако Эйнштейн отметил, что с 1905 по 1909 гг. он много думал о полученном Майкельсоном результате, обсуждал его с Лоренцем и другими, размышлял над общей теорией относительности. Потом он понял, что знал о результате Майкельсона и до 1905 г., так как читал работы Лоренца, но в основном просто полагал, что этот результат верен» (24 октября 1952 г.).

Третья цитата: «Влияние решающего эксперимента Майкельсона–Морли на меня было довольно косвенным. Я узнал о нем из основополагающего труда Г.А. Лоренца, посвященного электродинамике движущихся тел (1895), с которым познакомился до начала разработки специальной теории относительности. Основная посылка Лоренца о существовании покоящегося эфира представлялась мне неубедительной как сама по себе, так и из-за того, что она приводила к казавшемуся мне искусственным толкованию результата эксперимента Майкельсона–Морли» (декабрь 1952 г.).

Четвертая цитата: «Когда я развивал свою теорию, результат Майкельсона не оказал на меня заметного влияния. Я даже не могу припомнить, знал ли я о нем вообще, когда я писал свою первую работу» (2 февраля 1954 г.) [6,⁷ с. 297].

Знал, даже очень хорошо знал! В связи с этим Абрахам Пайс, близкий друг, сотрудник и биограф Эйнштейна написал:

«Из письма, написанного Эйнштейном Гроссману из Винтертура в 1901 г., видно, что опыт по обнаружению эфирного ветра по-прежнему занимал мысли Эйнштейна: "Мне пришел в голову новый, значительно более простой метод определения движения вещества относительно эфира. О, если бы безжалостная судьба позволила мне выполнить этот замысел!" Так как, – продолжает Пайс, – Эйнштейн в письме сразу перешел к делу, создается впечатление, что Гроссман уже что-то знал о другом методе, предложенном Эйнштейном раньше, когда они вместе учились в политехникуме. Из этого письма также видно, что Эйнштейн верил в существование эфира до 1901 г.» [4,⁸ с. 130].

Зять Эйнштейна, Рудольф Кайзер, женившийся в 1924 г. на его падчерице Ильзе, в 1930 г. под псевдонимом Антон Райзер опубликовал «героическое житие» отца-основателя теории относительности, которое опровергает вышепротитированные высказывания Эйнштейна. При этом Пайс предположил: «Так как Рудольф Кайзер, зять и биограф Эйнштейна, не был физиком, логично предположить, что приводимые ниже строки из книги Кайзера написаны самим Эйнштейном».

Дело не только в том, что Кайзер не был физиком. Здесь нужно задаться другим вопросом. Откуда бы зять узнал, чем занимался его тесть в студенческие годы, как только не от него самого. Послушайте, что написал зять о своем тесте или, правильнее сказать, Эйнштейн об Эйнштейне⁹:

«Он уже на втором году обучения в институте [1897–1898] натолкнулся на проблему света, эфира и движения Земли. Эйнштейн не переставал думать о ней и хотел построить установку, которая позволяла бы точно измерить характеристики движения Земли относительно эфира. О том, что такие же намерения были у других ученых, он в то время не знал. Тогда он еще не был знаком с крупным трудом великого голландского физика Хендрика Лоренца и со ставшим впоследствии знаменитым опытом Майкельсона. Он хотел двигаться вперед эмпирическим путем и считал, что задуманная им установка поможет решить проблему, далеко идущие последствия которой он предвидел уже тогда. Но создать такую установку ему не удалось. Преподаватели были настроены весьма скептически, а сам он не обладал необходимой предприимчивостью. Поэтому Альберт отложил осуществление своего замысла, но не отказался от него. Он по-прежнему надеялся на то, что в будущем сможет решать проблемы физики путем наблюдений и экспериментов» [4, с. 130].

⁷ Холтон Дж. *Эйнштейн и решающий эксперимент*. УФН, вып. 104, 1971.

⁸ Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М.: Наука, 1989.

⁹ В.Э.: Ну, по стилю это не Эйнштейн... Конечно, писалось по его рассказам, но писалось Кайзером.

О фальшивке своего зятя Эйнштейн в 1931 г. высказался так: «Книга Райзера является, по моему мнению, лучшей из написанных моих биографий. Она принадлежит перу человека, хорошо знающего меня лично» [4, с. 56]. Позже по образцу этой придуманной самим Эйнштейном биографии писались тысячи жизнеописаний «гениального» физика. В них широкой рекою текла откровенная ложь о ловком авантюристе. Достаточно сказать, что в книге Кайзера-Райзера имя Милевы Марич упоминается всего один раз в связи с его первой женитьбой. В таком же объеме о ней говорилось в биографиях, написанных другими авторами. Между тем недавно проведенные исследования жизни и деятельности Эйнштейна доказывают, что в основе статьи 1905 года по теории относительности лежала докторская диссертация его первой жены.

«Величайшего физика» часто представляют образчиком скромности, но здесь мы отчетливо видим крайне тщеславного человека, который ни в 1930-е, ни в 1950-е годы не хотел делиться славой с Майкельсоном. Он беззастенчиво обманывал журналистов, спрашивающих его о роли эксперимента Майкельсона–Морли в деле создания теории относительности. Создавалось впечатление, будто Эйнштейн свое детище сотворил из ничего, путем трансцендентной медитации. Все, включая зятя, говорили об удивительно прозорливом уме ученого. Впрочем, весьма вероятно, что обману подвергся и Рудольф Кайзер, который в те годы был главным редактором влиятельного периодического журнала, издаваемого в Берлине.

Родоначалник релятивистского учения, как и родоначалник психоаналитического учения, так удачно придумал себе легенду, что никто из близких и подумать не смел о фальсификации реальных событий. Оба авантюриста, и Эйнштейн и Фрейд, сочиняли о себе такие небылицы, в которые миллионы доверчивых граждан просто жаждали верить. После научно-политические круги, заинтересованные в культе личности, засекретили правдивую информацию о «Человеке XX столетия». Сегодня многое открылось. Любопытно было бы сравнить, что когда-то говорил о себе Эйнштейн и что фактически известно о нём. Однако такая цель перед нами сейчас не стоит.

Хочется верить, что Холтон, сторонник так называемого «тематического анализа», искренне заблуждался, когда написал:

«... Документы, с которыми мне пришлось работать в связи с изучением творчества Эйнштейна, вынудили меня пересмотреть роль опыта Майкельсона по отношению к первоначальной эйнштейновской формулировке теории относительности. Если вначале предполагалось, что этот эксперимент был одним из важнейших стимулов к созданию эйнштейновской теории, то теперь обнаружилось, что его роль была лишь косвенной и не слишком значительной в противоположность традиционным объяснениям и описаниям последовательностей событий, дающихся практически во всех физических текстах, затрагивающих данную проблему» [7,¹⁰ с. 7–8].

Свои выводы, как мы сейчас понимаем, известный американский историк науки построил исключительно на поздних высказываниях Эйнштейна, которым не следует доверять по причине, о которой сказано выше. Однако при этом не нужно забывать и о другой спекулятивной тенденции, которая с середины прошлого века стала набирать обороты. Философствующие релятивисты стали критически относиться к возможности построения фундаментальной теории, исходя только из опытных данных. Во главу угла они ставили некий чисто теоретический базис, который выбирался без всякой оглядки на эмпирию. Эйнштейн, как идеолог новой схоластики, тоже начал порывать с реальностью, считая, что конкретные эксперименты, включая опыт Майкельсона–Морли, не играют большой роли в деле познания мира. После его смерти появилось множество ученых, которые считали, что «этого эксперимента вообще не следовало ставить» [8,¹¹ с. 62], «в учебниках отдается незаслуженное предпочтение опыту Майкельсона–Морли» [9,¹² с. 28], физика, говорили они, всё равно развивалась бы по пути, предначертанному высшей релятивистской философией.

Это – абсолютно ошибочный взгляд на события. Да, эксперимент был не нужен; да, ему слишком много уделено внимания в учебниках. Но не потому, что релятивистская доктрина есть что-то само собой разумеющееся, и не потому, что она не требует никакого эмпирического подтверждения. Наоборот, она только и держится на плаву благодаря этому ложно поставленному опыту. Объясните результаты эксперимента Майкельсона–Морли с точки зрения

¹⁰ Холтон Дж. *Тематический анализ науки*. – М.: Прогресс, 1981.

¹¹ Бонди Г. *Относительность и здравый смысл*. – М.: Мир, 1967.

¹² Бонди Г. *Гипотезы и мифы в физической теории*. – М.: Мир, 1972.

классической физики, т.е. выбейте «краеугольный камень» из фундамента теории относительности, и вы увидите, как тут же всё здание современной физики рухнет.

Вот почему в учебниках средней и высшей школы до сих пор излагается объяснение главного эксперимента, которое не выдерживает никакой критики. Ортодоксальные релятивисты и вцепились в него мертвой хваткой, не желая выслушивать аргументы ни своих коллег, оторвавшихся от реальной почвы, ни здравомыслящих конструктивистов, которые, опираясь на классическую оптику, предлагали вполне прозрачную трактовку наблюдаемой интерференционной картины. Между тем, главный инициатор и автор эксперимента, Майкельсон, расценил дело своей жизни, как свою личную трагедию. Он «до конца дней своих не верил в теорию относительности, а однажды даже сказал Эйнштейну, что сожалеет, что его собственная работа, возможно, способствовала появлению этого монстра» [7,¹³ с. 87–88].

Отказаться от гипотезы эфира он был не в состоянии.

«Существование эфира, – писал Майкельсон, – кажется несообразным с теорией [относительности]; неподвижный эфир должен допускать возможность измерения *абсолютного* движения. Но как можно объяснить распространение световых волн без среды? По электромагнитной теории скорость перемещения электромагнитного возмущения равна величине, обратной корню квадратному из произведения диэлектрической постоянной на магнитную проницаемость; эти величины являются свойствами среды. Как объяснить постоянство скорости распространения, являющееся основным допущением (по крайней мере специальной теории относительности), если не существует среды?

Сделано было несколько попыток устранить эти воззрения: воскрешение отвергнутой корпускулярной теории, распространение вдоль силовых линий и т.д.; все эти теории не только ввели больше трудностей, чем объяснили, но они совершенно неспособны объяснить постоянство скорости распространения. Следует надеяться, что удастся примирить теорию с существованием среды или видоизменить ее, или же, наконец, что более вероятно, приписать требуемые свойства эфиру» [10,¹⁴ с. 175–176].

В этом отрывке Майкельсон под «постоянством скорости распространения» света, согласно специальной теории относительности, понимает самую первую (1905 г.) формулировку второго постулата, гласящую: *скорость света не зависит от того, движется или покоится его источник*. Позднее в этот постулат был включен и *приемник*; об этой подмене говорилось уже не раз, но лишнее напоминание здесь не помешает. На склоне лет великий экспериментатор всё еще питал надежды на положительный исход эксперимента:

«... Результат опыта оказался отрицательным, и это могло указать на то, что в самой теории заключается еще какая-то неполнота и неясность» [11,¹⁵ с. 128].

Так оно и было. Майкельсон не учел волновые свойства света и в своих рассуждениях пользовался точечным объектом, который не мог служить моделью волнового процесса, происходящего в его интерферометре. Он попытался как-то успокоить себя и оправдаться перед миром тем, что изобрел полезный прибор:

«Этот опыт имеет для меня исторический интерес, так как именно для решения указанной задачи [для обнаружения эфирного ветра] был изобретен интерферометр. Вероятно, всякий согласится, что произведенная нами работа в достаточной степени вознаградила нас за отрицательный результат опыта тем, что привела к изобретению интерферометра» [11, с. 128].

Чтобы раскрыть ошибку в схеме проведения эксперимента, нужно привести весь ход мыслей Майкельсона. В своей книге «Световые волны и их применение» он говорит о простой механической аналогии, которая натолкнула его на схему экспериментальной установки.

«Представим себе..., – пишет Майкельсон, – гребца в лодке, и притом сначала на спокойном озере, а затем на реке. Если он продвигается со скоростью, например, 6 км в час и если расстояние между станциями равняется 18 км, то ему необходимо 3 часа, чтобы проехать это расстояние, и 3 часа, чтобы вернуться, т.е. в сумме 6 часов. Но это верно только в том случае, когда в воде нет

¹³ Холтон Дж. *Тематический анализ науки*. – М.: Прогресс, 1981.

¹⁴ Майкельсон А.А. *Исследования по оптике*. – М. – Л.: Гостехиздат, 1948.

¹⁵ Майкельсон А.А. *Световые волны и их применение*. – М. – Л.: Гостехиздат, 1934.

течения. Но если существует течение, скорость которого равна, например, 1 км в час, то время, потребное для того, чтобы проехать всё расстояние по течению, будет равняться не 18:6, а 18:(6 + 1,5), т.е. 2,4 часа. Время, необходимое для обратного пути, т.е. против течения, будет равняться 18:(6 – 1,5), т.е. 4 часам, и вместе с первым промежутком это составит 6,4 часа вместо прежних 6 часов» [11, с. 127] и т.д.

Позднее эта аналогия с гребцом повторяется у других авторов, которые также считали ее исчерпывающей для разъяснения эксперимента. Например, Бернард Джефф, биограф Майкельсона и друг Эйнштейна (последний, кстати, писал биографу, что опыт «укрепил мою уверенность в правильности принципа специальной теории относительности»), в книге «Майкельсон и скорость света» воссоздает точно такую же механическую аналогию, но излагает ее короче, чем у Майкельсона, и на других числах. Приведем ее целиком.

«Два человека в неподвижной воде гребут с одинаковой скоростью 1,5 м/с. Вода в реке, по которой они плывут, движется со скоростью 1,2 м/с, а ширина реки 27 м. Первый гребец проходит на лодке 27 м вниз по течению и затем обратно. Вниз по течению он движется со скоростью 2,7 м/с, на обратном пути его скорость равна всего 0,3 м/с. На всю поездку, таким образом, у него уходит $27/2,7 + 27/0,3 = 100$ с.

Скорость передвижения второго гребца, идущего поперек течения, может быть представлена катетом прямоугольного треугольника; другим катетом, которым является скорость движения воды, равная 1,2 м/с, а гипотенузой – скорость, с которой гребец передвигается в неподвижной воде, – 1,5 м/с. Отсюда:

$$1,5^2 = 1,2^2 + v^2, v = 0,9 \text{ м/с}; t = 27/0,9 = 30 \text{ с.}$$

Второй гребец для прохождения пути туда и обратно затратит 60 секунд вместо 100. Пользуясь этой простой аналогией, Майкельсон рассудил, что эфир будет меньше замедлять свет, если свет будет распространяться под прямым углом к направлению движения Земли, и больше, когда он движется в пространстве в том же направлении, что и Земля» [2,¹⁶ с. 52–54].

Прямой перенос этого примера с гребцами на лучи света, распространяющиеся вдоль плеч интерферометра, недопустим. Майкельсон наблюдал интерференцию, а она требовала анализа именно *волнового* процесса, происходящего в эфирной среде. Воспользовавшись в своем мысленном эксперименте водной поверхностью, ему нужно было проанализировать динамику волн, а не движение *физического тела* в виде лодки. Перемещение гребца в пространстве еще может повторить движение приемника, но оно не в состоянии учесть одновременное движение источника волн.

Разность фаз он считал, исходя только из времени прохождения лодки с гребцом на четырех участках: по течению (t_1), против течения (t_2), поперек течения туда (t_3) и поперек течения обратно (t_4). Затем он брал разность между временем, затраченным вдоль течения, и временем, затраченным поперек течения: $\Delta t = t_1 + t_2 - t_3 - t_4$. Всё, расчёт окончен! Точно такой же расчет был принят для световых лучей в интерферометре.

Как видим, Майкельсон ни слова не сказал об эффекте Доплера (продольная составляющая) и эффекте абберрации (поперечная составляющая). Это и понятно, поскольку точечный объект (лодка с гребцом) не мог навести его на мысль о существовании этих эффектов, проявляющихся только в волновых процессах. Но если бы он учел их, то моментально бы понял, что рассчитанная его способом разность фаз полностью компенсировалась бы этими двумя эффектами.

Фактически, Майкельсон рассчитал разность хода лучей при движущемся приемнике, но при неподвижном (относительно эфира) источнике света. Без всякого вычерчивания хода лучей в интерферометре понятно, что при одновременном движении источника и приемника длина волны не меняется. Следовательно, не будет меняться и интерференционная картина от горизонтальных и вертикальных волн при любом положении интерферометра относительно вектора скорости перемещения Земли.

Лоренц, проанализировавший в 1895 г. результаты эксперимента и расчеты, написал:

«Именно вследствие недосмотра Майкельсон вставил в расчет удвоенное значение ожидаемого по теории изменения разностей фаз; при исправлении этой ошибки получают смещения, которые как раз могут еще покрыться ошибками наблюдения» [12,¹⁷ с. 4].

¹⁶ Джефф Б. *Майкельсон и скорость света*. – М.: Иностранная литература, 1963.

¹⁷ Лоренц Г.А. *Новые направления в физике // Старые и новые проблемы физики*. – М.: Наука, 1970.

Действительно, в первой своей работе Майкельсон допустил арифметическую ошибку. Ее заметил Лоренц, но сам он просмотрел у него куда более принципиальную ошибку физического свойства. Знаменитый теоретик, как и знаменитый экспериментатор, не учел волновую природу света.

Много позже, в докладе, прочитанном 22 октября 1913 г. на тему «Новые направления в физике», для разъяснения сути эксперимента Майкельсона он вновь прибегает к точечным объектам:

«Допустим, – рассказывал он своим слушателям, – что два человека находятся на расстоянии в несколько метров, а их собака должна бежать от одного к другому и обратно с определенной скоростью. Подсчитаем время, затраченное собакой. Затем допустим, что два человека, следуя друг за другом на том же расстоянии, идут дальше, разумеется, с меньшей скоростью, чем собака, причем последняя снова бежит от одного к другому и обратно. Теперь ей потребуется больше времени, чем прежде. И наконец, возьмем третий случай. Два человека движутся с той же скоростью, что и раньше, и на том же расстоянии друг от друга, причем соединяющая их линия перпендикулярна направлению движения; предположим, что они движутся по разным сторонам дороги. Собака снова должна бежать от одного гуляющего к другому, но ни в коем случае по так называемой линии преследования, а обязательно по прямой. Совершенно очевидно, что и на этот раз затрачивается больше времени, чем в первом случае, ибо собаке приходится преодолевать путь под косым углом, однако, промежуток времени в третьем случае оказывается несколько короче, чем во втором случае» [12,¹⁸ с. 128].

Каким бы способом собака не бежала, она никак не могла проиллюстрировать волновой процесс, происходящий в интерферометре. Собаки и лодки – это не те объекты, на которые можно было бы проецировать оптические явления. Таким образом, Лоренц, как и Майкельсон, абсолютно не представлял себе ход волн при движении интерферометра через неподвижный эфир. Научный же авторитет обоих был так велик, что смельчаков, которые бы усомнились в их правоте, в то время не нашлось. Да и вся ситуация в тогдашней физике не располагала к поиску решения в сфере классической физики. Неправильное истолкование эксперимента Майкельсоном и Лоренцем нарождающийся класс релятивистов воспринял как подарок судьбы.

– II –

Прежде чем разбираться в деталях интерферометра Майкельсона, давайте посмотрим на него сверху, и попытаемся понять, к чему приводит недооценка эффекта абберации.

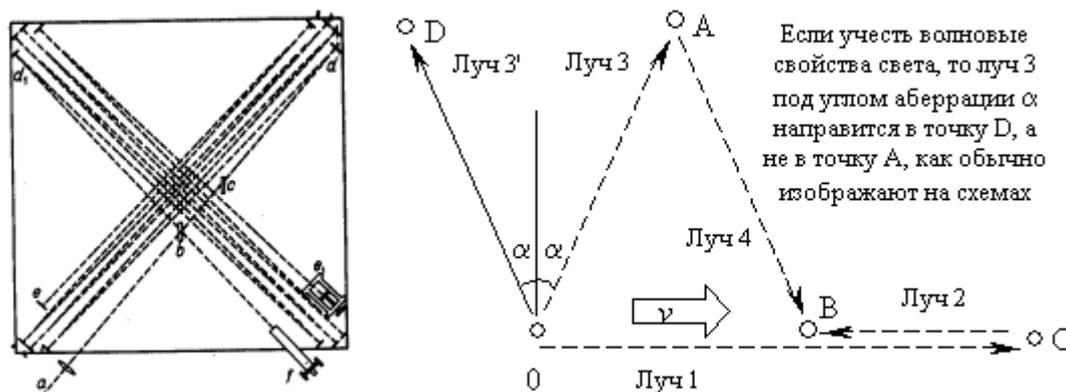


Рис. 1

Слева на рис. 1 показан прибор, как говорится, с птичьего полета. Справа на этом же рисунке вычерчена традиционная схема лучей. На правом рисунке мы видим квадратное основание, на котором закреплены источник света, система зеркал, многократно отражающих луч света, и оптический прибор (Майкельсон называл его «телескоп») для наблюдения интерференционной картинки.

¹⁸ Лоренц Г.А. *Новые направления в физике* // Старые и новые проблемы физики. – М.: Наука, 1970.

Система зеркал нужна для увеличения оптического хода интерферирующих лучей, которая напрямую связана с разностью фаз. Принципиального значения они не имеют: их может быть больше или меньше.

На правом рисунке луч 1 от источника света 0 распространяется в направлении движения Земли; луч 2 – это отраженный от зеркала С луч 1. Луч 3, отразившись от зеркала А, становится лучом 4. Как отметил Майкельсон, оптический путь, проделанный лучами 1–2, не равен оптическому пути, проделанному лучами 3–4. Следовательно, встретившись в точке В они дадут интерференционные полосы, расстояния между которыми пропорционально разности хода лучей 1–2 и лучей 3–4.

На этой традиционной схеме, которая воспроизводится во всех учебниках, рассказывающих об эксперименте Майкельсона–Морли, углом аберрации фактически является угол α . В самом деле, эффект аберрации сравнивают с эффектом «сноса» светового луча в ту или иную сторону в зависимости от движения источника или приемника. В школьных учебниках его разъясняют через косые струи воды, которые оставляет дождь на стекле движущегося автомобиля. Эти струи образуют острый угол с направлением вектора движения автомобиля. Вот почему для наблюдения звезд астрономы слегка поворачивают свои телескопы по направлению движения Земли. В противном случае участок волнового фронта, зашедшего в объектив телескопа, не достигнет окуляра.

В примере с телескопом и автомобилем движущимся является *приемник*. Лучи от звезды или капли дождя падают вертикально вниз, но за счет движения приемника образуется острый угол α , который – еще раз подчеркнем – будет откладываться от нормали в сторону направления движения приемника.

Ну, а что произойдет, если движется источник? Представьте себе, что в кузове автомобиля установлен фонтан, струя которого направлена вертикально вверх. При движении автомобиля эта струя отклонится назад. Следовательно, угол аберрации α при движении источника света нужно откладывать от нормали в противоположную сторону от вектора скорости перемещения источника.

Таким образом, луч 3 от источника света 0 пойдет не по направлению к точке А, а по направлению к точке D. Майкельсон ошибся.¹⁹ В его голове стояла картина реки с двумя лодками, которые двигаются вдоль и поперек течения. Именно для этой картины он производил временной расчет хода лучей и получал разность фаз. Но этим не исчерпываются недостатки его чертежа.

Внешне майкельсоновская схема хода лучей в интерферометре, взятая из работы [14]²⁰, напоминает чертеж из геометрической оптики, когда все углы отражения равны углам падения. Но при наличии аберрации этот закон нарушается. Луч света, падающий на полупрозрачное зеркало под углом в 45° , отразится уже не под тем же углом, а под другим: $45^\circ + \alpha$. Следовательно, в случае быстрого перемещения источника, приемника и системы зеркал уже нельзя пользоваться законами *геометрической оптики*, справедливой только для *стационарного* случая. В *динамической* системе понятие «оптического пути» видоизменяется. В этом случае нужно учитывать эффект аберрации и эффект Доплера, которые не учитываются геометрической оптикой.

Вывод. Традиционная схема хода лучей в интерферометре не пригодна для расчета разности фаз, которая ответственна за интерференционную картину.

Прежде чем углубляться в детали интерферометра и схему эксперимента, давайте посмотрим, что происходило накануне до этого. С этой целью процитируем отрывок из статьи Майкельсона и Морли, написанной по итогам эксперимента 1887 года.

¹⁹ В.Э. 2012-12-19: Это рассуждение представляет собой чушь! Сферическая (для рисунка – круговая) волна пойдет во все стороны, как к точке D, так и к точке А; но идущая к точке D врежется в стенку интерферометра и заглохнет, а идущая к точке А пройдет к зеркалу, отразится и достигнет точки В, где встретится с волной, отраженной от С. Пути Майкельсон считал правильно.

²⁰ Майкельсон А. и Морли Э. *Об относительном движении Земли и светоносного эфира* / В кн.: Г.М. Голин, С.Р. Филонович. *Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.)*: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1989, С. 512–523. // Перевод С.Р. Филоновича статьи «On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether» /// *American Journal of Science*, Ser. 3, 1887, vol. 34, p. 203, p. 333–345.

«Согласно Френелю, – пишут авторы, – в волновой теории эфир, во-первых, предполагается находящимся в покое, за исключением внутренности прозрачных сред, в которых, во-вторых, он считается движущимся со скоростью, меньшей скорости среды в отношении $(n^2 - 1)/n^2$, где n – коэффициент преломления. Эти две гипотезы дают полное и удовлетворительное объяснение aberrации. Вторая гипотеза, несмотря на ее кажущееся неправдоподобие, должна считаться полностью доказанной, во-первых, замечательным опытом Физо и, во-вторых, нашим собственным исследованием. Экспериментальная проверка первой гипотезы составляет цель настоящей работы.

Если бы Земля была прозрачным телом, то, учитывая только что упомянутые эксперименты, вероятно, можно было бы допустить, что межмолекулярный эфир находится в пространстве в покое, несмотря на движение Земли по орбите; но мы не имеем права распространять выводы из этих экспериментов на непрозрачные тела. Однако вряд ли можно сомневаться, что эфир может проходить и действительно проходит через металлы. Лоренц приводит в качестве иллюстрации трубку ртутного манометра. Когда трубка наклонена, эфир, находящийся в пространстве над ртутью, безусловно, выталкивается оттуда, поскольку он несжимаем. Но опять-таки мы не имеем сопротивления, хотя и слабое, мы не могли бы, конечно, полагать, что непрозрачное тело, такое, как Земля в целом, обеспечивает свободное прохождение эфира через всю эту массу. Но, как удачно отмечает Лоренц, *«как бы то ни было, по моему мнению, в этом вопросе, также важном, лучше не позволять себе руководствоваться соображениями, основанными на правдоподобности или простоте той или иной гипотезы, а обращаться к опыту, чтобы научиться узнавать состояние покоя или движения, в котором находится эфир на поверхности Земли»*.

В апреле 1881 г. был предложен и испытан метод для решения этого вопроса.

При выводе формулы для измеряемой величины тогда было упущено из виду влияние движения Земли через эфир на путь луча, перпендикулярного этому движению. Обсуждение этого упущения и всего эксперимента составляет предмет очень глубокого анализа Г.А. Лоренца, который выяснил, что данным эффектом ни в коем случае нельзя пренебрегать. Как следствие, в действительности величина, которая должна быть измерена, составляет только половину предполагавшейся величины, и, поскольку последняя уже была едва за пределами ошибок эксперимента, выводы, сделанные из результатов опыта, могли вполне основательно подвергаться сомнению. Однако, поскольку основная часть теории сомнению не подлежит, было решено повторить эксперимент с такими изменениями, которые давали бы уверенность в том, что теоретический результат достаточно велик, чтобы не быть скрытым экспериментальными погрешностями» [14,²¹ 515–516].

В этом пассаже авторы касаются проблемы «Увлечения света движущимися телами» – тема, подробно проанализированная в книге [15]²². Ее авторы, углубившись в историю вопроса, пишут:

«Еще Френель в цитированном выше письме, в котором было введено понятие о коэффициенте увлечения, показал, что принятие значения $k = (n^2 - 1)/n^2$ позволяет объяснить отсутствие влияния движения Земли на некоторые оптические явления, даже если признать неподвижность эфира, т.е. явно отказаться от распространения принципа относительности на электродинамику. В дальнейшем вопрос о коэффициенте увлечения становится центральным пунктом теории. Признав недостаточно обоснованными исходные предпосылки Френеля (различная плотность эфира в разных телах при одинаковой его упругости), последующие исследователи пытались дать динамическую интерпретацию эффекта увлечения, исходя из других моделей.

Стокс заметил, что френелевский коэффициент можно получить, если допустить, что внутри тела движется весь эфир, причем входящий в Землю или другое тело спереди эфир сразу сжимается, а выходящий позади тела разряжается» [15, с. 27–28].

Отсюда становится понятно, что Майкельсон и Морли фактически проверяли именно эту идею Стокса, которой отдавал предпочтение и Лоренц. По модели Френеля никакого ветра эфир не вызывает: физические тела создают неоднородность в плотности эфира, которые движутся вокруг Солнца с орбитальной скоростью Земли, но сам эфир покоится. Франкфурт и Френк правильно заметили, если принять это – значит «явно отказаться от распространения принципа относительности на электродинамику». Между тем к моменту обсуждения этой острой проблемы

²¹ Майкельсон А. и Морли Э. *Об относительном движении Земли и светонесного эфира* / В кн.: Г.М. Голин, С.Р. Филонович. *Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.)*: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1989, С. 512 – 523. // Перевод С. Р. Филоновича статьи «On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether» // *American Journal of Science*, Ser. 3, 1887, vol. 34, p 203, p. 333–345.

²² Франкфурт У.И., Френк А.М. *Оптика движущихся тел*. – М.: Наука, 1972.

тотальный принцип относительности уже был провозглашен Махом. Те, кто соглашался с ним, автоматически переходили на позиции Стокса и Лоренца, придерживавшихся отнюдь не новой концепции.

По старым представлениям, Земля при своем движении вокруг Солнца должна обдуться эфирной средой подобно тому, как летящий мяч обдувается воздухом. Каким бы разряженным не был эфир, в результате трения Земля и другие планеты рано или поздно должны будут упасть на Солнце. Однако астрономы не заметили каких-либо замедлений в их движении: каждый последующий год в точности равен предыдущему. Дело усугублялось еще и тем, что физики установили, что свет представляет собой колебания электрического и магнитного поля, направленные перпендикулярно лучу распространения. Было установлено, что такие *поперечные* колебания возможны только в *абсолютно твердом* теле. Значит, планеты и все другие тела перемещаются в твердом теле? Абсурд!

Во времена Майкельсона не существовало объектов, которые могли бы служить моделью для подобного рода движений. Сегодня знания о мире существенно расширились. При изучении физики полупроводников были открыты механизмы, которые позволяют моделировать описанную выше ситуацию. Например, при низких температурах в германии образуются так называемые *экситоны*. Эти *квазичастицы* перемещаются в полупроводнике без переноса полупроводникового вещества.

Таким образом, в твердом теле образуются энергетические возбуждения, которые аналогичны атомам водорода и описываются соответствующими характеристиками: боровским радиусом орбиты, импульсом, массой и пр. При определенных условиях можно получить *биэкситоны* – аналог гелия, *триэкситоны* – аналог лития. Физики открыли *экситонную жидкость*, которая собирается в *капли*; капли можно испарять. Короче говоря, *физика твердого тела* имеет дело с механикой *супервещества*, которое надстраивается над обычным веществом.

Впрочем, и во времена Майкельсона многие конструктивно думающие физики считали, что атомы и молекулы обычного вещества образованы вихрями или какими-то более сложными возбуждениями эфирной среды. Например, Дж.Дж. Томсон пытался моделировать электрон и атом с помощью вихрей и фарадеевских трубок. Такие, как он, физики отлично понимали, что никакого «эфирного ветра» зарегистрировать нельзя. Земля и всё, что на ней находится (включая интерферометр Майкельсона), летит в открытом космосе подобно тому, как волна скользит по поверхности океана.

Трудно сказать, почему эксперимент Майкельсона–Морли произвел на релятивистов столь сильное впечатление. Ведь еще Маскар, после проведения большой серии экспериментов в 1869–1874 гг. сделал вывод:

«Явления отражения света, дифракции, двойного преломления и вращения плоскости поляризации в равной мере не в состоянии выявить поступательное движение Земли, когда пользуемся светом Солнца или земного источника» [15,²³ с. 31].

Франкфурт и Френк напоминают также, что подобные эксперименты были продолжены, в частности, Рэлеем (1902) и а Бресом (1905) с тем же отрицательным результатом. Спрашивается, почему нужно было ожидать чего-то экстраординарного от интерференционной картины, которая получалась в установке Майкельсона? По всему видно, что непонимание между исследователями проистекает от их мировоззренческих позиций.

О различиях в эпистемологическом подходе формалистов-феноменологов и рационалистов-конструктивистов можно говорить долго. Но сейчас важно понять, что мировоззрение Лоренца тяготело к первым, а Дж.Дж. Томсона – ко вторым. В своей электронной теории Лоренц, в отличие от Дж.Дж. Томсона, электрон представлял математической точкой и не ломал голову над его внутренней структурой. Он также считал, что атомы вещества существуют сами по себе, а эфирная среда – сама по себе. Его мышление пронизано абстрактной символикой, в нём мало места отводилось наглядным представлениям. За длинными математическими выкладками терялась физика явления.

Мышление Майкельсона, очевидно, тоже носило формально-феноменологический характер. Для него, как и для Лоренца, Земля «плавает» в эфирной среде, подобно лодке. Она сделана совершенно из другого «теста», чем «водная» среда. Поэтому он, как и Лоренц, был крайне удивлен, когда не обнаружил «эфирного ветра». Очевидно, они придерживались гипотезы

²³ Франкфурт У.И., Френк А.М. *Оптика движущихся тел*. – М.: Наука, 1972.

полного увлечения Землей, заключенного внутри нее эфира. Такого потрясения, например, Дж.Дж. Томсон никогда не испытывал, так как он разделял гипотезу Френеля о *частичном увлечении* эфира, которая предполагала, что построенный Майкельсоном прибор в принципе не мог обнаружить действие ветра.

Опыт Физо, проведенный в 1851 г. и повторенный Майкельсоном в 1886 г., дал ответ на вопрос: если свет распространяется в воде со скоростью, равной примерно $\frac{3}{4}c$, то какова будет его скорость, когда жидкость течет со скоростью v ? Ответ: скорость света изменится на величину коэффициента частичного увлечения эфира k . Что означает термин «частичное увлечение»? Он означает, что увлечению подвергается лишь «избыток плотности эфира в телах по сравнению с плотностью эфира в пустоте», т.е. Земля, интерферометр и все прочие эфирные «избытки плотности» могут лететь со скоростью 30 км/с, но они оставляют саму эфирную среду в покое.

Эксперимент Физо касался эффекта первого порядка по β ; Максвелл высказал предположение, что эффект по β^2 , возможно, даст о себе знать. Вот, как об этом говорил Майкельсон на юбилейной конференции 1927 года:

«В 1880 году я задумался над возможностью измерения оптическим способом скорости v движения Земли в Солнечной системе. Ранние попытки обнаружить эффекты первого порядка основывались на идее движения системы сквозь стационарный эфир. Эффекты первого порядка пропорциональны v/c , где c – скорость света. Исходя из представлений о любимом старом эфире (который теперь заброшен, хотя я лично еще его придерживаюсь), ожидалась одна возможность, а именно, что абберация света должна быть различной для телескопов, заполненных воздухом или водой. Однако эксперименты показали вопреки существующей теории, что такой разницы не существует.

Теория Френеля первая объяснила этот результат. Френель предположил, что вещество захватывает эфир, частично (увлечение эфира), придавая ему скорость v , так что $v' = kv$. Он определил k – коэффициент Френеля через показатель рефракции $n: k = (n^2 - 1)/n^2$. Этот коэффициент легко получается из отрицательного результата следующего эксперимента.

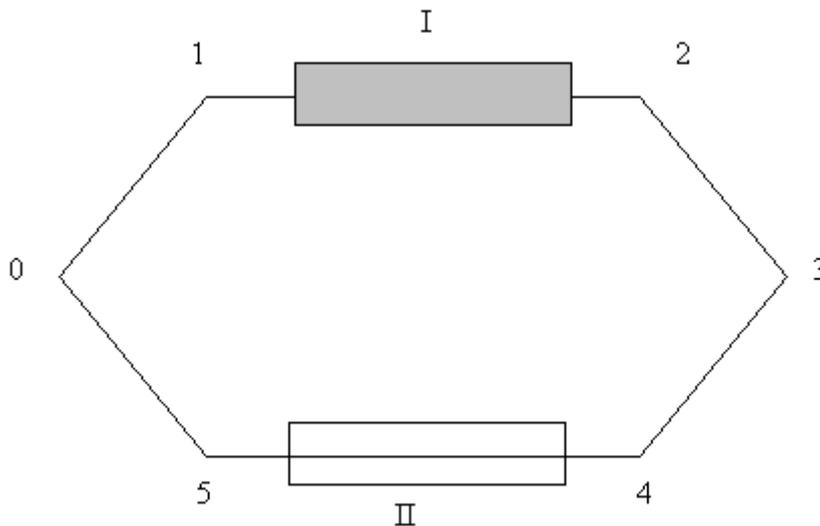


Рис. 2

Два световых луча пропускаются вдоль одного пути (0,1,2,3,4,5) в противоположных направлениях и создают интерференционную картину. I – это труба, заполненная водой. Если теперь вся система движется со скоростью v сквозь эфир, при перемещении трубы из положения I в положение II должно ожидатьсмя смещение интерференционных полос. Смещение же не наблюдалось. Из этого эксперимента при учете частичного увлечения эфира может быть определен коэффициент Френеля k . Он может быть также очень просто и непосредственно выведен из преобразований Лоренца.

Результат Френеля считался универсальным исследователями, включая Максвелла, который подчеркнул, что хотя не может существовать эффектов первого порядка, возможно, могут существовать эффекты второго порядка, пропорциональные v^2/c^2 . Тогда при $v = 30$ км/с для орбитального движения Земли $v/c = 10^{-4}$ и $v^2/c^2 = 10^{-8}$, значение слишком малое для измерения, по мнению Максвелла.

Мне показалось, однако, что, используя световые волны, можно придумать соответствующее приспособление для измерения такого эффекта второго порядка. Продуман аппарат, включающий в

себя зеркала, движущийся со скоростью v сквозь эфир, в аппарате два световых луча проходят взад и вперед, один параллельно к v , а другой – под прямым углом к v . В соответствии с классической теорией изменения в световом пути, вызванные v , должны быть различными для обоих лучей и это должно производить осязаемое смещение интерференционных полос. ...

При движении аппарата со скоростью v сквозь эфир должен возникать такой же эффект в свете, что и при движении лодки, стремящейся плыть вниз или вверх по течению или вперед и назад поперек течения. Время, требуемое для преодоления дистанции вперед или назад, будет различным для обоих случаев. Это легко видеть из того, что какова бы ни была скорость течения, лодка всегда должна вернуться к тому месту, из которого она стартовала, если она движется поперек течения, в то время как, если она движется вдоль течения, она может оказаться неспособной вернуться обратно против течения.

Я попытался провести эксперимент в лаборатории Гельмгольца в Берлине, но вибрации городских магистралей не позволили стабилизировать положение интерференционных полос. Аппаратура была перенесена в лабораторию в Потсдаме. Я забыл имя директора (думаю, что это был Фогель), но вспоминаю с удовольствием, что он немедленно проявил интерес к моему эксперименту. И хотя он никогда не видел меня раньше, он предоставил всю лабораторию вместе с ее штатом в мое распоряжение. В Потсдаме я получил нулевой результат. Точность была не очень высока, потому что длина оптического пути составляла около 1 м. Тем не менее, интересно отметить, что результат был вполне хорошим.

Когда я вернулся в Америку, мне посчастливилось в Кливленде вступить в сотрудничество с проф. Морли. В аппаратуре был применен всё тот же принцип, что и в аппаратуре, использованной в Берлине, хотя длина светового пути была увеличена за счет введения некоторого числа отражений вместо единственного прохождения луча; фактически длина пути составила 10–11 м, что должно было за счет орбитального движения в эфире дать смещение в половину полосы. Однако ожидаемого смещения обнаружено не было. Смещение полос было определено меньше, чем $1/20$ или даже $1/40$ от предсказанного теорией. Этот результат может быть истолкован так, что Земля захватывает собой эфир почти полностью, так что относительная скорость эфира и Земли на ее поверхности равна нулю или очень мала.

Это предположение, однако, весьма сомнительно, потому что противоречит другому важному теоретическому условию. Лоренцем было предложено иное объяснение (Лоренцево сокращение), которое в окончательной форме выведено как результат знаменитых преобразований Лоренца. Они составляют сущность всей теории относительности» [16]²⁴.

Френель нашел способ объяснения неизменности интерференционной картинке в эксперименте Физо явлением частичного увлечения эфира. Точно так же нужно было найти конкретную причину неизменности интерференционной картинке в эксперименте Майкельсона–Морли. Лоренц предложил сокращение линейных размеров физических тел в направлении вектора v , которое, как ему казалось, вытекало из найденных им преобразований Лоренца. Однако эти преобразования не имеют физического смысла, особенно в интерпретации эйнштейновского варианта теории относительности.

Истинная причина отрицательного результата лежит в другом, и смысл ее таков. Если источник волн находится на одной движущейся платформе с приемником, то за счет *компенсации* длина волны, частота и период колебаний останутся такими же, как и при неподвижной платформе. Вы можете поворачивать эту платформу на любой угол по отношению к вектору ее перемещения – всё равно интерференционная картина останется неизменной, так как компенсационный механизм и в этом случае сработает. Этот аргумент уже назывался, но он настолько важен, что его лишнее напоминание не повредит, особенно, релятивистам.

– III –

Чтобы понять действие компенсационного механизма, вычертим на рис. 3 принципиальную схему интерферометра. Она в чем-то напоминает рис. 1 (слева) только сложной системы зеркал здесь уже нет. В точке i находится источник света. В точке A расположен оптический прибор (телескоп), с помощью которого можно наблюдать интерференционную картину. P – полупрозрачное зеркало, выполняющее роль делителя светового потока. S_1 и S_2 – зеркала; S_3 – изображение зеркала S_2 в полупрозрачном зеркале P . Наконец, числами 1–4 обозначены лучи света, которые соответствуют лучам, изображенным на следующем рисунке.

²⁴ Конференция по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г. / Conference on the Michelson–Morley experiment. Held at the Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, February 4 and 5, 1927.

Свет от источника i падает на полупрозрачное зеркало P . Часть светового пучка 1, распространяющегося по горизонтальному плечу интерферометра, проходит сквозь делитель светового потока P и, отразившись от зеркала S_2 в виде луча 2, попадает на экран приемника A . Другая часть светового потока от источника i в виде луча 3, отразившись от делителя P , распространяется вдоль вертикального плеча прибора. Там луч 3 отражается от зеркала S_1 и в виде луча 4 также попадает в телескоп A .

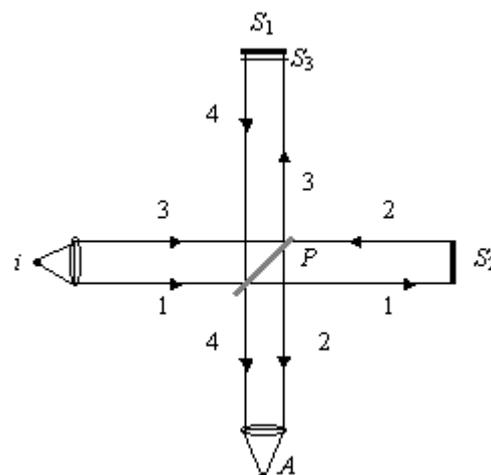


Рис. 3

Чтобы понять, как возникает интерференционная картина, надо учесть следующее. Зеркала S_1 и S_2 установлены друг относительно друга не совсем строго перпендикулярно. Изображение зеркала S_2 в полупрозрачном зеркале P , обозначенное как S_3 , образует с зеркалом S_1 острый угол. Это позволяет получить полосы, которые можно видеть с помощью оптического прибора A . Полосы кажутся лежащими в плоскости зеркал S_1 и S_3 .

Картина полос напоминает ту, что можно наблюдать на клине в воздушном слое между двумя отражающими плоскостями. Аналогичную интерференцию, но уже в виде колец, наблюдал Ньютон (ньютоновы кольца). На интерференционную картину влияет величина угла между зеркалами S_1 и S_2 , а также исходная разница плеч интерферометра. Если, например, укорачивать длину горизонтального плеча, полосы перемещаются в одну сторону, а если укорачивать длину вертикального плеча, полосы перемещаются в другую сторону. Если слегка изменять угол между зеркалами S_1 и S_2 , то интерференционные полосы будут сдвигаться или расширяться.

Интерференционную картину, получающуюся при покоящемся относительно эфира приборе, получить невозможно, поскольку Земля движется непрерывно. Поэтому решено было сравнивать интерференционные картины при различном положении плеч относительно направления движения планеты. Тогда разность хода лучей, которая возникает при движущемся приборе (ΔT), должна удвоиться ($2\Delta T$).

Майкельсон был прекрасным экспериментатором, но в теории он ошибся, когда пытался рассчитать разность между путями, пройденными горизонтальными и вертикальными лучами. Чтобы понять, в чем он ошибся, мы изобразим ход тех же самых лучей 1, 2, 3 и 4, как он их себе представлял, в динамике на фоне трех волновых фронтов (рис. 4). Большая длина волны не должна смущать читателя. Мы можем между двумя соседними фронтами поместить еще миллион таких же окружностей – суть дела от этого не изменится. Данный рисунок просто выглядит более наглядно.

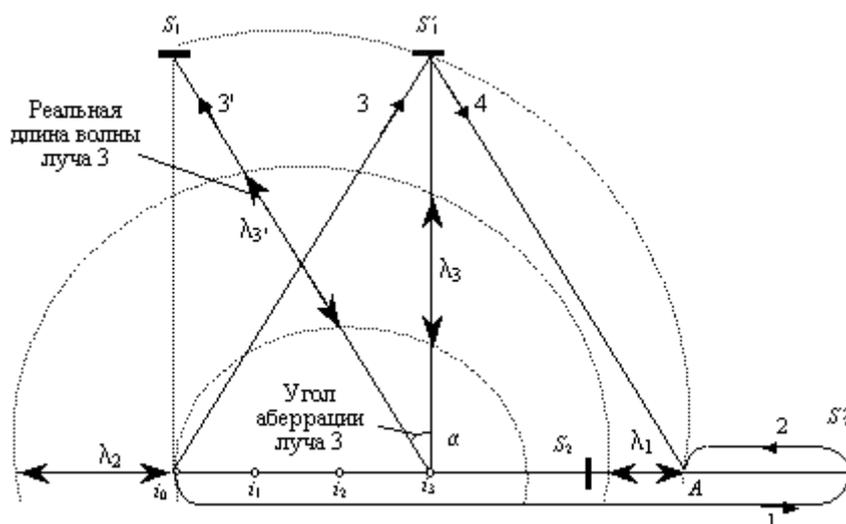


Рис. 4

На рис. 4 реальное положение третьего луча отвечает линии 3', так как за счет угла абберации α луч света должен отклоняться немного *назад* относительно направления движения (объяснение было дано выше). Линии 3 не будет отвечать никакая определенная длина волны, что и доказывает ее ошибочное направление. Это важное обстоятельство, так как всякий луч должен иметь определенную длину волны.²⁵

Три волновых фронта, которые показаны на рисунке, были испущены источником света i , когда тот находился в положениях i_0 , i_1 и i_2 . Вся картина зафиксирована на момент времени, когда источник света вместе с жестко связанными зеркалами S_1 и S_2 переместился в положение i_3 .

На рисунке показаны три длины волны: две продольные – λ_1 и λ_2 и одна поперечная – λ_3 , отношение между которыми в точности соответствует отношению между реальными длинами. Кроме того, на рисунке показана еще одна длина волны – λ_3 .

Как уже говорилось, вычерченной линии 3 не отвечает ни одна длина волны. Это важно для понимания ошибки Майкельсона. Если бы зеркала были крохотных размеров, то за счет абберации (отклонения луча назад), луч 3' мог бы вообще не попасть на зеркало S_1 . Но в действительности размеры зеркал огромны (5 см) по сравнению с величиной отклонения луча (около 1 мм). Поэтому то, что на схеме и в книгах обыкновенно изображается двумя зеркалами – S_1 и S'_1 , реально представляет собой одну сплошную зеркальную поверхность S_1 .

Как мы уже знаем, в своем геометрическом анализе Майкельсон неверно учел угол абберации α , который в этом случае²⁶ равен $20,45''$. Таким образом, углы между лучами 1 и 3 или 2 и 4, т.е. между плечами интерферометра (рис. 3), не равны 90° , поэтому вся нижеприведенная математика не соответствует реальному положению дел. Но мы сейчас ставим задачу познакомить читателя с логикой рассуждений именно Майкельсона, а он рассуждал следующим образом.

Световые волны относительно эфира распространяются с неизменной скоростью c , но вдоль обоих плеч интерферометра, длина которых одинаковая и равна L , т.е. относительно движущихся зеркал S_1 и S_2 , они будут двигаться с различной скоростью. Время прохождения луча 1 от точки i_0 до точки S'_2 , определится формулой:

$$t_1 = \frac{L}{c - v} \quad ;$$

время прохождения луча 2 равно:

$$t_2 = \frac{L}{c + v} \quad ;$$

время прохождения лучей 3 и 4, по мнению Майкельсона, равно:

$$t_3 = t_4 = \frac{L}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad .$$

Таким образом, общее время распространения светового фронта в горизонтальном направлении равно:

$$T_{гориз.} = t_1 + t_2 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2} \quad ,$$

а общее время распространения волнового фронта в вертикальном направлении равно:

$$T_{верт.} = t_3 + t_4 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad .$$

Здесь сразу же можно предъявить претензию: *сложение скоростей ведется по обычной, а не релятивистской формуле*. Это и понятно, так как Майкельсон планировал и реализовывал свой эксперимент еще до появления релятивистской формулы сложения скоростей. Релятивисты обязаны были по этому поводу забить во все колокола. Ведь согласно второму постулату относительная скорость двух движущихся объектов не может превышать скорость света.

²⁵ В.Э. 2012-12-19: Ну, в общем, понятно... Акимов опять (как и в случае с «точной формулой эффекта Доплера» {РОТИ-6}) измеряет несуществующие «лучи» и их «длину волны», вместо того, чтобы измерять время прихода волновых фронтов в ту или иную точку. При этом он постулирует новые законы отражения света (откуда и куда идет «настоящий луч» 3'). Ясно, что вся эта критика эксперимента Майкельсона–Морли несостоятельна.

²⁶ В.Э. 2012-12-19: В каком «этом» случае? Угол α должен зависеть от v/c , а v (скорость интерферометра относительно эфира) как раз не известна.

Следовательно, эксперимент Майкельсона–Морли – это не эксперимент релятивистов, коль скоро там используются формулы, противоречащие теории относительности. Но релятивисты прославились тем, что научились не слышать, когда критики им указывают на противоречия.²⁷

Однако последуем за ходом мысли Майкельсона. Так как время прохождения лучей различно, подумал он, значит должен наблюдаться набег фазы, пропорциональный разности хода лучей в горизонтальном и вертикальном плече:

$$\Delta T = T_{\text{гориз.}} - T_{\text{верт.}} = \frac{2L}{c} \left(\frac{1}{1-\beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \right) \approx \frac{L}{c} \beta^2 .$$

Разность ΔT определила исходную интерференционную картину. После разворота интерферометра на угол 90° Майкельсон ожидал увидеть сдвиг интерференционных полос. Чтобы оценить величину результирующего сдвига, он разделил удвоенное значение разности хода на период колебания световых волн и подставил известные ему параметры λ , β и L :

$$\delta = \frac{2\Delta T}{T} = \frac{2L}{\lambda} \beta^2 = \frac{2 \cdot 11 \cdot 10^{-8}}{6 \cdot 10^{-7}} \approx 0,367 .$$

При этом не было учтено, что *набег суммарной фазы, рассчитанный по разности оптического пути, будет полностью скомпенсирован движением источника колебаний, что приведет к изменениям фаз для соответствующих длин волн – λ_1 , λ_2 , λ_3 и λ_4* . Если учесть, что источник света движется вместе с Землей и даже закреплен на одной платформе с оптической системой, то в результате изменения длины волны интерференционная картина останется неизменной – в какую бы сторону не поворачивали прибор.

В математической форме этот простой физический факт можно выразить следующим образом. При покоящемся приборе на отрезке L уложится n волн длиной λ и периода T , причем

$$n = L/\lambda = t/T, \quad T = \lambda/c, \quad t = L/c.$$

При движущемся приборе за счет эффекта Доплера на первом участке оптического пути длина волны будет иметь значение, равное

$$\lambda_1 = \lambda \frac{c-v}{c} \quad , \text{ но } \quad T_1 = \frac{\lambda_1}{c-v} = \frac{\lambda (c-v)}{c (c-v)} = T .$$

Поэтому время, необходимое для прохождения пакета из n волн, будет одинаковым – что для покоящегося прибора, что для движущегося:

$$t_1 = nT_1 = nT = t.$$

Аналогичная компенсация фазы произойдет и на других участках пути. Иначе говоря, как бы не перемещался прибор, его интерференционная картина будет такой, какой она была в покоящемся приборе.

Общая формула для произвольного случая движения источника и приемника выглядит следующим образом:

$$f' = f \frac{\sqrt{1-\beta_1^2 \sin^2 \theta_1} - \beta_1 \cos \theta_1}{\sqrt{1-\beta_2^2 \sin^2 \theta_2} - \beta_2 \cos \theta_2} .$$

Если источник и приемник движутся в одном направлении с одинаковой скоростью:

$$\theta_1 = \theta_2 \text{ и } \beta_1 = \beta_2, \text{ то частота не меняется: } f' = f.$$

Отсюда следует исключительно важное следствие, а именно: *с помощью интерферометра Майкельсона или любого другого интерферометра, устроенного иначе, принципиально нельзя определить движется или покоится Земля относительно неподвижного эфира*. Сегодня физики располагают массой различных приборов, имеющих дело с оптическими явлениями. Но их показания не зависят от положения относительно вектора движения Земли, так как всякий раз срабатывает компенсационный механизм, сущность которого сейчас была досконально разобрана.

Увы, до сих пор находятся люди, уверяющие, что с помощью некоей оптической системы можно измерить скорость «эфирного ветра». Они даже говорят, что его зафиксировали высоко в горах. Действительно, в конце 1920-х и в начале 1930-х годов шла оживленная дискуссия на сей счет. В 1933 г. вышла статья Д. Миллера, в которой были представлены его результаты

²⁷ В.Э. 2012-12-19: Но ведь нет никакого противоречия! Майкельсон использовал не-релятивистские формулы, поэтому результаты эксперимента не совпали с теоретически ожидаемыми – и всё.

измерений, якобы свидетельствующие о существовании эфирного ветра порядка 10 км/с. По мнению автора, величина эфирного ветра должна зависеть от точки на поверхности Земли и от высоты ее над уровнем океана. Степень «зацепления» эфира за неровности земной поверхности максимальны на уровне океана, так что прилегающие к Земле слои эфира имеют ту же скорость, что и сама планета (ветер отсутствует); высоко в горах этот эффект ослабевает (ветер присутствует).

На результате Миллера обратил внимание даже сам Майкельсон. В юбилейном докладе 1927 года он сказал:

«Эксперимент Майкельсона–Морли был предложен Морли и Миллером, которые снова получили отрицательный результат. Миллер затем продолжил работы самостоятельно, и, похоже, теперь получен определенный положительный эффект. Этот эффект, однако, не может быть получен за счет орбитального движения Земли. Похоже, что он возникает вследствие движения Солнечной системы относительно звездного пространства, скорость которого может быть много большей орбитальной скорости Земли. Наблюдения г-на Миллера вызывают новый интерес к проблеме» [16]²⁸.

От релятивистов можно часто слышать слова: «Ошибок в анализе эксперимента быть не должно хотя бы потому, что за столь длительное время его успели тысячи раз проверить и перепроверить». Но почитайте-ка книгу [13]²⁹, где в параграфе 167 Лоренц разбирает интересующий нас опыт и вычерчивает схему, повторяющую правый рис. 1. Казалось бы, последующая череда теоретиков должна была исправить это упущение, но в течение короткого времени теория относительности превратилась в догму, ложные объяснения, схемы и формулы уже никогда не подвергались сомнению, а их авторы были провозглашены исключительно прозорливыми учеными, предвосхитившими немеркнущую в веках истину.

Чтобы продемонстрировать всю глубину непонимания Лоренцем волновых процессов, происходящих в интерферометре, воспроизведем в точности рисунок из его книги «Теория электронов». Ложное представление хода лучей, первоначально возникшее в голове Майкельсона демонстрирует рис. 5. На схеме (а) Лоренц пытался изобразить горизонтальное и вертикальное плечи интерферометра длиной L , где также указал делитель светового потока P , зеркала B и C . На схеме (б) он дал чуть более развернутый ход луча в вертикальном плече интерферометра; здесь точка Q соответствует новому положению зеркала B . Та небрежность, с которой Лоренц подошел к графическому изображению сложного оптического процесса, происходящего в интерферометре, стала источником ошибочной интерпретации эксперимента Майкельсона–Морли.

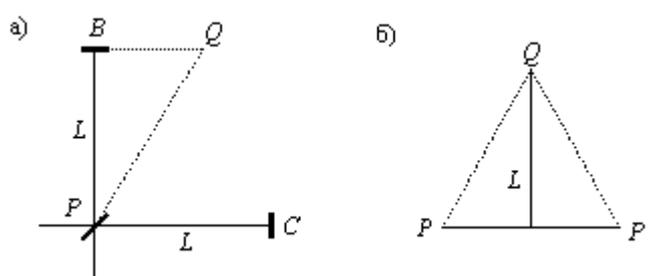


Рис. 5

И вот человек, испытывающий неприязнь к геометрическим формам, по воле судьбы оказался главным интерпретатором результатов эксперимента, где основной проблемой как раз и было отчетливое построение волновой картины. По-видимому, Лоренц представлял себе луч света, распространяющийся от точки P к точке Q , как струю воды которая, куда ее не повернет брандспойт, всегда будет хлестать из шланга с постоянной скоростью. В п. 167 своей книги он определил расстояние, преодоленное вертикальным лучом 3 , по теореме Пифагора:

²⁸ Конференция по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г. / Conference on the Michelson – Morley experiment. Held at the Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, February 4 and 5, 1927.

²⁹ Лоренц Г.А. *Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения*. – М.: ГИТТЛ, 1953.

$$PQ = L\sqrt{1+\beta^2}$$

и принял, что этот путь свет должен пройти со скоростью c . Другими словами, он принял равенство: $c^2 = c^2 + v^2$, еще до провозглашения второго постулата Эйнштейна. Разумеется, это не божественное прозрение, а элементарная ошибка (ее не было в статье Майкельсона и Морли [14]³⁰). Только случайное совпадение приближенных математических выражений (в итоговой формуле Лоренц пользовался этим приближением) –

$$\sqrt{1+\beta^2} \approx 1+\beta^2/2 \quad \text{и} \quad \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \approx 1+\beta^2/2$$

позволило скрыть его слишком грубые ошибки расчета скорости движения света в вертикальном плече интерферометра. Естественно, при таком понимании волнового процесса мысль об абберации ему не могла прийти в голову.

Несмотря на эту грубейшую ошибку, Лоренц приходит к выводу, что горизонтальное плечо интерферометра должно сократиться, чтобы разность времени прохождения света по горизонтали и вертикали в соответствии с формулой:

$$\Delta T = T_{\text{гориз.}} - T_{\text{верт.}} = \frac{2L}{c} \left(\frac{1}{1-\beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \right) \approx \frac{L}{c} \beta^2$$

обратилась в ноль (с критикой его путаных суждений можно познакомиться в специальном разделе «Спекулятивная геометрия» {OAKL-2.7}). Таким образом, была принята «гипотеза» Лоренца–Фицджеральда о сокращении длин отрезков в направлении их движения в соответствии с формулой:

$$L' = L\sqrt{1-\beta^2}$$

Благодаря такому сокращению разность $\Delta T = 0$. Логика в этой экзотической «гипотезе» уменьшения длины ровно столько же, сколько и в гипотезе об увеличении длины в направлении перпендикулярном к вектору скорости движения в соответствии с формулой:

$$L' = \frac{L}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

В этом случае тоже имели бы $\Delta T = 0$. Но релятивисты предпочли первый вариант из соображений, вытекающих из их понимания преобразований Лоренца. И тут они опять допустили непростительную ошибку.

Дело в том, что Майкельсон путем перемещения зеркала менял *абсолютную* длину плеча и наблюдал сдвиг полос; нечто подобное он ожидал зарегистрировать при повороте интерферометра. Всё иначе в специальной теории относительности, появившейся после эксперимента. Согласно этой замечательной концепции, наблюдатель, находящийся в одной системе с движущейся линейкой, не может зафиксировать ее сокращения. *Поскольку Майкельсон, как наблюдатель, и его интерферометр находятся в одной системе отсчета, то ни одна из деталей прибора не может изменить своих размеров.*

Вот если бы Майкельсон находился в системе отсчета неподвижного эфира, он мог бы зарегистрировать какое-то сокращение длины у своего летящего со скоростью 30 км/с прибора. Но в ситуации, которую мы рассматриваем, длина горизонтального плеча для всех жителей Земли, включая Майкельсона, должна быть равна строго L , а не укороченная L' . Желая следовать *принципу относительности*, выраженному в постоянстве интерференционной картины, релятивисты нарушили его в другом месте, приняв гипотезу *абсолютного* сокращения длины. Данное противоречие называется *парадоксом интерферометра Майкельсона* и стоит в одном ряду с таким противоречием, как *парадокс штриха*, о котором рассказывается в разделах «Парадокс штриха и парадокс лыжников» {OAKL-2.5} и «Парадокс штриха для координат» {OAKL-2.6}.

³⁰ Майкельсон А. и Морли Э. *Об относительном движении Земли и светонесущего эфира* / В кн.: Г.М. Голин, С.Р. Филонович. *Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.)*: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1989, С. 512–523. // Перевод С. Р. Филоновича статьи «On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether» // *American Journal of Science*, Ser. 3, 1887, vol. 34, p 203, p. 333–345.

По-хорошему, сторонники теории *относительности* должны были снова заявить: «Эксперимент Майкельсона–Морли – это не наш эксперимент, так как Лоренц придерживался *абсолютистских* позиций. Он вместе Майкельсоном не отрекся от эфира и вместе с Пуанкаре представлял себе сокращение длины (в частности, уменьшение диаметра электрона) за счет *динамических сил*, действующих со стороны эфирной среды (см. «Теория относительности Пуанкаре» {OAKL-5}). Мы же, релятивисты, приняли совершенно иную концепцию, согласно которой сокращение длины происходит за счет чистой *кинematики*». Однако мышление релятивистов столь непоследовательно, что подобные нелогичности они уловить уже не в состоянии.

– IV –

В этом подразделе приведено типичное обсуждение изложенной выше проблемы с одним из читателей сайта. Он написал письмо следующего содержания.

Иван:

Олег, вы не рассердитесь, если я обсужу с вами результат опыта Майкельсона–Морли? Мне видится, что вы здесь неправы.

Вы доказываете, что частота остается неизменной, если источник и приемник движутся вместе.

Это правильно, но интерференция связана не с этим, а с тем: сколько длин волн укладывается на расстоянии L между источником и зеркалом.

Представьте себе, что источник в какой-то момент создает гребень волны. Этот гребень в среде распространяется как лодка с гребцом со скоростью c . Но зеркало убегает от источника со скоростью v . Следовательно, скорость гребня относительно зеркала равна $c - v$. После отражения гребень движется опять в среде со скоростью c , но теперь источник движется ему навстречу. В результате относительная скорость $c + v$. И всё здесь как у Майкельсона. Я в чем-нибудь неправ?

Олег:

Данную физическую проблему, Иван, можно начать решать с трех сторон: логической, математической и геометрической. Вижу, Вы пытаетесь подойти к проблеме с третьей стороны, т.е. пространственно воображаете волновой процесс, который происходит внутри интерферометра.

Это не совсем удобно в нашем положении. Даже если бы мы сидели за одним столом, что-то чертили карандашом на одном листе бумаги и отслеживали бы каждую нашу реплику, то и в этом случае потратили бы полдня. Поэтому придется, прежде всего, уповать на элементарный математический формализм и логику.

Итак, читаем у Вас: «Вы доказываете, что частота остается неизменной, если источник и приемник движутся вместе. Это правильно, но...».

Никаких «но». Достаточно того, что при любом повороте интерферометра частота остается неизменной. Источник колебаний и его приемник движутся одинаково, значит, числитель и знаменатель формулы, описывающей эффект Доплера, выглядят одинаково.

Слово «компенсация» у меня является ключевым. Движение источника *компенсируется* движением приемника. Интерференционная картина будет одной и той же – что при покоящемся приборе, что при движущемся.

Вы идете дальше, пытаетесь воссоздать эту динамическую ситуацию в воображаемом пространстве, и... допускаете ошибку. В чем она состоит?

Смотрим, какую фразу Вы написали после «но»: «но интерференция связана не с этим, а с тем: сколько длин волн укладывается на расстоянии L между источником и зеркалом».

Точнее сказать так: интерференция связана с разностью фаз между волнами в горизонтальном и вертикальном плече. Другими словами, интерференционная картина будет наблюдаться в *покоящемся* приборе, если число волн в горизонтальном плече L_1 и в вертикальном L_2 не делится нацело.³¹

Теперь заставим прибор двигаться. Что произойдет? Тут же начинает действовать компенсационный принцип. Получится, что и в *движущемся* приборе число волн в горизонтальном плече L_1 и в вертикальном L_2 останется прежним. То есть, какая была интерференционная картина при покоящемся приборе, такая же картина останется и при движущемся приборе.

³¹ В.Э. 2012-12-22: Поразительно неточная формулировка!

Майкельсон не мог рассматривать *покоящийся* прибор, так как он всегда находился на *движущейся* Земле. Поэтому он сравнивал две интерференционные картины при двух различных движениях. Однако принцип компенсации действует в любом случае, следовательно, при обоих движениях процесс наложения волн (интерференция) останется неизменным, как и при покоящемся приборе.

Читаем Ваше письмо дальше:

«Представьте себе, что источник в какой-то момент создает гребень волны. Этот гребень в среде распространяется как лодка с гребцом со скоростью c . Но зеркало убегает от источника со скоростью v . Следовательно, скорость гребня относительно зеркала $c - v$. После отражения гребень движется опять по среде со скоростью c , но теперь источник движется ему навстречу. В результате относительная скорость $c + v$. И всё как у Майкельсона. Я в чем-нибудь не прав?»

Да, не правы. В этом пассаже Вы упустили из виду движущийся *источник* колебаний. Скорости $c - v$ и $c + v$ измеряются относительно движущегося зеркала, т.е. *приемника* (для скорости $c - v$). Где «сидит» Ваша ошибка?

Изначально Вы берете *один* гребень и рассматриваете его относительно скоростей $c - v$ и $c + v$. Этого недостаточно. Надо брать *два* гребня и учитывать расстояние между ними, т.е. учитывать *длину волны*. Именно она, в конечном счете, отвечает за интерференционную картину. Если этого не сделать, Вы упустите из виду *компенсационный принцип* – в нашем случае самое важное обстоятельство.

Итак, компенсация движения *приемника* происходит за счет компенсации движения *источника*. Как конкретно действует эта компенсация?

Пусть источник покоится: расстояние между двумя гребнями равно λ_0 . Источник начал двигаться; нас интересует горизонтальное направление «туда», тогда расстояние между гребнями уменьшилось ($\lambda_1 < \lambda_0$). На этом этапе зеркало «убегает» от волновых гребней и, таким образом, укороченное расстояние между двумя гребнями (λ_1) восстанавливается, т.е. длина волны опять становится равна λ_0 . Так на этом участке пути произошел компенсационный эффект.

Потом зеркало становится *источником* колебаний, который движется вправо по ходу движения прибора, а излучение происходит влево, т.е. «обратно». Значит, имеем увеличенную длину волны ($\lambda_2 > \lambda_0$). Но «экран», т.е. *приемник*, на котором происходит интерференция, движется на гребни. Таким образом, происходит компенсация, в результате которой λ_2 на «экране» превращается в λ_0 .

Те же компенсационные эффекты имеют место в вертикальном направлении.

Иван:

Итак, Олег, число колебаний в секунду на источнике и зеркале одинаково. Но фазы-то у них различны. Согласны, Олег? Как по-вашему можно определить разность фаз?

Олег:

Вопрос: «Как определить разность фаз?» для меня, Иван, звучит странно. Вы *сами задаете* эту разность фаз для *исходной* интерференционной картины, когда настраиваете интерферометр, т.е. когда прибор в покое (примем, что это возможно). Далее надо понять (пространственно представить), что эта разность фаз не изменится и при движущемся приборе.

Из Вашего же вопроса складывается впечатление, что Вы всё-таки думаете о какой-то еще разности фаз, которая возникает, наверное, за счет движения прибора. В общем, я здесь Вас плохо понимаю, поэтому давайте я подробно опишу ту картину, которая должна быть.

Пусть разность фаз между пакетами волн в горизонтальном и вертикальном плече будет равна $\Delta\phi$, когда прибор *покоился*, т.е. эта разность будет определять *исходную* интерференционную картину. Утверждается, что благодаря *компенсации* та же $\Delta\phi$ останется, когда прибор начнет движение. Почему?

Дело в том, что фаза – это всего лишь некая часть целого волнового цикла. Предположим, прибор настроен так, что в горизонтальном плече уложилось ровно 100 волн, а в вертикальном – 100,3. Разность $\Delta\phi = 0,3$ определит исходную интерференционную картинку, когда интерферометр покоится.

Теперь прибор поехал. Сработал принцип компенсации и восстановил все 100 волн в горизонтальном плече по схеме, которую мы обсудили в предыдущем письме. Что произойдет в вертикальном плече?

Да то же самое, что и в горизонтальном, только восстановлению подлежит уже не целое число волн, а именно: 100,3 длин волн. Если восстановилась целая часть (100 целых волн),

почему по той же логике не восстановится часть волны (0,3)? Ведь эффект компенсации распространится как на целую, так и на добавочную ее часть, которая названа здесь $\Delta\phi$.

В принципе, рассмотренный в предыдущем письме случай предполагает случай, рассмотренный здесь, только сейчас мы сделали акцент не на целом числе волн. Если мы настроили интерференционную картинку, то это *автоматически* предполагает наличие какой-то разности фаз. Вопрос «Как определить разность фаз?» здесь уже не возникает. Далее нужно только мысленно следить за тем, что будет происходить с исходной $\Delta\phi$, когда прибор движется. Через это, мне кажется, придет понимание эффекта компенсации и всего динамического процесса в целом.

Иван:

Олег, Вы были бы правы, если бы источник оторвался от генератора волн и плыл бы безмолвно, как зеркало. Генератор же волн оторвался от источника и плыл бы по течению.

Механизм компенсации показывает, что частота не меняется. Но это и так понятно, поскольку в интерпретации Майкельсона время общее и никак от движения не зависит. Вы не хотите рассматривать каждую волну, которая излучается во время движения, и как она распространяется к зеркалу.³² Если вы это сделаете, вы увидите правоту рассуждений Майкельсона. Компенсация не имеет отношения к этому. Она только показывает сохранение периода колебаний. Я думаю, что на этом можно остановить дискуссию.

Олег:

Должен только заметить, Иван, что Ваши представления о волновых процессах в интерферометре сильно отличаются от представлений Майкельсона, особенно в отношении интерференции.

Вы написали: *«интерференция связана ... с тем, сколько длин волн укладывается на расстоянии L между источником и зеркалом»*.

Нет, Майкельсон считает иначе (я выразил его позицию): «интерференция связана с разностью фаз между волнами в горизонтальном и вертикальном плече».

Эту позицию Майкельсона Вы как бы проигнорировали и задали мне следующий вопрос в соответствии с Вашим прежним пониманием разности фаз, которая якобы возникает между фазой отрыва волны от источника и фазой прихода ее к зеркалу. Вам представляется, что именно эта разность и вызывает интерференцию. Вспомните, как прозвучал Ваш вопрос: *«... Число колебаний в секунду на источнике и зеркале одинаково. Но фазы-то у них различны. Согласны, Олег?»*

Да, Иван, различны; и Майкельсон с Вами здесь тоже согласится, только он Вас переспросит: «А причем здесь эта разность, если интерференция возникает в другом месте?» То есть Майкельсона (и меня) интересовала совсем другая разность фаз, а именно, между волнами, приходящими от горизонтального и вертикального плеча.

В последнем письме Вы говорите об «отрыве» генератора волн от источника колебаний или наоборот. Для Майкельсона (и меня) генератор волн и источник колебаний – это одно и то же. Но я, кажется, догадываюсь, что Вы хотели этим сказать. Вы, Иван, снова сосредоточили свое внимание на одном конкретном участке: от источника до зеркала и, наверное, думаете, где-то здесь возникает наложение волн и интерференция.

Это – не так. Посмотрите внимательно раздел III, т.е. текст, начиная от слов: «Чтобы понять действие компенсационного механизма...». Здесь описан механизм возникновения интерференционной картины, как его понимал именно Майкельсон. Если Вы с ним согласны, Иван, прошу Вас, напишите мне об этом, а то я думаю, что Вы не согласны с Майкельсоном.

Иван:

Олег, именно разность фаз я и имел в виду. (Простите, что небрежен). Но чтобы сосчитать разность, нужно сосчитать обе фазы. Компенсационный механизм утверждает, что частота не меняется.

Майкельсон тоже считал, что она не меняется, и потому мог сосчитать разность фаз так, как он сделал в расчете на существование водной среды – эфира.

Именно эта ваша страница меня заинтересовала. Именно по этому поводу я и написал вам, что вы неправы.

³² В.Э. 2012-12-21: Вот именно это он не рассматривает! В своем Приложении 1 ниже я покажу, ЧТО он рассматривает вместо этого.

Олег:

Иван, Вы снова ничего не сказали об интерференции. Разность фаз Вы понимаете как-то по-своему. О какой разности Вы говорите? Ваши письма очень короткие; из них не ясна общая картина, которую Вы держите в голове. Я только чувствую, что не попадаю со своими ответами. Но из-за отсутствия информации о понимании Вами интерференции, не могу нужным образом отвечать на вопросы.

Иван:

Олег, Вы же понимаете, что такое интерференция! Считайте, что я тоже понимаю.

Мне не очень понятно, почему вы настаиваете на компенсации.

Вы доказываете, что частота не меняется. С этим никто не спорит. И Майкельсон это принимает безо всяких сомнений. Так что доказательство не требуется. Его формула получена из абсолютно ясных наглядных принципов распространения волны внутри текущей среды с заданной скоростью. Поэтому ваше утверждение о компенсации никак не меняет его формулу, и сдвиг интерференционной картины должен бы был наблюдаться.

Отсутствие сдвига можно объяснить сокращением длины по Лоренцу. Отсюда еще не следует теория относительности. Я могу вам дать ссылку на интересную статью в этом отношении. Но ваше утверждение, что сдвиг интерференционной картины и не должен был бы наблюдаться из-за постоянства частоты – неправильно.

Олег:

Цитирую: *«Мне не очень понятно, почему вы настаиваете на компенсации».*

Позвольте напомнить Вам историю данного вопроса.

Майкельсон держал в голове лодку с гребцом, который совершает движения по течению, против течения и поперек течения реки туда и обратно. Анализ эксперимента он провел в точном соответствии с этой аналогией. Но лодка с гребцом, т.е. *точечный объект*, не может служить аналогией для *волнового процесса*. Поэтому Майкельсон не держал в голове эффект Доплера, отклонение луча в результате абберации он вычертил совершенно не в ту сторону³³ и, конечно, он понятия не имел о компенсационном принципе. В результате этих ошибок он получил, что при движущемся интерферометре оптический путь для вертикального плеча оказался меньше, чем для горизонтального. Чтобы их уровнять, он сократил горизонтальное плечо для движущегося интерферометра в соответствии с «гипотезой Лоренца».

Понятно, что ошибку надо исправлять: точечный объект никуда не годится. Но если свет представить в виде колебаний, то при движении прибора неизбежно возникает эффект Доплера. В результате действия компенсационного принципа, который связан только с доплеровским эффектом, в движущемся интерферометре происходит всё то, что и в покоящемся. То есть оптические пути в горизонтальном и вертикальном плече становятся одинаковыми, разность фаз не возникает, интерференционная картинка будет как в покоящемся приборе, а сокращение длины по Лоренцу просто не понадобится. Не нужна будет и теория относительности; все объяснения ограничиваются рамками классической волновой теории.

Иван:

Олег, Вы не слышите меня. Вы повторяете свои слова.

Лодка с гребцом это фронт волны в волновом процессе. Никакого эффекта Доплера здесь не нужно. Время ни от чего не зависит и частота не меняется.

Давайте на этом остановимся. Я не хочу вас убеждать. Вы сами должны продумать.

* * *

Над чем здесь, собственно, думать, когда и без того всё понятно. Иван придерживается старых объяснений Майкельсона, причем сильно путается в деталях. Его подводит воображение: он плохо представляет, где и как происходит интерференция. Станным образом он «оторвал» источник от генератора волн или наоборот.³⁴ Трудно судить по его туманному изложению, какая картинка промелькнула перед его внутренним взором в этот момент. Но волновую модель, предложенную в данном разделе, он явно не понял и, естественно, начал отрицать право на ее существование. Между тем, лодка плывет по реке не с релятивистскими скоростями. Следова-

³³ В.Э. 2012-12-21: На самом деле, конечно, «не в ту сторону» вычертил сам Акимов.

³⁴ В.Э. 2012-12-21: Он не оторвал, а сказал, что рассуждения Акимова были бы верны, если оторвать. Что именно имелось в виду, не очень понятно, но это и не важно. Картину, которая имелась перед «внутренним взором» Акимова, Иван действительно не понял – просто потому, что ни одному нормальному физическому столь абсурдная картина не может придти в голову, он не может себе представить, что человек может ТАК думать. (Но я все-таки догадался ☺ – по причине своей природной дотошности).

(около 1 мм)». (Кстати, это отклонение Акимов не может знать, потому что не известна скорость v Земли относительно эфира; может быть, например, $v/c = 2/3$).

Отраженная волна назад пойдет опять по этой скользящей линии, т.е. в нарушение законов геометрической оптики, поэтому Акимов и пишет: «в случае быстрого перемещения источника, приемника и системы зеркал уже нельзя пользоваться законами геометрической оптики, справедливой только для стационарного случая. В динамической системе понятие «оптического пути» видоизменяется. В этом случае нужно учитывать эффект абберации и эффект Доплера, которые не учитываются геометрической оптикой».

Само собой разумеется, что всё это представление Акимова о сущности «волновой картины» полностью абсурдно. Скользящая «линия Акимова» – это просто некоторая воображаемая прямая, на которой длины волн оказываются все одинаковыми (каждый раз только на одно мгновение, потому что на линиях фактического распространения волновых фронтов расстояния между волнами постоянно меняются). На этой линии Акимова не происходят никакие взаимно детерминированные процессы.

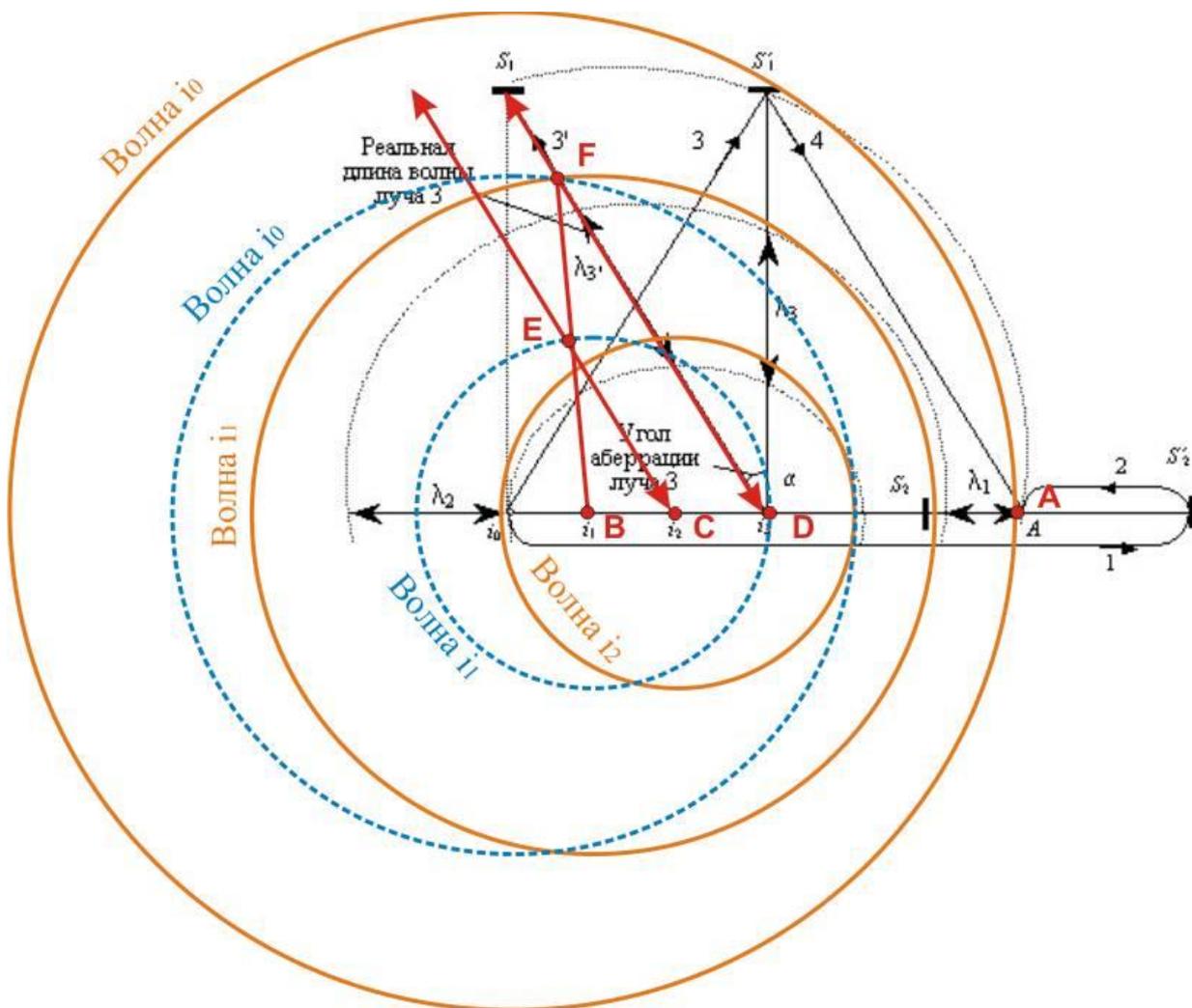


Рис. 46

На рисунке 46 оранжевым цветом показаны волны, максимально приближенные к нарисованным Акимовым (полное совпадение невозможно, потому что у него неточные круги). Синим цветом (и прерывистой линией) изображены те же волны на один цикл колебаний раньше (волны обозначаются по их центрам).

Волна i_1 в точке E пересекалась с линией Акимова (когда та упиралась в точку C). Когда линия Акимова отскользнула к точке D, волна i_1 пересекается с ней в точке F. Насколько я понимаю, в силу подобия треугольников BCE и BDF, точка F будет на продолжении той же прямой BE. Таким образом, волна фактически распространяется по прямой BF, но в то же время

она как будто скользит также и по (тоже скользящей) линии Акимова. Когда прямая ВF достигнет плоскости зеркала, волна отразится, станет новым источником кругов и таким же образом поползет по (скользящей дальше) линии Акимова назад, достигнет точки А и там будет интерферировать с горизонтально шедшей волной.

Так, видимо, всё происходит согласно представлениям Акимова. Кто до этого не додумался, тот не понимает волновой картины, не мыслит конструктивно и геометрическими образами.

Для чего нужна была вся эта конструкция с линией Акимова? Для того, чтобы можно было вычислять λ – только на этой линии она (длина волны) постоянна. На других линиях, в частности на линии Майкельсона (синяя на рисунке 4а), длина волны (расстояние между волнами) разное и – стало быть – волны туда не ходят и их во внимание принимать нечего.

На самом деле, конечно, то обстоятельство, что на «линии Майкельсона» расстояния между волнами выглядят разными (на рисунке), никакого значения не имеет. Важны моменты прихода волн в определенные точки, а λ – дело второе. А к точкам волны идут по прямым линиям (нормалям к фронту), без всяких там хитроумных скользящих «лучей».

Приложение № 2 Валдиса Эгле: «компенсационный механизм»

2012.12.22 15:26 суббота
(первый день после Конца света)

Столь же причудливы представления Акимова о «компенсационном механизме», который якобы должен свести на нет изменение интерференционной картины в опыте Майкельсона–Морли. Прочитаем еще раз, как он это объяснял Ивану:

Слово «компенсация» у меня является ключевым. Движение источника *компенсируется* движением приемника. Интерференционная картина будет одной и той же – что при покоящемся приборе, что при движущемся. (..)

Где «сидит» Ваша ошибка?

Изначально Вы берете *один* гребень и рассматриваете его относительно скоростей $c - v$ и $c + v$. Этого недостаточно. Надо брать *два* гребня и учитывать расстояние между ними, т.е. учитывать *длину волны*. Именно она, в конечном счете, отвечает за интерференционную картину. Если этого не сделать, Вы упустите из виду *компенсационный принцип* – в нашем случае самое важное обстоятельство.

Итак, компенсация движения *приемника* происходит за счет компенсации движения *источника*. Как конкретно действует эта компенсация?

Пусть источник покоится: расстояние между двумя гребнями равно λ_0 . Источник начал двигаться; нас интересует горизонтальное направление «туда», тогда расстояние между гребнями уменьшилось ($\lambda_1 < \lambda_0$). На этом этапе зеркало «убегает» от волновых гребней и, таким образом, укороченное расстояние между двумя гребнями (λ_1) восстанавливается, т.е. длина волны опять становится равна λ_0 . Так на этом участке пути произошел компенсационный эффект.

Потом зеркало становится *источником* колебаний, который движется вправо по ходу движения прибора, а излучение происходит влево, т.е. «обратно». Значит, имеем увеличенную длину волны ($\lambda_2 > \lambda_0$). Но «экран», т.е. *приемник*, на котором происходит интерференция, движется на гребни. Таким образом, происходит компенсация, в результате которой λ_2 на «экране» превращается в λ_0 .

Те же компенсационные эффекты имеют место в вертикальном направлении.

Нормальный физик, конечно, не способен понять, о чем тут Акимов говорит, и, главное, какое всё это имеет отношение к интерференции. Какую длину волны измеряет Акимов, когда «*укороченное расстояние между двумя гребнями (λ_1) восстанавливается, т.е. длина волны опять становится равна λ_0* »? Если измеряет длину на рисунке (или космическом фотоснимке), как он обычно это делает, то эта длина никак не изменяется от того, что «зеркало убегает». Если длину, на снимке не видимую, но наблюдателем, находящимся на зеркале, вычисленную как обратную величину частоты f , с которой к нему приходят волны, то почему Акимов в этом случае допускает такую «воображаемую» длину волны, а в других случаях не допускает?

Что, собственно, компенсируется «компенсационным механизмом» Акимова?

Рассчитаем пример на тех же числовых данных, которые Акимов предлагал в {OAKL-2}, и я объяснял в {POTL-6}: скорость волн в среде $c = 30 \text{ ед/ев}$,³⁶ источник движется (когда движется) со скоростью $v = 20 \text{ ед/ев}$, частота источника – 1 волна в *ев*. Пусть впереди источника на расстоянии 200 *ед* закреплено зеркало, отражающее волны.

В случае, когда источник не движется, волна проходит до зеркала за $200 / 30 = 6 \frac{2}{3} \text{ ев}$. От зеркала обратно за такое же время; итого она возвращается через $13 \frac{1}{3} \text{ ев}$, и при указанной частоте будет в фазе $\frac{1}{3}$ цикла.

В случае, когда источник движется с указанной скоростью, волна достигнет зеркало через 20 *ев*. (Задача алгебры для 6-го класса: точка встречи зеркала и волны находится на расстоянии $200 + 20x = 30x$; $10x = 200$; $x = 20$). От зеркала обратно волна дойдет за 4 *ев*. ($20x + 30x = 200$; $50x = 200$; $x = 4$). Итого при движущемся источнике волна вернется через 24 *ев* и будет в нулевой фазе цикла.

Вторая волна, выпущенная вслед за первой через 1 *ев* в неподвижной установке повторит всё, что делала первая, только с опозданием на 1 *ев*. В движущейся установке вторая волна повторит всё, что делала первая, но с опозданием на 1 *ев* и в другом месте пространства – со сдвигом на 20 *ед*. Фаза при возврате у второй волны в обоих случаях будет такая же, как у первой. В обоих случаях вторая волна возвращается 1 *ев* после возврата первой.

Что и чем здесь компенсировано? Как это нет разницы, «что при покоемся приборе, что при движущемся?»

Акимов, видимо, понял, что в обоих случаях вторая волна возвращается 1 *ев* после первой волны (и, стало быть, что вычисленная приемником длина волны в обоих случаях будет 30 *ед*), и на этом основании решил, что в движущейся системе всё будет так же, как и покоящейся – всё скомпенсировано. Но в движущейся системе волны возвращаются на $10 \frac{2}{3} \text{ ев}$ позже и находятся в другой фазе. «Именно длина волны, в конечном счете, отвечает за интерференционную картину» – написал Акимов. Нет – фаза отвечает за эту картину.

Собственно интерференция не может появиться от одного потока волн; их должно быть два – и в разных фазах. Но так как фазы возвращенной волны в движущейся и покоящейся установке отличаются, как мы только что видели, то в опыте Майкельсона–Морли должна была (вопреки Акимову) возникнуть измененная интерференция. Но она не возникла, и это требует какого-то объяснения.

* * *

1. Оппенгеймер Р. *Летающая трапеция*. – М.: Атомиздат, 1967.
2. Джефф Б. *Майкельсон и скорость света*. – М.: Иностранная литература, 1963.
3. Эйнштейн А. *Новые опыты по влиянию движения Земли на скорость света относительно Земли*. СНТ. Т. 2. – М.: Наука, 1966.
4. Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М.: Наука, 1989.
5. Эйнштейн А. *К электродинамике движущихся тел*. СНТ. Т. 1. – М.: Наука, 1965.
6. Холтон Дж. *Эйнштейн и решающий эксперимент*. УФН, вып. 104, 1971.
7. Холтон Дж. *Тематический анализ науки*. – М.: Прогресс, 1981.
8. Бонди Г. *Относительность и здравый смысл*. – М.: Мир, 1967.
9. Бонди Г. *Гипотезы и мифы в физической теории*. – М.: Мир, 1972.
10. Майкельсон А.А. *Исследования по оптике*. – М.–Л.: Гостехиздат, 1948.
11. Майкельсон А.А. *Световые волны и их применение*. – М.–Л.: Гостехиздат, 1934.
12. Лоренц Г.А. *Новые направления в физике // Старые и новые проблемы физики*. – М.: Наука, 1970.
13. Лоренц Г.А. *Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения*. – М.: ГИТТЛ, 1953.
14. Майкельсон А. и Морли Э. *Об относительном движении Земли и светоносного эфира* / В кн.: Г.М. Голин, С.Р. Филонович. *Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.)*: Справочное пособие. – М.: Высшая школа, 1989, С. 512–523. // Перевод С.Р. Филоновича статьи «On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether» // *American Journal of Science*, Ser. 3, 1887, vol. 34, p 203, p. 333–345.
15. Франкфурт У.И., Френк А.М. *Оптика движущихся тел*. – М.: Наука, 1972.
16. Конференция по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г. / *Conference on the Michelson–Morley experiment. Held at the Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, February 4 and 5, 1927.*

³⁶ Единиц длины на единицу времени.

11. Радиолокационный метод

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es11.htm>

– I –

Его еще называют методом коэффициента k . Идея возникла при решении парадокса двух братьев-близнецов путем введения еще одного брата-космонавта. Начало этому методу положили Бонди и Холсбэри; в изложении Борна он предстал особенно в выгодном свете; Бом сделался неутомимым поборником и усердным пропагандистом его; сейчас он вошел практически во все более или менее полные учебники по теории относительности. Заявленная тема тесно связана с ранее рассмотренными вопросами [Ортогональные и гиперболические преобразования](#) и [Масштаб осей при гиперболическом повороте](#) (см. также [Слайд № 7](#) из [Введения в конструктивную физику](#)).

Напомним, существует *пассивная* и *активная* форма преобразования координат. Пассивные преобразования отличаются от активных тем, что первые оставляют объект A на месте и поворачивают штрихованные оси координат, вторые оставляют оси на месте, перемещая объект из точки A в точку A' (рис. 1); в этом случае к углу ψ прибавляется угол φ .

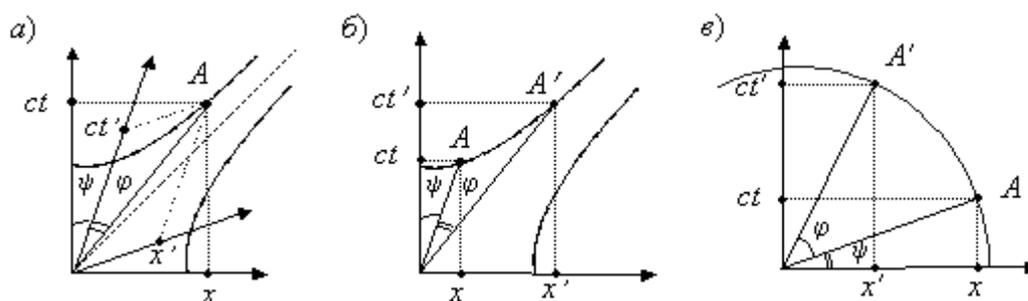


Рис. 1. Преобразования координат: пассивное гиперболическое (а), активное гиперболическое (б) и активное ортогональное (е).

В [разделе dm2-5i](#) «Дискретной математики» было показано, что любые преобразования на плоскости сводятся к тригонометрическим формулам для суммы двух углов. При гиперболическом повороте будем иметь:

$$\operatorname{ch}(\varphi + \psi) = \operatorname{ch}\varphi \operatorname{ch}\psi + \operatorname{sh}\varphi \operatorname{sh}\psi, \quad \operatorname{sh}(\varphi + \psi) = \operatorname{ch}\varphi \operatorname{sh}\psi + \operatorname{sh}\varphi \operatorname{ch}\psi.$$

Выражая значения гиперболических косинусов и синусов через соответствующие отрезки на чертежах, находим преобразования Лоренца в виде:

$$\begin{aligned} ct &= \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 + \beta^2}} = \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\sqrt{1 + \beta^2}} = \frac{ct'_n + \beta x'_n}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ x &= \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 + \beta^2}} = \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\sqrt{1 + \beta^2}} = \frac{x'_n + \beta ct'_n}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \end{aligned}$$

где $x'_n = k_n x'$, $ct'_n = k_n ct'$ – нормированные координаты,

$$k_n = \sqrt{\frac{1 - \beta^2}{1 + \beta^2}} \quad \text{– нормировочный, или масштабный, коэффициент.}$$

Релятивисты прекрасно знают, что их масштабный коэффициент, выражающий отношение 1 к $\sqrt{1 - \beta^2}$ не работает на диаграмме Минковского. Однако они предпочитают спекулировать им, т.к. он, по их мнению, согласуется с результатами эксперимента Майкельсона–Морли. В том, что масштабный коэффициент k_n найден нами правильно, легко убедиться на числовом примере.

Пусть точка A (рис. 1а) имеет в системе K координаты (в мм): $x = 63$, $ct = 135$, а в K' – $x' = 30$, $ct' = 131$. Тогда $\beta = 0,267$ и $k_n = 0,931$. Интервалы в K и K' соответственно равны: $s \approx -14 \times 10^3$ и $s' \approx -16 \times 10^3$. Согласно теории относительности, интервалы равны: $s = s'$, но для получения равенства нужно s' еще умножить на k_n^2 , так как истинное равенство интервалов выглядит следующим образом:

$$s = (x)^2 - (ct)^2 = k_n^2[(x')^2 - (ct')^2] = k_n^2 s'$$

Гиперболические преобразования (или лоренцевы), а также инвариантность квадратичной формы будут выполняться только после поправки на масштабный коэффициент k_n , который «сжимает» масштабные единицы обеих осей штрихованной системы K' до нужной величины. Для нашей конкретной точки A это сжатие будет равно:

$$x'_n = k_n x' = 0,931 \times 30 = 27,9 \text{ мм}, \quad ct'_n = k_n ct' = 0,931 \times 131 = 122,8 \text{ мм}.$$

А это как раз и означает, что между «эталоном длины и времени» (релятивистский термин, лучше сказать *масштабными единицами*) системы K и K' выполняются неравенства: $\Delta x > \Delta x'_n$ и $\Delta t > \Delta t'_n$, т.е. происходит «сжатия» обеих штрихованных осей, так как масштабный коэффициент $k_n < 1$. Однако отсюда вовсе не следует, что в реальном физическом мире сокращаются пространство и время.

Нельзя не заметить, что в получении преобразований Лоренца, соответствующих диаграмме Минковского, был использован искусственный прием: умножение числителя и знаменателя преобразований

$$x = \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 + \beta^2}} \quad \text{и} \quad ct = \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 + \beta^2}}$$

на величину $\sqrt{1 - \beta^2}$.

Для этих преобразований (их нельзя уже назвать *Лоренцевыми* или *гиперболическими*) не нужно вводить никаких масштабных коэффициентов. Для того чтобы найти значения координат x и ct , нужно просто подставить значения x' и ct' в два последних выражения.

Таким образом, диаграмма Минковского, вообще говоря, не удовлетворяет преобразованиям Лоренца. Но их соответствия можно добиться путем введения найденного выше масштабного коэффициента «сжатия» (k_n), который определяется намного проще, если из последних преобразований составить квадратичную форму $(x)^2 - (ct)^2$.

Обращаем особое внимание на то, что преобразования координат при ортогональном повороте (см. [раздел dm2-5h](#)) отличаются от выписанных преобразований только знаком перед членом $\beta ct'$. Все вышеприведенные громоздкие выкладки воспроизводят релятивистскую логику рассуждений, традиционно связанную с диаграммой Минковского и преобразованиями Лоренца. Но фактически эти рассуждения лишние, так как рис. 1а непосредственно подсказывает нам простейшее решение.

Вот оно: чтобы получить преобразования, соответствующие диаграмме Минковского, нужно в ортогональных преобразованиях знак минус перед членом $\beta ct'$ заменить плюсом. В этом случае координаты в системе K любой точки A – неважно лежит она на гиперболе или нет – можно найти по координатам системы K' , если воспользоваться слегка модернизированными (т.е. учитывающими знак перед $\beta ct'$) формулами поворота декартовых систем отсчета.

Как вурдалак ненавидит дневной свет и с появлением первых лучей солнца пытается укрыться в своем темном логове, так релятивист не любит ясных геометрических образов и пытается спрятаться от них за частоколом своих спекулятивных формул. Ложное представление о лоренцевом сокращении длины и замедлении времени появилось до построения графических чертежей, где только-то и можно было обнаружить факт «сокращения» или «удлинения» масштабных единиц, если таковые имели бы место. Это и понятно релятивисты тем и отличаются от конструктивистов, что не умеют мыслить пространственными образами и очень презрительно относятся к любым геометрическим построениям.

Хорошо известно, что сам Эйнштейн никогда ими не занимался и в четырехтомном собрании его трудов вы не найдете каких-либо чертежей. Даже диаграммам Минковского он, очевидно, не слишком доверял; единственное, о чем он считал необходимым сообщить практически во всех случаях повторного изложения им специальной теории относительности (а наиболее ясным изложением ее, по-видимому, нужно считать статью в энциклопедии «Физика» 1915 года), так это о мнимости временной оси.

«... Минковский исходил из того, – писал Эйнштейн, – что временная координата будет входить в основные уравнения теории относительности точно таким же образом, как и пространственные координаты, если вместо t ввести пропорциональную этой величине мнимую переменную ict . Благодаря этому, уравнения теории относительности становятся уравнениями в четырехмерном пространстве; при этом формальные свойства этого четырехмерного мира отличаются от формальных свойств пространства евклидовой геометрии только числом измерений» [7, ³⁷ с. 421].

У Минковского имеется две работы с интересующим нас вопросом. В более ранней работе он не рассматривал временную ось как мнимую, стремясь чисто геометрическим путем получить отношение 1 к $\sqrt{1-\beta^2}$. Это доказательство Минковский провел совершенно неудовлетворительно. Работа, о которой идет речь, была написана на основе доклада, прочитанного Минковским 21 сентября 1908 года в Кёльне.

Выступление начиналось с вдохновенных слов, которые релятивисты часто цитируют.

«Милостивые господа! – обратился Минковский к своим слушателям. – Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность» [1, ³⁸ с. 167].

Однако его путаное обоснование преобразований Лоренца никто больше не решился повторить, хотя вычерченный им чертеж, напоминающий рис. 1а, стали называть *диаграммой Минковского* и считать геометрическим доказательством правильности отношения 1 к $\sqrt{1-\beta^2}$. Макс Борн пытался идти своим путем, но у него тоже ничего не вышло. Проследим, как он выводил этот релятивистский масштабный коэффициент.

Пусть, предположил Борн, единица времени в покоящейся системе K равна T , а в движущейся системе K' равна T' . Длительность t' получается в результате проекции единичной длительности K покоящейся системы на временную ось движущейся системы, период времени t является проекцией единицы времени T' движущейся системы на ось времени покоящейся системы (рис. 2). Принцип относительности требует выполнения неперемного условия: $t' / T' = t / T$, что определит положение точки T' .

Введя точку T'' , будем иметь два прямоугольных треугольника с тангенсом $\operatorname{tg} \varphi = v/c$ и нижеследующими фактическими равенствами, получающимися непосредственно из чертежа:

$$T''T' = T'' \frac{v}{c}, \quad T''t = T''T' \frac{v}{c} = T'' \frac{v^2}{c^2}, \quad t = T''(1 - v^2/c^2), \quad T' = T'' \sqrt{1 + v^2/c^2}.$$

Из двух последних равенств находим соотношение между T' и t , а из треугольника $0t'T$ – выражение, связывающее T и t' :

$$T' = t \frac{\sqrt{1 + v^2/c^2}}{1 - v^2/c^2}, \quad t' = T \sqrt{1 + v^2/c^2}.$$

Подставляя эти два выражения в пропорцию $t' / T' = t / T$, Борн получает известные соотношения для замедления эталонов времени:

$$t = t' \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad T = T' \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

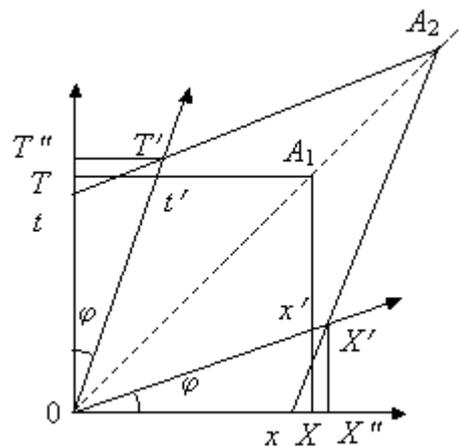


Рис. 2. К выводу соотношения между масштабными единицами системы K и системы K' , предложенное М. Борном [2].

³⁷ Эйнштейн А. *Теория относительности*. – СНТ. Т.1. – М.: Наука, 1965.

³⁸ Минковский Г. *Пространство и время* / в кн.: *Принцип относительности*. – М.: Атомиздат, 1973.

Поскольку ситуация с пространственными осями аналогичная, Борн выписывает пару формул для сокращения длины:

$$x = x' \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad , \quad X = X' \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad .$$

Эта геометрическая интерпретация ошибочна, так как Борн пошел на незаконную операцию «расщепления» события A на два различных события – A_1 и A_2 , тем самым удвоив число необходимых масштабных единиц: $x, x', X, X', t, t', T, T'$. Эту ошибку не сразу можно заметить, так как Борн вместо одного чертежа (рис. 2) вычертил три, причем выбрал для них не самую удачную систему обозначений [2, с. 281 – 285]. Если же все его чертежи свести в один и использовать более удобную систему обозначений координат, то ошибки предложенного им способа обоснования масштабного отношения 1 к $\sqrt{1 - \beta^2}$ быстро обнаружится.

Тем не менее, его попытку найти соотношение, связывающее T' и t , следует назвать *реалистичной*. Борн всё-таки использовал *реальные* отрезки длины, а не *виртуальные*, как это делают нынешние релятивисты. Поэтому в его равенстве фигурирует выведенный нами масштабный коэффициент k_n :

$$T' = t \frac{\sqrt{1 + v^2/c^2}}{1 - v^2/c^2} = t \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot \frac{\sqrt{1 + v^2/c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{t}{k_n} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Выше мы получили формулу, которая связывала штрихованный и нештрихованный параметры иначе. Сравните наше, ранее найденное выражение, и Борна:

$$k_n x' = x \sqrt{1 - \beta^2} \quad , \quad k_n T' = \frac{t}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad .$$

Для того, чтобы проиллюстрировать *виртуальный* способ доказательства масштабного отношения 1 к $\sqrt{1 - \beta^2}$, являющийся чисто *спекулятивным*, воспользуемся учебником В.Г. Левича [3].

«Если обозначить через φ угол поворота, – пишет Левич, – то ... можно написать связь между исходными координатами (x, τ) и преобразованными координатами (x', τ') :

$$x = x' \cos \varphi - \tau' \sin \varphi, \quad (10,11) \quad \tau = \tau' \cos \varphi + x' \sin \varphi. \quad (10,12)$$

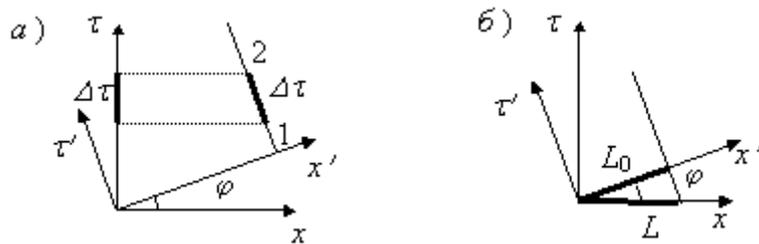


Рис. 3. Эти рисунки в точности соответствуют рис. 22 и рис. 23 «Курса теоретической физики» В.Г. Левича [3].

Угол поворота φ должен, очевидно, быть различным при разных значениях скорости v . Напишем преобразования (10,11) и (10,12) для начала координат системы K' , т.е. точки $x' = 0$. Имеем $x = -\tau' \sin \varphi$, $\tau = \tau' \cos \varphi$.

Разделив верхнее выражение на нижнее, получаем $\operatorname{tg} \varphi = -x / \tau$, или

$$\operatorname{tg} \varphi = ix/ct = iv/c, \quad (10,13)$$

где v – скорость равномерного движения начала координат системы K' (точка $x' = 0$) относительно системы координат K . Из равенства (10,13) можно без труда найти значения величин $\sin \varphi$ и $\cos \varphi$, входящих в формулы (10,11) и (10,12):

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad \sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi \cos \varphi = \frac{iv/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

При этом

$$x = \frac{x' - i\tau'v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (10,13) \quad \tau = \frac{\tau' + ix'v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (10,14)$$

Переходя от τ к времени t , мы видим, что формулы (10,14) и (10,15) совпадают с преобразованиями Лоренца.

Нелишне подчеркнуть условный характер графического изображения преобразований Лоренца. Угол поворота на рис. 3а является мнимым. Разумеется, изобразить поворот на мнимый угол мы не можем. Достоинства и недостатки графического представления преобразования Лоренца ясно видны из нижеследующего рассмотрения. Пусть в системе K' в некоторой точке x' покоятся часы. Это физическое событие в момент времени τ'_1 изобразится первой точкой, в момент времени τ'_2 – второй точкой на оси τ' . Промежуток времени $\Delta\tau'$ равен длине участка от точки 1 до точки 2. При переходе к системе K (повороте на угол φ) отрезок $\Delta\tau'$ переходит в отрезок Δt на оси t . Мы ясно видим, что бессмысленно говорить о том, какая система отсчета является более правильной и какой из промежутков времени, $\Delta\tau'$ или Δt , является истинным промежутком времени между двумя физическими событиями.

Недостатком геометрического рассмотрения является то, что взаимоотношение между $\Delta\tau'$ и Δt на чертеже является обратным истинному: на чертеже Δt меньше, чем $\Delta\tau'$, в действительности же он больше в отношении 1 к $\sqrt{1 - \beta^2}$. Искажение возникает потому, что мы не можем изобразить на рисунке мнимое значение угла φ и заменяем его вещественным углом.

Аналогичную геометрическую интерпретацию допускают преобразования длины (рис. 3б)...» [3, с. 215–217].

По законам математического жанра всякая геометрическая интерпретация призвана дать человеку наглядный графический образ каких-то аналитических выражений. В данном случае ее функция свелась к обратному – к полной дезориентации наших представлений. Левич сослался на невозможность нахождения тригонометрических функций от мнимого значения угла φ . Такая отговорка совершенно здесь неоправдана, поскольку указанные величины отображаются в математике гиперболическими функциями, в частности: $\cos i\varphi = \operatorname{ch} \varphi > 1$. Физик Левич мог о них ничего не знать, но математикам их геометрическое представление хорошо известно. Предшествующий окончательным формулам (10,14) и (10,15) текст из книги можно безболезненно выбросить, так как они непосредственно получаются из прямых преобразований Лоренца для x и t : формула (10,14) вытекает из преобразований для x путем замены

$$vt' = -\frac{v}{c}ict' = -i\frac{v}{c}\tau'$$

формула (10, 15) – из преобразований для t путем умножения обеих частей на ic . Если кто-то рассчитывал в результате этих простейших манипуляций постигнуть геометрическую сущность преобразований Лоренца, то он в этом глубоко заблуждается.

Однако нас сейчас не особенно интересуют чьи-либо пробелы в математических знаниях, мы хотели обратить внимание читателя на постановку и решение проблемы в принципе. Спрашивается, зачем вычерчивать рисунок, на котором изображен результат «обратный истинному»? Как понимать «условный характер графического изображения»? Почему, собственно, мы должны брать на веру то, что в «действительности» все будет ровно наоборот? Если возникли «искажения», значит, ни о каком решении задачи не может быть и речи. Любой, уважающий себя ученый, а тем более преподаватель обязан нести людям нечто завершенное, истинное. Данное же изложение материала только дискредитирует математику в глазах молодых людей, запутывает студентов и прививает им дурной вкус из-за небрежных доказательств.

Всякий непредвзято мыслящий студент или даже школьник в приведенных Левичем рис. 3 прекрасно увидит традиционный ортогональный поворот одной декартовой системы отсчета относительно другой. Все выделенные там отрезки соотносятся между собой посредством обыкновенных тригонометрических функций; искать среди них «сокращенные» или «удлиненные» по Эйнштейну отрезки бессмысленно. Когда кто-нибудь говорит вам, что преобразования Лоренца невозможно геометрически интерпретировать, так как появляется мнимая единица, или что для изображения комплексных величин требуется псевдоплоскость, гиперпространство и пр., которые и вообразить-то нельзя, знайте – он вас обманывает. Не бойтесь, с появлением символа « i » рядом с символами « ct » ваш чертеж не исчезнет с листа

бумаги; на чистом листе бумаги можно изображать рисунки как евклидовой, так и неевклидовой геометрии.

Здесь важно помнить одно: геометрический чертеж «не знает», как вы обозначили отрезок длины – $x, t, ct, ict, x', t', ct', ict'$. Главным для геометрии является *реальное* соотношения длин и *реальные*, т.е. конкретно отложенные на бумаге, углы поворотов осей. Понятие мнимой единицы не является чем-то таким, с чем математики не знают, как обращаться. Все спекуляции с псевдоевклидовой геометрии идут из одного источника: страстного желания доказать несуществующее в геометрии масштабное отношение 1 к $\sqrt{1-\beta^2}$. Ради этого авторы идут на чудовищные преступления, причем дело касается самых азов элементарной математики, которую изучают школьники.

Редко кто из релятивистов соглашается со спекуляциями своих товарищей. Минковский предложил вывод отношения 1 к $\sqrt{1-\beta^2}$, с которым не согласился Борн; Борн предложил свое доказательство, с которым не согласился Левич; с последним, в свою очередь, не согласились другие авторы. Таким образом, каждый релятивист изобретает на своем рабочем месте что-нибудь свое, отличное от других. Однако же выискивать у релятивистов ошибки в их геометрических интерпретациях преобразований Лоренца не очень интересно, поскольку все они не отличаются большим разнообразием и примерно схожи с приведенной выше интерпретацией из учебника В.Г. Левича.

Возьмите, к примеру, курс по специальной теории относительности, написанный В.А. Угаровым, который еще в 40-х годах прошлого века вместе с В.Л. Гинзбургом интенсивно пропагандировал теорию относительности. В его курсе вы прочтете похожие слова, сказанные Левичем: «Не следует забывать, однако, что изображение псевдоевклидовой плоскости на евклидовой условно» [4, с. 123]. Чтобы показать, что чистый лист бумаги образует евклидову плоскость, автор вычерчивает прямоугольный треугольник, стороны которого удовлетворяют теореме Пифагора: $AB^2 = BC^2 + AC^2$, и добавляет: мы же не в состоянии изобразить «псевдоевклидову плоскость на листе бумаги», где бы выполнялась «псевдопифагорова теорема»: $AB^2 = BC^2 - AC^2$. Гипнотическое действие релятивистской физики было столь оглушительным, что даже исключительно математические книжки, например «Высшая геометрия» Н.В. Ефимова и «Риманова геометрия и тензорный анализ» П.К. Рашевского, лишились наиважнейших формул пересчета масштабных единиц из ортогональной системы в гиперболическую и наоборот.

– II –

Проблемы, описанные в предыдущей части, более или менее знакомы нашему читателю по предыдущим разделам. Теперь давайте посмотрим, как ложное отношение 1 к $\sqrt{1-\beta^2}$ между единицами измерения в ортогональной и гиперболической системами координат отразилась на выводе наиважнейших формул в рамках *радиолокационного* или *метода коэффициента k* , который широко используется для вывода различных формул теории относительности, в том числе, формулы доплеровского эффекта, формул сокращения длины и замедления времени и самих преобразований Лоренца. С этой целью обратимся к статье Макса Борна [5]³⁹, в которой комментируются идеи, предложенные Бонди и Холсбэри.

«В работе [Бонди], – пишет Борн, – рассматривается одномерное движение и используются (x, t) диаграммы. Пусть A_1 и A_2 – два наблюдателя, покоящиеся в инерциальной системе отсчета; их мировые линии являются двумя параллельными прямыми (рис. 4а). Оба имеют физически одинаковые часы. Испускаемые наблюдателем A_1 световые сигналы через равные промежутки времени t будут приниматься наблюдателем A_2 тоже через равные промежутки времени t .

Пусть наблюдатель B движется между A_1 и A_2 в направлении от A_1 к A_2 со скоростью v , меньше, чем скорость света c . Наблюдатель B несет часы, физически идентичные с часами наблюдателей A_1 и A_2 . Излученные A_1 в моменты времени $1, 2, 3, \dots$ (по часам A_1) световые сигналы достигают наблюдателя B соответственно в моменты времени $1', 2', 3', \dots$ (по часам B). Из-за доплер-эффекта (который является опытным фактом) интервал t' по часам B не будет равен соответствующему интервалу t по часам A , а

³⁹ Борн М. *Космические путешественники и парадокс часов*. – УФН, т. 59, вып. 1, 1959, с. 105–110. Эта же статья в кн.: *Размышления и воспоминания физика*. – М.: Наука, 1977, с. 126–132.

$$t' = kt, \quad (4)$$

где k – функция относительной скорости v , причем $k > 1$.

Согласно принципу относительности, можно рассматривать B покоящимся, а A_1 и A_2 – движущимися. Если B излучает световые сигналы точно в моменты 1, 2, 3, ..., соответствующие моментам прихода сигналов из A_1 в B , то сигналы, посылаемые наблюдателем B в направлении A_2 , будут идентичны сигналам, посылаемым непосредственно из A_1 в A_2 . Таким образом, имеет место то же самое соотношение $t' = kt$, которое теперь следует читать $t = t'/k$. Это означает, что доплеровский эффект при сближении окажется обратным доплеровскому эффекту при удалении.

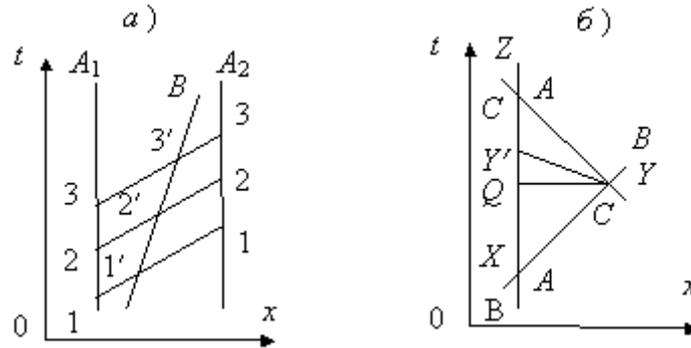


Рис. 4. Диаграммы разъясняют метод коэффициента k , который сегодня широко используется для вывода различных формул теории относительности, а именно: формулы эффекта Доплера, формул сокращения длины и замедления времени, а также самих преобразований Лоренца.

После этой небольшой подготовки Бонди не сразу переходит к рассмотрению ускоренного движения B , а заменяет его, следуя Холсбэри, равномерным движением (рис. 4 б). Наблюдатель A покоится в инерциальной системе. Движущийся с постоянной скоростью v в этой системе наблюдатель B встречается с наблюдателем A в точке X мировой линии A ; в этот момент оба они сверяют свои часы. Третий наблюдатель C движется тоже с постоянной скоростью v в инерциальной системе A и встречается с наблюдателем B в точке Y мировой линии B и затем – с A в точке Z мировой линии A . Проекция Q точки Y на мировую линию A делит отрезок XZ на две равные части.

В момент встречи Y наблюдателей B и C испускается световой сигнал, который доходит до мировой линии A в момент Y' . Очевидно,

$$XQ = QZ = t_0, \quad QY = vt_0, \quad QY' = QY/C = vt_0/c,$$

а также

$$XY' = t_0(1 + v/c), \quad Y'Z = t_0(1 - v/c). \quad (5)$$

С другой стороны, XY' и $Y'Z$ являются теми отрезками мировой линии A , которые принимают световые сигналы, испущенные на мировой линии B между моментами X и Y или на мировой линии C между моментами Y и Z . Пусть t_1 – интервал времени, измеренный наблюдателем B при движении между точками X и Y . Так как в первом случае имеем взаимное удаление наблюдателей B и A , а во втором – взаимное сближение наблюдателей C и A , то, в соответствии со сказанным выше,

$$XY' = kt_1, \quad Y'Z = t_1/k, \quad (6)$$

Сравним (5) и (6)

$$kt_1 = t_0(1 + v/c), \quad t_1/k = t_0(1 - v/c). \quad (7)$$

Разделив первое соотношение (7) на второе, получаем

$$k^2 = \frac{1 + v/c}{1 - v/c} = \frac{(1 + v/c)^2}{1 - v^2/c^2}, \quad k = \frac{1 + v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}.$$

Это известная релятивистская формула эффекта Доплера, подтвержденная экспериментом.

С другой стороны, умножая соотношения (7) друг на друга и извлекая корень, получаем

$$\text{известную формулу сокращения времени } t_1 = t_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \gg [5].$$

Из [Ошибочности релятивистской формулы Доплера](#) мы уже знаем о выполнении приближенного равенства:

$$\frac{1}{F(\beta_2, \theta_2)} \approx \frac{1 + \beta_2 \cos \theta_2}{\sqrt{1 - \beta_2^2}}, \quad F(\beta, \theta) = \left(\sqrt{1 - \beta^2 \sin^2 \theta} - \beta \cos \theta \right).$$

При $\theta_2 = 0^\circ$ это выражение принимает значение полученного в статье Борна коэффициента k .

Этот коэффициент k или, что одно и то же, релятивистскую формулу Доплера можно получить иначе. Для этого нужно вспомнить, что сигнализация между наблюдателями A , B и C осуществляется лучами света, скорость которого в системах отсчета K и K' одинаковая, т.е. $x/t = x'/t' = c$ или $x = ct$, $x' = ct'$. Теперь возьмите преобразования Лоренца, скажем, для x , и подставьте в него это условие: вы немедленно получите преобразования Лоренца для t , и наоборот. Из преобразования для x можно исключить компонент времени, а из преобразования для t – компонент пространства, тогда одноименные координаты систем K и K' будут связаны как раз через коэффициент k :

$$\begin{aligned} x = \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}} & : ct = \frac{ct' + \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} ct' & t = kt'; \\ ct = \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} & : x = \frac{x' + \beta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} x' & x = kx'. \end{aligned}$$

Геометрический смысл первого условия: $x/t = x'/t' = c$, такой же, как и второго: $x/x' = t/t' = k$, – оба условия задают биссектрисы секторов, ограниченных соответствующими осями. Первое условие автоматически влечет за собой второе, и наоборот. Никакого *физического* смысла коэффициент k , конечно, не несет (его причастность к эффекту Доплера нужно перепроверять – релятивистам здесь доверять нельзя), а вот *геометрическое* содержание всех этих манипуляций мы сейчас подробно проанализируем. Далее, произведя точное геометрическое построение (идея построения взята из книги Бома [6]), мы убедимся, что именно реальная картина геометрических размеров отрезков не такова, как она представлялась Борну, Бому, Угарову и прочим релятивистам.

На рис. 5 изображены две системы отсчета K и K' , в которых точка A проецируется двумя способами. Из чертежа имеем:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} (ct_0 + x_0), & ct &= \frac{1}{2} (ct_0 - x_0); \\ x' &= \frac{1}{2} (ct'_0 + x'_0), & ct' &= \frac{1}{2} (ct'_0 - x'_0); \\ ct_1 &= -x_0, & ct'_1 &= -x'_0. \end{aligned}$$

Напомним, что если декартову систему координат, в которой задано уравнение гиперболы $y^2 - x^2 = 1$, развернуть на угол 45° , то уравнение гиперболы изменится на уравнение: $XU = 1$. Новые координаты X и U некоторой точки A , взятой на гиперболе, будут пропорциональны сумме $y + x$ и разности $y - x$ старых координат (развернутую на 45° координатную систему изображать не будем). Точку A можно проецировать на старые координаты x , y , при этом коэффициент $1/\sqrt{2}$, получающийся от $\cos 45^\circ$ и $\sin 45^\circ$, необходимо умножать еще на один такой же коэффициент, в результате чего получится уже множитель $1/2$. Линия, наклон которой равен 45° , соответствует скорости света (биссектрисы систем K и K'). Поэтому, когда Борн говорит о посылке светового сигнала из точки Y в точку Y' (рис. 4б), то на самом деле эта процедура означает проецирование точки Y на ось ct (линия AA), аналогично точка Y' проецируется на ось ct' (линия BB).

Установим связь между координатами штрихованной и нештрихованной систем для этой новой формы проецирования события A . В связи с этим введем два пересчетных коэффициента k' и k'' . Если коэффициенты окажутся одинаковыми, то их можно будет впоследствии принять за одну величину. Итак, полагаем $ct_0 = k'ct'_0$ и $x_0 = x'_0/k''$. Подстановка этих равенств в предыдущие уравнения позволяет найти преобразования Лоренца:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} (ct_0 + x_0) = \frac{1}{2} (k'ct'_0 - x'_0/k'') = \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ ct &= \frac{1}{2} (ct_0 - x_0) = \frac{1}{2} (k'ct'_0 + x'_0/k'') = \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \end{aligned}$$

Складывая и вычитая эти равенства, а также помня, что $ct'_0 = ct' + x'$, $x'_0 = ct' - x'$, находим, что оба введенных коэффициента k' и k'' равны k , который чудесным образом совпал с величиной доплер-эффекта:

$$k = k' = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta} = k''.$$

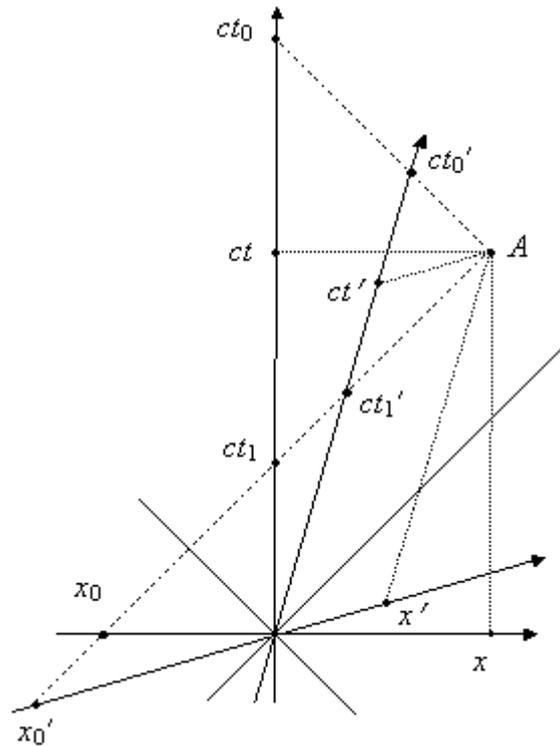


Рис. 5. Заинтересованным читателям рекомендуется вычертить данный чертеж и самим произвести все необходимые измерения отрезков. Так они смогут лучше понять ошибку, допущенную авторами и комментаторами метода коэффициента k – Борна, Бонди и Бома.

Истинный конструктивист никогда не поверит путаным рассуждениям релятивистов, пока сам не выполнит все необходимые построения и вычисления. Авторы метода установили, казалось бы, реальные геометрические отношения на своем чертеже (рис. 5). Однако мы уже заранее знаем, что в их суждения вкралась ошибка, поскольку они не учли истинного масштабного коэффициента k_n . Если учесть его влияние на чертеж и произвести несложные вычисления, то никакого равенства коэффициентов k' и k'' мы не получим – судите сами:

$$k' = k / k_n = ct_0 / ct'_0 = \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 - \beta},$$

$$k'' = k \times k_n = x'_0 / x_0 = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}}.$$

Тщательное вычерчивание чертежа (рис. 5) с конкретными координатами (в мм):

$$x = 105, ct = 177, x' = 77, ct' = 165, x_0 = 70, ct_0 = 280, x'_0 = 87, ct'_0 = 242,$$

позволяет найти параметр $\beta = 0,176$, истинный масштабный коэффициент $k_n = 0,968$ и все введенные нами коэффициенты $k = 1,195$, $k' = 1,158$, $k'' = 1,243$. Как видим, $k' \neq k''$

А почему, собственно, коэффициенты k' и k'' должны быть равны? Ведь в классической физике движения источника и приемника строго различаются. В итоге мы имеем восемь вариантов, которые показаны в следующей таблице:

Состояния приемника A и источника i	Принимаемая длина волны λ'
A и i сближаются: A – движется, i – покоится	$\lambda' = \frac{\lambda}{1 + \beta_1}$
A и i сближаются: A – покоится, i – движется	$\lambda' = \lambda(1 - \beta_2)$
A и i удаляются: A – движется, i – покоится	$\lambda' = \frac{\lambda}{1 - \beta_1}$
A и i удаляются: A – покоится, i – движется	$\lambda' = \lambda(1 + \beta_2)$
A и i оба движутся навстречу друг другу на сближение	$\lambda' = \lambda \frac{1 - \beta_2}{1 + \beta_1}$
A и i оба движутся в противоположные стороны на удаление	$\lambda' = \lambda \frac{1 + \beta_2}{1 - \beta_1}$
A и i оба движутся в положительном направлении оси x	$\lambda' = \lambda \frac{1 - \beta_2}{1 - \beta_1}$
A и i оба движутся в отрицательном направлении оси x	$\lambda' = \lambda \frac{1 + \beta_2}{1 + \beta_1}$

У релятивистов эта таблица из восьми формул сводится к одному-единственному выражению, с помощью которого равным счетом ничего нельзя установить. Возьмем, например, относительное сближение солнечной системы и какой-нибудь далекой звезды, для которой зафиксировано фиолетовое смещение спектральных линий. Нельзя определенно сказать: то ли мы приближаемся к звезде, то ли она приближается к нам, то ли она и мы двигаемся навстречу друг другу, то ли мы летим от звезды, а она нас догоняет, то ли наоборот. Аналогичная картина с удалением источника и приемника, когда наблюдается красное смещение. Причем обе задачи, на сближение и удаление, очевидно, решаются путем смены знака перед разностью скоростей источника и приемника, поскольку для использования обратной формулы нет достаточных оснований. Теперь задайтесь вопросом, как эту чудесную теорию можно проверить экспериментально, когда она годится для всех возможных вариантов? Так как в первом приближении $1/(1 - \beta) \approx 1 + \beta$, то в эксперименте, наверное, не всегда можно отчетливо различить движение приемника и источника.

Метод коэффициента k сильно запутан и его ошибки не слишком бросаются в глаза неспециалистам. Но возьмите такие вопиющие ошибки, как предельный переход от преобразований Лоренца к преобразованиям Галилея, который осуществляют релятивисты. Эта тема изложена в [разделе dm2-5f](#) «Дискретной математики», до которого, однако, не у всех физиков доходят руки. Напомним его суть.

Считается, что преобразования Лоренца:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

перейдут в преобразования Галилея: $x = x' + vt'$, $t' = t$, если к первой паре формул применить предельный переход: $v/c \rightarrow 0$. Нормальный математик сразу же заметит здесь ошибку: в числителе самого первого выражения переменная v оказалась без необходимой в этом случае

константы c . Ясно, что в такой форме преобразования Лоренца использовать нельзя; их нужно записывать через параметр β :

$$x = \frac{x' + \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad ct = \frac{ct' + \beta x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Тогда при условии $\beta \rightarrow 0$ или $\varphi \rightarrow 0$ гиперболические функции ведут себя так, как показано в таблице:

β	0,99	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00
ch φ	7,089	1,667	1,250	1,091	1,048	1,021	1,0050	1,0012	1,0001	1,0000
sh φ	7,018	1,333	0,750	0,436	0,315	0,204	0,1005	0,0501	0,0100	0,0000

Отсюда преобразования Лоренца в случае предельного перехода параметра $\beta \rightarrow 0$ трансформируются в единственно возможные равенства: $x = x'$, $ct = ct'$. Таким образом, никакого перехода от физики больших скоростей к физике малых скоростей не существует. Утверждение о некоей преемственности двух физик является ложным. Никто в мире не сможет указать вам, где заканчивается *классическая физика* и начинается *релятивистская*. Никакой границы между ними нет, так как *преобразования Лоренца не отражают поступательного движения физических тел*.

Теперь спросите себя, разве современной науке неизвестно, как ведут себя гиперболический косинус и синус при условии $\varphi \rightarrow 0$? Прекрасно известно:

$$\text{ch } \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow 1, \quad \text{sh } \varphi = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \rightarrow 0.$$

Тогда, почему никто не торопится исправлять эту чудовищную ошибку в учебниках и справочниках по физике? Да потому что сегодняшние физики абсолютно не заинтересованы в установлении истины. Исправление этой ошибки заставит их обратить внимание на сотню других ошибок. В результате можно прийти к отрицанию всего схоластического фундамента физики, на что у наших генералов науки никогда не хватит духа.

В заключение данного раздела напомним читателям, что решение парадокса часов с помощью трех наблюдателей, использованных Холсбэри и его последователями, – ошибочно. Об этом рассказывалось в разделе «Парадоксы времени» {OAKL-2.9}, откуда взята следующая картинка (рис. 6).

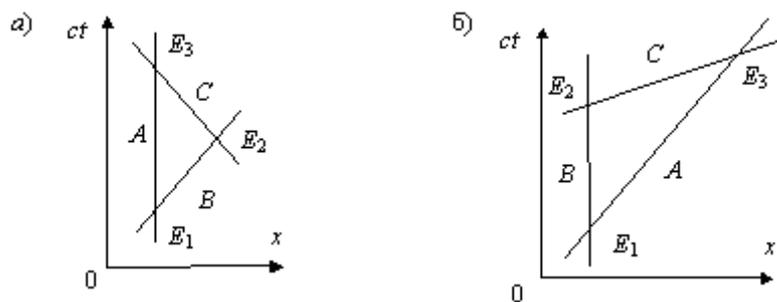


Рис. 6. На диаграмме (а) показаны три брата-близнеца: домосед А, летящий от Земли В и летящий к Земле С. Холсбэри доказал, что брат А окажется старше двух других. Однако этот автор не догадался вычертить диаграмму (б), которая продиктована принципом относительности движения, иначе бы он увидел, что все его рассуждения о старшинстве брата А нужно отнести и к двум другим братьям.

С учетом этого обстоятельства все чертежи, изображенные на рис. 4 и рис. 5, нужно пересматривать. Естественно, что формулы, полученные из новых рисунков, будут противоречить старым. Это противоречие лишний раз подтвердит, что радиолокационный метод или метод коэффициента k никуда не годится. Угаров, рассказав об этом методе, написал: «...Игра в световые зайчики в конечном счете позволяет получить основные следствия постулатов

Эйнштейна» [4,⁴⁰ с. 99]. И это действительно так: «изящный метод» коэффициента k был сначала придуман для разрешения только парадокса часов по схеме трех наблюдателей, предложенной Холсбэри, но потом он оказался столь дивным инструментом для спекуляций, что релятивисты стали использовать его для получения практически всех формул своей замечательной концепции.

Одной из провозглашенных нами целей является анализ спекулятивного мышления релятивистов. Задача состоит не только в том, чтобы дать верную формулу взамен ошибочной, как это было сделано в данном разделе, но и раскрыть схоластическую природу методов доказательства, принятых в релятивистской физике. Конечно, немало было уже сказано в этом отношении раньше. В частности, говорилось, что одним из основных приемов спекулятивной логики является явное, как это было в первой работе Эйнштейна 1905 года, или неявное введение абсолютного пространства метанаблюдателя. В данном разделе приводилась выдержка из учебника Левича, где тот использовал *условно-правильные* чертежи, в которых отсутствуют истинные геометрические отношения. Этот прием тоже широко используется релятивистами, которые почти никогда не ставят задачи строгой геометрии, доведенные до конкретных числовых значений. Как правило, они ограничиваются приблизительными графическими чертежами, призванными лишь пояснить их путанные рассуждения.

То же самое происходит и с формулами. На примере парадокса штриха было показано, что за словами «сокращение длины» и «замедление времени» на самом деле стоят по паре противоположных формул. Получилось, что релятивизм *объектных наблюдателей* повлек за собой релятивизм в среде *субъектов теории*. Пороки релятивизма нигде так себя не проявили, как при решении *парадокса часов*. На примере этого хорошо известного парадокса можно видеть релятивизм в его более широком смысле, как *философию относительного решения физических проблем*. Согласно этому спекулятивному мировоззрению, мы имеем столько точек зрения, сколько ученых занимается данной тематикой. Каждый исследователь создает свою индивидуальную теорию или, во всяком случае, имеет свою индивидуальную позицию по тому или иному теоретическому вопросу.

Проблемы с формулами для доплер-эффекта, замедления времени и сокращения длины, которые были рассмотрены нами в других разделах, являются следствием этой двусмысленности. Причем указанная неоднозначность, похоже, мало беспокоит релятивистов, они даже и не пытаются устранить многозначность своих формулировок. Парадокс часов служит этому прекрасным доказательством: сколько людей принималось за его анализ, столько и мнений существует по его разрешению. В течение нескольких десятилетий над этой проблемой бились виднейшие физики планеты. В результате титанических усилий на свет появился *метод коэффициента k* , который до того запутал простейшую ситуацию с часами и световыми сигналами, что сегодня отыщется немного смельчаков, решившихся на критику этого метода. Мы, однако, решились, что из этого получилось, судить вам, дорогой читатель.

1. Минковский Г. *Пространство и время* / в кн.: *Принцип относительности*. – М.: Атомиздат, 1973.

2. Борн М. *Эйнштейновская теория относительности*. – М.: Мир, 1964.

3. Левич В.Г. *Курс теоретической физики*. Т.1, – М.: Наука, 1962.

4. Угаров В.А. *Специальная теория относительности*. – М.: Наука, 1977.

5. Борн М. *Космические путешественники и парадокс часов*. – УФН, т. 59, вып. 1, 1959, с. 105–110.

Эта же статья в кн.: *Размышления и воспоминания физика*. – М.: Наука, 1977, с. 126–132.

6. Бом Д. *Специальная теория относительности*. – М.: Мир, 1967, с. 165–175.

7. Эйнштейн А. *Теория относительности*. – СНТ. Т.1. – М.: Наука, 1965.

⁴⁰ Угаров В.А. *Специальная теория относительности*. – М.: Наука, 1977.

12. Отклонение лучей света вблизи массивных тел

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es12.htm>

– I –

Более или менее подробное описание зарождения СТО читатель найдет в разделе [Как создавалась специальная теория относительности](#). Цель данного раздела – проследить ход мыслей Альберта Эйнштейна после опубликования им работы 1905 года «К электродинамике движущихся тел», которая к 1913 году одержала верх над другими конкурирующими теориями электрона, предложенными Лармором (он один из первых получил преобразования Лоренца), Лоренцем и Пуанкаре. В своем анализе развития теории относительности мы намерены уделить внимание не только логике хода рассуждений Эйнштейна, но и экспериментальному обоснованию его идей.

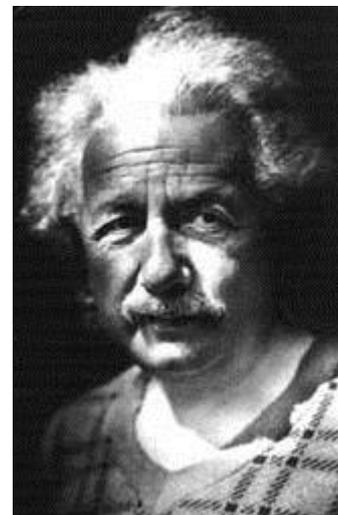
Переход от СТО к ОТО произошел уже в работе 1907 года «О принципе относительности и его следствиях». В пятой части этой работы, которая называется «Принцип относительности и тяготение», в 17-м параграфе, являющимся первым для этой части, рассматривается вопрос эквивалентности двух систем отсчета: Σ_1 – движущаяся с неизменным ускорением γ в направлении оси X и Σ_2 – покоящейся, но находящейся в однородном гравитационном поле.

«Как известно, – констатировал Эйнштейн, – физические законы относительно Σ_1 не отличаются от законов, отнесенных к Σ_2 ; это связано с тем, что в гравитационном поле все тела ускоряются одинаково. Поэтому при современном состоянии наших знаний нет никаких оснований полагать, что системы отсчета Σ_1 и Σ_2 в каком-либо отношении отличаются друг от друга, и в дальнейшем мы будем предполагать полную физическую равноценность гравитационного поля и соответствующего ускорения системы отсчета.

Это предположение распространяет принцип относительности на случай равномерно ускоренного прямолинейного движения системы отсчета. Эвристическая ценность этого предположения состоит в том, что оно позволяет заменить однородное поле тяжести равномерно ускоренной системой отсчета, которая до известной степени поддается теоретическому рассмотрению» [1,⁴¹ т.1, с. 106].

Итак, в ноябре 1907 года Эйнштейн сделал первые попытки соединить СТО с ньютоновской теорией тяготения. Пока что речь идет об эквивалентности двух систем отсчета Σ_1 и Σ_2 , но не об эквивалентности инерционной и гравитационной массы. К общей теории относительности Эйнштейн пришел через идею: «В свободном падении человек *не ощущает* своего веса!» Все предметы в поле тяготения падают с одним и тем же ускорением. Значит, свободно падающий наблюдатель не будет *чувствовать*, находится ли он в покое или участвует вместе с другими окружающими его предметами в ускоренном движении. Таким образом, с помощью учения Маха и Авенариуса об ощущениях он пришел к *обобщенному принципу относительности*, распространяющимся на равноускоренные системы отсчета. В 1907 году ни о каком тензоре кривизны пространства-времени речи не шло.

О нем ничего не говорилось и в работе 1911 года «О влиянии тяжести на распространение света», где Эйнштейн слегка развил идеи, высказанные в 1907 году. Поскольку эмпирицизм Маха и Авенариуса опирается на *чувственный опыт*, Эйнштейн в работе 1911 года



Эйнштейн



Эйнштейн и Оппенгеймер

⁴¹ Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах.* / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.

решил подчеркнуть этот эмпирический момент (системы Σ_1 и Σ_2 он обозначил как K' и K , соответственно):

«Для ускоренной системы отсчета K' это следует прямо из принципа Галилея; для покоящейся же в однородном гравитационном поле системы отсчета K это следует из того *опытного факта*, что все тела в таком поле ускоряются равномерно и одинаково сильно. Этот *опытный факт одинакового ускорения падения всех падающих в гравитационном поле тел является одним из наиболее общих фактов, установленных нами из наблюдений*; несмотря на это, данный закон не нашел еще отражения в основах нашей физической картины мира.

Однако мы придем к весьма удовлетворительной интерпретации этого *опытного закона*, если допустим, что системы отсчета K' и K физически в точности равноценны, т.е. если допустим, что систему K равным образом можно рассматривать как систему, находящуюся в пространстве, свободном от поля тяжести, но при этом мы должны рассматривать K как равномерно ускоренную систему. При таком подходе нельзя говорить об абсолютном ускорении координатной системы, так же как нельзя в обычной [термина «специальная» или «частная» тогда еще не существовало] теории относительности говорить об *абсолютной скорости* системы. С этой точки зрения одинаковое ускорение всех падающих тел в гравитационном поле очевидно».[1, т.1, с. 166].

Позже Эйнштейн сообразил или ему подсказали, что «нельзя *любое* поле тяжести заменить состоянием движения системы без гравитационного поля, точно так же, как нельзя преобразовать все точки произвольно движущейся среды к покою посредством релятивистского преобразования». Это примечание к процитированному отрывку он сделал после перехода к дифференциальной геометрии и «опытному факту» равенства инерционной и гравитационной массы. Но тогда, в 1911 году, он еще не понимал, что не существует никакого «опытного факта» равенства ускоренной системы отсчета K' и покоящейся в однородном гравитационном поле системы отсчета K , так как в природе не существует самих систем K' и K .

В п. 18 работы 1907 года под названием «Пространство и время в равномерно ускоренной системе отсчета» Эйнштейн подготовил почву для вывода, который прозвучал в п. 19 под названием «Влияние гравитационного поля на часы». В п. 18 он получил выражение (30) [1, т.1, с. 108]:

$$\sigma = \tau (1 + \gamma \xi/c^2),$$

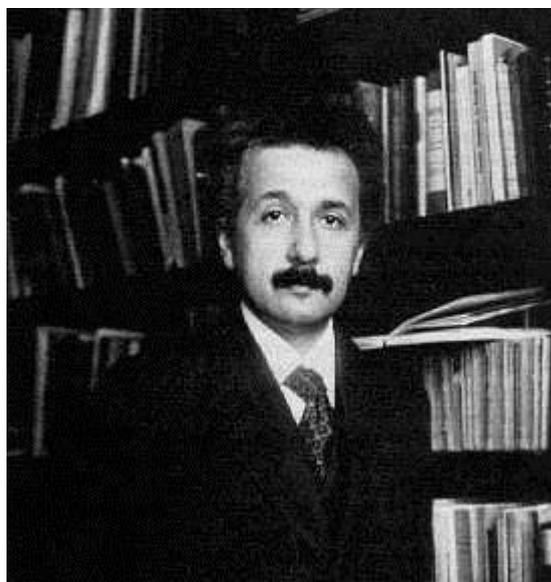
где γ – ускорение, ξ – текущее пространственная координата в системе Σ , τ – текущее время в системе Σ , при этом считается, что «свет в вакууме распространяется относительно Σ в течение элемента времени τ с универсальной скоростью c » [1, т.1, с. 107] и σ – «местное время» равноускоренной системы Σ , аналогичное «местному времени» Лоренца для равномерно движущихся систем. Затем формулу (30), автор переписал в виде формулы (30а) [1, т.1, с. 109]:

$$\sigma = \tau (1 + \Phi/c^2),$$

где $\Phi = \gamma \xi$ «означает потенциал силы тяжести».

Теперь процитируем п. 19 полностью:

«Если в точке P с гравитационным потенциалом Φ находятся часы, показывающие местное время, то, согласно соотношению (30а), их показания в $(1 + \Phi/c^2)$ раз больше, чем τ , т.е. они идут в $(1 + \Phi/c^2)$ раз быстрее одинаковых с ними часов, находящихся в начале координат. Пусть показания обоих этих часов воспринимаются каким-нибудь способом, например оптическим путем, наблюдателем, находящимся где-то в пространстве. Поскольку время Δt , проходящее между показанием часов и моментом, когда это показание будет воспринято наблюдателем, находящимся где-то в пространстве, не зависит от τ , то часы в точке P идут в $(1 + \Phi/c^2)$ раз быстрее, чем часы в начале координат. В этом смысле можно сказать, что процесс, происходящий в часах, – и вообще любой физический процесс – протекает тем быстрее, чем больше гравитационный потенциал в области, где разыгрывается этот процесс.



Эйнштейн

Существуют «часы», находящиеся в местах с различными гравитационными потенциалами, скорость «хода» которых можно проконтролировать с большой точностью; это – источники света с линейчатым спектром. Из сказанного выше следует [в предположении, что соотношение (30a) выполняется также в неоднородном гравитационном поле], что свет, приходящий от такого источника, расположенного на поверхности Солнца, обладает длиной волны, приблизительно на две миллионных доли большей, чем свет, испускаемый теми же атомами на Земле» [1, т.1, с. 110].

Данное место в п. 3 работы 1911 года «Время и скорость света в поле тяжести» Эйнштейн изложил более подробно:

«Пусть ν_0 – частота некоторого элементарного источника света, измеренная с помощью часов U , находящихся в том же месте, где и источник. Эта частота не зависит от того, где установлен источник света вместе с часами. Представим себе, что источник и часы помещены, например, на поверхности Солнца (там находится наша система S_2). Часть испускаемого там света доходит до Земли (S_1), где мы часами U точно такой же конструкции, что и упомянутые выше, измеряем частоту ν приходящего света. Тогда

$$\nu = \nu_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

где Φ – (отрицательная) разность гравитационных потенциалов между поверхностью Солнца и поверхностью Земли.

Таким образом, согласно нашим представлениям, спектральные линии солнечного света должны несколько сместиться по сравнению с соответствующими спектральными линиями земных источников света в сторону красного конца спектра, а именно, на относительную величину

$$\frac{\nu_0 - \nu}{\nu_0} = \frac{-\Phi}{c^2} = 2 \cdot 10^{-6}.$$

Это смещение можно было бы измерить, если бы были точно известны условия, при которых испускается солнечный свет. Однако ввиду того, что другого рода причины (давление, температура) также влияют на положение центра тяжести спектральных линий, трудно установить, действительно ли существует выведенное выше соотношение, в котором учитывается влияние гравитационного потенциала. ...

Итак, нельзя сказать, что оба часовых механизма, в S_2 и S_1 показывают правильное «время». Если мы определяем время в S_1 часами U , то мы должны измерять время в S_2 часами, которые идут в $(1 + \Phi/c^2)$ раза медленнее, чем часы U , если их сравнить с часами U в одном и том же месте» [1, т.1, с. 170–171].

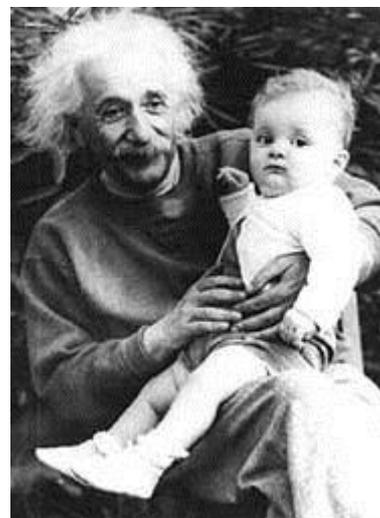
В связи с этим предсказанием красного смещения Эйнштейн сделал следующее примечание:

«Джевил [L. F. Jewell. J. phys., 1897, 6, 84] и особенно Фабри и Буассон [Ch. Fabry, H. Boisson. Compt. Rend., 1909, 148, 688–690] действительно нашли подобное смещение узких спектральных линий в сторону красного конца спектра, вычисленного выше порядка, но приписали это смещение влиянию давления в поглощающем слое».

Это значит, что он заранее знал о факте «покраснения» спектра, аналогично тому, как он заранее знал факты отклонения лучей вблизи Солнца и аномального смещения перигелия Меркурия. Поэтому было бы неправильно говорить, что Эйнштейн предсказал или спрогнозировал результаты многочисленных экспериментов, проводившихся после создания ОТО. Правильнее сказать: он подводит (чтобы не сказать подгонял) под имеющиеся в его распоряжении три факта свои теоретические изыски.

Но даже не это сейчас главное. От побочных явлений, наподобие эффекта Доплера, астрофизики научились отстраиваться, но позже обнаружилась другая беда. Е. Финлей-Френдлих (E. Finlay-Frendlich) в 1954 году установил, что

«смещения, найденные при наблюдении спектральных линий Солнца, сильно зависят от расстояния между центром солнечного диска и наблюдаемой точкой; смещение растёт, асимптотически



Эйнштейн с ребенком

приближаясь примерно к предсказанному значению на краю диска. Физические условия, отвечающие за такую зависимость, должны быть однозначно установлены, прежде чем можно будет сказать подтверждают ли наблюдения существование предсказанного гравитационного смещения или нет» [2,⁴² с. 673].

Вот такая зависимость говорит в пользу *оптического* характера эффекта смещения спектральных линий. Вспомним, аналогичная зависимость имеет место для рефракции света в земной атмосфере: в зените она минимальная, на линии горизонта она максимальна. Очевидно, в атмосфере Солнца явления рефракции протекают по такому же сценарию. Похоже на то, что линии спектра сдвигаются тем больше, чем больше рефракция. В любом случае, указанная Финлей-Фреундlichem закономерность работает против *гравитационного* характера эффекта смещения спектральных линий.

Авторы статьи [3]⁴³ заостряют внимание читателя на двух различных объяснениях покраснения фотона. В аннотации к статье они указывают,

«что при удалении фотона от гравитирующего тела (например, Земли), его измеряемая частота уменьшается. Это явление объясняется в литературе двумя различными способами. Первое объяснение сводится к тому, что измеряющие частоту часы (атомы или атомные ядра) сами идут быстрее (увеличивают свои характерные частоты) на большей высоте, а частота фотона в статическом гравитационном поле с высотой не меняется. Так что фотон краснеет только относительно часов. Второе объяснение заключается в том, что фотон краснеет потому, что теряет свою энергию, преодолевая притяжение гравитационного поля. Это второе объяснение, особенно широко распространенное в научно-популярной литературе, оперирует такими понятиями как «гравитационная масса фотона» и «потенциальная энергия фотона». К сожалению, такая интерпретация зачастую встречается и в ряде научных статей и серьезных монографий по общей теории относительности, где она используется в качестве «наглядного» пояснения формул, полученных математически безупречным образом. Мы показываем, что такая интерпретация неправильна и создает путаницу в простом вопросе» [3, с. 1141].



Эйнштейн

Можно, конечно, говорить, что рассуждения о «гравитационной массе фотона» и «потенциальной энергии фотона» ошибочны, только ведь существует еще один релятивистский эффект, отклонение луча света вблизи гравитирующего тела, которое без этих понятий объяснить невозможно. Но об этом поговорим позже; сейчас напомним, что помимо гравитационного красного смещения, отклонения луча света вблизи Солнца и аномального сдвига перигелия Меркурия, Эйнштейн в работе 1911 года «предсказал» четвертый опытный факт, который можно было бы сравнительно просто проверить, но который, однако, никогда не проверялся. Речь идет о зависимости скорости света от гравитационного потенциала:

«Если мы обозначим через c_0 скорость света в начале координат, то скорость света c в некотором месте с гравитационным потенциалом Φ будет равна

$$c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right) \quad (3)$$

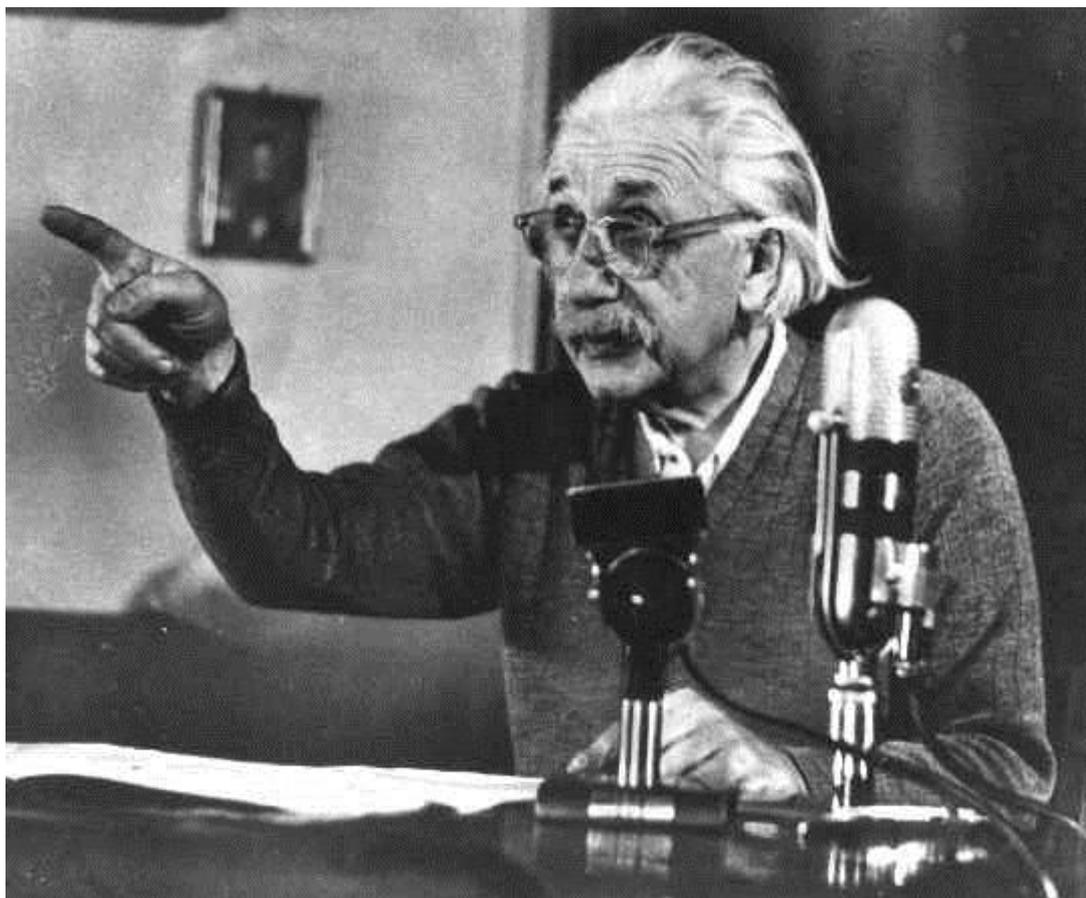
По этой теории, принцип постоянства скорости света справедлив не в той формулировке, в какой он кладется в основу обычной [специальной] теории относительности» [1, т.1, с. 172].

В статье 1907 года «О принципе относительности и его следствиях» Эйнштейн также выводил формулу изменения скорости света в ускоренной системе отсчета, в которой вместо

⁴² Паунд Р.Ф. *О весе фотонов*. / УФН LXXII вып. 4 (1960).

⁴³ Окунь Л.Б., Селиванов К.Г., Телегди В. *Гравитация, фотоны, часы*. / УФН 169 (1999).

константы c нужно было использовать зависимую от гравитационного потенциала ($\Phi = \gamma x$, где γ – постоянное ускорение) переменную скорость $c(1 + \Phi / c^2)$.



Выступление на радио

«Отсюда следует, – продолжал он, – что световые лучи... искривляются гравитационным полем; изменение направления, как легко видеть, составляет $\gamma \sin \phi / c^2$ на 1 см пути света, где ϕ означает угол между направлениями силы тяжести и светового луча. ... К сожалению, – добавил он, – согласно нашей теории, влияние поля тяготения Земли так незначительно (вследствие того, что величина $\gamma x / c^2$ мала), что нет никаких перспектив на сравнение результатов теории с опытом» [1,⁴⁴ т. 1, с. 113].

Таким образом, здесь искривление луча, идущего от звезды, было связано с изменением скорости света, как это происходит, например, в воде, для которой преломление световых лучей тоже зависит от изменения скорости света в водной среде. Потом Эйнштейн откажется от своего положения, согласно которому скорость света меняется в ускоренной системе отсчета, и придет к постулату о неизменности скорости света в *любых* системах отсчета. Искривление луча будет происходить в результате искривления пространства-времени. Однако это положение ОТО еще не было взято на вооружение в статье 1911 года «О влиянии силы тяжести на распространение света». В преамбуле к ней он писал:

«В работе, опубликованной четыре года назад, мы уже пытались ответить на вопрос, влияет ли тяготение на распространение света. Мы снова возвращаемся к этой теме, так как нас не удовлетворяет прежнее изложение вопроса; кроме того, мы теперь еще раз убедились в том, что один из наиболее важных выводов указанной работы поддается экспериментальной проверке. Оказывается, что лучи, проходящие вблизи Солнца, согласно излагаемой ниже теории, испытывают под влиянием поля тяготения Солнца отклонение, вследствие чего должно произойти кажущееся увеличение углового расстояния между оказавшейся вблизи Солнца неподвижной звездой и самим Солнцем почти на одну дуговую секунду.

⁴⁴ Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах.* / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.

Развитие этих идей привело также к некоторым результатам, относящимся к тяготению. Так как изложение всех рассуждений было бы громоздким в ущерб ясности, то ниже будут даны только некоторые совершенно элементарные соображения, с помощью которых удобно ориентироваться в предпосылках и в логическом развитии теории. Выведенные в настоящей работе соотношения, даже если теоретическое основание их и соответствует действительности, являются верными только в первом приближении» [1, т. 1, с. 165].

В п. 4 «Искривление лучей света в гравитационном поле», исходя из формулы (3) и применяя принцип Гюйгенса, Эйнштейн получает выражение (4) для отклонения луча на угол α от нормали:

$$\alpha = - \frac{1}{c^2} \int \frac{\partial \Phi}{\partial n} ds \quad (4)$$

Вслед за формулой (4) он сразу записал выражение (5):

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\theta = -\frac{\pi}{2}}^{\theta = +\frac{\pi}{2}} \frac{kM}{r^2} \cos \theta ds = \frac{2kM}{c^2 \Delta} \quad (5)$$

которое, однако, не связано прямой математической цепочкой с выражением (4). Подставляя значения гравитационной постоянной (k) и массы Солнца (M), мы получаем простую зависимость угла отклонения α от расстояния Δ , на котором луч света, идущий от звезды, проходит мимо центра затемненного солнечного диска. При касательном луче, т.е. когда $\Delta = R$ – радиус Солнца, отклонение будет максимальным, равным $0,87''$.

Заметим, что интеграл от $\cos \theta$, взятый в пределах интегрирования $\theta = \pm \pi/2$, равен 2, но как от гравитационного потенциала, фигурирующего под интегралом (4), перейти к закону всемирного тяготения, фигурирующему в (5), – не совсем понятно. Таким образом, в словах, сказанных в преамбуле о «громоздкости» рассуждений, которая якобы нанесет «ущерб ясности» изложения в действительности заключалась некая хитрость. Ее в 1921 году раскрыл Филипп Ленард [5]⁴⁵. Он опубликовал еще раз малоизвестную работу Зольднера [4]⁴⁶, в которой самым прозрачным образом получался числовой результат, соответствующий формуле (5). Это позволило Ленарду обвинить Эйнштейна в плагиате.

По статье 1911 года мы видим, как автор длинно рассуждал об изменении энергии и массы в системе с различным гравитационным потенциалом. Он писал выражения 1a и 1b для энергии и массы:

$$E_1 = E_2 + \frac{E_2}{c^2} \Phi M' - M = \frac{E}{c^2}$$

(правда, о весомости света он так ничего и не сказал). Однако эти его метания никак не объясняют главную формулу статьи 1911 года: откуда взялась формула (5), так и осталось загадкой.

Между прочим, хождение вокруг да около – так характерно для Эйнштейна. Например, в статье «К электродинамике движущихся тел» он тоже долго ходил вокруг да около измерения отрезков пути и периодов времени с помощью светового луча, только заветные релятивистские формулы у него так и не появились (см. [Как создавалась специальная теория относительности](#)). Тем не менее, видимость того, что преобразования Лоренца получаются именно из этой процедуры измерения, у невнимательного читателя осталась.

Зольднер вместе с Ньютоном и Лапласом считал, что свет состоит из весомых частиц. Отсюда становится понятно, почему световые лучи от звезд притягиваются Солнцем. В статье [9]⁴⁷ релятивист Захаров «предположил, что фотон обладает энергией $E = hv$ и массой $m = E/c^2$ », против чего как раз категорически возражали авторы статьи [3]⁴⁸. Эти формулы Захаров, как и

⁴⁵ Soldner, J. G. v. «Ueber die Ablenkung...»; (Lenard, P.) (1921). Annalen der Physik 65: 593–604.

⁴⁶ Soldner, J. G. v. «Ueber die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht». Berliner Astronomisches Jahrbuch (1804) s. 161–172.

⁴⁷ Захаров А.Ф. Гравитационные линзы / Соровский образовательный журнал, том 7, № 8, 2001; *его же* книга «Гравитационные линзы и микролинзы» М.: Янус, 1997.

⁴⁸ Окунь Л.Б., Селиванов К.Г., Телегди В. *Гравитация, фотоны, часы.* / УФН 169 (1999).

Эйнштейн формулы 1a и 1b, не использует при выводе угла отклонения, их можно было бы не писать, но от замалчивания принципиальных проблем они не исчезают.

Всякий честный физик должен хорошо помнить: электромагнитное излучение или фотоны – если допустить, что свет имеет корпускулярную природу, – не имеют массы. Тогда не понятно, по какой причине световой луч должен отклоняться в гравитационном поле. Пусть, в соответствии с ОТО, луч света отклоняется вместе с искривлением пространства-времени. Но, как доказал еще Пуанкаре (см. «От Пуанкаре назад к Канту» {POTI-6}), внешний наблюдатель этого не обнаружит. Очевидно, что отклонение лучей, наблюдаемое при солнечном затмении, происходит за счет какой-то другой причины (о ней мы подробно поговорим позже).

– II –

Искомый угол отклонения определил Иоганн Георг фон Зольднер (15.06.1776 – 18.05.1833), немецкий астроном, директор обсерватории Мюнхенской Академии, прекрасный математик, прославившийся своей работой в области геодезии. В 1801 году он послал в «Berliner Astronomisches Jahrbuch» («Берлинский астрономический ежегодник») статью «Об отклонении светового луча от его прямолинейного движения притягивающим всемирным телом, мимо которого он близко проходит», изданную в 1804 году [4]. В ней задолго до Эйнштейна на основе корпускулярной теории весомого света и всемирного закона тяготения он получил выражение, соответствующее формуле (5).

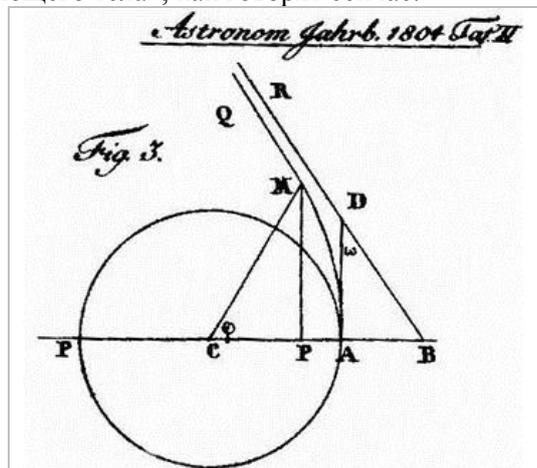
Зольднер руководствовался принятой в его время картиной мира Лапласа, который сказал сакраментальную для всякого релятивиста фразу: *сила притяжения небесного тела может быть столь огромна, что частицы света не смогут его покинуть*. Релятивисты думают, что Лаплас своим прозорливым умом догадывался о существовании черных дыр, что, конечно, не так, поскольку у французского астронома не было идей о существовании параллельных вселенных, куда можно попасть через черные дыры. В статье [4]⁴⁹ немецкий астроном отметил достижения в практической астрономии, которые рано или поздно потребуют более точной теории. Он напомнил о «значительных отклонениях» в случае абберации света, «однако могут найтись отклонения, которые так малы, что трудно будет решить, являются ли они истинными отклонениями или ошибками измерения» [4, с. 161]. Отклонения светового луча вблизи «притягивающего всемирного тела» является функцией высоты; было бы желательно установить максимум такого отклонения, который будет наблюдаться при касании луча поверхности «гравитирующего тела», как говорят сейчас.

Зольднер вычертил Fig. 3, где отметил точку С, в которой находится «притягивающее всемирное тело». Ускорение силы тяжести в точке А, расположенной на поверхности тела, равно g . Световой луч, коснувшись поверхности тела в точке А, пойдет не по прямой AD , а по гиперболической кривой AMQ . Введем обозначения: $CM = r$, $CP = x$, $MP = y$; углы $MCP = \varphi$ и $ADB = \omega$. Далее Зольднер написал: «Сила (*Die Kraft*), с которой световой луч притягивается телом в точке M по направлению MC , равна $2gr^{-2}$ ».

Величина, которая здесь упоминается, не является силой, поскольку не имеет соответствующей размерности. Судя по равенствам (I) и (II), ее можно было бы вместе с Захаровым [9] назвать изменением вектора скорости в результате действия силы притяжения тела. Коэффициент 2 здесь тоже введен



Иоганн Георг фон Зольднер
(15.06.1776 – 18.05.1833)



⁴⁹ Soldner, J. G. v. «Ueber die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht». Berliner Astronomisches Jahrbuch (1804) s. 161–172.

для удобства формального вывода (смысл этих искусственных построений выяснится позже). Далее он разложил «силу» на вертикальную и горизонтальную проекции:

$$\frac{2g}{r^2} \cos\phi \quad \text{и} \quad \frac{2g}{r^2} \sin\phi$$

и приравнял их к соответствующим вторым производным:

$$\frac{ddx}{dt^2} = -\frac{2g}{r^2} \cos\phi \quad (\text{I})$$

$$\frac{ddy}{dt^2} = -\frac{2g}{r^2} \sin\phi \quad (\text{II})$$

Умножая первое из этих уравнений на $-\sin\phi$, второе на $\cos\phi$ и складывая их, получаем:

$$\frac{ddy \cos\phi - ddx \sin\phi}{dt^2} = 0 \quad (\text{III})$$

Умножая первое на $\cos\phi$, второе на $\sin\phi$ и складывая их, получаем:

$$\frac{ddx \cos\phi + ddy \sin\phi}{dt^2} = -\frac{2g}{r^2} \quad (\text{IV})$$

Чтобы уменьшить число переменных в этих уравнениях, выразим x и y через r и ϕ

$$x = r \cos\phi \quad \text{и} \quad y = r \sin\phi .$$

Если их продифференцировать, получим:

$$dx = \cos\phi dr - r \sin\phi d\phi \quad \text{и} \quad dy = \sin\phi dr + r \cos\phi d\phi .$$

Если продифференцировать еще раз, получим:

$$\begin{aligned} ddx &= \cos\phi ddr - 2\sin\phi d\phi dr - r \sin\phi dd\phi - r \cos\phi d\phi^2 \quad \text{и} \\ ddy &= \sin\phi ddr + 2\cos\phi d\phi dr + r \cos\phi dd\phi - r \sin\phi d\phi^2 . \end{aligned}$$

Подставим эти значения ddx и ddy в (III), получим:

$$\frac{ddy \cos\phi - ddx \sin\phi}{dt^2} = \frac{2d\phi dr + r dd\phi}{dt^2} .$$

Итак, имеем:

$$\frac{2d\phi dr + r dd\phi}{dt^2} = 0 \quad (\text{V})$$

Из (IV):

$$\frac{ddr - r d\phi^2}{dt^2} = -\frac{2g}{r^2} \quad (\text{VI})$$

Умножим (V) на rdx , будем иметь:

$$\frac{2r d\phi dr + r^2 dd\phi}{dt} = 0 .$$

Проинтегрируем числитель последнего равенства, получим:

$$r^2 d\phi = C dt ,$$

где C – произвольная постоянная. Чтобы определять ее, заметим, что величина $r^2 d\phi$ равна двойной площади, которую заметет радиус-вектор r за время dt . Но эта площадь, описанная в течение первой секунды времени, равна $AC \cdot v$. Если принять AC за единицу, что мы будем всегда подразумевать, то окажется, что $C = v$. Таким образом, имеем:

$$r^2 d\phi = v dt$$

или

$$d\phi = \frac{v dt}{r^2} \quad (\text{VII})$$

Подставим (VII) в (VI):

$$\frac{ddr}{dt^2} - \frac{v^2}{r^3} = -\frac{2g}{r^2}.$$

Умножим последнее уравнение на $2dr$:

$$\frac{2dr ddr}{dt^2} - \frac{2v^2 dr}{r^3} = -\frac{4g dr}{r^2}.$$

Еще раз проинтегрируем:

$$\frac{dr^2}{dt^2} + \frac{v^2}{r^2} = -\frac{4g}{r} + D,$$

где D постоянная, зависящая от постоянных, входящих в уравнение. Отсюда можно найти время:

$$dt = \frac{dr}{\sqrt{D + \frac{4g}{r} - \frac{v^2}{r}}}.$$

Подставим это значение dt в уравнение (VII):

$$d\phi = \frac{v dr}{r^2 \sqrt{D + \frac{4g}{r} - \frac{v^2}{r}}}.$$

Чтобы проинтегрировать это уравнение, приведем его к виду:

$$d\phi = \frac{v dr}{r^2 \sqrt{D + \frac{4g^2}{v^2} - \left(\frac{v}{r} - \frac{2g}{v}\right)^2}}.$$

Обозначим:

$$\frac{v}{r} - \frac{2g}{v} = z,$$

тогда будем иметь:

$$\frac{v dr}{r^2} = -dz$$

Подставим выражения для dz и z в уравнение для $d\phi$, получим:

$$d\phi = \frac{dz}{\sqrt{D + \frac{4g^2}{v^2} - z^2}}.$$

Отсюда возьмем интеграл:

$$\phi = \text{Arc.cos} \frac{z}{\sqrt{D + \frac{4g^2}{v^2}}} + \alpha,$$

где α – постоянная величина. После преобразований, получим:

$$\cos(\phi - \alpha) = \frac{z}{\sqrt{D + \frac{4g^2}{v^2}}}.$$

Для $\alpha = 0$, получаем:

$$\cos\phi = \frac{v^2 - 2gr}{r\sqrt{v^2 D + 4g^2}}.$$

Для $\phi = 0$ и $r = AC = 1$, получаем:

$$\sqrt{v^2 D + 4g^2} = v^2 - 2g.$$

Таким образом, мы избавились от постоянной D :

$$\cos\phi = \frac{v^2 - 2gr}{r(v^2 - 2g)}.$$

Произведем следующие преобразования:

$$r + \left[\frac{v^2 - 2g}{2g} \right] r \cos\phi = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{VIII})$$

Сейчас нам необходимо понять, каков характер кривой (VIII), зависящей от переменных r и ϕ . С этой целью снова вернемся к переменным x и y , но уже в виде (Fig. 3):

$$\begin{aligned} x &= 1 - r \cos\phi, \\ y &= r \sin\phi, \\ r &= \sqrt{(1-x)^2 + y^2}. \end{aligned}$$

Подставим эти значения в уравнение (VIII), получим:

$$y^2 = \frac{v^2(v^2 - 4g)}{4g^2} [1-x]^2 - \frac{v^2(v^2 - 2g)}{2g^2} [1-x] + \frac{v^2}{4g^2}.$$

Последнее уравнение преобразуем к виду:

$$y^2 = \frac{v^2}{g}x + \frac{v^2(v^2 - 4g)}{4g^2}x^2. \quad (\text{IX})$$

Сравнение (IX) с общим уравнением для всех видов конических сечений:

$$y^2 = px + \frac{p}{2a}x^2.$$

подсказывает нам, что уравнение (IX) описывает гиперболу, «так как для всех известных нам всемирных тел $4g$ меньше, чем v^2 , таким образом, коэффициент при x^2 должен быть положительным». Не искривленный луч прошел бы в направлении асимптоты BR (Fig.3), но в глаз наблюдателя он попадает по направлению AD ; угол пертурбации ω определяется соотношением:

$$\text{tang } \omega = \frac{AB}{AD}.$$

Из общих свойств гиперболы мы знаем:

$$p = \frac{2b^2}{a}.$$

Подставим это значение в общее уравнение гиперболы:

$$y^2 = px + \frac{p}{2a}x^2,$$

тогда получаем:

$$y^2 = \frac{2b^2}{a}x + \frac{b^2}{a^2}x^2.$$

Если сравнить теперь коэффициенты при x и x^2 с теми, что стоят в уравнении (IX), то получим горизонтальный катет:

$$a = \frac{2g}{v^2 - 4g} = AB,$$

и вертикальный катет равен:

$$b = \frac{v}{\sqrt{v^2 - 4g}} = AD.$$

Отсюда находим значение тангенса $\text{tang } \omega$:

$$\text{tang } \omega = \frac{2g}{v\sqrt{v^2 - 4g}}.$$

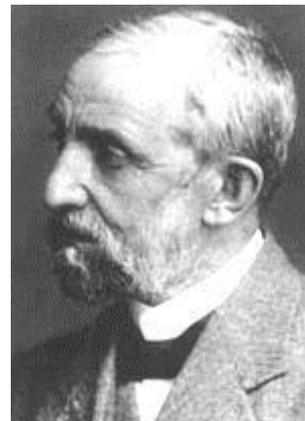
В этом выводе Зольднер принимал радиус Солнца за единицу ($R = 1$). Для того чтобы рассчитать угол $\omega = \text{tang } \omega$, нам нужно брать вместо ускорения g произведение gR , только в этом случае произойдет согласование единиц измерения с квадратом скорости (v^2). Значение радикала из-за малости вычитаемого можно принять за $v = c$, т.е. равным скорости света. Тогда окончательная формула будет выглядеть так:

$$\omega = 2gR / c^2. \quad (*)$$

Ускорение свободного падения на поверхности Солнца равно $g = 274 \text{ м/с}^2$, скорость света – $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, радиус Солнца – $R = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$. Подстановка этих величин в выражение (*) дает угол $\omega = 4,238 \cdot 10^{-6} \text{ радиан}$. В одной угловой секунде содержится $4,848 \cdot 10^{-6} \text{ радиан}$, следовательно, искомое отклонение равно $\omega = 0",875$. Зольднер определил по известным на то время параметрам, что отклонение светового луча от асимптоты BR (Fig.3) равно $\omega = 0",84$ (он называл его *углом пертурбации*).

– III –

После обнаружения Ленардом факта плагиата Эйнштейном найденного Зольднером величины угла пертурбации (ω) данный исторический казус тщательно изучался некоторыми исследователями на Западе, в частности, Jaki [6]⁵⁰, Treder [7]⁵¹, Will [8]⁵², и в нашей стране Захаровым [9]⁵³. Выяснилось, что впервые значение ω было вычислено еще в 1784 году английским физиком Генри Кавендишем. Найденный им результат не опубликован, но его можно найти в адресованном Джону Митчеллу письме. В работе Эйнштейна 1911 года формула (5) содержит интеграл, который не фигурирует в работе Зольднера 1801 года. По-видимому, Милева Марич – больше некому – слегка модернизировала его вывод, который затем был восстановлен исследователями [6] – [8]; ниже приводится этот «эйнштейновский» вывод, взятый из работы [9, с. 78].



Филипп Ленард

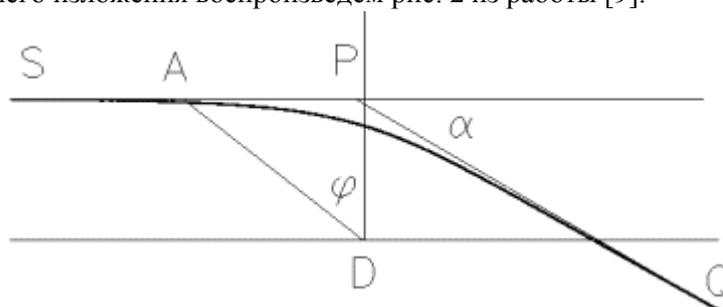
Зольднер, как мы знаем, исходил из величины $2gr^{-2}$. Поскольку ускорение равно $g = GMr^{-2}$, то его результат для ω в форме уравнения (*) можно представить в следующем виде:

$$\Theta = \frac{2GM}{c^2 R}. \quad (1)$$

Здесь $\Theta = \alpha = \sin \alpha = \text{tg} \alpha = \text{tang} \omega = \omega$ – максимальный угол отклонения или угол пертурбации луча света, проходящего на расстоянии солнечного радиуса R ; M – масса Солнца; G – гравитационная постоянная; c – скорость света. Релятивистский результат отличается ровно в два раза:

$$\Theta = \frac{4GM}{c^2 R}. \quad (2)$$

Для дальнейшего изложения воспроизведем рис. 2 из работы [9].



Найдем изменение проекции скорости на вертикальную ось, как это делал Зольднер:

⁵⁰ Jaki, S.L. (1978). «Johann Georg von Soldner and the Gravitational Bending of Light, with an English Translation of His Essay on It Published in 1801». Foundations of Physics 8: 927–950. doi:10.1007/BF00715064.

⁵¹ Treder, H. J.; Jackisch, G. (1981). «On Soldners Value of Newtonian Deflection of Light». Astronomische Nachrichten 302: 275–277. doi:10.1002/asna.2103020603.

⁵² Will, C.M. (1988). «Henry Cavendish, Johann von Soldner, and the deflection of light». Am. J.Phys. 56: 413–415. doi:10.1119/1.15622.

⁵³ Захаров А.Ф. Гравитационные линзы / Соровский образовательный журнал, том 7, № 8, 2001; *его же* книга «Гравитационные линзы и микролинзы» М.: Янус, 1997.

$$\frac{\Delta g_y}{\Delta t} = -\frac{GM}{r^2} \cos \varphi = \frac{GM}{r^3} p, \quad (3)$$

где $r = \sqrt{p^2 + x^2}$.

Интервал времени связан со значением интервала по горизонтальной оси следующим образом:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{g_x} = \frac{\Delta x}{c}, \quad (4)$$

предполагая, что $v_x \approx c$. Если ввести замену переменной: $x = p \operatorname{tg} \varphi$, то

$$\Delta x = p \frac{\Delta \varphi}{\cos^2 \varphi}, \quad (5)$$

Поскольку

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}, \quad \text{то} \quad \Delta t = \frac{p}{c} \frac{1}{\cos^2 \varphi} \Delta \varphi.$$

Тогда

$$\frac{\Delta v_y}{\Delta \varphi} = -\frac{GM}{pc(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)^{3/2}} \frac{1}{\cos^2 \varphi} = -\frac{GM}{pc} \cos \varphi, \quad (6)$$

Полное изменение скорости в вертикальном направлении можно вычислить посредством определенного интеграла:

$$\Delta v_y = -\frac{GM}{pc} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \varphi d\varphi, \quad (7)$$

Значение интеграла равно 2:

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \varphi d\varphi = 2, \quad (8)$$

Следовательно, имеем:

$$\Delta v_y = -\frac{2GM}{pc}, \quad (9)$$

Отсюда находим искомый угол отклонения:

$$\Theta = \sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta v_y}{c} = \frac{2GM}{pc^2}, \quad (10)$$

Здесь по формуле (7) мы можем судить о выводе формулы (5), приведенной в эйнштейновской работе 1911 года. Отсутствие связи ее с формулой (4), указывает нам на то, что обвинения Ленарда не были обосновательными. Однако недобросовестные историки релятивизма в этом месте переключаются на тему, не связанную с наукой. Они напоминают о националистических пристрастиях и политических предпочтениях Ленарда. Разумеется, это не может оправдать научную недобросовестность Эйнштейна.

Захаров пытался следовать Зольднеру, но не воспроизвел его вывод точно. На это указывает, в частности, то, что формула (3) копирует приближенное выражение (*), а не точную формулу для $\operatorname{tang} \omega$. Очевидно, Захаров хотел восстановить логику рассуждений эйнштейновской статьи 1911 года, но не самого Зольднера, логика которого не была безупречной. На это указывает некоторая натяжка в отношении силовой характеристики в виде малопонятной величины $2gr^{-2}$, с которой начался его вывод. Отсюда и захаровский метод лишен той лаконичности и прозрачности, которую можно найти, например, в брошюре А.М. Петрова «Антиэйнштейн».

Петров привел элементарный вывод, который, по-видимому, еще не был известен астрономам начала XIX века, когда писал статью Зольднер, но, наверняка, был хорошо известен астрономам начала XX века, когда писал статью Эйнштейн (хотя Захаров предположил, что об этом угле отклонения знал уже Ньютон). Именно потому, что Эйнштейн, не знавший основ небесной механики, воспроизвел допотопную логику Зольднера, прикрываясь фразой о якобы громоздкости вывода (на самом деле вывод несложный), мы можем с уверенностью констатировать: *плагиат имел место быть*.

Итак, процитируем из брошюры Петрова следующий фрагмент:

«... В теперешнем, «усечённом», виде школьная программа содержит минимум знаний, позволяющий «не плавать» в задачах по элементарной геометрии и небесной механике. Приведём решение задачи об отклонении луча света гравитационной силой, ориентируясь на уровень знаний нынешней обычной (без «математического уклона») средней школы.

Малый объект, пролетающий мимо массивного небесного тела, движется, в зависимости от величины его относительной линейной скорости, по параболе или гиперболе. Для световых скоростей, естественно, имеет место второй вариант.

Заглянем в справочник [Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике, – М.: Физматлит, 1995, с. 115, рис. 109] и найдём формулу для расстояния между фокусом (центром притяжения) и произвольной точкой конического сечения (эллипса, параболы, гиперболы) в зависимости от величины угла, под которым видна эта точка из фокуса (величина угла отсчитывается от, действительной для гиперболы, оси геометрической фигуры):

$$\rho = p / (1 + \varepsilon \cos \varphi),$$

где p – параметр, ε – эксцентриситет конического сечения.

В интересующем нас случае эксцентриситет $\varepsilon \gg 1$, поэтому расстояние от фокуса до вершины гиперболы выражается формулой:

$$p / \varepsilon = R,$$

где $R = 6,96 \cdot 10^8$ м – радиус Солнца.

Поскольку радиус кривизны в вершине гиперболы (как и других фигур конического сечения) равен параметру p , то в этой точке имеет место следующий баланс сил, приведённых к единице массы:

$$c^2 / p = g,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света, $g = 274$ м/с² – ускорение свободного падения на поверхности Солнца.

Отсюда находим величину параметра p

$$p = c^2 / g = 3,285 \cdot 10^{14} \text{ м.}$$

Теперь определяем величину эксцентриситета гиперболы:

$$\varepsilon = p / R = 4,72 \cdot 10^5,$$

что позволяет найти величину бокового смещения луча света:

$$\delta = R - \rho \cos \varphi = \rho / \varepsilon.$$

При $\rho \gg R$ боковое смещение луча света равносильно повороту луча в пространстве на постоянный угол, численно равный:

$$\alpha = \delta / p = 1 / \varepsilon = 2,119 \cdot 10^{-6} \text{ радиан.}$$

В угловых секундах эта величина составит $0",437$. С учётом второй полуветви гиперболы (от звезды до Солнца) полученный результат следует удвоить: $0",874$ » [18,⁵⁴ с. 12–13].

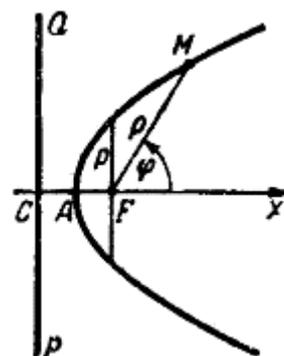
– IV –

Итак, в 1911 году Эйнштейн указал отклонение луча света $\alpha = 0",83$, рассчитанное по методике Зольднера (сегодняшние постоянные дают величину $0",874$). Это отклонение релятивисты называют *ньютоновским*, так как пространство вблизи Солнца и других массивных тел предполагается евклидовым, плоским или неискривленным. Расчетное отклонение света «по Эйнштейну» оказалось в два раза большим, т.е. $1",74$ (некоторые детали вывода этой величины приводятся на с. 442 и с. 503 первого тома СНТ [1]⁵⁵). Но уже в 1914 году,

«до того как был получен правильный ответ, Эйнштейн написал Бессо со свойственной ему уверенностью: «Я более не сомневаюсь в справедливости своей теории, независимо от того, увенчается ли

⁵⁴ Петров А.М. *Антиэйнштейн*. – М.: Компания спутник, 2008.

⁵⁵ 1. Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах*. / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.



успехом наблюдения солнечного затмения». Зигзаги истории несколько раз позволяли ему избежать неприятной ситуации, когда полученный им неверный результат вступил бы в противоречие с опытными данными» [10,⁵⁶ с. 290].

Дальше началась эпопея с опытным подтверждением отклонения $\alpha = 1,74''$. Прошло без малого столетие, как Эддингтон привез из экспедиции 1919 года первые астрономические данные, якобы подтверждающие ОТО, но споры между релятивистами и антирелятивистами вокруг величины $1,74''$ и как ее можно объяснять так и не угли. Действительно, представленный Эддингтоном отчет, выдержки из которого приводятся ниже, имеет слишком много изъянов. В частности, фигурирующая в нём диаграмма 2 является ничем иным как откровенной подгонкой под нужный для релятивистов результат. В своих антирелятивистских работах А.К. Тимирязев приводит совершенно иные диаграммы, дающие намного более объективную картину, которую получили, в частности, астрономы по результатам затмения 1921 года над Австралией. Эти эмпирические данные релятивисты, разумеется, не приводят, так как они ставят жирный крест на одном из трех подтверждений ОТО.

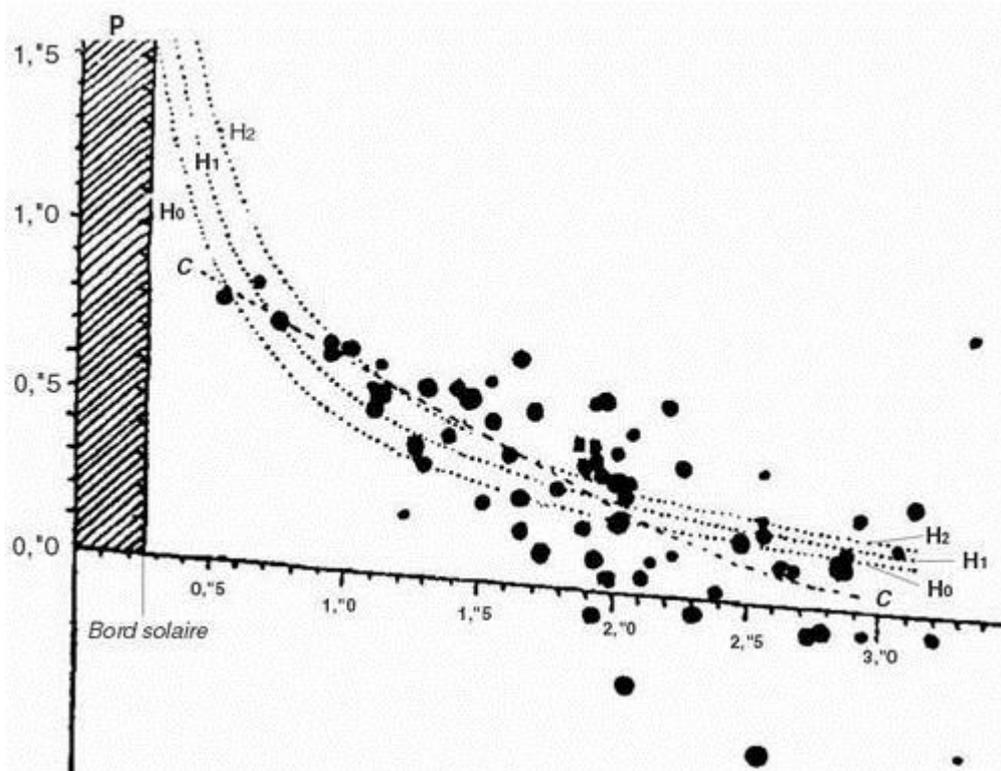


Рис. 1. Отклонение лучей от звезд вблизи солнечного диска по наблюдениям затмения 1921 года над Западной Австралией (Wallal). Чертеж взят из статьи А.К. Тимирязева «Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм» (Под Знаменем Марксизма» 1924 г., № 8–9, с. 142 – 157; № 10–11, с. 93 – 14, рис. 1).

Чтобы тщательно разобраться в данном вопросе, призываем читателя внимательно изучить две статьи А.К. Тимирязев под заголовками: [Теория относительности Эйнштейна и махизм](#) и [Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм](#) [11]⁵⁷. Приведем из последней статьи рис. 1 и дадим к нему разъяснения Тимирязева. Он пишет:

«По горизонтальной прямой [она несколько наклонена на чертеже, благодаря внесению поправок] отложены выраженные в градусах расстояния звезд от центра солнца, заштрихованная

⁵⁶ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

⁵⁷ Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм* / «Под Знаменем Марксизма» 1924 г., № 8–9, с. 142–157; № 10–11, с. 93–114 (<http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjzhev-7.htm>); его же *Теория относительности Эйнштейна и махизм* / Стенограмма доклада на заседании Комм. Акад. – 7/II 1924 г. // Опубликовано в сборнике статей «Естествознание и диалектический материализм». – М.: Материалист, 1925, с. 228–258 (<http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjzhev-8.htm>); его же книга «Введение в теоретическую физику». – М.–Л.: ГТТИ, 1933.

полоса изображает область P , занятую солнцем. От центра до края, на вертикальной оси отложены смещения положения звезд, выраженные в секундах дуги, пунктирная кривая H_0 соответствует теории Эйнштейна [$1, "7/r$]. Черные точки представляют результаты измерений с той или другой звездой, причем, чем больше размер кружка, тем больший вес имеет данное наблюдение. Кривые H_1 и H_2 имеют больший постоянный коэффициент, чем в эйнштейновской формуле [$2, "05/r$ и $2, "10/r$, соответственно]. Если вычислить по формуле, предполагающей простой закон Ньютона (вычисление Сольднера 1811 г.; тот же результат получится по теории Дж. Дж. Томсона, приписывающей гравитационную массу эфиру, увлекаемому силовыми линиями в световой волне), то кривая пройдет немного ниже, но также через области, густо покрытые точками».

Далее Тимирязев приводит слова Э. Эскланьона, директора Страсбургской обсерватории, сказанные по поводу рис. 1:

«Другими словами, для геометрического изображения данного ограниченного количества точек наблюдений не существует одной кривой, но целый *лучок* кривых, которые могут удовлетворить этому условию, и в этом смысле все они в одинаковой мере законны и приемлемы. Изображение должно выражаться не с помощью линии, а с помощью настоящей «дороги», проведенной через группу точек; дорога эта тем шире, чем больше средние отклонение точек. Что же касается совокупности отклонений вблизи солнца, то здесь точно так же дорога остается еще настолько широкой, что в тех пределах расстояния от солнца, где измерения фактически были сделаны, изображение с помощью формулы Ньютона $0, "9/r$ почти настолько же законно, что и с помощью Эйнштейновой формулы $1, "7/r$ и что лучшая из формул такого рода будет скорее $2, "0/r$.

Итак, здесь-то и заключается весь вопрос: фактически, на этой «дороге» остается много места для одновременного проезда весьма разнообразных экипажей, для теорий – по природе своей весьма различных; таким образом, в настоящее время нельзя сказать, для какого экипажа подходит больше всего приведенная дорога» [L'Astronomie. Bulletin de la Societe astronomique de France. 38 Annee, Mai 1924, p. 184].

Рекомендуем нашим читателям разыскать в Интернете книгу А.К. Тимирязева «Введение в теоретическую физику» и тоже почитать ее. Она, конечно, сильно устарела, но всё же дает некоторый ориентир, каким образом нужно подходить к проблемам, возникшим в теории относительности и квантовой механике. Пусть не пугают вас устаревшие слова из марксистского лексикона, постарайтесь как следует усвоить аргументацию автора. Относительно затронутой здесь темы А.К. Тимирязев, в частности, писал:

В 1919 и затем в 1922 гг. были произведены снимки во время солнечного затмения, на которых были сделаны измерения положения звезд; во всех газетах и журналах появились статьи, в которых наперебой объявляли об удивительном оправдании пророчества эйнштейновой теории. Однако и в этом случае критический анализ фактов указывает, что о доказательстве теории Эйнштейна здесь не может быть и речи... Проф. В.Г. Фесенков приходит к выводу: «Отсюда видно, что наблюдаемое смещение звезд около Солнца во время затмения представляет собой чрезвычайно сложное явление и ни в коем случае не может рассматриваться как подтверждение теории относительности». Любопытно отметить, что во время затмений, происходивших после 1923 г., никто не производил этой проверки теории Эйнштейна, хотя было бы в высшей мере важно решить вопрос, подтверждаются ли предсказанные результаты или нет...

Однако всё это тщательно замалчивается; в особенности тенденциозно составлена книжка проф. С.И. Вавилова «Экспериментальные основания теории относительности». Все предсказания у проф. Вавилова признаны оправдавшимися, а возражения – несущественными, и, что всего хуже, в качестве литературы указаны как раз те обзоры и критические статьи, в которых авторы приходят к прямо противоположным результатам. Так, например, к гл. VI, в которой доказывается «тяготение света», указана литература, которая опровергает выводы Эйнштейна, как, например, Эскланьон, В.Г. Фесенков (цитированная нами статья) и Крооз, и ни одним словом не упоминается о том, что эти авторы приходят к диаметрально противоположным результатам, чем это говорится в тексте. То же самое имеет место и в других главах; поэтому, если читатель сам не ознакомится с приведенной в конце книги литературой, он получит совершенно превратное представление об экспериментальных исследованиях, связанных с теорией Эйнштейна.



А.К. Тимирязев



С.И. Вавилов

Вообще вокруг теории относительности создалась совершенно особая атмосфера. Защищается она с необыкновенной страстностью, а противники ее подвергаются всяким нападкам, из чего ясно, что здесь речь идет вовсе не о деталях какой-либо теории, в этой области отражается классовая борьба, участники которой не отдают себе даже отчета в том, что они в ней участвуют. Вне всякого сомнения, за теорию ухватились все враги материализма, а против нее выступают, как правило, материалисты более или менее последовательные. Эта борьба облегчается тем, что теория Эйнштейна не связана ни с какими техническими вопросами, и поэтому всякие идеалистические извращения науки в этой области не отражаются на развитии техники» [Введение..., с. 388].

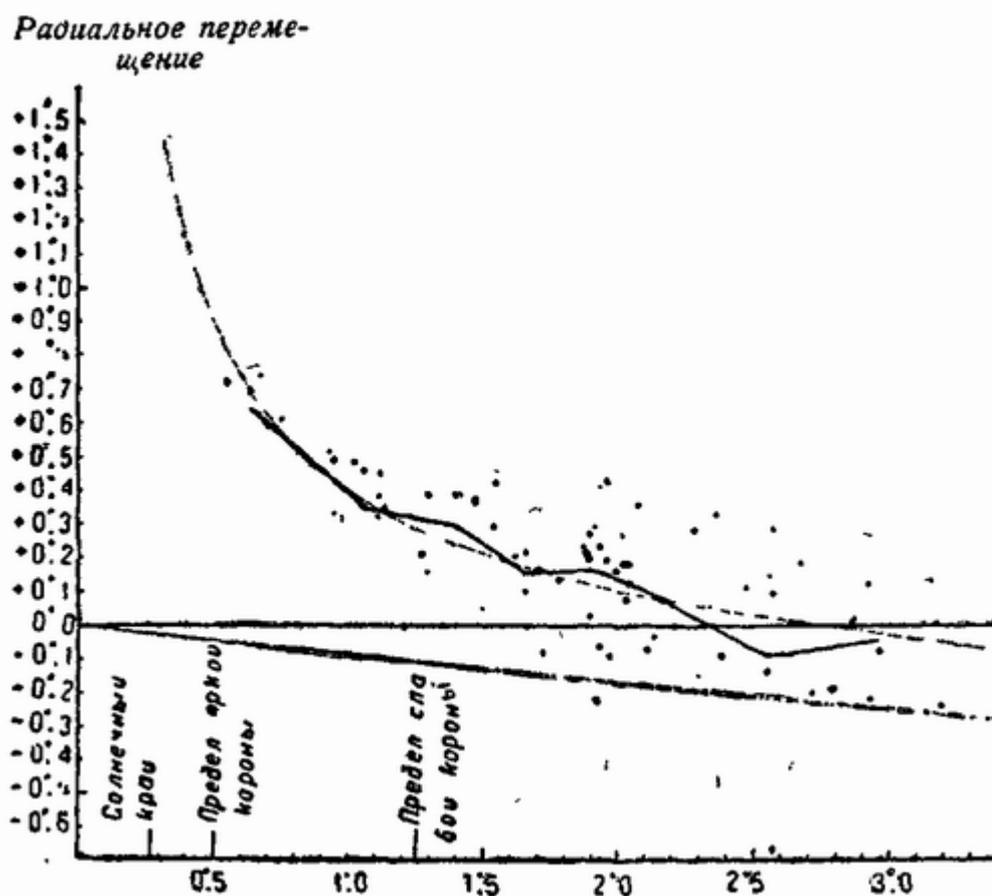


Рис. 2. Отклонение лучей от звезд вблизи солнечного диска. Чертеж взят из учебника А.К. Тимирязева «Введение в теоретическую физику» (М.,Л.: Гос. Тех.-Теор. Изд-во, 1933, с. 388, рис. 172).

Тогда, в 1920-х годах, из-за борьбы двух противоборствующих сторон нелегко было установить истину; еще сложнее это сделать сегодня. Релятивисты ни за какие деньги не опубликуют рис. 1 или рис. 2, они будут морочить голову рис. 3, где отклонения лучей от 15 звезд даны по результатам того же самого затмения 1921 года, но картинка приведена из отчета, выполненного авторами W.W. Campbell и R.J. Trumpler. В статье Ивченкова [12]⁵⁸, откуда взят этот рисунок, сказано: «figure from Misner et al, Gravitation, Freeman and Co., 1973, 1104». Таким образом, рис. 3 вычерчен, видимо, не совсем беспристрастно. Если дело касается проверки ОТО, то здесь многое зависит от установки автора — является ли он релятивистом или нет.

Следует особо подчеркнуть, что вопрос об отклонении лучей света стоял в тот период на повестке дня многих астрономических обсерваторий отнюдь не в связи с теоретическими разработками Эйнштейна. Как и аномальный сдвиг перигелия Меркурия, данная проблема возникла самостоятельно, но попала в сильнейший резонанс в связи с релятивистскими претензиями объяснять с помощью одной формалистской теории все явления природы. Подобно тому, как под громкий, но непонятый эксперимент Майкельсона–Морли Эйнштейн подгадал с СТО, точно так же под непонятый эффект аномального движения Меркурия и всеми ожидаемый

⁵⁸ Ивченков, Геннадий. *Самое важное подтверждение ОТО, или Что измерил лорд Эддингтон* (<http://bourabai.kz/articles/ivchenkov.htm>).

эффект отклонения лучей вблизи Солнца он подгадал с ОТО. Релятивисты же представляют этот эпистемологический процесс в обратном порядке: от теории к эмпирии. У непосвященного создается впечатление, будто гений Эйнштейна привел в движение все обсерватории мира с целью проверки его теории.

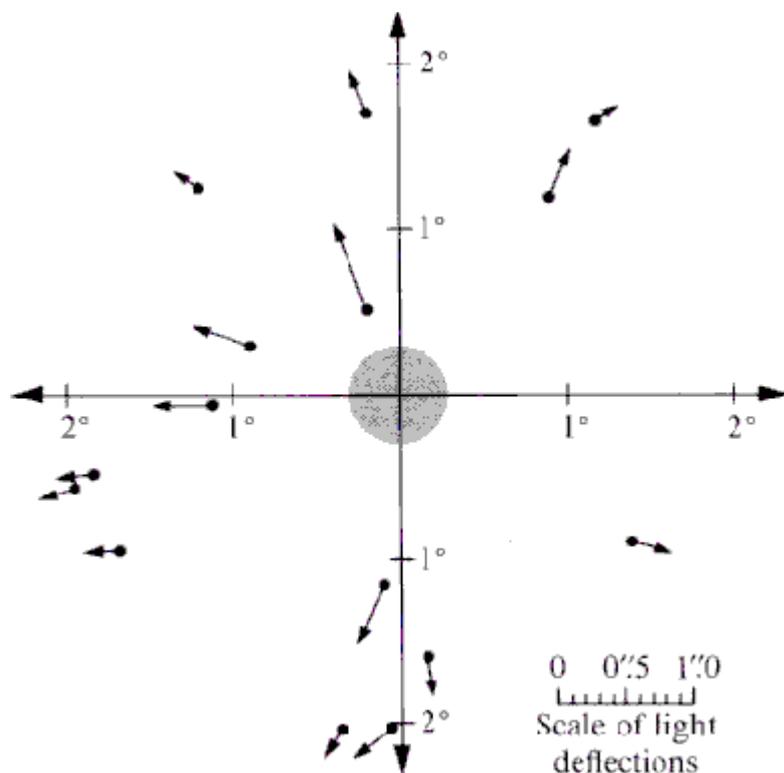


Рис. 3. Отклонение лучей по отчету, предоставленному W.W. Campbell и R.J. Trumpler. Взято из [12].

По сообщению Пайса [10,⁵⁹ с. 290] уже в 1912 году, когда ОТО находилась в самом зачаточном состоянии, а об Эйнштейне мало кто слышал, была откомандирована в Бразилию экспедиция аргентинских астрономов для наблюдения отклонения лучей света вблизи солнечного диска, покрытого Луной. Увы, из-за сильнейших ливней эти наблюдения были сорваны. Затем немецкая экспедиция под руководством Эрвина Фрейндлиха, с которым впоследствии познакомился Эйнштейн, была послана в Крым с той же целью: для наблюдения затмения 21 августа 1914 года. К сожалению, началась Первая мировая война, так что немцам пришлось в спешке покинуть «вражескую» территорию. По причине военных действий было пропущено и затмение 1916 года в Венесуэле. Попытка американцев (руководитель Хейл) зафиксировать в 1918 году отклонение лучей от звезд вблизи затемненного Луной диска Солнца тоже не дали убедительных результатов. Все эти неудачи широко освещались в прессе, поскольку в ту эпоху интерес к науке был необычайно высок.

Почему астрономы заинтересовались отклонением лучей вблизи Солнца? Дело в том, что задолго до создания ОТО всем астрономам было хорошо известно явление атмосферной *рефракции*, т.е. *преломления* лучей света в атмосфере Земли, которое вызывало заметное смещение звезд на небосводе особенно вблизи горизонта. Звезду, реально зашедшую за горизонт на угол, равный $35'24''$, мы видим в точности на линии горизонта. При зенитном расстоянии в 45° это отклонение составит $58''$, т.е. около одной угловой минуты в сторону зенита. И хотя явление рефракции было известно еще Птолемею, именно в начале XIX века стали составляться точные таблицы так называемой «средней рефракции», т.е. не учитывающей температурные поправки, охватывающие околоризитные области.

Заметим, что все без исключения вещества, в том числе и непрозрачные, преломляют электромагнитные волны. Но лучше всего этот эффект наблюдать на примере «преломленной»

⁵⁹ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

палки, опущенной в воду. Если Солнце обладает атмосферой, то она, непременно, должна вызвать преломление лучей от звезд. С помощью этого вполне *материального* явления астрономы надеялись что-то узнать о плотности солнечной атмосферы и ее электромагнитных свойствах. Однако ажиотаж, поднятый вокруг теории относительности, смешал все их карты. На первый план вышли бесконечные споры физиков о величине гравитационного или чисто геометрического искривления электромагнитных волн. Проблема плотности солнечной атмосферы была задвинута на второй план.

О причинах отклонения лучей от звезд вблизи солнечного диска мы поговорим в следующем разделе («Объяснение аномального движения перигелия Меркурия»⁶⁰), а пока расскажем, что и как измерил Эддингтон. Напомним, в феврале 1917 года королевский астроном Фрэнк Дайсон (1868–1942) указал на особо удачное расположение звезд в зоне затмения Солнца, которое должно произойти 29 мая 1919 года, по сравнению с предыдущими затмениями. Накануне затмения были организованы две экспедиции – в Собраль (Бразилия) и на крошечный португальский остров Принсипи у западного побережья Африки недалеко от Гвинеи. Первую экспедицию возглавил Эндрю Кроммелин из Гринвичской обсерватории, вторую – Артур Эддингтон, в то время директор обсерватории при Кембриджском университете.

– V –

Определение отклонения луча света в гравитационном поле Солнца по данным наблюдений, проведенных во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. *Dyson F. W., Eddington A. S., Davidson C*, Phil. Trans. Roy. Soc, ser. A, 220, 291 (1920); русский перевод взят из сборника статей «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» (М.: Мир, 1979, с. 564–570).

«I. Цель экспедиций.

1. Целью экспедиций являлось определить, какое воздействие оказывает (если оно оказывает) гравитационное поле на траекторию проходящего через него луча света. Если не считать возможных неожиданностей, у нас было, по-видимому, три альтернативы, между которыми особенно желательно было провести выбор:

- 1) гравитационное поле не оказывает влияния на траекторию луча света;
- 2) гравитационное поле действует на энергию, или массу, светового луча так же, как и на обычное вещество; если закон тяготения носит строго ньютоновский характер, то это приводит к кажущемуся смещению во внешнем направлении звезды у края солнечного диска, равному 0",87;
- 3) ход луча света согласуется с общей теорией относительности Эйнштейна; это приводит к кажущемуся смещению во внешнем направлении звезды у края диска, равному 1",75.

В обоих последних случаях смещение обратно пропорционально расстоянию от звезды до Солнца, причем в случае 3 оно ровно в 2 раза больше, чем в случае 2.

Отметим, что и в случае 2, и в случае 3 предполагается, что гравитационное поле действует на свет точно так же, как и на обычное вещество. Разница же в том, что в случае 2 предполагается справедливость закона Ньютона, а в случае 3 – нового закона тяготения Эйнштейна. Небольшое отклонение от закона Ньютона, которое по теории Эйнштейна приводит к добавочному смещению перигелия Меркурия, возрастает с ростом скорости, пока не удваивает кривизну траектории при достижении предельной скорости – скорости света.

2. Смещение 2 было впервые вычислено проф. Эйнштейном [Einstein A., Ann. Phys., 35, 898 (1911) (перевод: Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. I, «Наука», М., 1965, стр. 165)] в 1911 г. на основе принципа эквивалентности, который состоит в том, что гравитационное поле неотличимо от фиктивного поля сил, создаваемого ускорением системы отсчета. Но даже независимо от того, верен ли общий принцип эквивалентности, были основания полагать, что гравитационное поле должно оказывать воздействие на электромагнитную энергию луча света, особенно после того, как было доказано, что содержащаяся в уране энергия радиоактивности подвержена гравитационному воздействию. Однако в 1915 г. Эйнштейн обнаружил, что общий принцип эквивалентности требует модификации закона тяготения Ньютона и что новый закон приводит к смещению 3.

3. Единственную возможность наблюдать эти предполагаемые отклонения дает луч света от звезды, проходящей около Солнца. (Максимальное отклонение в поле Юпитера составляет всего лишь 0",17.) Очевидно, что наблюдение необходимо проводить во время полного солнечного затмения.

Сразу же после того, как Эйнштейн впервые опубликовал указанное значение, этим занялся д-р Фрейндлих, который попытался извлечь нужную информацию из уже имеющихся снимков солнечных затмений; но ему не удалось собрать достаточно полных данных. Различные

⁶⁰ Ниже 13-я глава.

исследователи планировали проверку этого эффекта при последующих затмениях, но все такие планы остались невыполненными из-за наличия облачности или по другим причинам [Первая экспедиция по проверке отклонения света во время солнечного затмения была направлена уже в 1914 г. на территорию России. Но в связи с началом военных действий первой мировой войны немецкая экспедиция была интернирована.– *Прим. ред.*]. После того как появилось второе значение, вычисленное Эйнштейном, экспедиция Ликской обсерватории пыталась наблюдать этот эффект во время затмения 1918 г. Окончательные результаты пока еще не опубликованы. О некоторых результатах их предварительного анализа сообщалось в печати [Observatory, 42, 298 (1919)], но в целом затмение было неблагоприятным и из опубликованных данных вытекает, что вероятная случайная ошибка слишком велика и потому точность измерений недостаточна для выбора между тремя альтернативами.

4. Результаты наблюдений, о которых идет речь в нашей статье, по-видимому, вполне определенно указывают на третью альтернативу и подтверждают общую теорию относительности Эйнштейна. Как хорошо известно, эта теория подтверждается также смещением перигелия Меркурия, которое превышает ньютоновское значение на $43''$ в столетие, что практически совпадает с тем значением, которое дает теория Эйнштейна. В то же время его теория предсказывает смещение в красную область фраунгоферовых линий на Солнце, достигающее приблизительно $0,008 \text{ \AA}$ в фиолетовой области. По сообщению д-ра Сент-Джона [St. John, Astrophysical Journ., 46, 249 (1917)] наличие этого смещения не подтвердилось. Если факт этого несоответствия будет принят как окончательный, то это потребует значительных модификаций теории Эйнштейна, которые выйдут за рамки нашей темы. Но независимо от того, нужны ли изменения в других частях теории, сейчас, по-видимому, можно считать установленным, что закон тяготения Эйнштейна правильно дает отклонения от закона Ньютона как для сравнительно медленно движущейся планеты Меркурий, так и для быстро движущихся световых волн.

По-видимому, не вызывает сомнения, что найденный здесь эффект обусловлен гравитационным полем Солнца, а не, например, рефракцией в веществе солнечной короны. Чтобы получить наблюдаемый эффект за счет рефракции, необходимо, чтобы Солнце было окружено веществом с показателем преломления, равным $1 + 0,00000414/r$, где r – расстояние от центра в единицах солнечного радиуса. На высоте одного радиуса от поверхности требуемый показатель преломления $1,00000212$ соответствует показателю преломления воздуха, находящегося под давлением $V14_0$, водорода – под давлением $1/60$ или гелия – под давлением $1/20$ атмосферного. Ясно, что о плотности такого порядка не может быть и речи.

II. Подготовка к экспедициям.

5. В марте 1917 г. было опубликовано сообщение [Monthly Notices Roy. Astr. Soc, 72, 445 (1917)] о том, что, как показало изучение фотографий, полученных при помощи гринвичского астрографического телескопа во время затмения 1905 г., этот инструмент пригоден для фотографирования звездной карты в окрестности Солнца в период полного затмения. При этом указывалось также, что очень важно провести наблюдения за затмением 29 мая 1919 г., поскольку оно представляет собой особенно благоприятный случай, когда в поле наблюдения оказывается необычное число ярких звезд, который не повторится в течение многих лет.

III. Экспедиция в Собрал. <...>

IV. Экспедиция на Принсипи. <...>

V. Общие выводы.

39. При окончательном анализе всех результатов двух экспедиций наиболее значимыми следует считать те из них, которые получены при помощи четырехдюймового объектива в Собрале. Учитывая более высокое качество изображений и более крупный масштаб фотографий, мы пришли к выводу, что эти снимки должны быть гораздо более надежными. Кроме того, согласие в результатах, независимо полученных из данных о прямых восхождениях и склонениях, а также в ошибках измерения положения на фотопластинках звезд [Phil. Trans. Roy. Soc, ser. A, 220, 308 (1920)] обеспечивают более удовлетворительную проверку результатов измерений, чем было возможно для других инструментов. Полученные фотопластинки дают на основании склонений $1'',94$, на основании прямых восхождений $2'',06$.

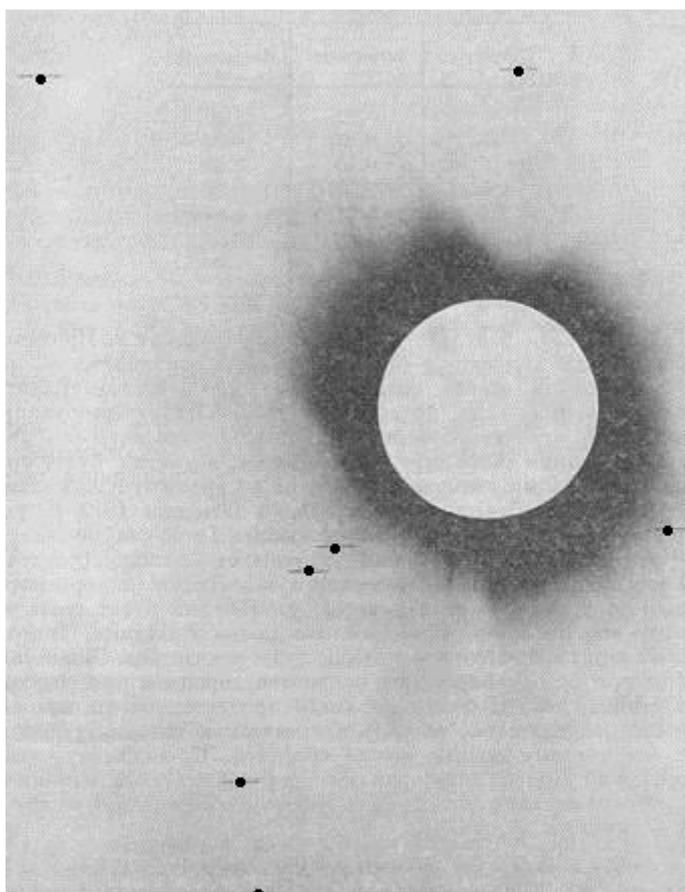
Результат, основанный на данных о склонениях, должен быть взят с приблизительно вдвое большим весом, чем результат, основанный на данных о прямых восхождениях, поэтому их среднее равно $1'',98$ с вероятной ошибкой около $+0'',12$.

Наблюдениям на Принсипи сильно мешала облачность. Правда, неблагоприятные обстоятельства частично компенсировались преимуществом крайне постоянной температуры на этом острове. Полученное там отклонение равно $1'',61$. Вероятная ошибка равна приблизительно $\pm 0'',30$, так что вес этого результата значительно меньше, чем предыдущего.

Оба эти результата указывают на полное отклонение $1'',75$, соответствующее общей теории относительности Эйнштейна, причем результаты, полученные в Собрале, указывают на это вполне определенно, а результаты, полученные на Принсипи, – возможно, с некоторой неопределенностью. Правда, остаются еще фотопластинки из Собрала, которые дали отклонение $0'',93$, отличающееся от

указанного значения на величину, намного превышающую случайную ошибку. По причинам, которые подробно разбирались выше, этому результату был приписан малый вес. Было принято, что смещение обратно пропорционально расстоянию от центра Солнца, поскольку все теории согласуются в этом; и действительно из анализа размерностей прямо явствует, что, если смещение обусловлено гравитацией, оно должно изменяться по такому закону.

Данные, полученные с четырехдюймовым объективом, позволяют в какой-то мере проверить этот закон, хотя такая проверка может быть лишь весьма грубой. Соответствующие данные представлены ниже в таблице и (на диаграмме 2) в виде графика зависимости радиальных смещений отдельных звезд (усредненных по всем фотопластинкам) от обратного расстояния до центра. На графике жирной линией отмечены смещения, соответствующие теории Эйнштейна, пунктиром – соответствующие закону Ньютона, а тонкой линией – соответствующие данным наших наблюдений.



Негатив, полученный с помощью четырехдюймового телескопа, установленного в Собрало (черными точками отмечено положение звезд при полном солнечном затмении 1919 года).

Радиальные смещения отдельных звезд

<i>Звезды</i>	<i>Вычисления</i>	<i>Наблюдения</i>
11	0",32	0",20
10	0",33	0",32
6	0",40	0",56
5	0",53	0",54
4	0",75	0",84
2	0",85	0",97
3	0",88	1",02

*

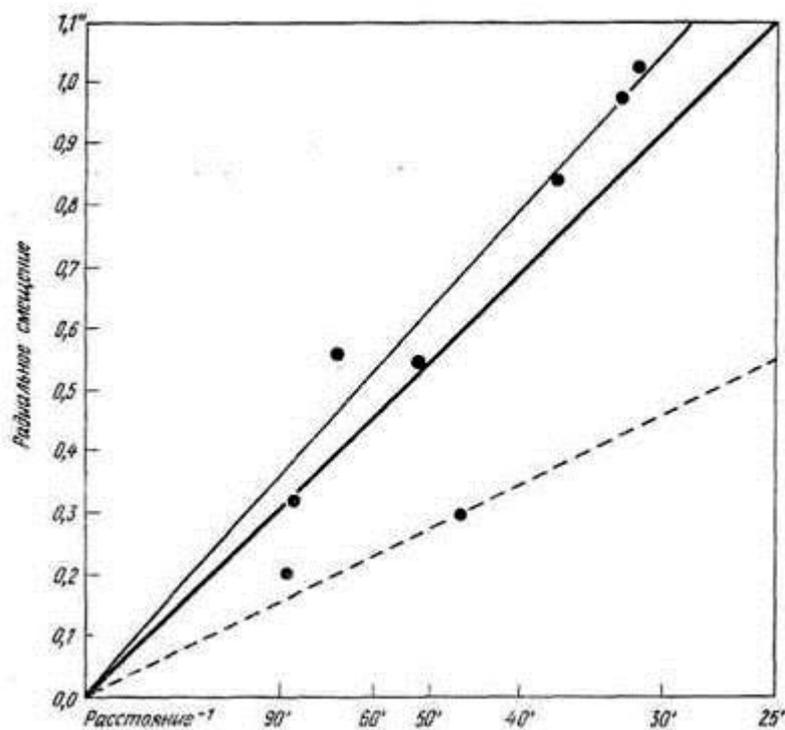


Диаграмма 2

Таким образом, результаты экспедиций в Собрал и на Принсипи оставляют мало сомнения в том, что луч света отклоняется вблизи Солнца и что отклонение, если приписать его действию гравитационного поля Солнца, по величине соответствует требованиям общей теории относительности Эйнштейна. Однако интерес к данным наблюдениям таков, что в дальнейшем, вероятно, будет признано желательным еще раз провести их во время будущих затмений. Необычайно благоприятные условия затмения 1919 г. уже не повторятся, и придется фотографировать более слабые звезды, которые, вероятно, будут более удалены от Солнца. Для этого пригоден астрографический телескоп с объективом, диафрагмированным до 8 дюймов, если качество фотографий будет столь же высоким, как и в обычной работе со звездными объектами. От целостатных зеркал, по-видимому, лучше будет отказаться. Они весьма удобны при фотографировании солнечной короны и при спектроскопических наблюдениях, но когда требуется очень высокая точность, нежелательно вводить в оптическую систему усложнения, без которых вполне можно обойтись. По-видимому, здесь нужен некий вариант экваториальной установки (такой, например, как применявшаяся в экспедициях Ликской обсерватории по изучению солнечного затмения)» [13,⁶¹ с. 564–570].

– VI –

Известие о благоприятном исходе для ОТО Эйнштейн узнал в начале сентября 1919 года. После публикации в лондонской «Таймс» научно-популярной статьи об искривлении луча света в поле тяготения Солнца, имя Эйнштейна стало известно широкой общественности. В конце этого месяца он отправил открытку в Швейцарию, в которой писал: «Дорогая Мама! Сегодня я получил радостное известие. Х.А. Лоренц телеграфировал мне, что английские экспедиции действительно доказали отклонение света вблизи Солнца...» [14,⁶² с. 113].

Что творилось в ученом мире Великобритании в ноябре 1919 года, лучше всего передать словами Абрахама Пайса:

«После 1905 г., совершив два первоклассных чуда, Эйнштейн стал «блаженным». Состоявшееся 6 ноября 1919 г. совместное заседание Королевского общества и Королевского астрономического общества напоминало обряд конгрегации. В качестве постулятора выступал Дайсон, которому помогли адвокаты-прокураторы Кроммелии и Эддингтои. Выступавший первым Дайсон

⁶¹ Альберт Эйнштейн и теория гравитации / Сборник статей. – М.: Мир, 1979.

⁶² Хофман Б., Дюкас Э. Альберт Эйнштейн. Творец и бунтарь. – М.: Прогресс, 1983. (Banesh Hoffmann/Helen Dukas: *Einstein. Schopfer und Rebell. Die Biographie*, Frankfurt/M. 1978, amerikanisches Original New York, Viking Press, 1972).

в заключение сказал: «После тщательного изучения фотопластинок я готов заявить, что расчеты Эйнштейна подтверждены. Получен совершенно определенный результат, в соответствии с которым свет отклоняется согласно закону тяготения Эйнштейна».

С дальнейшими разъяснениями выступил Кроммелин, после чего слово взял Эддингтон, заявивший, что результаты, полученные на Принсипи, подтверждают данные экспедиции в Собраль, и перечислил два несомненно установленных чуда, сотворенных Эйнштейном уже в ранге «блаженного»: объяснение смещения перигелия Меркурия и искривления лучей света па угол ($1,98 \pm 0,30$)" и ($1,61 \pm 0,30$)"; такие результаты были получены соответственно в Собрале и на Принсипи.

«Адвокат дьявола» Людвик Зильберштейн выдвинул критические замечания: «Пока нет достаточных оснований утверждать, что искривление лучей света, наличие которого я признаю, вызывается тяготением». Он также требовал подтвердить наличие красного смещения: «Если красное смещение не удастся обнаружить (как было до сих пор), вся теория рухнет». Указывая на висящий в зале портрет Ньютона, Зильберштейн воззвал к конгрегации: «Память об этом великом человеке заставляет нас с огромным осторожностью относиться к попыткам изменить или полностью пересмотреть его закон тяготения».

Председательствовавший на заседании президент Королевского общества кавалер ордена «За заслуги» Джозеф Джон Томсон, выслушав петицию «instanter, instantius, instantissime», провозгласил буллу канонизации: «Это самый важный результат, полученный в теории тяготения со времен Ньютона, и весьма символично, что о нем объявлено на заседании общества, столь тесно связанного с именем великого ученого... Этот результат – одно из высочайших достижений человеческого разума».

Спустя несколько недель он добавил: «Обнаружение отклонения лучей света веществом, которое предполагал еще Ньютон в своем первом Вопросе [вынесен в эпиграф к § 11.2. – Пер.], само по себе было бы научным результатом первостепенного значения; сейчас это событие приобретает еще большую важность, потому что значение отклонения подтверждает закон тяготения, открытый Эйнштейном»... Так, с 7 ноября 1919 г. начала создаваться легенда об Эйнштейне» [10,⁶³ с. 292–293].



Горожане на улице Нью-Йорка радостно приветствуют Эйнштейна. Основная цель его поездки в США (совместно с Х. Вейсманом) – сбор средств для строительства Иерусалимского университета. Он пробыл в Америке со 2 апреля по 30 мая 1921 года. За это время он прочел несколько популярных лекций по теории относительности в Чикаго, Бостоне и Принстоне, в Вашингтоне удостоился чести встретиться с президентом страны Гардингом. На обратном пути из Америки он останавливается в Англии и посещает могилу Ньютона.

Однако тот же Дж.Дж. Томсон писал: «Я должен признаться, что никому еще не удалось выразить ясным языком, *что* в действительности представляет собой теория относительности Эйнштейна». Это откровение самого именитого физика Британии привел Б.Г. Кузнецов [16,⁶⁴ с. 184], который, в свою очередь, взял его из биографии Эйнштейна, написанной Ф. Франком. Увы, официальная история физики пока пишется релятивистами, и мы не знаем истинного раздраже-

⁶³ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

⁶⁴ Кузнецов Б.Г. *Эйнштейн. Жизнь. Смерть. Бессмертие*. Издание пятой, переработанное и дополненное. / Под редакцией М.Г. Идлиса. – М.: Наука, 1980.

ния Дж.Дж. Томсона теорией относительности. Известно лишь, что ни СТО, ни ОТО он не принял, поскольку всю жизнь разрабатывал *конструктивную* теорию движущегося электрона, основанную на механической модели, в противовес *формалистским* теориям Эйнштейна, Лоренца и Пуанкаре, базирующимся на пространственно-временных спекуляциях.

Вообще, релятивистское учение не пользовалось большой популярностью у англичан, поскольку в их стране была слишком сильна классическая школа, заложенная Фарадеем и Максвеллом. Но после популяризации ОТО английскими астрономами, – Дайсоном, Кромелиным и, особенно, Эддингтоном – положение дел существенно изменилось, правда, не в теоретическом плане. Рассказывают, что некий собеседник Эддингтона утверждал, будто входит в число трех ученых, которые действительно понимают теорию относительности Эйнштейна. Эддингтон задумался, а когда собеседник спросил его, над чем тот размышляет, Эддингтон ответил: «Я спрашиваю себя, кого вы имели в виду третьим».



Эйнштейн и Эльза в Японии. 8 Октября 1922 года он вместе с женой выехал из Марселя на Дальний Восток. Во время этой поездки он посетил Коломбо, Сингапур, Гонконг и Шанхай. В Японии он был с 17 ноября по 29 декабря. 9 ноября ему присуждена Нобелевская премия. 10 декабря в Стокгольме на торжественном вручении премии Эйнштейна представлял посол Германии Рудольф Надольны. На обратном пути из Японии Эйнштейн совершает 12-дневную поездку по Палестине, куда он пребывает 2 февраля 1923 года.

«Своей внезапной славой, – писали авторы «Частной жизни», – Эйнштейн обязан сочинителям эффектных заголовков для английских и американских газет. «Революция в науке», «Новая теория строения вселенной», «Ниспровержение механики Ньютона» – захлебывалась лондонская «Тамс» 7 ноября 1919 года. «Лучи изогнуты, физики в смятении. Теория Эйнштейна торжествует, – объявила «Нью-Йорк таймс» двумя днями позже» [15,⁶⁵ с. 246]. В декабре 1919 году Эддингтон написал Эйнштейну: «... Вся Англия только и говорит о Вашей теории. Она произвела потрясающую сенсацию... Ничего лучшего с точки зрения научных связей между Англией и Германией и пожелать нельзя» [14,⁶⁶ с. 114].

Помощник Эйнштейна, польский математик Леопольд Инфельд, следующим образом обосновывал оглушительный успех у публики теории относительности. Рассказав о «великом предвидении», подтвердившемся в мае 1919 года, он написал:

⁶⁵ Картер П., Хайфилд Р. *Эйнштейн. Частная жизнь*. – М.: «Захаров», 1998 (Paul Carter and Roger Highfield «The Private Lives of Albert Einstein», 1993).

⁶⁶ Хофман Б., Дюкас Э. *Альберт Эйнштейн. Творец и бунтарь*. – М.: Прогресс, 1983. (Banesh Hoffmann/Helen Dukas: *Einstein. Schopfer und Rebell. Die Biographie*, Frankfurt/M. 1978, amerikanisches Original New York, Viking Press, 1972).



В Феврале 1923 года Эйнштейн становится первым почетным гражданином Тель-Авива. Летом этого года он помогает основать общество «Друзей Новой России», которое просуществовало 10 лет. В следующем году он становится членом еврейской общины Берлина и регулярно платит взносы. В Потсдаме начинает работать «Институт Эйнштейна», расположенный в «Башне Эйнштейна», в которой установлен «телескоп Эйнштейна».

«Так началась великая слава Эйнштейна. Она продолжалась в течение всей его жизни и, вероятно, будет лишь возрастать после его смерти. Однако тот факт, что теория относительности предсказала явление, столь же далёкое от нашей повседневной жизни, как эти звёзды, что она предвидела его на основании длинной цепи абстрактных аргументов – всё это не может, пожалуй, служить достаточным поводом для массового энтузиазма. Тем не менее, дело обстояло именно так. И мне кажется, что причины тут следует искать в послевоенной психологии.

Это произошло после окончания первой мировой войны. Людям опротивели ненависть, убийства и международные интриги. Окопы, бомбы, убийства оставили горький привкус. Книг о войне не покупали и не читали. Каждый ждал эры мира и хотел забыть о войне. А это явление способно было захватить человеческую фантазию. С земли, покрытой могилами, взоры устремлялись к небу, усеянному звездами. Абстрактная мысль уводила человека вдаль от горестей повседневной жизни. Мистерия затмения Солнца и сила человеческого разума, романтическая декорация, несколько минут темноты, а затем картина изгибающихся лучей – все гак отличалось от угнетающей действительности.

Существовала и еще одна причина, видимо, важнейшая: новое явление предсказал немецкий ученый, а проверили его английские ученые. Физики и астрономы, принадлежавшие недавно к двум враждебным лагерям, снова работают вместе. Может быть, это и есть начало новой эры, эры мира? Тяга людей к миру была, как мне кажется, главной причиной возрастающей славы Эйнштейна» [17,⁶⁷ с. 154–155].

Эту же мысль высказали авторы «Частной жизни», присовокупив к сказанному Инфельдом еще один немаловажный фактор – обаяние личности отца-основателя волшебной теории:

«Люди устали от войны, им хотелось отвлечься, и теория относительности стала темой номер один, сенсацией для массового читателя. Искривленное пространство и отклонение световых лучей были у всех на устах, эти слова, что бы они ни значили, завораживали публику. Всякому, кто когда-либо смотрел на ночное небо, оно казалось волшебным и полным тайн, и вот внезапно эти тайны оказались раскрытыми...

Разумеется, репортеры ринулись выяснять, какой человек стоит за новой сенсацией. И обнаружили, что им необычайно повезло. Вместо типичного седовласого академика их взору, предстал эксцентричный тип со всклокоченными волосами, дерзким обаянием и чувством юмора, переходящим в сарказм. Эйнштейн оказался эффектной и колоритной фигурой, он был фотогеничен, и вскоре представители прессы при каждом удобном и неудобном случае стали забрасывать его вопросами на самые неожиданные темы. «От меня хотят статей, заявлений, фотографий и пр., – писал он на Рождество 1919 года. – Все это напоминает сказку о новом платье короля и отдает

⁶⁷ Инфельд, Леопольд. *Мои воспоминания об Эйнштейне* / УФН, Т. LIX, вып. 1, 1956; «Tworczość», вып. 9, 1955 г.; перевод с польского И.Е. Дудовской и Г.И. Залуцкого.

безумием, но безобидным». Он вскоре ощутил себя Мидасом, но все, к чему он прикасался, обращалось не в золото, а в газетную шумиху.

Средства массовой информации создали Эйнштейну имидж мудреца и оракула, и теперь его внимания домогался весь мир. В течение следующих десяти лет он побывал в Скандинавии, в Соединенных Штатах Америки, в Японии, на Ближнем, Среднем и Дальнем Востоке, в Южной Америке и в Великобритании, где известный лондонский эстрадный театр «Палладиум» предложил ему сцену, чтобы он три недели вел собственную программу, а дочь Лорда Холдейна, под чьим кровом Эйнштейну предстояло жить, при встрече с ним упала в обморок.

Во время поездки в Женеву его осаждали толпы молодых девиц, одна из них даже попыталась вырвать у него прядь волос. В его честь называли сигары, младенцев, телескопы и башни, непрерывным потоком шли письма. Этому не суждено было иссякнуть никогда. Кто только не писал Эйнштейну: доброжелатели, религиозные психопаты, шарлатаны, просившие денег, общественные организации и движения, искавшие его поддержки, школьники и, наконец, одна маленькая девочка, задавшая вопрос: «А вы действительно есть?»» [15⁶⁸, с. 247–249].

Человечество ненавидит разоблачителей религиозных культов, оно проклинает ученых, которые берутся доказывать не божественное происхождение Иисуса Христа. Но мы-то с вами, дорогой читатель, не религиозные люди и должны понимать, откуда проистекает «Истина» учения «Святого Альберта». Пусть в Израиле продолжают праздновать «День Науки» в день рождения Эйнштейна – 14 марта. Но нам россиянам, исследователям физического мира, не к чему вечно стоять у алтаря релятивистской церкви. Пора бы, наконец, погасить свечи, зажженные в эпоху явления народам Мессии. Пусть простой люд томится в ожидании второго пришествия, служителям науки нужно подумать над иным, не религиозным, объяснением искривления лучей.

Критики результатов наблюдений указывают, что Эддингтон был слишком заинтересован в успехе теории относительности и потому не был объективен в отношении оценки экспедиции. В своем отчете, говорят они, он игнорировал звезды, отклонения которых не вписывались в нужные ему рамки. В Интернете можно найти, например, вот такие слова:

«Эддингтон ограничился устным заявлением о верности ОТО, но не опубликовал ни анализа погрешностей, ни полученных им фотографий, ни методики отбраковки тех из них, которые были расценены как «плохие»».

Из процитированного только что отчета следует, что это, мягко выражаясь, не совсем верно.

В отчете (п. 39) есть определенные указания на то, что

«При окончательном анализе всех результатов двух экспедиций наиболее значимыми следует считать те из них, которые получены при помощи четырехдюймового объектива в Собрале. ... Полученные фотопластинки дают на основании склонений 1",94, на основании прямых восхождений 2",06». И далее: «Наблюдениям на Принсипи сильно мешала облачность. Правда, неблагоприятные обстоятельства частично компенсировались преимуществом крайне постоянной температуры на этом острове. Полученное там отклонение равно 1",61. Вероятная ошибка равна приблизительно $\pm 0",30$, так что вес этого результата значительно меньше, чем предыдущего».

Тем не менее, в Интернете бесконечное число раз цитируются дневниковые записи Эддингтона, находящегося в момент затмения на Принсипи, а именно следующее место:

«...Дождь окончился около полудня и примерно в 1:30 мы увидели Солнце. Мы приготовили наши фотоаппараты, надеясь на случай. Я не видел самого затмения, будучи очень занят меняя фотопластинки, кроме одного взгляда, чтобы удостовериться, что оно началось, и полу-взгляда, чтобы оценить количество облаков. Мы получили 16 снимков, на которых Солнце получилось со всеми деталями, но облака закрывали звёзды. На последних нескольких снимках было несколько изображений звёзд, которые дали нам то, что нам было нужно ...» [взято из Википедии, Эддингтон].



Артур Эддингтон

⁶⁸ Картер П., Хайфилд Р. *Эйнштейн. Частная жизнь*. – М.: «Захаров», 1998 (Paul Carter and Roger Highfield «The Private Lives of Albert Einstein», 1993).

Таким образом, у читателя этих строк создается превратное впечатление, будто из-за облачности проверка ОТО полностью провалилась. Это, конечно, не так. Известна телеграмма руководителя экспедиции в Собраль, которую никогда не цитируют критики: «Затмение превосходно. Кроммелин» [10,⁶⁹ с. 291]. Так что если бы Эддингтон затмения в Принсипи вообще не наблюдал, результаты всё равно бы у него имелись.

Однако, можно ли выводы по результатам наблюдений 1919 года считать абсолютно безупречными с точки зрения экспериментальной науки 2009 года? Ни в коем случае, отвечает Геннадий Ивченков. Он утверждает, что и 90 лет тому назад, Эддингтон со своими товарищами поторопился с позитивной оценкой, подтверждающей ОТО.

Он уверен, что точность измерения порядка $0.1'' \div 0.2''$ трудно достижима даже в начале 21-го века, о начале 20-го и говорить не приходится.

«При проведении измерений с такой точностью, – пишет Ивченков, – неизбежно «выплывает» большое число источников ошибок, систематических и случайных, которыми ранее, при измерениях с точностями порядка $1''$, можно было пренебречь. Необходимо отметить, что современные астрометрические приборы, имеющие точность порядка секунды – всегда прецизионно-калиброванные с термостабилизированной камерой» [12]⁷⁰.

Далее он почему-то навскидку оценивает диаметр объектива:

«Экспедиция была выездная, следовательно, они не могли взять телескоп с диаметром объектива, превышающим, например, 500 мм... По-видимому, диаметр зеркала телескопа не превышал $200 \div 300$ мм. Теоретическое значение кружка рассеяния для 300 мм телескопа равно $0.8''$, а разрешающая способность (теоретическая, по Рэлею) – $0.4''$ » [12, п. 1].

Однако достоверно известно, что основной массив данных был получен с помощью *четырёхдюймового* телескопа (т.е. чуть более 100 мм), установленного в Собрале. Следовательно, по расчетам Ивченкова, точность показаний должна быть намного хуже *одной угловой минуты*.

Следующей неприятной помехой при наблюдении звезд во время затмения Ивченков называет *дисторсию*, разъясняя ее действие словами нашего отечественного авторитета:

«Дисторсия обычно не вредит наблюдателю, но становится очень опасной, если при помощи оптической системы производятся съемки, предназначенные для промеров (например, в геодезии или, особенно, в аэрофотограмметрии)». (Г. С. Ландсберг «Оптика» стр.309)».

Критик продолжает:

«Нескомпенсированная дисторсия приводит к подушко-образным искажениям, создавая впечатление выпуклого или вогнутого поля зрения. Таким образом, в первом случае звезды как бы разбегаются от центра, а во втором – сбегаются. Пока никому не удавалось скомпенсировать, в частности, дисторсию до суб-секундных значений даже для малых углов зрения. Таким образом, если использовать оптическую систему с нескомпенсированной дисторсией, то можно увидеть (и даже успешно измерить) всю кривизну метрики пространства-времени» [12, п. 2].

За дисторсией Ивчинков указал на явление *гидирования*:

«Если во время экспозиции не использовался гидирующий механизм, компенсирующий суточное движение, то за 10 – 20 сек. экспозиции кружки рассеяния превращались в эллипс, вытянутый на $2,5 - 5'$ по эклипике. Если этот механизм использовался, то очень сомнительно, что он имел суб-секундную точность» [12, п. 3].

По оценке Ивчинкова, ошибка, вызванная гидированием, составит приблизительно $0.3''$.

Четвертым пунктом идет рефракция в атмосфере Земли:

⁶⁹ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

⁷⁰ Ивченков, Геннадий. *Самое важное подтверждение ОТО, или Что измерил лорд Эддингтон* (<http://bourabai.kz/articles/ivchenkov.htm>).

«Опорная фотопластинка была снята в январе в Англии (угол эклиптики над горизонтом - 20 град.), а затмение снималось на экваторе в 13 : 30, т.е. Солнце было в зените. Атмосферная рефракция при угле 10 град. над горизонтом составляет 5' 30", при угле 20 град. – 2'40", а в зените близка к нулю (см. таблицы Пулковской Обсерватории). Следовательно, в 4 град поле зрения (между 20 и 10 град азимута) присутствовала нелинейность порядка $80 \div 100''$, искажающая (растягивающая) вертикальный масштаб» [12, п. 4].

Ниже автор статьи «Самое важное подтверждение ОТО или Что измерил лорд Эддингтон в 1919 году» проанализировал:

5. Звездную аберрацию.
6. Собственное движение звезд.
7. Точность, обеспечиваемая фотоматериалами в данных условиях.
8. Точность совмещения пластинок.
9. Точность считывания результатов.
10. Общие замечания по поводу применения фотоматериалов для анализа изображения.

После этого Ивчинков перечислил основные методические ошибки эксперимента:

отсутствие калибровки телескопа и камеры,
съемка опорной пластинки в другом месте,
использование широкоугольного телескопа,
использование неденситометрированных фотоматериалов низкого качества,
ручная («на глаз») обработка изображений.

Самыми грубыми и принципиальными из них являются последние три. Применение широкоугольного телескопа привело к необходимости измерения крайне малых линейных величин, а сами эти измерения были выполнены варварским методом.

Претензии, высказанные здесь, нужно, конечно, принять во внимание: указанные факторы, несомненно, могли повлиять на окончательные выводы представленного отчета. Ивчинков мог упустить из виду какие-то частности, но при этом он остается прав в главном: *оптические* явления, происходящие вблизи Солнца настолько сложны, что чисто *гравитационные* объяснения микроскопических отклонений лучей от звезд выглядят просто смехотворно. Задайте себе вопрос: почему мы до сих пор обсуждаем результаты почти вековой давности? Где данные по самым последним затмениям Солнца? Если их нет в справочниках по наблюдательной астрономии, в которых из года в год вносятся уточнения по тем или иным параметрам, – значит, отклонения лучей вблизи массивных тел абсолютно не интересуют астрономов-практиков, и мы догадываемся почему.

1. Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах.* / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.
2. Паунд Р.Ф. *О весе фотонов.* / УФН LXXII вып. 4 (1960).
3. Окунь Л.Б., Селиванов К.Г., Телегди В. *Гравитация, фотоны, часы.* / УФН 169 (1999).
4. Soldner, J. G. v. «Ueber die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht». Berliner Astronomisches Jahrbuch (1804) s. 161–172.
5. Soldner, J. G. v. «Ueber die Ablenkung...»; (Lenard, P.) (1921). Annalen der Physik 65: 593–604.
6. Jaki, S.L. (1978). «Johann Georg von Soldner and the Gravitational Bending of Light, with an English Translation of His Essay on It Published in 1801». Foundations of Physics 8: 927–950. doi:10.1007/BF00715064.
7. Treder, H. J.; Jackisch, G. (1981). «On Soldners Value of Newtonian Deflection of Light». Astronomische Nachrichten 302: 275–277. doi:10.1002/asna.2103020603.
8. Will, C.M. (1988). «Henry Cavendish, Johann von Soldner, and the deflection of light». Am. J.Phys. 56: 413–415. doi:10.1119/1.15622.
9. Захаров А.Ф. Гравитационные линзы / Соровский образовательный журнал, том 7, № 8, 2001; его же книга «Гравитационные линзы и микролинзы» М.: Янус, 1997.
10. Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна.* – М., 1989].
11. Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм* / «Под Знаменем Марксизма» 1924 г., № 8–9, с. 142–157; № 10–11, с. 93–114 (<http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjavez-7.htm>); его же *Теория относительности Эйнштейна и махизм* / Стенограмма доклада на заседании Комм. Акад. – 7/II 1924 г. // Опубликована в сборнике статей «Естествознание и

диалектический материализм». – М.: Материалист, 1925, с. 228–258 (<http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjazev-8.htm>); его же книга «Введение в теоретическую физику». – М.–Л.: ГТТИ, 1933.

12. Ивченков, Геннадий. *Самое важное подтверждение ОТО, или Что измерил лорд Эддингтон* (<http://bourabai.kz/articles/ivchenkov.htm>).

13. *Альберт Эйнштейн и теория гравитации* / Сборник статей. – М.: Мир, 1979.

14. Хофман Б., Дюкас Э. *Альберт Эйнштейн. Творец и бунтарь*. – М.: Прогресс, 1983. (Banesh Hoffmann/Helen Dukas: *Einstein. Schopfer und Rebell. Die Biographie*, Frankfurt/M. 1978, amerikanisches Original New York, Viking Press, 1972).

15. Картер П., Хайфилд Р. *Эйнштейн. Частная жизнь*. – М.: «Захаров», 1998 (Paul Carter and Roger Highfield «The Private Lives of Albert Einstein», 1993).

16. Кузнецов Б.Г. *Эйнштейн. Жизнь. Смерть. Бессмертие*. Издание пятой, переработанное и дополненное. / Под редакцией М.Г. Идлиса. – М.: Наука, 1980.

17. Инфельд, Леопольд. *Мои воспоминания об Эйнштейне* / УФН, Т. LIX, вып. 1, 1956; «Tworczość», вып. 9, 1955 г.; перевод с польского И.Е. Дудовской и Г.И. Залуцкого.

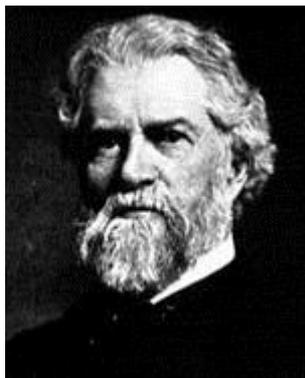
18. Петров А.М. *Антиэйнштейн*. – М.: Компания спутник, 2008.

13. Аномальное движение перигелия Меркурия

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es13.htm>

– I –

Урбен Жан Жозеф Лаверье (1811–1877), директор Парижской обсерватории, специалист в области небесной механики, в свое время исследовал неправильности в движении Урана и на основании своих наблюдений, независимо от Дж.К. Адамса, рассчитал орбиту новой планеты, которая была в 1846 г. открыта Г. Галлем и названа Нептуном. Еще в 1839 г. Лаверье представил расчеты взаимных возмущений для всех планет и доказал устойчивость движений Солнечной системы. В 1859 г. он пришел к заключению о существовании аномального смещения перигелия Меркурия, которое в то время невозможно было объяснить с точки зрения законов небесной механики.



Саймон Ньюком



Урбен Жан Жозеф Лаверье

Саймон Ньюком (1835–1909), ведущий сотрудник Морской обсерватории в Вашингтоне, профессор математики в Морской академии, занимающийся составлением точных таблиц движения планет, подверг вычисления Лаверье тщательной проверке. В 1895 г. им были опубликованы данные по движению ближайших к Солнцу четырех планет. С помощью формулы Холла для всемирного закона тяготения Ньюкому удалось подогнать расчетные данные к эмпирическим. Для формулы Холла, имеющей вид: $F = GMm / r^{(2+\delta)}$, он нашел $\delta = 161,2 \cdot 10^{-9}$. При этой поправке ему удалось ликвидировать невязку для Меркурия, равную примерно 42 угловым секундам в столетие. Недостатком его подгонки было то, что поправка δ для разных планет оказывалась различной. По сути, он

прибег к птолемеевской методологии, при которой всё внимание сосредоточено не на физике астрономических явлений, а на возможности прогнозировать числовые параметры Солнечной системы.

В середине прошлого века Джеральд Клеменс (1908–1974) вместе с Дирком Брауэром (1902–1966) провел большую серию прецизионных измерений планетных траекторий и сравнил их с теоретическими значениями, причем в его работе были впервые применены компьютеры. Согласно его расчетам получились следующие наблюдаемые вековые смещения планетных перигелиев (в скобках даны эти же величины, рассчитанные по ОТО):

Меркурий – $43,11 \pm 0,45$ (43,03),

Венера – $8,4 \pm 4,8$ (8,6),

Земля – $5,0 \pm 1,2$ (3,8),

Марс – $1,1 \pm 0,3$ (1,4).

Как видим, по ОТО согласие по Земле и особенно по Венере – неважное. Однако при расчете столь малых поправок многое зависит от постановки многофакторной задачи (Ньюком удерживал в заданных пределах полтора десятка факторов). Если ориентироваться на ОТО – а такая задача стояла на повестке дня, – то нужные результаты можно было бы получить путем варьирования других параметров, например массы планет. Если бы стояла задача строгого подтверждения всех масс планет, то можно было бы слегка «отпустить» вековые смещения перигелиев орбит. Совершенно недопустимо брать параметры из разных систем расчета, например, Ньюкома (1898), Брауэра – де Ситтера (1948), Клеменса (1964), а такое изредко делают авторы популярных книг.



Джеральд
Клеменс



В.А. Бронштэн

Известный популяризатор наблюдательной астрономии, крупный специалист по кометам В.А. Бронштэн (1918–2004) пишет:

«До самого конца XIX века не существовало единой системы фундаментальных астрономических постоянных. Каждый астроном выбирал те значения постоянных, которые представлялись ему наиболее заслуживающими доверия. Лишь в 1895 г. Саймон Ньюком, проделав титаническую работу по обработке и анализу 60000 меридианных наблюдений планет, Солнца и Луны (эта работа заняла у него 18 лет), предложил взаимно согласованную систему из 14 астрономических постоянных. Эта система продержалась в науке почти 70 лет: с 1896 г., когда она была официально утверждена на международной астрономической конференции в Париже, до 1964 г., когда XII съезд Международного астрономического союза в Гамбурге утвердил новую систему» [10,⁷¹ гл. V],

которая во многом строилась на данных Клеменса и других астрономов, использующих машинный расчет.

– II –

Следует отметить, что при рассмотрении больших масс, какую имеет Солнце, не только Ньюком предлагал слегка подправить формулу всемирного тяготения, но и другие исследователи. Например, Абрагам выдвинул теорию, согласно которой гравитационная сила изменялась по закону: $F = A / r^2 + B / r^3$, причем $B / A = GM / 2c^2$, где M – масса центрального тела. Мы не знаем, чем руководствовался Абрагам, когда записывал таким образом формулу, но у нас нет никаких сомнений в том, что закон всемирного тяготения, записанный для двух материальных точек в виде $F = GMm / r^2$, должен изменить свой вид, когда рассматриваются реальные тела, имеющие определенную форму и размеры.

Сегодняшний студент механического факультета в состоянии вывести выражение для силы, которая действует на материальную точку A со стороны эллипсоида (рис. 1). Если принять массу эллипсоида за M , массу материальной точки A за единицу $m = 1$, задать экваториальную (a) и полярную (b) полуоси эллипсоида, ввести высоту h и центральный радиус-вектор r точки A , то формула для нахождения результирующей силы F , действующей на точку A , будет выглядеть следующим образом [1,⁷² с. 55]:

$$F = GM \left[\frac{1}{r^2} + \frac{a-b}{a} \left(\frac{3a^2}{5r^4} - \frac{9a^2h^2}{5r^6} \right) \right]$$

Итак, силовая функция зависит от геометрии масс. Вместо силы F удобно воспользоваться гравитационным потенциалом U . При перемещении конца радиуса-вектора r на расстояние dr

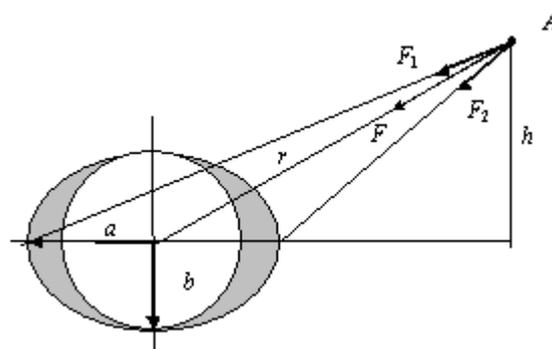


Рис. 1. Притяжение материальной точки A массивным эллипсоидом, который имеет заметно большие размеры по сравнению с удаленностью точки A , будет отличаться от привычного закона всемирного тяготения, выведенного для случая двух материальных точек.

⁷¹ Бронштэн В.А. *Как движется Луна?* – М.: Наука, 1990.

⁷² Рябов Ю.А. *Движение небесных тел.* – М., Наука, 1988.

сила тяготения F , действующая на тело с массой m , совершает работу: $dA = -Fdr$. При перемещении массы m из точки P_1 с радиусом r_1 в точку P_2 с радиусом r_2 работа сил тяготения будет равна:

$$A = \int_{r_1}^{r_2} dA = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{GmM}{r^2} dr = \frac{GmM}{r_2} - \frac{GmM}{r_1} = U_2 - U_1 .$$

Гравитационный потенциал точки P_1 определяется как работа против сил поля по перенесению массы m из точки P_1 с радиусом r_1 в бесконечно удаленную точку $P_2 = \infty$, где потенциал равен нулю ($U_2 = 0$):

$$U_1 = -A = \frac{GmM}{r_1} .$$

На элемент массы dm определенных размеров и формы со стороны центрального тела M действует сила, описываемая силовой функцией dU . В литературе [2,⁷³ с. 10] и [3,⁷⁴ с. 25] можно найти вывод интеграла силовой функции U по объему V тела m , в роли которого чаще всего выступает сфера или эллипсоид:

$$dU = \frac{GM}{r} dm , \quad U = \int \frac{GM}{r} dm .$$

Общий вид силовой функции выглядит следующим образом:

$$U = \frac{GmM}{r} + \frac{GM}{2r^3} (A + B - C) - \frac{3GM}{2r^3} (A\gamma_1^2 + B\gamma_2^2 + C\gamma_3^2) ,$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, – направляющие косинусы, A, B, C – главные центральные моменты инерции эллипсоида, определяемые его полуосями a, b и c .

«Первый член в выражении отвечает потенциалу материальной точки и дает кеплерову орбиту. Второй и третий члены зависят от протяженности тела и его ориентации и, строго говоря, характеризуют зависимость орбиты от этих факторов. Что касается ориентации тела, то она целиком определяется третьим членом, содержащим направленные косинусы» [2, с. 14].

До сих пор не известно о степени сжатия Меркурия и направленности его оси вращения. Однако известно, что всякое отклонение материальных тел от шаровой формы приводит к так называемому «аномальному сдвигу». Выясним, в чем он заключается.

Если рассматривать только два небесных тела, Меркурий и Солнце, причем идеальной сферической формы, находящиеся в абсолютном вакууме и в виде холодных масс, то перигелий планеты, вращающейся по эллипсу вокруг светила, будет находиться в покое, на одном и том же месте в точке P (рис. 2). Но остальные планеты Солнечной системы, а также сжатие светила у полюсов и прочие причины, перечисленные в табл. 1, вносят определенное возмущение в это движение, и линия AP , соединяющая ближнюю и дальнюю точку орбиты, медленно перемещается. За сто лет перигелий Меркурия повернется на 5600 угловых секунд; из них 5025" – поворот системы отсчета и 575" – динамическое смещение, обусловленное влиянием объектов Солнечной системы. Эти числа фигурируют в данных по Клеменсу.

В табл. 1 приведены причины сдвига и расчетные значения, выполненные тремя авторами в различное время. Во второй графе даны количественные оценки, полученные Лаверье в 1860, в третьей – Клеменсом в 1947 г. [4,⁷⁵ с. 325], а третья графа заполнена числами, взятыми из работы Роузвера [5,⁷⁶ с. 17] (если величина не рассчитывалась, то в табл. 1 ставился прочерк).

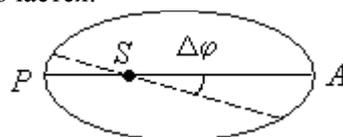


Рис. 2. Перигелий (P) орбиты Меркурия, т.е. ближайшая точка к Солнцу (S), перемещается на угол $\Delta\varphi = 566''$ за столетие (по Роузверу). Из этой величины сдвиг в $527''$ можно обосновать с точки зрения классических законов небесной механики; оставшиеся величина в $39''$ считается аномальным сдвигом.

⁷³ Белецкий В.В. *Движение спутника относительно центра масс в гравитационном поле*. – М.: МГУ, 1975.

⁷⁴ Белецкий В.В., Хентов А.А. *Резонансные вращения небесных тел*. – Нижний Новгород, 1995.

⁷⁵ Брумберг В.А. *Релятивистская небесная механика*. – М.: Наука, 1972.

⁷⁶ Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Лаверье до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.

Таблица 1
Возмущения, вызывающие сдвиг перигелия Меркурия
(в секундах дуги за столетие)

Причина сдвига	по Лаверье	по Клеменсу	по Роузверу
Меркурий	–	0.025 ± 0.00	–
Венера	280,64	277.856 ± 0.68	280.6
Земля	83,61	90.038 ± 0.08	83.6
Марс	2,55	2.536 ± 0.00	2.6
Юпитер	152,59	153.584 ± 0.00	152.6
Сатурн	7,24	7.302 ± 0.01	7.2
Уран	0,14	0.141 ± 0.00	0.1
Нептун	0,06	0.042 ± 0.00	–
Сжатие Солнца	–	0.010 ± 0.02	–
Прецессия	–	25.645 ± 0.5	–
Вычисленная сумма	526,83	557.180 ± 0.85	526.7
Данные наблюдения	565,1	599.74 ± 0.41	565.7
Разность	38,3	42.56 ± 0.94	39.0

Можно видеть, что цифры в табл. 1 «гуляют» довольно в широких пределах из-за прецессии (25,6), между тем, аномальный сдвиг очень небольшой. Различие в числовых данных можно объяснить тем, что Клеменс выступал за ОТО, а Лаверье о ней ничего не знал.

– III –

А.К. Тимирязев в связи с подгонкой, выполненной Эйнштейном, писал:

«... Формула, выражающая это перемещение, совпадающая с Эйнштейновской, была выведена иным путем Гербером и была уже напечатана в журнале Физики и математики [*Zeitschrift für Mathematik und Physik*] в 1898 г., следовательно, за 17 лет до Эйнштейна. Но самое важное не в этом. По формуле Гербера–Эйнштейна получается следующее: перемещение перигелия в сто лет равно 42 секундам дуги (42 секунды дуги, т.е. 42/3600 доли градуса – около одной сотой доли градуса). С другой стороны, обработка астрономических наблюдений, сделанная Лаверье и Ньюкомбом, дает 42,2"; казалось бы лучшего совпадения и нельзя ожидать. Однако, и это совершенно естественно для строгой научной работы, – у целого ряда ученых явилась мысль еще раз проверить выводы Лаверье и Ньюкомба, и что же оказалось? Оказалось, что расчеты были не совсем точны. Е. Вихерт, тщательно проверивший работу Лаверье и Ньюкомба, получил не 42,2", а 34". Гроссман [*Zeitschrift für Physik*, 5 том, стр. 280. 1921 г. *Astronom. Nachr.* 214 р. 41 и 195. 1921 года] также перечислил все астрономические наблюдения, причем он выделил в отдельную группу данные, полученные с помощью меридианного круга. Из этой группы наблюдения получается 29", а если использовать все наблюдения, то по Гроссману получается 38". Результаты этих вычислений никем не опровергнуты. Таким образом, говорить о согласии теории с фактами еще рано, а может быть, и поздно!» [6]⁷⁷

(эта работа А.К. Тимирязева имеется у нас на сайте, см. [Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм](#)).

В самом деле, в соответствии с табл. 1, разность между двумя вычисленными значениями по Клеменсу и Роузверу составляет 30,5" (= 557,18" – 526,7"), что недопустимо, если разность между вычисленным и наблюдаемым значениями находится где-то в районе 40". Между тем, в начале века оперировали совершенно другими величинами (их приводит А.К. Тимирязев в своей

⁷⁷ Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм* / «Под Знаменем Марксизма» 1924 г., № 8–9, с. 142–157; № 10–11, с. 93–114. <http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjazev-7.htm>.

книге [7,⁷⁸ с. 386]), именно: теоретическое значение равнялось 601", а наблюдаемое – 642,6", их разность равна 41,6". Данная величина как будто бы близка к значению, полученному Клеменсом, но разве мы можем говорить о сходстве ситуаций в этих двух случаях? Разумеется, нет. У Лавруе разность составила 38", что близко к значению, полученному Роузвером (39"), но и здесь мы не имеем право говорить о каком-либо согласии, так как уменьшаемые и вычитаемые у них слишком различаются. Эйнштейн получил разность 42,9", что позволило релятивистам громко заявить о триумфе его теории. Однако, какую величину надо брать в качестве наблюдаемой, если в наших примерах она колеблется от 565,7" до 642,6" ?

И тут мы подходим к основной претензии, предъявляемой Тимирязевым в адрес релятивистов. Как можно, говорит он, вычислять общий сдвиг перигелия Меркурия с позиции классической механики, а неувязку с эмпирическими данными с позиции теории относительности? Если вы хотите остаться в рамках релятивистских представлений, то вам необходимо вести расчет по всем 642,6" (данные А.К. Тимирязева), а не по разности в 43". Подобная методическая ошибка имеет место и в рамках СТО. При вычислении разности хода лучей в горизонтальном и вертикальном плече интерферометра Майкельсона скорость света складывается и вычитается со скоростью движения Земли по обычным формулам сложения скоростей. Однако, получив в эксперименте Майкельсона–Морли нулевой сдвиг интерференционных полос, релятивисты объявляют скорость света неизменной, а релятивистскую формулу сложения скоростей единственно правильной (см. «Эксперимент Майкельсона – Морли»⁷⁹). Уважаемые релятивисты, будьте до конца последовательны: не пользуйтесь, пожалуйста, формулой $c + v$ при анализе решающего эксперимента СТО! Та же самая просьба к вам, когда вы имеете дело с ОТО: исключите из своих математических выкладок все величины, полученные на основе классической механики.

В процитированном выше отрывке А.К. Тимирязев упоминает о формуле Гербера, опубликованной в немецком журнале еще в 1898 году (ее перевод на русском языке можно найти в Интернете [11]⁸⁰), и которая странным образом совпала с формулой Эйнштейна. Можно ли доверять выводу формулы, сделанному Гербером? Релятивисты хором отвечают – нет. Но и сторонники классической науки относятся к его доказательству скептически. В книге Роузвера дается подробное разъяснение, которое начинается с предварительного замечания:

«Но физики обсуждали и конечные скорости распространения гравитационных взаимодействий; это нашло естественное отражение в законах тяготения с зависимостью от скорости, среди которых наиболее известен закон Вебера. Законами такого типа можно было объяснить и смещение перигелия Меркурия, хотя требуемые для полного объяснения смещения скорости передачи взаимодействий меньше скорости света. Из всех законов подобного рода только закон Гербера дает полное значение смещения при скорости, равной скорости света, однако большинство физиков считали его несостоятельным» [5,⁸¹ 4.4].

Цель, которую перед собой ставил Пауль Гербер в статье 1898 года, состояла в том, чтобы доказать: *гравитация распространяется со скоростью света*. Поскольку в окончательное выражение вошла скорость света, он констатировал, что она и есть скорость распространения гравитации. Однако по характеру вывода окончательной формулы можно определенно сказать: *Гербер знал ее заранее*. Разложение исходного выражения в ряд, пренебрежение малыми членами и наличие членов, содержащих дробные показатели степени вида $5/2$ и $3/2$, лишают его математические выкладки всякого физического смысла. Кроме того, представленное автором доказательство из первых принципов слишком громоздко и запутано, чтобы его можно было проверить на математическую корректность. Читателю приходится поверить автору на слово, что из предположения о равенстве скоростей распространения электромагнитных и гравитационных возмущений вытекает формула для векового сдвига перигелия Меркурия. Почему скорость света входит в эту одну-единственную формулу и не фигурирует в других формулах небесной механики, остается загадкой.

⁷⁸ Тимирязев А.К. *Введение в теоретическую физику*. – М.–Л.: ГТТИ, 1933.

⁷⁹ Выше в этом томе.

⁸⁰ Гербер, Пауль. *Пространственное и временное распространение гравитации* (перевод на русский Йохана Керна (Johann Kern), 2004 (<http://bourabai.kz/articles/gerber/gerber-rus.htm>)).

⁸¹ Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Лавруе до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.

– IV –

В русскоязычной литературе нет непредвзятых исторических исследований, посвященных возникновению и обоснованию формулы Гербера–Эйнштейна. Автор книги «Перигелий Меркурия: от Леверье до Эйнштейна» тоже не стоял на безусловно объективных позициях. По нижеприведенным фрагментам чувствуется, что его симпатии больше на стороне релятивистов, чем антирелятивистов.

Да, Гербер ошибался, но ведь и Эйнштейн пришел к его формуле спекулятивным путем. Не вызывает никаких сомнений, что перед взором создателя общей теории относительности уже стояло готовое математическое выражение Гербера, дающее заветное число в 43 угловых секунды за столетие. Чтобы дать почувствовать нашему читателю всю сложность и запутанность проблемы, связанной с формулой Гербера–Эйнштейна, приведем обширную выдержку из шестой главы исторических исследований Роузвера.

«В течение первых двух десятилетий нашего века теория Ритца и общая теория относительности имели конкурента. Это была гипотеза, которая не претендовала на всеобъемлющее объяснение гравитации и электродинамики, но давала простую формулу гравитационных сил, позволяющую без введения произвольных постоянных и исключения каких-либо членов полностью объяснить смещение перигелия Меркурия. Такая формула была предложена Паулем Гербером.

Гербер был преподавателем реальной гимназии в Штаргарде (Померания). Он родился в Берлине в 1854 г., точная дата его смерти, приходящаяся на период 1902–1917 гг., остается неизвестной. Герберу принадлежат лишь несколько научных работ, однако им было написано немало статей для научно-популярных журналов. Предложенная им формула силы взаимодействия была опубликована в 1898 г. [132], а более подробное изложение представлено в статье 1902 г. [133]. В 1917 г. по настоянию Эрнста Герке эта статья была напечатана повторно [134]. Значение работы Гербера состояло не только в том, что она предсказывала верное значение аномального смещения перигелия Меркурия. Помимо того, она использовалась как оружие против теории относительности в развернувшейся в то время в Германии кампании нападок на Эйнштейна, в которой Герке играл ведущую роль. Сам Гербер считал себя продолжателем традиций уже упоминавшихся нами ученых, и в его статье, написанной в 1902 г., содержался обзор большинства работ, рассмотренных нами ранее. Вывод его формулы довольно запутанный, но приведенные ниже выкладки дают требуемый результат.

Предложенный Гербером закон взаимодействия обладает замечательным свойством: если положить v равной скорости света, то предсказываемое им смещение перигелия Меркурия составит $41''$. Для Венеры соответствующее значение равно $8''$, как следует из закона Ритца и общей теории относительности, а значения для других планет и лунного перигея достаточно малы, чтобы согласоваться с наблюдениями. Казалось, что эта формула устранила препятствие, не позволяющее принять выражения, подобные закону Вебера, в теории тяготения. Она полностью объясняла аномальное смещение перигелия Меркурия при выборе скорости света в качестве «естественной» скорости распространения. После первой публикации формула Гербера не привлекала особого внимания, хотя она и появлялась в некоторых книгах [234, с. 201; 236, с. 235; 396; 87]. Она никак не упоминалась в лекциях Пуанкаре 1906–1907 гг., посвященных пределам применимости закона Ньютона [287]. Интерес к ней был возрожден Эрнстом Герке с появлением общей теории относительности Эйнштейна. Из формулы Гербера следует выражение для смещения перигелия Меркурия ... в точности соответствующее полученному в теории относительности. Герке отметил этот факт в статье [129], содержащей критику теории Эйнштейна, утверждая, что приоритет принадлежит Герберу.

Нужно сказать, что Герке был довольно важной фигурой, поскольку являлся одним из ведущих членов «Общества немецких естествоиспытателей», учрежденного с целью дискредитировать Эйнштейна и его теорию относительности. Эйнштейн окрестил это общество, выступавшее на уровне популярной литературы, «антирелятивистской компанией». Возглавлял его Пауль Вейланд, о котором Рональд Кларк писал как о человеке, совершенно неизвестном в научных кругах и в течение многих лет ничем себя не проявившем [61, с. 256–259]. Определенный научный престиж этому обществу придавало членство Филиппа Ленарда, которому была присуждена Нобелевская премия за работы в области экспериментальной физики и который позже написал книгу [212] антисемитской ориентации. Однако аргументы, приведенные Герке, показывают, что в деятельности этого разнородного объединения всё же присутствовала некая научная основа.

В то время еще не были известны соответствующие данные наблюдений солнечных затмений, а красное смещение в спектре Солнца оставалось под вопросом, поэтому казалось, что эмпирическое подтверждение теории относительности целиком связано с эффектом аномального смещения перигелия Меркурия. И вот оказалось, что существует гораздо более простая теория, которая предсказывает такой же результат в отношении этой важнейшей аномалии, как и теория относитель-

ности. Благодаря усилиям Герке статья Гербера [133] в 1917 г. была повторно опубликована в журнале «Annalen der Physik», и на этот раз ее публикация нашла отклик.

Первым свои критические замечания высказал Зеелигер [330], автор гипотезы, объяснявшей смещение перигелия Меркурия влиянием вещества зодиакального света (см. гл. 4). Он утверждал, что расчеты Гербера основаны на элементарной ошибке, хотя теперь очевидно, что ошибся сам Зеелигер. Он также возражал против введения потенциалов, зависящих от скорости, но не в этом суть. ...

Зеелигер повторил свои замечания и позже, в 1917 г. [331], когда он допустил возможность использования потенциала, который Карл Нейман назвал эффективным. Однако Гербер имел в виду совсем иное, хотя, возможно, он и сам не вполне понимал смысл введенного им потенциала, представляя лишь, что этот потенциал зависит от скорости, причем скорость его распространения равна скорости света. В конце своей статьи Зеелигер процитировал замечание Неймана [253] по поводу того, что распространение эффективного потенциала представляет собой «совершенно трансцендентальное понятие, существенно отличающееся от распространения света или тепла» [см. 274, с. 186].

Однако, как показывает содержание предыдущего абзаца работы Неймана, эта трансцендентальность связана не с характером распространения, а с природой самого взаимодействия [см. 274, с. 186]: «Мы рассматриваем этот потенциал как стимул к движению или, если использовать более подходящее выражение, как команду, которая подается и излучается в одной точке, а принимается и исполняется в другой; мы предполагаем, что для прохождения этой команды от места передачи до места приема требуется определенное время».

Получение потенциала составляет существенную часть теории Гербера, поскольку его формула (6.24) выведена при рассмотрении влияния, которое конечное время распространения оказывает, во-первых, на расстояние и, во-вторых, на количество полученного потенциала. Во втором случае возможна интерпретация в рамках представлений Ритца о гипотетических частицах: чем быстрее поглощающее тело движется по направлению к излучающему, тем больше частиц «собирает» оно, и аналогично, чем быстрее движется излучающее тело, тем быстрее движутся излучаемые им частицы и тем больше их поглощается в единицу времени. Однако детали этого процесса представить трудно.

В 1918 г. Герке опубликовал статью, в которой поддерживал концепцию эфира и высказывал критические замечания по адресу Зеелигера [130]. После ответа со стороны Эйнштейна [107] (по поводу эфира) и Зеелигера [332] Герке выступил с новой статьёй [131]. Он утверждал, что возражения против теории Гербера необъективны и вызваны приверженностью Зеелигера собственному объяснению аномалии.

Появились и другие отклики на повторно опубликованную статью Гербера. Оппенгейм, написавший в 1895 г. обзор гравитационных теорий, опирающихся на конечную скорость распространения, напечатал выдержку из своей статьи, посвященной ньютонову закону всемирного тяготения [271]. Он [написал:] «Я воздерживаюсь от решения по вопросу о том, насколько проведенное им [Гербером] доказательство правильно и удовлетворительно с точки зрения физиков».

По поводу статьи Гербера выступил также фон Лауэ [205], высказавший свое нежелание принять объединенную концепцию дальнего действия и распространяющегося действия.

Далеко не все физики предпочли воздержаться, как Оппенгейм. Фон Гляйх [135] отметил, что теория Гербера предсказывает такое же смещение перигелия Меркурия, как и теория относительности Эйнштейна, но добавил: «Однако обоснование его потенциала нельзя считать верным» [135, с. 230]. Фон Лауэ также писал по этому поводу: «То, что Гербер преподносит как физические соображения, кажется невразумительным... Поэтому мы не можем считать работу Гербера физическим объяснением эффекта» [207, с. 736].

Фон Лауэ пришел к выводу, что в своей работе Гербер исходил из конечного результата, следуя пути, указанному Оппенгеймом. Бухерер также высказал свое отношение к теории Гербера [44, с. 5]: «Заслуга Гербера состоит в попытке рассчитать орбиту Меркурия, исходя из предположения о распространении гравитационного действия со скоростью света. Он вывел – разумеется, при помощи ошибочных заключений – формулу, предсказывающую такое же смещение перигелия, как и формула Эйнштейна».

Итак, неясная по своему характеру работа Гербера породила соответственно туманные отклики. Однако дискуссии можно было бы избежать, указав, что закон силы Гербера фактически опровергался по двум причинам.

Как было показано, этот закон приводил к такому же выражению для смещения перигелия, как и общая теория относительности. Однако теория Гербера была применима лишь к гравитации и вне этой области ни о чем не говорила. Поэтому для создания полной физической картины ее требовалось дополнить, в частности, теорией электродинамики. Во время появления общей теории относительности это могла быть либо теория Лоренца, либо специальная теория относительности, но, как мы увидим в следующей главе, обе эти теории приводили к одной и той же зависимости

массы от скорости. Эта зависимость, учитываемая в рамках «ньютоновской» теории, приводила к значению 1" в столетие для смещения перигелия Меркурия *). [Сноска *) Разумеется, ньютонова теория несовместима со специальной теорией относительности, поскольку в отличие от последней в ней предполагается бесконечная скорость распространения гравитационного действия. Теория Гербера в этом отношении совместима со специальной теорией относительности.]

Как уже отмечалось в гл. 4, де Ситтер в 1913 г. показал, что это значение вполне укладывалось в рамки общепринятого тогда объяснения аномалии на основе ньютоновой теории, если исходить из гипотезы Зеелигера о зодиакальном свете и слегка уменьшить плотность пылевого вещества. Это релятивистское движение перигелия необходимо учитывать и в приложении к теории тяготения. В общей теории относительности это подразумевается, так как она включает в себя специальную теорию относительности.

Это молчаливо предполагалось и в незаконченной теории Ритца 1909 г., поскольку последняя должна была охватывать как электродинамику, так и гравитацию и предусматривать изменение массы и другие следствия электродинамической теории Ритца [274, с. 620]. При использовании в 1908 г. формулы Ритца в качестве чисто гравитационного закона следовало бы добавить смещение за счет электродинамического эффекта, но поскольку соответствие вычисленной величины аномалии наблюдениям устанавливалось путем принятия специальных предположений, это обстоятельство не опровергало закона Ритца.

Однако кажущееся преимущество формулы Гербера, не требующей подгонки постоянных, в данном случае обратилось против нее, так как и здесь требуется добавить релятивистский эффект, что в совокупности приводит к смещению перигелия Меркурия, равному 49" в столетие. В то время как небольшая заниженность расчетного значения по сравнению с наблюдаемым может быть приписана малому сжатию Солнца или наличию пылевого вещества внутри орбиты Меркурия, даже небольшой избыток объяснить очень трудно. Никто не отваживался утверждать, что Солнце на самом деле вытянуто вдоль оси вращения, а значение смещения, равное 42" в столетие, если и оспаривалось, то поправки вносились в сторону его уменьшения. Таким образом, закон Гербера не обеспечивал верного предвычисления смещения перигелия.

Вторая причина, по которой закон Гербера следовало бы отвергнуть, – это эффект отклонения световых лучей в гравитационном поле Солнца. Правда, в то время его существование подвергалось сомнению. Ранее уже обсуждалось отклонение света в гравитационном поле Солнца в соответствии с теорией Ритца. Мы считали световой луч состоящим из частиц, проходящих вблизи массивного тела. Аналогичный подход можно повторить и при исследовании закона Гербера. ...

Приведенные соображения следует рассматривать как явное опровержение закона Гербера. Ранние результаты наблюдений солнечных затмений не принесли окончательного подтверждения общей теории относительности [195]. Экспедиция в Собраль 1919 г. получила значение 1,98" + 0,16', свидетельствующее в пользу этой теории в том смысле, что соперничающие теории Нордстрема и «ньютоновская» предсказали соответственно полное отсутствие эффекта и отклонение, равное 0,87". Полученные данные также подтвердили превосходство общей теории относительности над теориями Ритца и Гербера, которые предсказывали значения 1,31" и 2,62" соответственно. Однако более поздние измерения привели к результатам, которые превышают значение, предсказываемое теорией Эйнштейна. Из них следует отметить результат измерений Фрейндлиха в 1929 г. (2,24" + 0,10"), промежуточный между значениями, вытекающими из теорий Эйнштейна и Гербера. Результат 2,73" + 0,31", полученный в СССР в 1949 г., позволяет отдать предпочтение теории Гербера, однако более поздние измерения не подтвердили столь значительное отклонение, и опровержение общей теории относительности не состоялось. Данные наблюдений солнечных затмений, полученные в период между экспедицией в Собраль и измерениями Фрейндлиха, говорили в пользу общей теории относительности Эйнштейна. Поскольку сторонники Эйнштейна не обращали внимания на теорию Гербера, а защитники этой теории не были склонны заявлять о своем поражении, неудивительно, что в этот период ссылки в литературе на результат Гербера отсутствуют. Однако возможно, что в 1929 г. какие-то замечания о теории Гербера появлялись в печати. Так или иначе, закон Гербера канул в небытие, хотя и не был публично опровергнут» [5,⁸² гл. 6].

– V –

Роузвер и другие авторы не исключают, что формулу Гербера–Эйнштейна можно было получить эмпирическим путем из общих соображений и небольшой подгонки. В самом деле, для этого нужно было всего-навсего знать элементарные законы небесной механики, которые опираются на полярное уравнение конического сечения:

$$\rho = p / (1 - e \cos \varphi).$$

⁸² Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Лаверье до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.

где e – эксцентриситет конического сечения, p – параметр. Для эллиптической орбиты параметр равен:

$$p = a(1 - e^2).$$

где a – большая полуось эллипса.

В разделе, рассказывающем об **Отклонении лучей света вблизи массивных тел**⁸³ (подраздел III), мы получили угол пертурбации при условии:

$$c^2 / p = c^2 / a(1 - e^2) = g = GMr^{-2},$$

где c – скорость света, G – гравитационная постоянная, M – масса Солнца, $r = AF$ – перигелий Меркурия и g – ускорение свободного падения в точке перигелия (A).

Формулу, которую получил Зольднер (*) и Захаров (10) из предыдущего раздела, сводилась к виду:

$$\Theta = \alpha = \omega = 2GM / pc^2 = 2GM / a(1 - e^2)c^2.$$

По всей видимости, Гербер взял за основу последнее выражение и записал его в виде:

$$\Delta\varphi = 2\pi k \frac{GM}{a(1 - e^2)c^2}, \quad (A)$$

где $\Delta\varphi$ известная из астрономических наблюдений величина, k – подгоночный коэффициент, который очень удобно умножается на полный оборот в 2π , так как речь идет о долях углового поворота, т.е. о приращении за один оборот Меркурия вокруг Солнца.

Первая планета имеет большую полуось орбиты, равную $a = 57,91 \cdot 10^{11}$ см, эксцентриситет $e = 0,2056$, период обращения $T = 0,241$ года или 87,969 суток (см. [данные по Меркурию](#)), т.е. за сто лет он совершает 415 оборотов. Пусть перигелий Меркурия за сто лет сдвигается на $43''$, как рассчитал Эйнштейн. Тогда за один оборот ($\varphi = 2\pi$) перигелий дополнительно повернется на угол $\Delta\varphi = 0'',1036 \approx 0,502 \cdot 10^{-6}$ радиан. Подставляя это значение $\Delta\varphi$, а также числовые значения скорости света $c = 2,997 \cdot 10^{10}$ см/с, гравитационной постоянной $G = 6,673 \cdot 10^{-8}$ дин · см²/г² и массы Солнца $M = 1,989 \cdot 10^{33}$ г в последнее выражение, находим, что искомый коэффициент равен $k = 3$ (точнее: 3,000138). Учитывая третий закон Кеплера,

$$GM = 4\pi^2 a^3 / T^2,$$

формулу Гербера (A) можно представить как

$$\Delta\varphi = \frac{24\pi^3 a^2}{c^2 T^2 (1 - e^2)}. \quad (B)$$

В работе 1915 года «Объяснение перигелия Меркурия» после разложения в ряд и удержания двух первых членов Эйнштейн написал:

«... при целом обороте перигелий перемещается на угол

$$\varepsilon = 3\pi \frac{\alpha}{a(1 - e^2)}, \quad (A')$$

если через a обозначить большую полуось, а через e – эксцентриситет орбиты.

Если мы введем период оборота T (в сек), то получим, обозначив через c скорость света (в см/сек),

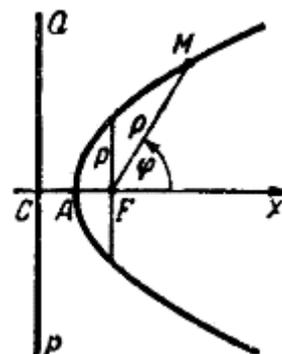
$$\varepsilon = 2\pi^3 \frac{a^2}{T^2 c^2 (1 - e^2)}. \quad (B')$$

Вычисление дает для планеты Меркурий поворот перигелия на $43''$ в столетие, тогда как астрономы указывают $45'' \pm 5''$ в качестве необъяснимой разницы между наблюдениями и теорией Ньютона. Это означает полное согласие с наблюдениями» [13,⁸⁴ т. 1, с. 446–447].

Заметим, во-первых: в приведенной здесь формуле (A') под α понимается константа, которой Эйнштейн часто пользовался: $2GM / c^2$. Таким образом, эйнштейновская формула (A') в действительности есть герберовская формула (A). Во-вторых, в формуле (B') советского

⁸³ Выше в этом томе.

⁸⁴ Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах.* / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.



издания «Собрания научных трудов Эйнштейна» сделана описка, а именно, пропущена цифра «4». Ниже приведена эта же формула, но взята она уже из немецкого оригинала:

$$\varepsilon = 24 \pi^3 \frac{a^2}{T^2 c^2 (1 - e^2)} \quad (B')$$

Таким образом, эйнштейновская формула (B') также в точности совпадает с герберовской формулой (Б).

Итак, окончательные выражения у Гербера и Эйнштейна тождественны. Они возникли как модификация формулы Зольднера 1801 года, которую еще раньше, в 1784 году, вывел Генри Кавендиш. В общем, как мы видели на примере выкладок А.М. Петрова, формула (*) получается элементарно из общего уравнения для конических сечений. Можно предположить, что Гербер знал о выводе Зольднера или получил его выражение самостоятельно, как сделал это до него Кавендиш. Далее он подогнал коэффициент k , природа которого оказалась удивительной. Ведь для его получения используются либо очень маленькие, либо очень большие астрономические и физические константы, тем не менее, в результате получается небольшое целое число, равное 3, причем с высочайшей точностью. Такая степень точности сразу делает выкладки Гербера и Эйнштейна подозрительными, поскольку те использовали приближенные вычисления.

Возможно, этот факт объясняется наличием в динамике планет *синхронизмов* или, как их еще называют, *резонансов*. Вспомним, период осевого вращения Меркурия равен 58,6462 суткам, что составляет $\tau = 0,161$ в единицах земного года. Его период обращения вокруг Солнца, как было сказано, равен $T = 0,241$; в отношении $T / \tau = 3/2$ входит число 3. По существу, в формулах (А) и (А') стоит не полный оборот 2π , а только полуоборот π , так как множитель 2 является неотъемлемой частью формулы Зольднера или эйнштейновской постоянной α . Поэтому в этих формулах нужно вводить еще один множитель 2. Тогда подгоночный коэффициент будет равен уже $3/2$. Кстати, точно такая же пропорция выполняется для Венеры. Пифагор был, видимо, прав: миром правит гармония целых чисел (более подробно об этом читайте в разделе [Дискретная гравитация и аттракторы](#)).

На вопрос, почему $k = 3/2$, можно будет ответить так: потому что отношение периода обращения Меркурия вокруг Солнца к периоду его обращения вокруг оси равно пропорции 3 : 2. Если затем возникает следующий вопрос: почему у Меркурия $T / \tau = 3/2$? На него мы задаем встречный вопрос: а почему, собственно, период обращения Луны вокруг Земли к периоду обращения ее вокруг оси равно отношению 1 : 1? Ясно ведь, что механика синхронизмов развита еще плохо и подобные резонансы прогнозировать сложно. Мы из наблюдений знаем, что Луна испытывает либрацию, т.е. слегка колеблется возле равновесного состояния, которое выражено пропорцией $T / \tau = 1/1$. Следовательно, здесь действует механика аттрактора, но как рассчитывать частоту и амплитуду автоколебаний, величину возвратной силы и т.д., мы еще не достаточно хорошо представляем.

Самой большой загадкой, является, конечно, участие в этих формулах константы скорости света. Мы с подозрением относимся к результатам [Эксперимента Фомалонта – Копейкина](#) : авторы не убедили нас, что скорость распространения гравитации равна скорости света. Более того, нам не известна механика действия гравитации. В нынешней картине мира классической физики электромагнитное излучение не должно взаимодействовать с гравитационным полем, т.е. гравитационная постоянная и постоянная скорости света не могут входить в одно уравнение. Но возможно, притяжение Луны к Земле, Земли к Солнцу и т.д. происходит не по кратчайшим прямым, соединяющим космические тела, а само понятие «притяжение» иллюзорно. Солнечная система формируется по линии согласования вращающихся моментов всех входящих в нее космических тел, а всемирный закон тяготения и законы Кеплера являются только следствием длительного процесса согласования (такая точка зрения высказывается в разделе [Вихри в твердом космосе](#)). Может быть, в этой картине мира появятся уравнения, в которых гравитационная постоянная и постоянная скорости света будут участвовать на равных правах. Но пока формула Гербера, наряду с формулой Зольднера, выглядят как-то неестественно.

Если иметь в виду классическое объяснение, то сегодня обнаружены новые факторы ньютоновского свойства, способные влиять на аномальное движение первой планеты. Например, «В те далекие времена, – пишет Геннадий Ивченков, – считали, что центр вращения Солнца и всей солнечной системы совпадает с геометрическим центром Солнца, что, оказалось, не

соответствует действительности» [12]⁸⁵. В самом деле, на рис. 76 в разделе [Фракталы и солнечная система](#) показано перемещение центра тяжести солнечной системы относительно геометрического центра Солнца в период с 1945 по 1994 год. Что-то не было слышно, чтобы Клеменс или кто-либо другой учитывали это явление.

Таким образом, формула Гербера–Эйнштейна была и остается загадкой – ни классические объяснения Гербера, ни релятивистские объяснения Эйнштейна для неё не годятся. Как только Гербер нашел коэффициент k , у него появилось желание найти какое-то объяснение для фигурирующей в нём скорости света. Он предположил, что гравитация, очевидно, распространяется со скоростью электромагнитных волн. Сначала на это «высосанное из пальца» объяснение никто особо не обратил внимание. Но потом появилась ОТО; внутри этой искусственной теории Эйнштейна – более искусственной, чем теория Гербера, – эмпирически подогнанная формула зазвучала с невероятной силой. Теперь она сделалась жупелом как для сторонников, так и противников релятивистской физики. Всё, что требовалось от Эйнштейна, это подвести некую теоретическую базу для оправдания целочисленного коэффициента $k = 3$. Сделал он это неудовлетворительным образом, опираясь на философию Маха. А.К. Тимирязев детально разбирает его методические и логические ошибки в работе [9]⁸⁶ (она есть у нас на сайте, см. [Теория относительности Эйнштейна и махизм](#)).

– VI –

Однако «в те далекие времена» аномальное смещение перигелия Меркурия в принципе приемлемым образом, без всяких экзотических предположений, вроде искривления пространства, было объяснено немецким астрономом, директором Мюнхенской обсерватории, Хуго Зеелигером (1849–1924), который в 1906 г. предложил для этого так называемую *материальную теорию*, которая в ходе релятивистской революции вместе с другими конструктивными теориями была просто отброшена, как не отвечающая духу времени. Как писал Роузвер, теория Зеелигера «завоевала широкую поддержку, объясняла всё, что требовалось, и вдобавок не противоречила наблюдаемым фактам» [5,⁸⁷ с. 85]. При этом ее автор исходил из вполне очевидных фактов: наличия в околосолнечном пространстве огромного количества выбрасываемого Солнцем вещества, которое и могло привести к аномалии в движении первой от Солнца планеты.

Что можно наблюдать с помощью современной аппаратуры в непосредственной близости и на некотором удалении от Солнца? В периоды его активности корона достигает 50 солнечных радиусов, а орбита Меркурия проходит в районе 80 солнечных радиусов. Не только Меркурий, но все четыре малых планеты находятся, можно сказать, в верхних слоях атмосферы Солнца, от жесткого излучения которого нас спасает магнитное поле Земли и многокилометровый воздушный флюс. Средняя плотность солнечного вещества всего в 1,4 раза больше воды. Однако в центре Солнца давление неизмеримо выше, чем на его поверхности, так что границу его шаровой поверхности можно выделить весьма условно. На сотни тысяч километров простирается плазменная среда. Высоченные фонтаны постоянно вырываются из недр Солнца, причем их мощные всплески весьма неравномерны как в пространственном, так и во временном отношении. Между тем, всякая неравномерность в плотности вещества, находящегося в околосолнечном пространстве, создает дополнительные моменты для сдвига перигелия Меркурия и других планет.

Солнечный ветер, состоящий из электронов, протонов, ионов водорода и гелия, создает вблизи Меркурия материальную среду, далекую от вакуума. Скорость ветра меняется в пределах от 300 до 750 км/с, а плотность вещества достигает $10^2 \div 10^4$ протонов на см³ (многое зависит от активности светила). Кроме того, имеется *межпланетная среда* – крохотные микрочастицы размерами от 25 до 100 мкм. На Землю ежегодно выпадает примерно миллион тонн подобной пыли. При прохождении Солнца вблизи Крабовидной туманности и других мощных источников

⁸⁵ Ивченков, Геннадий. *Самое важное подтверждение ОТО, или что измерил лорд Эддингтон* (<http://bourabai.kz/articles/ivchenkov.htm>).

⁸⁶ Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и махизм* / Стенограмма доклада на заседании Комм. Акад. – 7/II 1924 г. // Опубликована в сборнике статей «Естествознание и диалектический материализм». – М.: Материалист, 1925, с. 228–258. <http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjazev-8.htm>.

⁸⁷ Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Лаверьё до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.

радиоизлучения можно *просвечивать* структуру сгустков межпланетной среды и изучать плотность солнечного ветра. Открыт солнечный ветер в 1959 году советским КА «Луна-2».

Но уже во времена Зеелигера о распределении вещества вблизи Солнца можно было судить по *зодиакальному свечению*, которое видно даже невооруженным глазом в форме слабой светлой полосы, вытянутой под небольшим углом к эклиптике. Объясняется это свечение рассеиванием частиц солнечного ветра на частицах межпланетной пыли. Замечено также, что чем ближе к Солнцу, тем ярче зодиакальный свет, что свидетельствует о повышенной плотности в том месте. Экваториальная плоскость светила, в которой происходит максимальный выброс вещества, наклонена примерно под углом 7° к плоскости эклиптики. Если бы эти две плоскости совпадали, то аномальный сдвиг перигелия был бы гораздо меньше, поскольку на «неправильность» движения планеты сказывается прежде всего неоднородность распыленной массы.

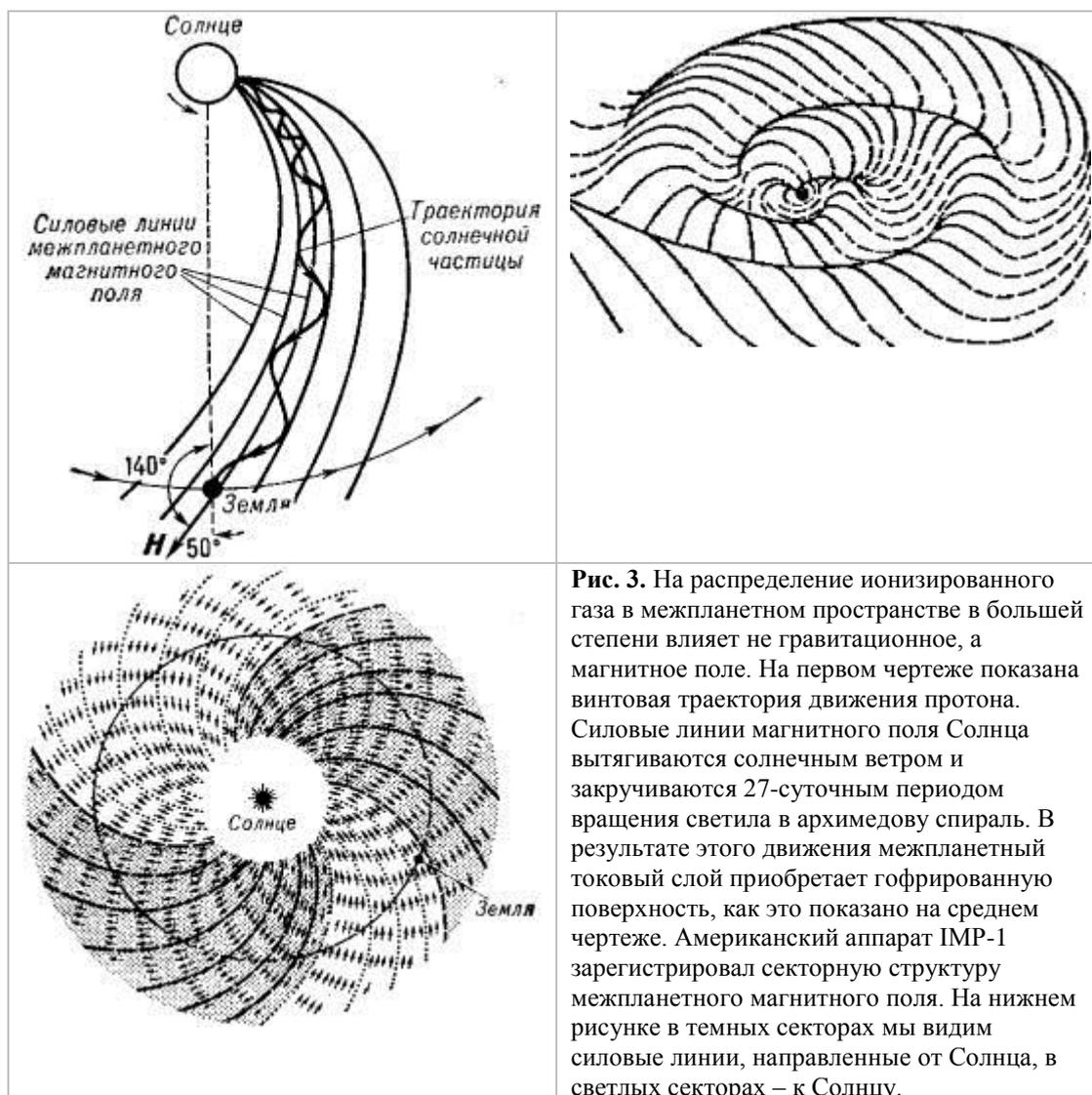


Рис. 3. На распределение ионизированного газа в межпланетном пространстве в большей степени влияет не гравитационное, а магнитное поле. На первом чертеже показана винтовая траектория движения протона. Силовые линии магнитного поля Солнца вытягиваются солнечным ветром и закручиваются 27-суточным периодом вращения светила в архимедову спираль. В результате этого движения межпланетный токовый слой приобретает гофрированную поверхность, как это показано на среднем чертеже. Американский аппарат IMP-1 зарегистрировал секторную структуру межпланетного магнитного поля. На нижнем рисунке в темных секторах мы видим силовые линии, направленные от Солнца, в светлых секторах – к Солнцу.

На рис. 3 показано действие магнитного поля в межпланетном пространстве. На поток плазмы, вырывающейся из недр светила, в первую очередь действует магнитное поле Солнца, которое оказывается как бы замороженным в межпланетное пространство, так как оно сохраняется в токах заряженных частиц. Движение этих частиц в магнитном поле можно представить как суперпозицию двух движений: прямолинейного вдоль магнитных силовых линий и вращательного в плоскости, перпендикулярной этим линиям. В результате их движение получается винтовым. С помощью спутниковой аппаратуры удалось измерить вблизи Земли мощный поток протонов, образующих солнечный ветер; поток оказался равным примерно $10^7 - 10^9$ протонов/см²·с. Из-за вращения Солнца токовые плотности протонов образуют пространственную функцию в виде раскручивающейся спирали гофрированной поверхности. Сечение этой

неровной поверхности плоскостью эклиптики дает секторную структуру межпланетного магнитного поля.

Таким образом, Меркурий, Земля и прочие планеты Солнечной системы вращаются отнюдь не в вакууме, а в очень плотной, существенно неоднородной и динамически развивающейся среде, которая не может не влиять на вековые движения близких к Солнцу планет. Миллиарды тонн вещества распылены в межпланетном пространстве, которые воздействуют на распределение гравитационного потенциала. Следует также иметь в виду, что одна секунда дуги – это угол, под которым видна копейная монетка с расстояния три километра. И когда говорится, что четыре десятка секунд набегает за столетие, то эта весьма скромная аномалия скорее всего вызвана влиянием межпланетного вещества. Релятивисты, игнорирующие данный материальный фактор, допускают серьезный просчет. Их математические вычисления бывают весьма сложными, но они не имеют никакого отношения к действительному положению вещей. Если берется только холодная масса Солнца вместе со своими девятью планетами и помещается в абсолютно пустое пространство, и при этом получается 43 секунды, то немедленно возникает вопрос: что делать с той колоссальной массой вещества, которая регистрируется космическими аппаратами?

Зеелигер не имел информации о динамической плотности солнечного ветра и межпланетной среды, которая постоянно меняется в зависимости от вспышек на Солнце. Поэтому он ввел несколько усредненных эллипсоидов материальной среды, два из которых с полуосями, равными 0,24 и 1,20 а.е., по его мнению, максимально влияли на движение первых четырех планет. Так как полуось орбиты Меркурия равна 0,39 а.е., а Земли – 1,0 а.е., то первый эллипсоид расположился внутри орбиты Меркурия, а второй – за пределами орбиты Земли (он бы вообще не понадобился, если бы не учитывалась аномалия Марса).

Итак, при желании извержениями солнечного вещества можно объяснять и отклонение лучей от звезд вблизи солнечного диска, и аномальное отклонение перигелия Меркурия. Однако сегодня сложилась такая ситуация, когда ни сторонники, ни противники релятивистской догмы не могут пользоваться этими двумя фактами в качестве безупречного доказательства, так как оба лагеря лишены достоверной научной информации. Собственно, споры возникли не сегодня, а в самом начале обсуждения релятивистской теории. Чтобы передать атмосферу дискуссий тех далеких дней, приведем из седьмой главы книги Роузвера характерный фрагмент.

«Однако смещение перигелия представляет собой более сложный эффект, нежели гравитационное красное смещение и отклонение световых лучей. Для начала можно хотя бы указать, что он относится к реальным планетам, которые не являются материальными точками. Если новая теория полностью объясняет смещение перигелия, она должна приводить к таким же результатам в отношении возмущений, как ньютонова небесная механика. Этот аспект был затронут Максом Борном в дискуссии, последовавшей за лекцией, прочитанной Эйнштейном в 1913 г. в Вене [101].

Борн: «Я должен задать вопрос г-ну Эйнштейну: а именно, как быстро распространяется гравитационное действие в вашей теории? Для меня далеко не очевидно, что распространение происходит со скоростью света, связь должна быть очень сложной».

Эйнштейн: «Уравнения для случая, когда возмущения, которым подвергается поле, бесконечно малы, записать нетрудно. Тогда значения g отличаются от невозмущенных лишь на бесконечно малую величину; возмущения распространяются тогда с такой же скоростью, как свет».

Борн: «Но вопрос действительно осложняется при больших возмущениях?»

Эйнштейн: «Да, тогда проблема становится математически сложной. В общем случае трудно найти точные решения уравнений, поскольку они нелинейны».

Макс Лауэ в качестве одной из причин, помешавших принять ему безоговорочно общую теорию относительности, отметил свое убеждение, что расчеты смещения перигелия неприменимы к протяженным телам. Как показал недавно Дафф [94], даже вопрос о том, является ли смещение перигелия в общей теории относительности эффектом первого или же второго порядка, нуждается в обсуждении. Соображения такого рода позволяли предположить, что простые вычисления смещения перигелия могут оказаться несостоятельными, будучи примененными к реальным небесным телам. Возможно, Эйнштейн предусмотрел такую возможность, когда опубликовал подобные расчеты для красного смещения и отклонения световых лучей в гравитационном поле, но не для смещения перигелия. Теперь мы знаем, что в действительности трудностей не возникало, и из метрики можно вывести выражения для всех трех рассмотренных эффектов. Однако при создании новой теории у Эйнштейна, разумеется, было гораздо меньше оснований для такой уверенности» [5,⁸⁸ гл. 7].

⁸⁸ Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Лаверьё до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.

Антирелятивисты данный оптимизм Роузвера по понятным причинам не разделяют. Общей релятивистской теории, собственно, не существует; есть спекулятивные рассуждения и некорректные математические манипуляции вокруг трех астрономических фактов. Брать их сегодня за доказательство истинности ОТО – значит пожертвовать своей научной репутацией в обмен на лояльность к академическим институтам науки, вызывающим у истинного исследователя чувство брезгливости.

Глава VII «Экспериментальные основания общей теории относительности» сборника статей «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» [8]⁸⁹, выпущенного к 100-летию отца-основателя теории относительности, начинается с трех экспериментов, подтверждающих принцип эквивалентности инертной и гравитационной массы (раздел А). Поскольку эта эквивалентность не противоречит классической механике, ее нельзя принимать в качестве аргумента в пользу исключительной истинности ОТО.

В разделе Б главы VII указанного сборника – «Смещение перигелия Меркурия» – упоминаются «Радиолокационные измерения движения перигелия Меркурия» [Shapiro I.I., Pettengill G.H., Ash M.E., Ingalls R.P., Campbell D.B., Dyce R.B., Physical Review Letters, 28, 1594 (1972)]. В аннотации сказано: «Измерения задержки радиолокационных сигналов, посланных от Земли к Меркурию и отраженных обратно, дали правильное значение смещения точки перигелия этой планеты». Установление точного значения смещения перигелия еще не подтверждает справедливость ОТО. Главной проблемой здесь является сама постановка задачи. Основным экспериментом, на котором держится ОТО, был и остается эксперимент, проведенный под руководством Эддингтона в 1919 году (о нём подробно рассказывалось в предыдущем разделе, в V и VI его частях).

1. Рябов Ю.А. *Движение небесных тел*. – М., Наука, 1988.
2. Белецкий В.В. *Движение спутника относительно центра масс в гравитационном поле*. – М.: МГУ, 1975.
3. Белецкий В.В., Хентов А.А. *Резонансные вращения небесных тел*. – Нижний Новгород, 1995.
4. Брумберг В.А. *Релятивистская небесная механика*. – М.: Наука, 1972.
5. Роузвер Н.Т. *Перигелий Меркурия: от Леверье до Эйнштейна*. – М.: Мир, 1985.
6. Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и диалектический материализм* / «Под Знаменем Марксизма» 1924 г., № 8–9, с. 142 – 157; № 10–11, с. 93–114. <http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjazev-7.htm>.
7. Тимирязев А.К. *Введение в теоретическую физику*. – М.–Л.: ГТТИ, 1933.
8. *Альберт Эйнштейн и теория гравитации* / Сборник статей. – М.: Мир, 1979.
9. Тимирязев А.К. *Теория относительности Эйнштейна и махизм* / Стенограмма доклада на заседании Комм. Акад. – 7/II 1924 г. // Опубликована в сборнике статей «Естествознание и диалектический материализм». – М.: Материалист, 1925, с. 228–258. <http://sceptic-ratio.narod.ru/po/timirjazev-8.htm>.
10. Бронштэн В.А. *Как движется Луна?* – М.: Наука, 1990.
11. Гербер, Пауль. *Пространственное и временное распространение гравитации* (перевод на русский Йохана Керна (Johann Kern), 2004 (<http://bourabai.kz/articles/gerber/gerber-rus.htm>)).
12. Ивченков, Геннадий. *Самое важное подтверждение ОТО, или что измерил лорд Эддингтон* (<http://bourabai.kz/articles/ivchenkov.htm>).
13. Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах*. / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.

⁸⁹ Альберт Эйнштейн и теория гравитации / Сборник статей. – М.: Мир, 1979.

14. Как создавалась общая теория относительности

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es14.htm>

– I –

В разделе [Как создавалась специальная теория относительности](#) высказывалась уверенность в том, что ее автор на самом деле имел к ней косвенное отношение. Физико-математические основы ее заложены предшественниками – Лармор, Лоренц и Пуанкаре (см. [Электрон...](#), «Спекулятивная геометрия» {[OAKL-2](#)}, «ТО Пуанкаре» {[OAKL-5](#)}), философское обоснование обеспечили Авенариус, Мах, Оствальд и плеяда утопистов-позитивистов, опьяненная романтикой Французской революции (см. «Романтика, идеология и религия» {[OAKL-5](#)} и другие разделы работы «Истоки релятивизма»).



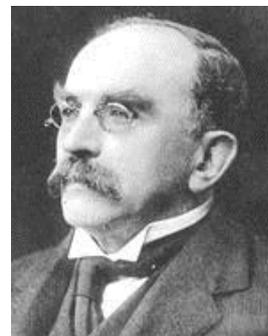
Хендрик Лоренц

Кто-то спросит: причем тут революция, когда она была? Ответ такой: этот исторический катаклизм подарил миру *свободу*, исчезнувшую много веков назад вместе с античными полисами Греции. Средневековое общество – это гомогенная масса, сплоченная церковным духом коллективизма. Большой любви в нем нет, но и большая ненависть особо не проявляла себя там. Французская Республика занесла вирус индивидуализма, когда каждый начинает воевать против всех, находясь в постоянном поиске единомышленников. Отыскав близких себе по духу людей, авторитарный лидер формирует секту («политбюро»), стремящуюся свою идеологию распространить на максимально широкую область. Так вскоре после больших и малых общественных переворотов, инициированных Французской революцией, в мире возникают тоталитарные кластеры, возвеличивающие своих «отцов нации» и уничтожающих в массовом порядке «врагов народа». В этой связи можно назвать диктаторов-богов Робеспьера, Наполеона, Ленина и Сталина.

Наряду с этим появляются «острова свободы» не по названию, как Куба, а по сути, в которых отлажены механизмы сдержек и противовесов для непрерывного воспроизводства индивидуальной свободы. Эти демократические режимы сравнительно быстро потеряли свое влияние в раздираемой противоречиями Европе, разделенной множеством границ. Две тоталитарных империи – Нацистская Германия и Советский Союз, сформировавшиеся на двух самых мощных романтических предрассудках, – практически безраздельно стали властвовать в Старом Свете. К счастью, Французская революция породила и Новый Свет с хорошо отлаженной демократией. Соединенные Штаты изначально обладали большой и богатой природными ресурсами территорией, инициативным населением, сбежавшим из Старого Света, и отделенным от него широким и глубоким океаном. Какое благотворное влияние оказала Французская революция на экономическое процветание Америки, рассказал нам [Алексис де Токвиль \(1\)](#), и сейчас мы не станем развивать его идеи.

Основная мысль, которую хотелось бы донести до читателя, состоит в том, что научные, религиозные и политические системы в общих чертах повторяют образ действия биологической системы или наоборот. Вспомним, учение Дарвина о происхождении биологических видов в результате борьбы за существование на территории с ограниченными ресурсами, создавалось по аналогии политико-экономического учения Мальтуса. Один из законов естественного отбора гласит: наиболее ожесточенная борьба возникает между близкими видами, недавно отделившимися друг от друга. В результате этой борьбы выживает тот вид, который максимально приспособлен к данному жизненному пространству.

Как трактовать этот закон, если иметь в виду науку?



Джозеф Лармор



Анри Пуанкаре



Вильгельм Оствальд



Рихард Авенариус



Эрнест Мах

Представьте себе совокупность атомарных теорий, созданных отдельными исследователями настолько различными по своим индивидуальным устремлениям, что их теории не конкурируют друг с другом, поскольку они далеки друг от друга. Но вот возникает общая проблема, разрешить которую берутся сразу несколько теоретиков. Таким образом возникает ряд пересекающихся теорий, которые начинают ожесточенную борьбу за выживание. Какая из них победит? Да та, что найдет максимальную поддержку населения. Народное сознание питается романтическими иллюзиями. Оно охотно пойдет за обаятельным авантюристом, способным на коварную ложь и предательство интересов, которые когда-то привели в движение тысячи умов. Ловкий мошенник, мало интересующийся наукой, собирает вокруг себя узкий круг преданных ему дилетантов, раздает им высочайшие должности во вновь организованных институтах управления и контроля, пресекающих на корню всякое инакомыслие.

Так возникла не только религиозная секта под знаменем Иисуса Христа или коммунистическая секта под знаменем Карла Маркса, точно такой же путь проделала секта психоаналитиков под знаменем Зигмунда Фрейда и секта релятивистов под знаменем Альберта Эйнштейна. История прихода всех этих идейных группировок, сначала очень малочисленных, обросла множеством мифов и легенд о невероятных гонениях на отцов-основателей новых религий, об их выдающихся интеллектуальных и моральных качествах. В действительности это были недалекие, жуликоватые симпатяги, безумно нравящиеся женщинам, прожившие хаотичную, бестолковую жизнь. Учения их представляют собой противоречивые, незавершенные системы знаний тезисного характера, которые дополнялись и развивались многочисленными апостолами. После смерти отца-основателя того или иного учения толпы апологетов начинала культивировать его бессмертный дух и гениальное учение, прокладывая тем самым для себе карьеру в обществе.

Альберт Абрахам
Майкельсон

В какой форме происходит возвеличивание родоначальника?

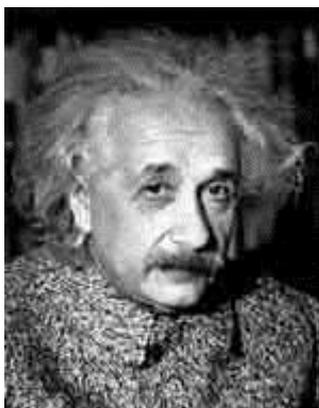
Способами, которыми пользовались все народы и во все времена, независимо от того, кого хотели возвысить до небес. Например, проводятся литургические празднования по случаю персонального рождения Учителя и рождения его одухотворенного учения, утверждаются награды и премии, которые раздаются наиболее усердным служителям культа от имени Вождя, его же имя присваивается целым коллективам последователей или эффективным учреждениям, насаждающим в обществе соответствующую идеологию. В общем, начинают действовать все те церковные механизмы, о которых рассказывалось в уже упоминавшемся разделе [Романтика, идеология и религия](#), а также в разделах: [Феномен Эйнштейна. Предисловие](#), [Эйнштейн и Ленин – два божества XX столетия](#), [Культ ученого вредит науке](#), [Эффект Дьявола](#), [Романтики-релятивисты...](#), [Мифы XX века](#), [Наука как форма социальной игры](#), [Прямой обман населения](#), [Беседа с госпожой А.](#), [И это безобразие называют наукой?](#) и т.д. Данная тема является одной из приоритетных для сайта *Sceptic-Ratio* (см. [Задачи сайта](#)).

Итак, мы коротко рассказали, как создается диктатура духа, которая имеет колоссальную власть над умами – будь то социально-экономическая политика, религиозная сфера, изобразительное творчество, литературная деятельность и, конечно же, наука в целом и по отдельным ее отраслям: физика, еще уже, атомная физика и т.д. Чем выше возносится божество-диктатор, тем больше оно должно вызывать подозрение у свободных, критически мыслящих людей. Человека,

которого раздражают подобные разоблачительные речи, нужно избегать; творцы по-настоящему нового знания не создают себе кумиров и не поклоняются диктаторам.



Зигмунд Фрейд



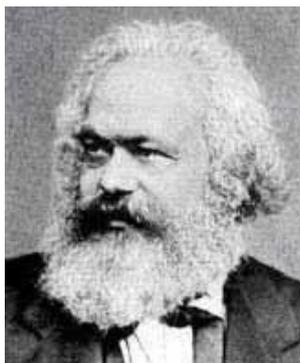
Альберт Эйнштейн



Владимир Ильич Ленин

Теперь обратим свои взоры конкретно на релятивистское вероучение.

Сразу скажем: оно было и остается по сию пору доминирующей в физике догмой, ограничивающей индивидуальную свободу творчества исследователя. Его можно и нужно изучать не как основу физической науки – так было до недавнего времени – а как образец самой коварной формы извращения научных знаний, которую истинный ученый должен всячески избегать. Запомните, молодежь, проводники релятивизма – журналы, книги, сайты, исследовательские и образовательные учреждения – ваши злейшие враги, враги науки и просвещения. Если ваш школьный учитель физики или профессор университета преподает вам теорию относительности, устройте ему обструкцию, требуйте от начальства вашего образовательного учреждения его увольнения. Доказательства профессиональной некомпетентности этих преподавателей вы легко найдете на страницах *Sceptic-Ratio*. Не пытайтесь переубедить закоренелого релятивиста, спорить или даже просто беседовать с ним. Он – зачумленный, погибший для науки человек, вы его уже не спасете. Время, проведенное с ним, – потерянное для вас время, поэтому бегите от него как можно быстрее и дальше. Более того, релятивист – это, чаще всего, лгун и карьерист, способный совершить самый низменный поступок в отношении вас. Об этом хорошо известно старикам, немало пострадавшим от их лицемерия, подлости и жестокости.



Карл Маркс



Иисус Христос

Эйнштейновское божество породило густую сеть церковных учреждений, производящих аттестацию научных кадров, награждающих особо отличившихся, занимающихся издательской деятельностью и, естественно, задающих вектор теоретического поиска. Эти институты, как говорил Кун, формируют «парадигму нормальной науки». Всякая «ненормальность» наказывается отлучением от церкви, что равносильно смерти для творческого человека. Анафема делает человека не просто изгоем общества, а сумасшедшим, т.е. ненормальным в полном смысле этого слова. Хотя в действительности ненормальными учеными являются иерархи модернистского «Храма Науки», не допускающие критику в свой адрес, зажимающие свободу творчества. При либерально-демократическом устройстве научного сообщества нестандартно мыслящие ученые, создающие новые модели реальности, пользуются максимальным уважением и почетом. С

появлением Интернета, работающего в обход организаций, ограничивающих творческую свободу, ситуация быстро меняется. Это непременно благотворно скажется на развитии конструктивной науки и ускорит уход с авансены спекулятивно-фантастических форм.



Иисус Христос – нет другого Бога, кроме Него!
Отче наш, сущий на небесах! Да святится имя Твое;
Да приидет Царствие Твое;
Да будет воля Твоя и на земле, как на небе;
Хлеб наш насущный дай нам на сей день;
И прости нам долги наши, как и мы прощаем должникам нашим;
И не введи нас в искушение, но избавь нас от лукавого.
Ибо Твое есть Царство и сила и слава во веки.
Аминь. (Мф 6:9)

Как происходило окостенение современной физики?

Эксперимент Майкельсона–Морли, многократно поставленный, начиная с 1881 года, не обнаружил «эфирного ветра», который, как предполагалось, должен был возникнуть во время движения Земли по орбите вокруг Солнца. Такое могло произойти только тогда, когда эфир и Земля состоят из различных субстратов. Например, летящий по воздуху кожаный мяч будет обдуваться ветром. При этом движущееся инородное тело (в частности, мяч) испытывает сопротивление со стороны неподвижного воздуха. Но вихри, перемещающиеся в неподвижной воздушной среде, как и звуковые колебания, уже не испытают сопротивления, так как здесь не происходит переноса воздушной массы на большие расстояния; мы имеем дело лишь с локальными возбуждениями.



Иисус Христос (слева) Александр Македонский (справа) – две скульптуры эпохи конца Римской империи и начала распространения христианства. Верующие римляне лепили образ Иисуса Христа в виде прекрасного юноши-воина, напоминающего образ Александра Македонского.

Когда в эксперименте не обнаружился эфирный ветер, надо было сделать единственно правильный вывод: планета Земля, горы и дома на ней, сам интерферометр вместе с его изобретателем, Майкельсоном, представляют собой сложное возбуждение эфирной среды. При анализе эксперимента был допущен ряд ошибок, которые, однако, нас сейчас интересовать не будут. Главная проблема заключена именно в способности пространственного моделирования. Вообразите себе атом, летящий где-нибудь в межзвездном пространстве. Он перемещается от точки к точке по инерции на бесконечно большие расстояния, поскольку атомный осциллятор последовательно возбуждает эфир, не испытывая с его стороны сопротивления. Ровно таким же способом перемещаются любые тела, состоящие из атомов. В своем инерциальном движении атомная структура физических тел исчезает в предыдущей точке и возникает в последующей подобно тому, как исчезают и возникают гребни волн на поверхности воды.

Представили это себе? Если «да» – хорошо, поскольку огромная масса людей из-за особенностей строения своей психики не в состоянии представить подобную картину. Даже если они и в состоянии усвоить характер перемещения тел, то эпистемологически (методологически, мировоззренчески, философски – назовите, как хотите, эту априорную установку) они не желают связывать себя с какими-либо пространственными образами. Данные люди (мы называем их *формалистами-феноменалистами*) подходят к этой ситуации *понятийно*, формулируя следующий тезис (принцип, постулат, аксиому): относительность движения распространяется не только на механику Ньютона, но и на электродинамику Максвелла.

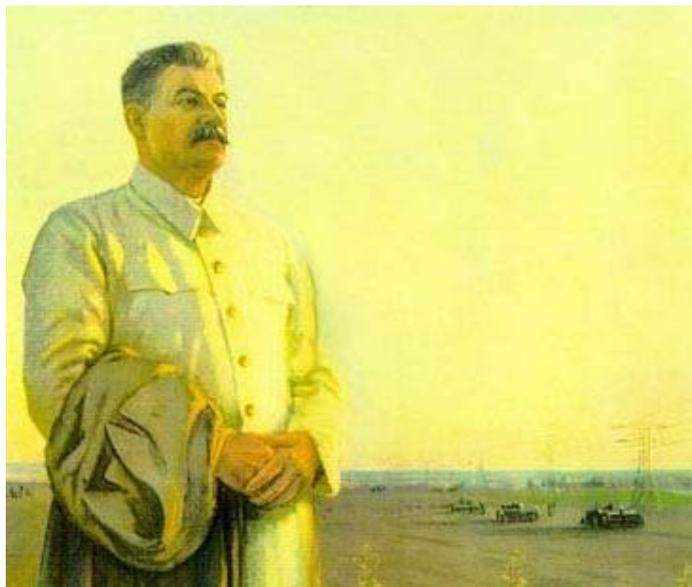


Свобода рождает диктатуру

Такой формальный подход имеет большое преимущество: он не требует от физика затрачивать усилия по моделированию сложных механических явлений, происходящих на уровне эфира или даже на уровне прибора: все операции проводятся над математическими выражениями. Логика их рассуждений предельно проста: законы механики Ньютона неизменны относительно преобразований Галилея – значит, надо найти преобразования, которые бы оставляли неизменными основные законы электродинамики, т.е. уравнения Максвелла. Эти преобразования были найдены тремя физиками – англичанином Лармором, голландцем Лоренцем и французом Пуанкаре. Каждый из них шёл к ним своим путем, но решали они общую задачу. Наиболее легко, почти что играючи, справился с ней англичанин; наиболее тяжело преобразования дались голландцу; из уважения к стараниям последнего француз назвал их *Лоренцевыми*. В них – суть СТО.



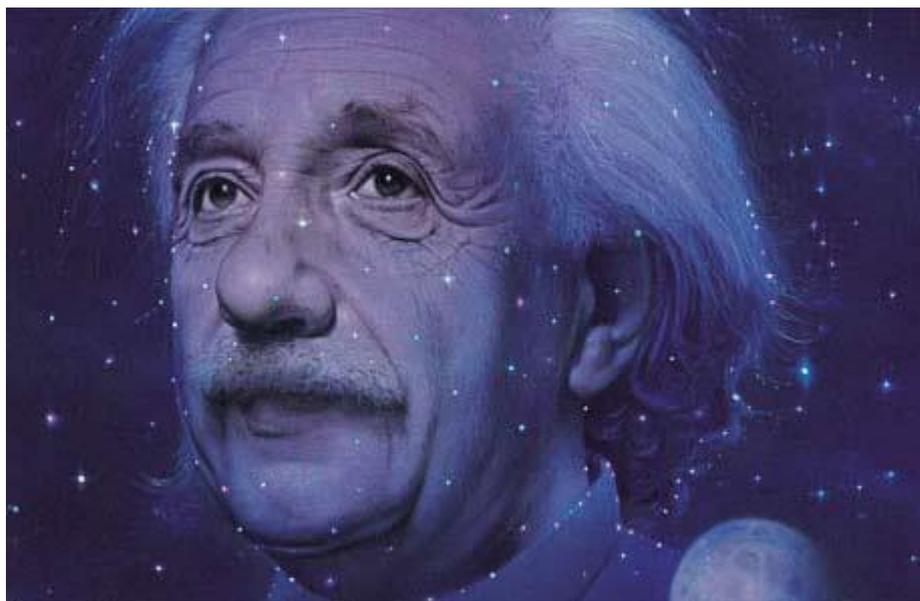
Максимилиан Робеспьер



Иосиф Сталин

Здесь названы три имени, хотя на протяжении формирования релятивистского учения в «межвидовую борьбу за выживание», о которой шла речь выше, были подключены сотни и тысячи исследователей. Когда к этой тематике подключился никому неизвестный клерк из патентной конторы, преобразования были уже найдены. Шла оживленная дискуссия вокруг их толкования, а также делалась попытка увязать их с общим контекстом релятивистской философии Маха, Авенариуса, Оствальда. Важную роль в этом деле сыграла интерпретация времени как четвертой координаты мирового пространства. Теперь каждая система отсчета имела не одно общее для всех время, а столько, сколько систем (Лоренц пользовался термином «местное время»). С этим толкованием, естественно, явилась мысль о нарушении одновременности. Лоренц и, особенно, Пуанкаре попытались воссоздать нарушение одновременности искусственным способом, с помощью процедуры, в которой отрезки длины и периоды времени измерялись световым лучом. Однако общей картины не сложилось: между математическими преобразованиями Лоренца и инструментальным нарушением одновременности пролегла глубокая пропасть.

Все эти наброски были так или иначе известны Эйнштейну. В своей первой работе по теории относительности он попытался соединить две указанных несовместимых вещи. «Электродинамическая часть» начинается с шестого параграфа, в котором доказывается, что преобразования Лоренца, полученные якобы в третьем параграфе «Кинематической части», действительно оставляют уравнения Максвелла в неизменном виде. Самые большие претензии нужно предъявить, разумеется, к первым трем параграфам, которые никак не выходят на преобразования Лоренца. Да, одновременность нарушается и появляется относительность в измерении отрезков длины и времени, когда пользуешься лучом света. Однако в результате этой инструментальной процедуры нельзя получить характерный для релятивистской теории квадратный корень. «Эталонные» длины и времени не будут меняться так, как это получается из преобразований Лоренца.



Альберт Эйнштейн – божество XX века,
олицетворение добропорядочности и мудрости в науке.

Все эти несуразности сравнительно легко поддаются анализу – не такая уж там сложная математика, хотя определенные усилия приложить придется, так как автор не просто где-то случайно ошибся, а злонамеренно запутывал и сбивал с толку читателя. После тщательной проверки его схоластических рассуждений мы с уверенностью можем сказать: Эйнштейн заранее знал преобразования Лоренца, которые не сумел честно вывести в «Кинематической части», но использовал в «Электродинамической» как добытую из кинематической схемы истину. Основатели догм так часто поступают, т.е. прибегают к обману и скрывают информацию об источниках своих идей. Фрейд, например, постоянно называл своим учителем Йозефа Брейера, которого он ненавидел и с физиологическим учением которого беспощадно боролся. Вот и Эйнштейн много прочувствованных слов сказал в адрес Лоренца, хотя в основе его первой статьи положены идеи в основном Пуанкаре, о котором он помалкивал.

Пусть бы статья «К электродинамике движущихся тел» была единственной, где отец-основатель обманул своих коллег и широкую общественность. Но изучая жизнь и труды Эйнштейна, мы понимаем, что имеем дело с мошенником высочайшей квалификации, плодами которого до сих пор кормится огромная масса авантюристов и карьеристов, обитающих на территории физики. В двух разделах – «Отклонение лучей света вблизи массивных тел» и «Аномальное движение перигелия Меркурия»⁹⁰ – было показано, как можно ловко подтасовать факты и на их основе манипулировать сознанием больших групп населения, включающих высокопоставленных и уважаемых персон. Снова и снова мы видели, как формулы, которые Эйнштейн выдавал за свои, были получены другими учеными. В предыдущих разделах уже рассказывалось, как создавалась общая теория относительности. Но в них ничего не говорится о недавно раскрытом аморальном проступке, относительно математика Гильберта. Далее мы восполним этот пробел.

– II –

У честных историков науки практически нет сомнений в том, что в деле создания ОТО, особенно, если говорить о получении уравнений гравитационного поля, решающую роль сыграл Давид Гильберт. Это становится понятно, когда изучаешь события, произошедшие накануне опубликования статьи с правильными уравнениями гравитационного поля. Фридрих Винтерберг напоминает последовательность этих значимых для истории физики вех:

4 ноября 1915 года, Эйнштейн представляет ошибочные уравнения Прусской Академии.

11 ноября 1915 года, Эйнштейн вновь представляет ошибочные уравнения Прусской Академии.

⁹⁰ Выше главы 12 и 13.

18 Ноября 1915 года, Эйнштейн признается, что предварительно получил копию статьи Гильберта, которая будет представлена в Геттингенскую Академию 20 ноября 1915 года. Одновременно Эйнштейн сообщает Гильберту, будто он в последние недели вывел точно такие же уравнения, как у него, и это при том, что ровно неделю назад, 11 ноября 1915 года, он всё ещё имел ошибочные уравнения.

20 ноября 1915 года, Гильберт представляет свои уравнения в Геттингенскую Академию, но позже кто-то отрезает решающие части гильбертовской страницы.

25 ноября 1915 года, Эйнштейн представляет правильные уравнения Прусской Академии [4,⁹¹ с. 717].

Винтерберг проанализировал переписку Эйнштейна с Гильбертом, изложенную в шестом томе CPAE [5]⁹², а главное, он тщательно изучил первоначальный оттиск доклада Гильберта от 20 ноября, который отличался от его последующей публикации в марте 1916 года [6]⁹³. Помимо изменений текста доклада, внесенных лично Гильбертом, оттиск несет на себе следы преднамеренной порчи текста, которая была предпринята злоумышленником с целью дезориентации историков науки.

В своей статье Винтерберг привел фотокопии двух страниц – поврежденной страницы 8, где было отрезано решающее уравнение 17, описывающее гравитационное поле, и неповрежденной страницы 11 с правильным уравнением 26, которое доказывает, что на отсутствующем куске страницы 8 уравнение 17 было записано верно [4,⁹⁴ с. 716, Fig 1]. При этом Винтерберг отмечает:



Фридварт Винтерберг

Осматривая оборотную сторону страницы 8, которой является страница 7, можно заметить, что срез не является прямым, а немного скошенным, перечеркивающим предложение на 7-й странице. Это наводит на мысль, что данный срез был сделан не аккуратно ножницами, а небрежно лезвием бритвы или перочинным ножом, которым воспользовались в особом собрании читального зала Геттингенской библиотеки с целью удалить доказательство того, что Гильберт имел правильную заключительную формулу полевого уравнения раньше Эйнштейна. Приоритет Гильберта поддерживается многими физиками, включая знаменитого физика Стивена Хокинга [8]⁹⁵. Как заметил Х.А. Бьёркнес [9]⁹⁶, данный характер среза указывает на то, что злоумышленник отрезал страницу 8, а не 7, поддерживая, таким образом, версию, что именно Гильберт списал у Эйнштейна, а не наоборот [4,⁹⁷ с. 718–719].

Бьёркнес [10]⁹⁸ и Винтерберг [4] восстанавливают истинный ход мыслей Гильберта, выписывая соответствующие математические выкладки, чего мы сейчас делать не будем (об этом ниже). Вместо этого приведем выводы, размещенные в конце статьи Винтерберга, который считает, что ОТО является плодом усилий трех человек:

Эйнштейна, который по аналогии с гауссовской теорией искривленных поверхностей, предположил, что гравитационное поле нужно выразить десятью компонентами метрического тензора искривленного четырехмерного пространства-времени Минковского.

Гроссмана, который идентифицировал тензор Риманна как ключ для решения проблемы, предложенной Эйнштейном.

⁹¹ Winterberg F. *On "Belated Decision in the Hilbert-Einstein Priority Dispute"*, published by L. Corry, J. Renn, and J. Stachel. 2004 / Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen; <http://znaturforsch.com>.

⁹² CPAE: The collected papers of Albert Einstein, Vol. 6, Princeton University Press 1996.

⁹³ Hilbert D., Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten, Math.-phys. Klasse. 1915, Heft 3. Русс. перевод: Гильберт Д. *Основания физики* (первое сообщение) / Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М., 1979.

⁹⁴ Winterberg F. *On "Belated Decision in the Hilbert-Einstein Priority Dispute"*, published by L. Corry, J. Renn, and J. Stachel. 2004 / Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen; <http://znaturforsch.com>.

⁹⁵ Steven Hawking in his Time Magazine article, *Einstein Man of the Century*, Time Magazine, Dec. 31, 1999, p. 57.

⁹⁶ Bjercknes, Christopher Jon. Private Communication.

⁹⁷ Winterberg F. *On "Belated Decision in the Hilbert-Einstein Priority Dispute"*, published by L. Corry, J. Renn, and J. Stachel. 2004 / Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen; <http://znaturforsch.com>.

⁹⁸ Bjercknes, Christopher Jon. *Anticipations of Einstein in the General Theory of Relativity*. / XTX Inc. Downers Grove, Illinois USA, 2003.

Гильберта, закончившего строительство математического здания теории вместе с вариационным принципом для искривленной метрики четырехмерного пространства-времени. [4, с. 719].

Винтерберг опубликовал статью [4] в ответ на статью [15]⁹⁹, написанную группой лиц, попытавшихся скомпрометировать Гильберта и выгородить Эйнштейна. Возглавил группу Джон Стейчел – главный хранитель эйнштейновских тайн. Кроме него, в группу вошли Лео Корри из Института истории и философии науки Кона при Телль-Авивском университете, который и обнаружил в 1997 году в хранилищах Геттингенской библиотеки отпечаток доклада Гильберта от 20 ноября 1915 года, а также Юрген Ренн, изучающий творчество Гильберта совместно с Корри и Зауэром [15] – [23]. В их первой совместной статье [15], вышедшей в год обнаружения находки, ничего не говорится об уничтожении части восьмой страницы. Но в следующей статье Джона Стейчела «Новый взгляд на проблему приоритета Эйнштейна–Гильберта» [24]¹⁰⁰, вышедшей через год, уже есть упоминание об этом: «к сожалению, несколько строк из доказательства, где определен лагранжиан, отсутствуют» [24, с. 97].



Давид Гильберт



Джон Стейчел

Факт получения Гильбертом правильных уравнений гравитационного поля представляется неоспоримым. Однако *факт приоритета* нужно отличать от позорного *факта плагиата*. Если доказать, что плагиата не было, то можно будет говорить об *одномоментном* рождении заветных уравнений в головах двух ученых, работавших независимо друг от друга. Стейчел и его компания взяли на себя труд защитить эту позицию как свою задачу-минимум. В качестве задачи-максимума они решили бросить тень на Гильберта. Но люди, хорошо знакомые с невысокими моральными качествами Эйнштейна, не верят ни в счастливое совпадение, ни тем более в его честность.

В самом деле, длительное время считалось, что Гильберт и Эйнштейн пришли к уравнениям гравитационного поля абсолютно независимо. Это мнение высказал Вольфганг Паули еще в начале 1920-х годов в примечании к «Историческому введению» по ОТО. В нём он писал:



Вольфганг Паули

«Одновременно с Эйнштейном и независимо от него общековариантные уравнения поля были установлены Гильбертом... Изложение Гильберта было, однако, мало созвучно физикам, так как Гильберт, во-первых, аксиоматически вводил вариационный принцип и, во-вторых, что важнее, его уравнения были выведены не для произвольной материальной системы, а специально исходя из теории материи Ми» [14,¹⁰¹ с. 211].

Данный исторический вопрос исследовал В.П. Визгин. В 1981 году он писал:

«Аналогичной [Паули] точки зрения придерживались и такие авторитеты, тесно связанные с геттингенским сообществом и сами в эти годы занимавшиеся проблемами ОТО, как Ф. Клейн и Г. Вейль. Ф. Клейн писал в 1920 г.: "О каком-либо приоритете не может быть и речи, так как оба автора (Эйнштейн и Гильберт – В.В.) следовали совершенно различному ходу мысли (и притом так, что совместимость их результатов первоначально не казалась обеспеченной). Эйнштейн поступает индуктивным образом и имеет в виду произвольные материальные системы. Гильберт дедуцирует, вводя упомянутое (связанное с теорией Ми – В.В.)... ограничение электродинамикой, из высшего вариационного принципа" [13,¹⁰² с. 307].

⁹⁹ Corry L., Renn J., Stachel J. *Belated decision in Hilbert – Einstein priority dispute.* / Science 278 1270 (1997).

¹⁰⁰ Stachel, J. *New light on the Einstein–Hilbert priority question.* / J. Astrophys. Astr. (1999) 20, 91–101.

¹⁰¹ Паули В. *Теория относительности.* – М., Л.: ОГИЗ – Гостехиздат, 1947.

¹⁰² Визгин В.П. *Релятивистская теория тяготения (источники и формирование. 1900–1915 гг.).* – М., 1981.



Владимир Павлович Визгин
док. физ.-мат. наук, зав. сектором
истории физики и механики Института
истории естествознания и техники им.
С.И. Вавилова

Г. Вейль, правда, спустя почти 30 лет после описываемых событий, вспоминал: "В своих исследованиях Гильберт объединил теорию гравитации Эйнштейна с программой Ми чисто полевой физики. Эйнштейновский более умеренный подход, который не связывал теорию с весьма спекулятивной программой Ми, оказался на этой стадии развития общей теории относительности более плодотворным. Попытки Гильберта в этом направлении следует рассматривать как некоторое предвосхищение единой полевой теории гравитации и электромагнетизма..." [13, с. 307–308].

Наконец, процитируем фрагмент из книги Констанса Рида¹⁰³ «Гильберт», изданной на английском языке в 1970 году:

В Гёттингете тем немногим студентам, которые посещали еженедельный семинар Гильберта–Дебая, казалось, что под их пальцами бился «живой пульс» физической науки. С большим интересом следили за работой Эйнштейна, который продвигался к своей общей теории относительности. Не упустили из внимания и работы других, пытавшихся достичь той же цели. Гильберт был особенно восхищен идеями Густава Ми из Грейфсвальда, который пытался создать теорию материи на основах принципа относительности. В своих собственных исследованиях ему удалось соединить программу Ми в чистой

теории поля с эйнштейновской теорией тяготения. Одновременно с тем, как Эйнштейн пытался довольно окольным путем найти зависимость между 10 коэффициентами своей дифференциальной формы, определяющей тяготение, Гильберт независимо решил эту проблему с помощью другого, более прямого метода.

Оба ученых пришли к цели почти одновременно. В то время, когда западный фронт окопался на зиму, Эйнштейн представил в Берлинскую Академию свои две работы «Об общей теории относительности» от 11 и 25 ноября. Гильберт же представил Королевскому научному обществу в Гёттингене свою первую заметку «Основания физики» от 20 ноября 1915 года.

Это было замечательное совпадение, напоминавшее работу Минковского по специальной теории относительности и электродинамике в их совместном семинаре 1905 года. По мнению Борна, еще более замечательным было то, что оно привело не к полемике о приоритете, а к серии дружеских встреч и писем.

Гильберт охотно признавал и часто об этом говорил на лекциях, что великая идея принадлежит Эйнштейну. «Любой мальчик на улицах Гёттингена понимает в четырехмерной геометрии больше, чем Эйнштейн, – однажды заметил он. – И тем не менее именно Эйнштейн, а не математики, сделал эту работу».

Как-то в другой раз на своей публичной лекции он задал вопрос: «Знаете ли вы, почему Эйнштейн высказал самые оригинальные и глубокие в наше время вещи о пространстве и времени? Потому что он ничего не знал о философии и математике времени и пространства!»

Каждый человек, однако, принадлежит своей собственной науке. Сначала Эйнштейн верил, что для формулировок фундаментальных законов физики сойдут самые примитивные математические средства. Должно было пройти много времени, прежде чем он понял, что в действительности всё было наоборот. Затем оказалось, что именно Минковский, лекции которого он считал неинтересными, создал математическое понятие пространства-времени, давшее возможность ему самому сформулировать общую теорию относительности.

«Гёттингенская публика, – однажды с недовольством заметил Эйнштейн, – иногда поражает меня тем, что она не столько хочет кому-нибудь помочь что-то ясно сформулировать, сколько стремится показать нам, физикам, насколько они умнее нас».

Для Гильберта красота теории Эйнштейна состояла в ее большой геометрической абстракции; когда в 1915 году пришло время для присуждения третьей премии Бояи, он рекомендовал присудить

¹⁰³ В.Э. 2012-12-20: Насколько я помню эту книгу, Констанс Рид – женщина. (Сейчас посмотрел в Интернете: в русской Википедии ее нет, но в английской есть; жила 1918.01.03 – 2010.10.14, родилась в Сент-Луисе, Миссури; Рид – это фамилия мужа, урожденная Боумен).

ее Эйнштейну «за высокий математический дух, стоящий за всеми его достижениями» [25,¹⁰⁴ с. 185–186].



Альберт Эйнштейн

Эти отрывки служат прекрасной иллюстрацией известной сентенции «чужая душа – потемки» или примером того, насколько глубоко могут ошибаться уважаемые специалисты в отношении близкого им коллеги. Очевидно, что Рид, Вейль, Клейн и Паули не разговаривали с Гильбертом на эту тему и не предполагали об интенсивной переписке между ним и Эйнштейном, в противном случае они никогда бы не сказали о случайном совпадении открытия полевых уравнений.

Но вот неожиданно для всех в 1978 году были обнаружены письма, которыми обменивались два ученых. Из них было видно, что Гильберт и Эйнштейн восхищались друг другом до декабря месяца 1915 года; в ноябре Эйнштейн совершил какой-то некрасивый поступок, который Гильберт ему не простил. 20 декабря Эйнштейн написал Гильберту заискивающее письмо следующего содержания:

«У нас произошла размолвка, причины которой я не хочу анализировать. Сейчас мне удалось полностью отделаться от горького чувства, которое она во мне вызвала. Я вновь думаю о Вас ни с чем не замутненным дружеским чувством и прошу Вас поступить так же. Просто стыдно подумать, что двое приличных людей, сумевших отчасти отрешиться от мелких страстей человечества, не могут наслаждаться общением друг с другом» [11,¹⁰⁵ с. 253].



Давид Гильберт в молодости



Давид Гильберт в старости

Здесь процитировано крайне любопытное место, ведущее, по-видимому, к разгадке плагиата. В 1979 году Абрахам Пайс попытался выяснить, что же в действительности произошло между Эйнштейном и Гильбертом у Эрнста Габора Страуса, помощника, работавшего у Эйнштейна с 1944 по 1948 год, но Страус дал ложный ответ. Он написал Пайсу: «*Эйнштейн считал, что Гильберт позаимствовал, хотя, возможно, и непреднамеренно, некоторые из идей (в основном неверных!), высказанных им во время выступления на коллоквиуме в Геттингене*». По словам Эйнштейна, Гильберт даже извинялся за этот нечаянный плагиат. Пайс в примечании уточняет, что под коллоквиумом понимается шесть двухчасовых лекций Эйнштейна по теории относительности и гравитации, которые были прочитаны им в Геттингенском математическом обществе с 29 июня по 7 июля. Между тем пик дружеской переписки приходится на ноябрь

¹⁰⁴ Reid, Constance. *Hilbert* / Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1970. [Русск. пер.: Рид, Констанс. *Гильберт*. – М., 1977].

¹⁰⁵ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

месяц; тогда же Эйнштейн послал Гильберту свои ошибочные работы, а тот в ответ прислал ему правильное решение. С чего бы это Эйнштейн вдруг вспомнил о летних размолвках накануне Рождества? Понятно, что речь идет о ноябре или о начале декабря, когда Гильберт узнал о плагиате Эйнштейна.

Следует особо отметить, что Эйнштейн во всех своих работах по ОТО о Гильберте не сказал ни единого слова, в то время как щепетильный Гильберт в своих «Основаниях физики» указал две основополагающие работы Эйнштейна 1914 и 1915 года (в приведенном ниже тексте они значатся под номерами [1, 2], что соответствует нашему библиографическому списку [7, с. 326, 425, 435, 439, 448]). Причем сделал это в самой благожелательной манере. Его «первое сообщение» от 20 ноября 1915 года начинается с уважительных слов:

«Решительный подход Эйнштейна [1, 2] к постановке проблем, а также остроумные методы, предлагаемые им для их решения, его глубокие идеи и новые вводимые им понятия, на основе которых Ми [3] строит свою электродинамику, открывают новые пути исследования оснований физики.

Ниже я хочу, следуя аксиоматическому методу, установить в сущности на основании двух простых аксиом новую систему фундаментальных уравнений физики, обладающих идеальной красотой и содержащих, как я полагаю, *одновременно* решение проблем и Эйнштейна, и Ми. Более строгий вывод, а также – и прежде всего – конкретное приложение моих фундаментальных уравнений к коренным вопросам учения об электричестве я откладываю до следующих сообщений» [6,¹⁰⁶ с. 133].

И далее, после получения основного результата:

«Мне представляется, – пишет Гильберт, – что полученные таким образом дифференциальные уравнения гравитации согласуются с выдвинутой Эйнштейном в его последних сообщениях [2] грандиозной общей теорией относительности» [6, с. 143].

Как мы уже знаем, через пять дней Эйнштейн выступал на заседании Прусской Академии с докладом под названием «Уравнения гравитационного поля», где впервые написал правильные уравнения гравитационного поля. Уже 2 декабря его доклад был опубликован под названием «Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности» [Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. 1915, 47, 2, 831–839]. При этом автор доклада поступил обычным для себя образом: он сослался только на свои предыдущие работы, содержание которых претерпело очередную метаморфозу в силу интеллектуальных процессов, протекающих в его голове якобы абсолютно независимо. Эйнштейн начал со слов:

«В недавно появившейся в этом журнале работе [имеется в виду его ошибочная статья от 11 ноября] я установил уравнения гравитационного поля, ковариантные относительно произвольных преобразований с определителем, равным единице. В дополнении к этой работе [от 18 ноября] нами было показано, что этим уравнениям поля соответствуют общековариантные уравнения, если скаляр тензора энергии «материи» [т.е. след этого тензора] обращается в нуль, и установлено, что никакие принципиальные соображения не противоречат введению этой гипотезы, благодаря которой пространство и время лишаются последнего следа объективной реальности [эта гипотеза лишняя].

В настоящей работе я нахожу важное подтверждение этой наиболее радикальной теории относительности; именно, оказывается, что она качественно и количественно объясняет открытое Леверрье вековое вращение орбиты Меркурия, составляющее около 45" в столетие; при этом нет необходимости делать какие-либо особые предположения.

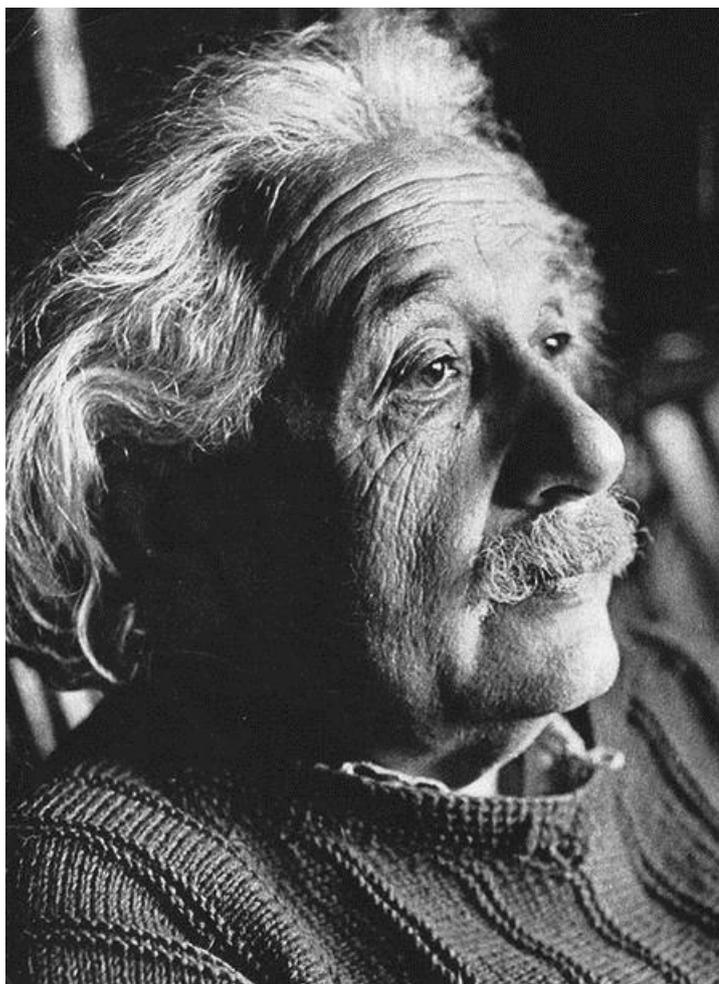
Далее, оказывается, что следствием теории является более сильное (в два раза большее) искривление светового луча гравитационным полем по сравнению с нашими прежними исследованиями». [7,¹⁰⁷ с. 439].

Таким образом, внимание публики было сконцентрировано на экспериментальном аспекте его теоретических исканий, происходивших как бы по своим внутренним законам логики. Узнав об этом выступлении, Гильберт, естественно, догадался о причинах смены теоретической

¹⁰⁶ Hilbert D., Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten, Math.-phys. Klasse. 1915, Heft 3. Русс. перевод: Гильберт Д. *Основания физики* (первое сообщение) / Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М., 1979.

¹⁰⁷ Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах.* / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.

позиции своего, как он надеялся, друга по творческому поиску, но в действительности друг оказался коварным соперником. Гильберт прекрасно знал, обо что споткнулся «друг» и подставил ему свое плечо, прислав ранее 18 ноября правильное уравнение, которое, как он выразился, «одновременно решает проблемы и Эйнштейна, и Ми». Конечно, Гильберт испытал сильнейшее разочарование. Почувствовав это, Эйнштейн попытался письмом от 20 декабря восстановить прежние дружеские отношения, но у него ничего не вышло: Гильберт уклонился от дальнейшего обсуждения с Эйнштейном проблем ОТО. Последнее его письмо к Эйнштейну послано 19 ноября; в нём он поздравляет пока еще друга с решением проблемы аномального сдвига перигелия Меркурия.



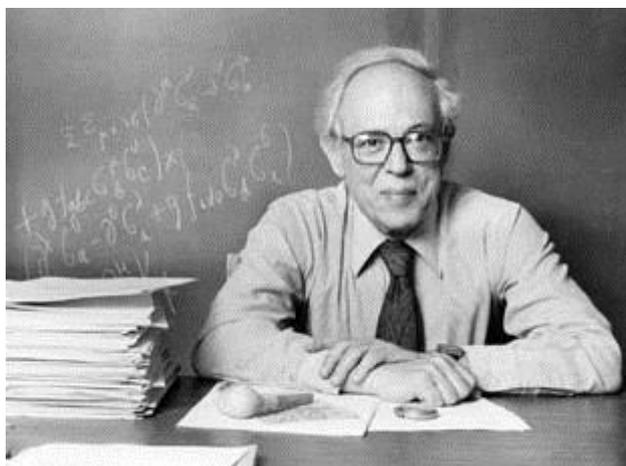
Эйнштейн – божество XX столетия

Бывший сотрудник Эйнштейна и его биограф, Абрахам Пайс не мог допустить мысль о плагиате. Он решил для себя, что Гильберт и Эйнштейн просто не поняли друг друга и двигались в своих теоретических исканиях каждый по своей траектории:

«Вернемся к статье Эйнштейна от 18 ноября, – пишет Пайс. – Она была написана в то время, когда (по его собственному признанию) он был вне себя от возбуждения из-за объяснения смещения перигелия (о чем он официально объявил в этот день, 18 ноября), очень утомлен, нездоров, но продолжал работать над статьей от 25 ноября. Мне представляется крайне маловероятным, чтобы он был в состоянии тогда усвоить содержание технически трудной работы Гильберта, полученной им 18 ноября. Годом позже Феликс Клейн писал, что уравнения этой статьи оказались настолько сложными, что он не смог их проверить. Верно, что в работе Гильберта был член, содержащий след, которого еще не было в работе Эйнштейна. Но, как упоминалось ранее, Эйнштейн ввел его позже, используя тот же прием, что и в работе от 4 ноября.

Поэтому мне кажется, что не следует придавать слишком большого значения как словам согласия Эйнштейна «насколько я могу судить», так и словам согласия Гильберта «как мне кажется». Я скорее склонен присоединиться к мнению Клейна о том, что они «беседовали, не слушая друг друга, как нередко бывает с математиками, одновременно размышляющими над какой-

то проблемой». (Я здесь не останавливаюсь на том, что Эйнштейн назван математиком, хотя он никогда на это не претендовал.) Я опять-таки согласен с Клейном в том, что «здесь не может быть спора о приоритете, поскольку авторы использовали настолько разный подход, что сопоставимость полученных ими результатов стала очевидной отнюдь не сразу». Я считаю, что Эйнштейн – единоличный создатель физической теории (ОТО), в то время как получение ее фундаментальных уравнений следует поставить в заслугу как ему, так и Гильберту. Однако я не уверен, что главные действующие лица согласились бы с таким утверждением» [11,¹⁰⁸ с. 252–253].



Абрахам Пайс

Таким образом, Пайс придерживается старой точки зрения, согласно которой два исследователя работали независимо друг от друга и пришли к правильному решению одновременно в определенном смысле случайно. Эта позиция, как было сказано выше, отвечает решению задачи-минимума, которую ставят перед собой историки-релятивисты. Ей следуют многие авторы книг об Эйнштейне, не утруждающие себя вхождением в детали. Они думают, что главным достижением Эйнштейна, выступившего 25 ноября 1915 года в Прусской Академии, является не вывод правильных уравнений гравитационного поля, а объяснение аномального движения Меркурия и отклонения лучей света вблизи солнечного диска – важнейшие астрофизические эффекты, о которых Гильберт не проронил ни слова.

Например, Дэнис Брайен в своем жизнеописании Эйнштейна мифологизирует его образ так:

«В течение следующих пяти недель осени 1915 года Эйнштейн забывал о еде и работал далеко за полночь. Когда он выбирался поесть, то готовил всё вместе в одной кастрюле, чтобы сэкономить время и иметь меньше проблем. Неожиданно явившись к Эйнштейну, его будущая падчерица Марго нашла ученого варящим яйцо в кастрюле супа, причем он намеревался съесть и то, и другое, – но добродушно признался, что не потрудился почистить яичную скорлупу. Как и следовало ожидать, по этой причине Эйнштейн страдал от болезненных приступов, связанных с расстройством желудка, но неутомимо продолжал работать.

С возрастающим возбуждением он приближался к цели, когда в конце ноября его сердце вдруг затрепетало, он почувствовал, словно внутри него что-то вот-вот щелкнет, – и перед ним лежал ответ, за которым он столько гонялся. Это было похоже на резкий переход от тьмы к свету. В течение нескольких следующих дней Эйнштейн пребывал в эйфории, придя в общей теории относительности к тому, что некоторые считают «высшим интеллектуальным достижением рода человеческого». Его друг-физик Макс Борн рассматривал этот результат как «великое произведение искусства» и «величайший подвиг человеческого мышления перед лицом природы, самое удивительное сочетание философского постижения, физической интуиции и математического мастерства» [26,¹⁰⁹ с. 150–151].

Как мы уже знаем, Джон Стейчел, в отличие от Абрахама Пайса, взялся решать задачу-максимум, т.е. попытался доказать: если и было заимствование, то его мог совершить только Гильберт, но никак не Эйнштейн. Такой поворот событий стал возможен благодаря находке,

¹⁰⁸ Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].

¹⁰⁹ Brian, Denis. *Einstein: A Life*. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1996. [Русск. пер.: Брайен Д. *Альберт Эйнштейн* / Пер. с англ. Е.Г. Гендель. – Мн.: «Попурри», 2000.

сделанной в 1997 году Лео Корри, и некоторому нюансу его датировки. В своей единолично написанной статье Стейчел напоминает:

Изданная Гильбертом статья датирована надписью «представлена на рассмотрение сессии [Геттингенской Академии Наук] 20 ноября 1915 года». Заключительная статья Эйнштейна, в которой давалась окончательная форма его общековариантных полевых уравнений, была представлена на сессии Прусской Академии Наук в Берлине 25-го ноября 1915 года. Имея в виду, что Гильберт послал резюме или проект своей статьи Эйнштейну, который 18-ого ноября ответил на нее, кажется, что Эйнштейн имел доступ, по крайней мере, к сути гильбертовской работы за неделю до того, как он представил свою заключительную статью 25-ого ноября» [24,¹¹⁰ с. 95].

Далее Стейчел выкладывает свой решающий аргумент: он обращает внимание читателя на печать, имеющуюся на оттиске гильбертовского доклада от 20 ноября, где красуется уже более поздняя дата, а именно:

«6-ого декабря 1915 года, указывающая время, когда был набран оттиск. Эти даты не означали бы ничто, – пишет Стейчел, – если бы доказательства [Гильберта] были по существу теми же самыми, как и в опубликованной версии. Но они – не таковы; они отличаются по нескольким важным моментам, самыми главными из них являются:

1) теория, которую они представляют, не была общековариантной; в дополнение к общековариантным полевым уравнениям, есть четыре уравнения, цель которых состоит в том, чтобы точно ограничить систему координат.

2) общековариантные гравитационные полевые уравнения не записаны явно, но просто как вариационная производная, которая не выражена лагранжианом. В частности, нет никакого намека на след тензора.

Поскольку доказательства датированные 20-го ноября представляют статус работы Гильберта, на момент представления ее Академии и, возможно, на более ранний момент предварительного просмотра Эйнштейном. Поскольку они имеют печать, датированную 6 декабря, так что любые гильбертовские изменения, сделанные до этой даты могли быть включены в эти доказательства (но, скорее всего, Гильберт не внес никаких изменений, поскольку он озаглавил их как «первые доказательства»). Отсюда следует, что нет никаких предпосылок тому, чтобы думать, будто Эйнштейн узнал о следе тензора для своих уравнений, в представленных 25-го ноября, из прочитанной работы Гильберта» [24, с. 95].

По сути, Стейчел здесь фантазирует примерно так же, как он фантазировал в своей давней статье [1], написанной в связи с созданием СТО (см. [Как создавалась специальная теория относительности](#)). Выводы [2], сделанные из нее, говорят только о необъективности автора. Аргументация статьи [24], как и более ранней статьи [15], держится на плохом понимании математических выкладок Гильберта. Об этом мы поговорим чуть позже, а пока обратимся к одной важной публикации другого историка-релятивиста, на этот раз российского.

(Статья не закончена)

1. Stachel, John. *How Did Einstein Discover Special Relativity?* 1983.

(<http://www.aip.org/history/einstein/essay-einstein-relativity.pdf>)

2. John Stachel's analysis of Einstein's use of personal pronouns in his letters to Mileva Maric. / Preliminary Comments on the AAAS Papers (March 5, 1990), published in J. Stachel, *Einstein from 'B' to 'Z'* (2002), Cambridge, MA: Birkhäuser, pp. 31–38.

3. Albert Einstein / Mileva Maric: The love letters / Ed., introd. J.Renn, R.Schulmann. – Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press, 1992.

4. Winterberg F. *On "Belated Decision in the Hilbert-Einstein Priority Dispute"*, published by L. Corry, J. Renn, and J. Stachel. 2004 / Verlag der Zeitschrift für Naturforschung, Tübingen; <http://znaturforsch.com>.

5. CPAE: The collected papers of Albert Einstein, Vol. 6, Princeton University Press 1996.

6. Hilbert D., Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten, Math.-phys. Klasse. 1915, Heft 3. Русс. перевод: Гильберт Д. *Основания физики* (первое сообщение) / Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М., 1979.

7. Эйнштейн А. *Собрание научных трудов в 4-х томах*. / Под ред. И.Е. Тамма, Я.А. Смородинского и Б.Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1965.

8. Steven Hawking in his Time Magazine article, *Einstein Man of the Century*, Time Magazine, Dec. 31, 1999, p. 57.

¹¹⁰ Stachel, J. *New light on the Einstein–Hilbert priority question*. / J. Astrophys. Astr. (1999) 20, 91–101.

9. Bjercknes, Christopher Jon. Private Communication.
10. Bjercknes, Christopher Jon. *Anticipations of Einstein in the General Theory of Relativity*. / XTX Inc. Downers Grove, Illinois USA, 2003.
11. Pais A. *Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford Univ. Press, 1982). [Русск. пер.: Пайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. – М., 1989].
12. Визгин В.П. *Об открытии уравнений гравитационного поля Эйнштейном и Гильбертом* (новые материалы) / УФН **171** 1347 (2001).
13. Визгин В.П. *Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование. 1900–1915 гг.)*. – М., 1981.
14. Паули В. *Теория относительности*. – М., Л.: ОГИЗ – Гостехиздат, 1947.
15. Corry L., Renn J., Stachel J. *Belated decision in Hilbert – Einstein priority dispute*. / Science 278 1270 (1997).
16. Corry L. *David Hilbert and the axiomatization of physics (1894–1905)*. / Arch. Hist. Exact Sci. 51 83 (1997).
17. Corry L. *Hilbert on kinetic theory and radiation theory (1912–1914)*. / Math. Intell. 20 (3) 52 (1998).
18. Визгин В.П. *Комментарии и примечания к "Основаниям физики"* (Первое и второе сообщения). / в кн. Гильберт Д. *Избранные труды* Т. 2 (Под ред. А.Н. Паршина) (М.: Факториал, 1998) с. 563.
19. Corry L. *From Mie's electromagnetic theory of matter to Hilbert's unified foundations of physics*. / Stud. Hist. Philos. Mod. Phys. B 30 (2)159(1999).
20. Corry L. *David Hilbert between mechanical and electromagnetic reductionism (1910–1915)*. / Arch. Hist. Exact Sci. 53 489 (1999).
21. Sauer T. *The relativity of discovery: Hilbert's first note on the foundations of physics*. / Arch. Hist. Exact Sci. 53 529 (1999).
22. Renn J., Stachel J. *Hilbert's foundation of physics: From a theory of everything to a constituent of general relativity*. / Preprint Max-Planck-Inst. für Wissenschaftsgeschichte № 118 (Berlin: Max-Planck-Inst. für Wissenschaftsgeschichte, 1999) 113 p.
23. Renn J., Sauer T. *Heuristics and mathematical representation in Einstein's search for a gravitational equation* / in *The Expanding Worlds of General Relativity* (Einstein Studies, Vol. 7, Eds H Goenner, J Renn, J Ritter, T Sauer) (Boston: Birkhauser, 1999) p. 87–125.
24. Stachel, J. *New light on the Einstein–Hilbert priority question*. / J. Astrophys. Astr. (1999) 20, 91–101.
25. Reid, Constance. *Hilbert* / Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1970. [Русск. пер.: Рид, Констанс. *Гильберт*. – М., 1977].
26. Brian, Denis. *Einstein: A Life*. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1996. [Русск. пер.: Брайен Д. *Альберт Эйнштейн* / Пер. с англ. Е.Г. Гендель. – Мн.: «Попурри», 2000.
27. Логунов А.А. *Теория гравитационного поля*. – М., 2000.

Главный аргумент против теории относительности

О.Е. Акимов

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/Mich.htm>

Эксперименту Майкельсона–Морли предшествовала серия опытов по измерению скорости света. Эта проблема была поставлена еще в Древности, но даже физики Нового времени – Бэкон, Галилей, Декарт и пр. – рассуждали о ней без должного на то экспериментального основания. Оле Рёмер (1644–1710), датский астроном и член Парижской академии наук, в 1676 г. по наблюдению неравномерных периодов затмения спутника Юпитера Ио опубликовал значение времени прохождения светом диаметра земной орбиты. Исходя из этого времени, нетрудно было рассчитать скорость света.

Рёмер работал в Парижской обсерватории с 1671 по 1681 год вместе с астрономом Жаном Пикаром (1620–1682). Последний прославился многими астрономическими открытиями, в числе которых была фиксация отклонения положения звезд, происходившая в течение года. Эта абберация была затем зарегистрирована английскими учеными – Гуком (1674) и Флемстидом (1689). Но только Брэдли удалось объяснить и количественно определить ее величину, о чем будет рассказано позже более подробно. Во время работы Рёмера Парижскую обсерваторию возглавлял Джан Доменико Кассини (1625–1712), который многие годы потратил на составление долгосрочных таблиц движения спутников Юпитера, используемых мореплавателями для определения времени и местонахождения. Кассини ошибочно думал, что свет распространяется в пространстве мгновенно. Это приводило к ошибкам в расчетах движения спутников.

Первые таблицы Кассини составил в 1668 году и, к моменту появления в обсерватории Рёмера, они давали заметную погрешность, так что эти таблицы нужно было скорректировать, чем и занялся датский ученый. Согласно таблицам все четыре открытых Галилеем спутника вращались почему-то с едва видимым переменным периодом. Внимательно анализируя таблицы Кассини, Рёмер заметил, что средний период обращения Ио – первого спутника Юпитера, движущегося почти по круговой орбите – равен примерно $T = 42,5$ ч. Когда Земля движется по направлению к Юпитеру, период обращения Ио становился чуть больше среднего значения ($T_1 > T$). Когда же Земля удалялась от Юпитера, период уменьшается ($T_2 < T$). Едва заметные отличия в периодах по истечению нескольких лет давали весьма ощутимую погрешность, и таблицы нельзя было уже использовать для точной навигации морских судов.

Если предположить, что скорость распространения света (c) является не мгновенной, а конечной величиной, то эти колебания в значениях периода обращения Ио вокруг Юпитера получают вполне прозрачное объяснение. Правомерно составить пропорцию, которая говорит о том, что отношение периодов обращения (T_1/T_2) равно отношению двух различных скоростей: в числителе должна стоять сумма скорости луча света и скорости движения Земли ($c + v$), а в знаменателе – разность этих же скоростей ($c - v$), т.е. имеет место пропорция вида:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{c + v}{c - v}$$

Скорость движения Земли на своей орбите определить просто. Нужно в соответствующих единицах измерения разделить путь, равный длине замкнутой орбиты, на время, равное одному году (t):

$$v = \frac{2\pi R}{t}$$

где R – среднее расстояние от Солнца до Земли. Численное значение этой скорости равно $v = 30$ км/с. Теперь, зная v , T_1 и T_2 , можно из выписанной выше пропорции определить скорость света:

$$c = v \frac{T_1 + T_2}{T_1 - T_2}$$

Рёмер в статье 1676 года, которая называлась «Доказательство, касающееся скорости света», рассуждая, как и мы, аналогичным образом, не составлял выписанной нами пропорции. Это связано с тем, что точное измерение периодов T_1 и T_2 – процедура достаточно проблематичная. Давайте прикинем, каков должен быть порядок разности между измененными периодами, чтобы можно было произвести более или менее точный расчет скорости света.

Если принять средний период обращения Ио вокруг Юпитера за его истинный период $T = 42,5 \text{ ч} = 153000 \text{ с}$, то из нашей пропорции получаем, что T_1 и T_2 должны отличаться от T на порядок, равный $v/c = 10^{-4}$, т.е. на 15,3 секунды в ту или иную сторону. Это слишком малая величина по сравнению с 42,5 часами, если иметь в виду, что период обращения определялся с помощью медленного затмения спутника Ио планетой Юпитер, а точных приборов для измерения времени еще не существовало. Как же поступил Рёмер?

Его статья начиналась так: «В течение долгого времени философы затруднялись решить с помощью какого-либо опыта, переносится ли действие света мгновенно на любое расстояние или это требует времени. Месье Рёмер из Королевской Академии наук обнаружил способ, почерпнутый из наблюдений первого спутника Юпитера [Ио], с помощью которого он показал, что для [прохождения] расстояния примерно 3000 лье, т.е. приблизительно равного диаметру Земли, свету требуется [время] меньше одной секунды.

Пусть A – Солнце, B – Юпитер, C – первый спутник Юпитера, который входит в тень паленты, чтобы выйти из нее в [точке] D , и пусть E, F, G, H, L, K – положения Земли на различных расстояниях [рис. 1]».¹¹¹

Далее автор рассказывал, почему на участке вблизи точки K период обращения был чуть больше, чем на участке вблизи точки F . На участках вблизи точек E и H видимый период в точности равнялся собственному периоду обращения Ио вокруг Юпитера, однако время затмения спутника в точке E заметно отставало от времени затмения в точке H на величину τ . Рёмер правильно сообразил, что лучу света для прохождения расстояния HE – диаметр земной орбиты, равный 300 млн. км, – требуется время τ . Теперь скорость света можно найти по более простой формуле $c = HE/\tau$. Время τ определялось по таблицам Кассини и равнялось у него 22 минутам. Это значение слишком неточное, на самом деле величина τ близка к 1000 секундам, что эквивалентно 16,66... минутам. Для этого значения τ скорость света равна $c = 300 \text{ тыс. км/с}$.

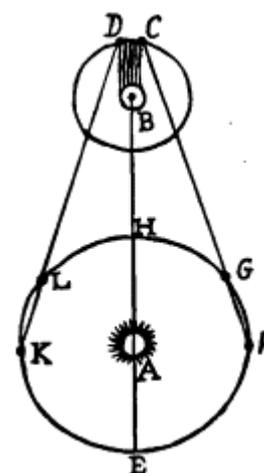


Рис. 1

Теперь приведем окончание статьи, где говорится о времени прохождения луча света вдоль диаметра земной орбиты (при этом нужно помнить, что автор писал о себе в третьем лице): «Однако из этого не вытекает, что свету совсем не требуется времени, ибо после более тщательного изучения вещей он [Рёмер] обнаружил, что незаметное для двух обращений становится весьма значительным для многих [обращений], взятых вместе, и что, например, 40 оборотов, наблюдаемых со стороны [точки] F , были бы заметно короче, чем 40 других, наблюдаемых с противоположной стороны [К], в каком бы месте зодиака ни оказался Юпитер. По этой причине необходимо 22 [минуты] для [прохождения] интервала HE , который является удвоенным расстоянием от нас до Солнца.

Необходимость этого нового уравнения для запаздывания света устанавливается всеми наблюдениями, которые были сделаны в Королевской Академии и в Обсерватории на протяжении восьми лет. Они были вновь подтверждены выступлением из тени первого спутника Юпитера [Ио], наблюдавшимся в Париже 9 ноября этого года в $5^{\text{h}}35^{\text{m}}45^{\text{s}}$ вечера, на 10 мин позже, чем следовало ожидать, рассчитывая его на основе тех [наблюдений], что были сделаны в августе, когда Земля была гораздо ближе к Юпитеру, что месье Рёмер предсказывал в Академии в начале сентября.

Но чтобы устранить всякие сомнения, что это неравенство вызвано запаздыванием света, он показывает, что оно не может происходить из-за какого-либо эксцентриситета или другой причины из тех, которые обычно приводят [в частности, Кассини], чтобы объяснить нерегулярности в движении Луны и других планет»¹¹².

¹¹¹ Голин Г.М., Филонович Р.С. *Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.)*: Справ. пособие. – М.: Высш. шк., 1989. С. 119.

¹¹² Там же. С. 119–120.

Кассини, в конце концов, согласился с доводом Рёмера о конечности скорости распространения света, и вышедшие в 1693 году таблицы для использования в морской навигации были составлены с учетом этого обстоятельства. Еще при жизни Рёмера значение скорости света несколько раз уточнялись. Так, например, Исаак Ньютон (1643–1727) сначала принимал время распространения света от Солнца до Земли равным 10 минутам. Но позднее в «Оптике» (1703) он остановился на более точном значении, лежащем между 7 и 8 минутами. Вскоре после смерти Ньютона другой известный английский ученый, Джеймс Брэдли (1693–1762), вычислил прохождение светового луча от Солнца до Земли за время 8 минут 12 или 13 секунд. При этом он использовал иное астрономическое явление, нежели Рёмер, а именно, явление *абберации света*, открытое Брэдли в 1727 году и математически верно им же истолкованное в 1729 году.

Суть эффекта абберации света, идущего от далеких звезд, состоит в следующем. Звезда, направление к которой лежит под прямым углом к плоскости орбиты Земли, оказывается смещенной по направлению движения Земли на угол $\alpha = 20,45''$. Следовательно, труба телескопа должна быть наклонена на угол α к вертикальному направлению. Эффект абберации объясняется тем, что луч света, зашедший в объектив телескопа в точке *A* (рис. 2), должен дойти до окуляра в точку *B*, чтобы его можно было увидеть земному наблюдателю. Угол наклона α определяется *векторной суммой двух скоростей* – скорости света c и скорости Земли на орбите v , так что скорость света внутри трубы телескопа (c') на отрезке *AC* определяется формулой Пифагора, т.е. по *классической формуле сложения скоростей*:

$$c' = \sqrt{c^2 + v^2}$$

Все знают, что при ветре капли дождя падают под углом к поверхности земли; они летят по линии гипотенузы прямоугольного треугольника *ABC*, катетами которого являются: *AB* – скорость падения капли и *BC* – скорость ветра. Движение относительно: если ветра нет, но ваш автомобиль мчится со скоростью ветра, то вертикальные линии падения капель тоже становятся косыми, что можно видеть на окнах вашего автомобиля. Таким образом, звездная абберация, фиксируемая наблюдателем, находящимся на движущейся Земле, как и изменение периода обращения Ио, является вполне понятным эффектом, с которым мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни.

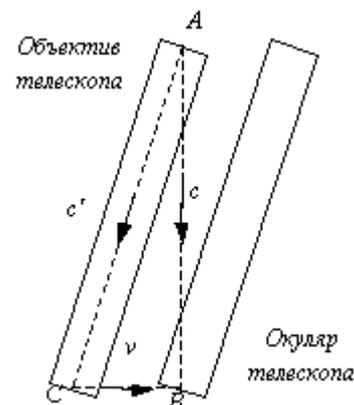


Рис. 2

Следующее принципиально новое, не астрономическое измерение скорости света произвел француз, уроженец Парижа в 1849 году. Ипполит Луи Физо (1819–1896) измерил скорость света в земных условиях с помощью вращающегося зубчатого колеса и зеркал, разнесенных на расстояние 9 километров. Скорость света у него получилось равной 315300 км/с. Добавим, что Физо совместно с Фуко в 1846 г. наблюдал интерференцию монохроматического света при разности хода в 7000λ. Это явление интерференции легло в основу работы интерферометра Майкельсона.

Альберт Абрахам Майкельсон (1852–1931) в 1878 г. приступил к серии экспериментов по определению скорости света с помощью вращающегося зеркала. Его опыты дали сначала величину, равную 300140 ± 300 км/с. В 1902 г. он достиг значения, равного 299890 ± 60 км/с, а работы, проведенные им с 1921 по 1926 гг., позволили повысить точность до 299796 ± 4 км/с. Сегодня пользуются константой скорости света $299792458 \pm 1,2$ м/с.

При работе со светом все ученые, начиная с Рёмера, использовали традиционную формулу сложения скоростей. Именно классическая формула, т.е. векторное сложение скорости света со скоростью приемника (но не источника!) по правилу параллелограмма, была и остается главным аргументом против теории относительности. При выводе формулы для описания эффекта Доплера тоже пользуются классической формулой сложения двух векторов скорости – v и c . Если всё делать аккуратно, по правилам векторной алгебры, как это показано в статье, то формула Доплера общего вида будет иметь вид:

$$\lambda' = \lambda \frac{\sqrt{1 - \beta_2^2 \sin^2 \theta_2} - \beta_2 \cos \theta_2}{\sqrt{1 - \beta_1^2 \sin^2 \theta_1} - \beta_1 \cos \theta_1}$$

Это выражение справедливо как для акустических волн, так и для световых. Релятивисты же пишут свои особые выражения, которые, однако, противоречат даже самой релятивистской

формуле сложения скоростей (это противоречие называется *парадоксом лыжников*; оно детально рассматривается в конце четвертой лекции учебного курса «Естествознание» {OAKL-2}).

Анализ Рёмера, проведенный на огромном массиве числовых данных, вошедших в таблицы Кассини, особенно примечателен. Если бы классическая формула сложения скоростей оказалась неточной, то соответствующая погрешность немедленно бы обнаружилась, поскольку ошибки в наступлении затмения спутников Юпитера со временем всё больше и больше накапливались. Но ничего подобного не происходит: классическая формула сложения скоростей работает безупречно, в то время как второй постулат Эйнштейна о постоянстве скорости света по отношению к любым движущимся и покоящимся объектам моментально бы привел к ошибкам. На это обстоятельство здравомыслящие физики указывали бесконечное число раз, однако релятивисты стоят на своем. Почему эти странные люди не хотят признать очевидные факты – предмет отдельного разговора, тесно связанного с социально-психологическими и политико-идеологическими проблемами, лежащими далеко за границами физических наук.

Сейчас мы только особо подчеркиваем, что второй постулат теории относительности и релятивистская формула сложения скоростей еще никогда не использовались на практике. Эйнштейновские выражения, мелькающие на страницах современных учебников, в действительности нигде не применялись в расчетах, связанных с динамическими параметрами наблюдательной астрономии, и в задачах прикладной физики, где они должны были применяться. Единственное подтверждение имеет лишь формула $E = mc^2$, которую получил и объяснил Дж. Дж. Томсон задолго до Эйнштейна. Были предприняты попытки подтверждения релятивистской формулы замедления времени. Однако процедура измерения времени жизни мюонов вызывает больше вопросов, чем ответов. Существуют еще несколько попыток экспериментального обоснования релятивистских выражений, которые, однако, легко перечеркиваются одним бесспорным фактом: скорость света везде и всегда складывается со скоростью приемника нерелятивистским способом. Следовательно, теория относительности не верна в своей основе, так как не выполняется один из двух ее постулатов, согласно которому $c + v = c$.

Почему теория относительности ошибочна

(Коротко, доступно и исчерпывающе)

О.Е. Акимов

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/pochemu.htm>

- Что являлось основанием специальной теории относительности?
- Принцип относительности, который гласит: физические процессы (а правильнее всё же сказать, лишь механические и электромагнитные) протекают одинаково в покоящихся или равномерно и прямолинейно движущихся системах.
 - Можно согласиться с данным принципом?
 - Нет, так как все электромагнитные процессы происходят в мировой среде, относительно которой сравнительно просто определить, покоится или движется данная координатная система. В частности, абберация и эффект Доплера ясно демонстрируют нам, что электромагнитные процессы в движущихся и покоящихся системах протекают по-разному. Для механических процессов этот принцип в общем справедлив, хотя наличие мировой среды вносит свои коррекции.
 - Почему релятивисты распространили принцип относительности на электромагнитные процессы?
 - Их сбил с толку эксперимент Майкельсона–Морли, который в принципе не мог зарегистрировать эфирного ветра, так как при одновременном движении источника и приемника светового излучения интерференционная картина измениться не может, как бы при этом не перемещался прибор.
 - Почему релятивисты не смогли раскрыть ошибку данного эксперимента и при его анализе не учли элементарные волновые эффекты Доплера и абберации?
 - Они плохо оперируют пространственными образами, а все указанные Вами процессы требуют пространственного воображения.
 - Это основная их беда?
 - Да, пожалуй. Релятивисты запутались в одной абсолютной системе координат и двух относительных – покоящейся и подвижной. Это привело к парадоксу штриха.
 - В чём его суть?
 - Сегодня никто на земле Вам не подскажет, как записать релятивистские формулы Доплера для движущегося источника и приемника, формулы замедления времени и сокращения длины. Авторы релятивистских книг думают, что различие в формулах объясняется принципом относительности, но он здесь не при чем. Если штрихованная система движется, а нештрихованная покоится, то формулы должны быть одинаковыми, однако этого нет.
 - Значит, принцип относительности в данном случае послужил источником спекуляций?
 - Совершенно верно, и не только в этом случае. Отталкиваясь от этого принципа, релятивисты вывели преобразования Лоренца. Они оставляют без изменения уравнения Максвелла и волновое уравнение. Но в физике существует масса других уравнений, описывающих физические процессы, например, механические, тепловые и диффузионные. Предположим, электромагнитные явления эти преобразования оставляют без изменения, но все прочее-то они исказят. В рамках теории относительности это постоянно происходит. В ней существует масса парадоксов, которые правильнее назвать противоречиями, потому что они свидетельствуют о ложности теории.
 - Итак, всему виной принцип относительности, а он возник из неверного объяснения одного-единственного опыта Майкельсона–Морли?
 - Кроме эксперимента Майкельсона–Морли ставились другие опыты, как правило, связанные с эффектом Доплера. Но, как было сказано, с момента зарождения релятивистской теории и по сей день физика не знает точной классической формулы, описывающей этот эффект. Все исследователи пользуются приближенной формулой, не учитывающей некоторых особенностей движения, в частности, несимметричности красного и фиолетового смещений. Получи-

лось так, что точная классическая формула дает результаты, которые количественно почти совпадают с релятивистскими, особенно, в части так называемого поперечного доплер-эффекта. Ошибки истолкования экспериментов и спекулятивное использование квазигеометрии тесно связаны с шизотимической психологией релятивистов, которые руководствуются формально-феноменологической эпистемологией. Принцип относительности имеет также чисто математическую предысторию, связанную с теорией инвариантов и алгебраических групп.

– Что же являлось основанием общей теории относительности?

– Основанием для нее послужила специальная теория относительности, которая ввела ложные представления об изменении реальных пространственных и временных масштабов. Предложенная Пуанкаре и Лоренцем несовершенная процедура измерения времени, приводящая к нарушению синхронности хода пары часов, была истолкована как нарушение одновременности двух реальных событий. То же самое касается отрезков длины. Специальная теория относительности рассматривала объекты, перемещающиеся равномерно и прямолинейно, общая теория распространила ложные воззрения об изменении масштабов пространства и времени на любые виды движений. Для этого релятивисты ввели принцип эквивалентности, согласно которому инертная масса тела, проявляющаяся при его движении, отождествлялась с гравитационной массой, проявляющейся при покоящейся массе.

– Тем самым было сказано новое слово в науке?

– Нет, и до Эйнштейна физики прекрасно знали, что инертная масса в точности равна гравитационной, но, сделав акцент на тождестве двух видов масс, они после этого начали переносить эффекты замедления времени и сокращения длины на покоящиеся массы и пространства, окружающие их. Теперь ничто никуда не надо было двигать: часы замедляли свой ход и предметы сокращались в длину под действием гравитационного потенциала. Когда же релятивисты выставляют эксперименты по проверке эквивалентности инертной и гравитационной массы в качестве подтверждения общей теории относительности, это всегда выглядит нелепо. Подобные «доказательства» характеризуют скорее спекулятивный дух релятивистов, чем подтверждают их вздорную теорию.

– Проверка эквивалентности двух типов масс является единственным экспериментом, подтверждающим общую теорию относительности?

– Нет, в ее отношении, как и в отношении специальной теории, существует небольшая группа эмпирических наблюдений, которые, однако, нельзя однозначно трактовать, как подтверждающие релятивистскую точку зрения Эйнштейна. Смещение перигелия орбиты Меркурия, отклонение луча света вблизи Солнца и красное смещение спектральных линий в мощном гравитационном поле по трактовке результатов являются спорными. Все эти факты можно объяснить без релятивистских мудрствований.

– Как именно?

– Перигелий Меркурия в основном смещается из-за того, что ось вращения Солнца короче экваториального диаметра, т.е. поверхность Солнца – сфероид, а не сфера. Эту поправку умели вычислять и во времена Эйнштейна. Но в его время не была известна высокая плотность вещества, рассредоточенного вокруг Солнца вплоть до орбиты Земли. Этот фактор не только объясняет смещение перигелия Меркурия, но и отклонение луча света вблизи Солнца и красное смещение спектральных линий в мощном гравитационном поле.

– Эти эмпирические данные, подтверждающие якобы общую теорию относительности, являются единственными?

– По сути, да, хотя всякие новые астрономические факты релятивисты стремятся зачислить в свой актив. Так, преобладание звезд с красным смещением линий спектра по сравнению с фиолетовым они трактуют как подтверждение релятивистской модели расширения пространства вселенной. Но здесь необходимо ввести одну важную коррективу. Разбегаются именно звезды и галактики, пространство же остается абсолютно неизменным. Это различие релятивисты не улавливают. Примерно то же самое можно сказать о других фактах. Так, например, открытие реликтового микроволнового фона подтверждает, по их мнению, теорию Большого взрыва и т.д. Но все эти заявления не имеют под собой серьезной основы. В действительности релятивисты не создали отчетливых моделей, работающих на пространственно-механических принципах нормальной физики. Ночное звездное небо – это та бездна, из которой при желании можно почерпнуть всё, что угодно. Астрологи используют тайны неба в своих целях, релятивисты – в своих.

– Вы коснулись, так сказать, эмпирии, а что можно сказать в теоретическом отношении?

– Очень немного. После того, как Эйнштейн написал уравнения для гравитационного поля, тут же была предпринята попытка классификации пространств, определяющая конфигурацию полей тяготения. Не решая уравнения для каких-либо конкретных звездных объектов, эфемерные представления о кривизне пространства-времени были распространены на космос в целом. Стали говорить о замкнутости вселенной, ее форме и динамике развития (стационарная, расширяющаяся, пульсирующая), а также о времени зарождения и угасания мира, как единичного объекта. Этот глобализм – наиболее характерная черта релятивистов. Безудержный универсализм заставил релятивистов искать способы дальнейшего расширения теории за счет объединения гравитационных сил с электромагнитными, слабыми и сильными взаимодействиями. Подобные теоретические нагромождения всегда выглядели крайне умозрительно. Совершенно необоснованно они распространили квантово-механические представления на гравитационные объекты мегамира и даже на множество вселенных. Поскольку в физике микромира многие величины связаны с наблюдателем и носят вероятностный характер, эти неконструктивные свойства были перенесены на космос. Так появился антропный принцип, согласно которому все законы физики ставятся в прямую зависимость от наблюдателя. Тотальный релятивизм является обратной стороной философии абсолютизма, некогда господствовавшей в схоластических умах европейских мыслителей.

– Итак, фантастическая космология выросла из общей теории относительности, а общая из специальной. Если доказать ошибочность последней, то всё здание современной науки о вселенной разом рухнет?

– В этом можно не сомневаться.

– Не могли бы Вы кратко перечислить основные аргументы, направленные против специальной теории относительности?

– Пожалуйста. Назову семь пунктов, которые представляются мне наиболее весомыми аргументами.

1. Релятивисты исходили из ошибочной формулы, описывающей эффект Доплера. Точная формула позволяет учесть многие, если не все, так называемые «релятивистские» поправки, в частности, точная формула описывает поперечный доплер-эффект.

2. В классической физике можно однозначно установить, что относительно чего движется – источник колебаний относительно приемника или, наоборот, приемник относительно источника. От этого зависит вид уравнений. Поскольку релятивисты знают только относительную скорость, у них возникает неоднозначность в формулах для доплер-эффекта. Получается, что числитель или знаменатель дробного выражения они по своему усмотрению, произвольно меняют местами. Это называется парадоксом штриха.

3. Принципиальная неоднозначность возникает в расстановке штриха, когда релятивисты пытаются вывести формулы сокращения длины и замедления времени. Причиной этой неоднозначности является в основном неопределенность в выборе исходных преобразований Лоренца: прямые и обратные преобразования дают взаимно исключающие результаты.

4. Все формулы, предлагаемые релятивистами для описания изменения масштабных единиц в штрихованной системе координат, ошибочны. Масштабный коэффициент нельзя найти путем обнуления одной из координат, как это делают релятивисты. Истинный коэффициент непосредственно выводится из геометрического чертежа, иллюстрирующего преобразование Лоренца, по вышеизложенной методике.

5. Объяснение эксперимента Майкельсона–Морли укладывается в рамки классической физики. Здесь нет никакой необходимости принимать положение о сокращении длины плеча прибора, расположенного по ходу движения Земли. При движении источника и приемника, согласно формуле Доплера (неважно какой – приближенной или точной), происходит компенсация набега фазы. Релятивисты, рисуя схему движения лучей, упустили из виду движение источника света.

6. Специальная теория относительности внутренне противоречива. В частности, там имеет место парадокс распиленного стержня, от которого можно избавиться, если только отказаться от положения о сокращении длины быстро движущихся предметов.

7. Никакого предельного перехода от релятивистской физики к классической не существует: бесконечно малый гиперболический поворот одной координатной системы относительно другой никогда не перейдет в поступательное движение. Ошибка возникла из-за некорректной записи преобразований Лоренца.

Перечисленные пункты заставляют нас отказаться от специальной теории относительности. Релятивисты возвели Вавилонскую башню из сложнейших математических формул на очень зыбком песке своих искаженных представлений о действительном мире. Общая теория относительности, единая теория поля, релятивистская космология и прочие экзотические доктрины должны, как косточки домино, одна за другой упасть, если только физики откажутся от специальной теорией относительности.

СТО как спекулятивная догма

<http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/dogma.htm>

Ниже приводится типичное догматическое изложение основ специальной теории относительности. Текст взят с учебного сайта www.college.ru/ Задача прилежного старшеклассника и студента младших курсов на основе вышеизложенной критики СТО найти здесь, по крайней мере, десять грубейших ошибок. Подобный критический анализ настоятельно рекомендуется проводить во время практических занятий учителям средней школы и преподавателям вузов.

Специальная (или частная) теория относительности (СТО) представляет собой современную физическую теорию пространства и времени. Наряду с квантовой механикой, СТО служит теоретической базой современной физики и техники. СТО часто называют *релятивистской теорией*, а специфические явления, описываемые этой теорией, – *релятивистскими эффектами*. Эти эффекты наиболее отчетливо проявляются при скоростях движения тел, близких к скорости света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Специальная теория относительности была создана А. Эйнштейном (1905 г.). Предшественниками Эйнштейна, очень близко подошедшими к решению проблемы, были нидерландский физик Х. Лоренц и выдающийся французский физик А. Пуанкаре.

1. Постулаты СТО

Классическая механика Ньютона прекрасно описывает движение макротел, движущихся с малыми скоростями ($v \ll c$). В нерелятивистской физике принималось как очевидный факт существование единого мирового времени t , одинакового во всех системах отсчета. В основе классической механики лежит *механический принцип относительности* (или *принцип относительности Галилея*): **законы динамики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета**. Этот принцип означает, что законы динамики *инвариантны* (т.е. неизменны) относительно *преобразований Галилея*, которые позволяют вычислить координаты движущегося тела в одной инерциальной системе (K), если заданы координаты этого тела в другой инерциальной системе (K'). В частном случае, когда система K' движется со скоростью v вдоль положительного направления оси x системы K (рис. 1), преобразования Галилея имеют вид:

$$x = x' + vt, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'.$$

Предполагается, что в начальный момент оси координат обеих систем совпадают.

Из преобразований Галилея следует классический закон преобразования скоростей при переходе от одной системы отсчета к другой. Ускорения тела во всех инерциальных системах оказываются одинаковыми. Следовательно, уравнение движения классической механики (второй закон Ньютона) не меняет своего вида при переходе от одной инерциальной системы к другой.

К концу XIX века начали накапливаться опытные факты, которые вступили в противоречие с законами классической механики. Большие затруднения возникли при попытках применить механику Ньютона к объяснению распространения света. Предположение о том, что свет распространяется в особой среде – эфире, было опровергнуто многочисленными экспериментами. А. Майкельсон в 1881 году, а затем в 1887 году совместно с Э. Морли (оба – американские физики) пытался обнаружить движение Земли относительно эфира («эфирный ветер») с помощью интерференционного опыта. Упрощенная схема опыта Майкельсона–Морли представлена на рис. 2.

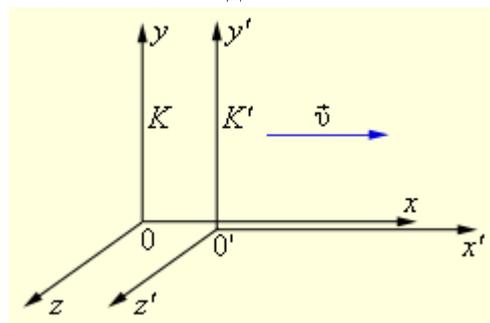


Рис. 1. Две инерциальные системы отсчета K и K'

В этом опыте одно из плеч интерферометра Майкельсона устанавливалось параллельно направлению орбитальной скорости Земли ($v = 30$ км/с). Затем прибор поворачивался на 90° , и второе плечо оказывалось ориентированным по направлению орбитальной скорости. Расчеты показывали, что если бы неподвижный эфир существовал, то при повороте прибора интерференционные полосы должны были сместиться на расстояние, пропорциональное $(v/c)^2$. Опыт Майкельсона–Морли, неоднократно повторенный впоследствии со всё более возрастающей точностью, дал отрицательный результат. Анализ результатов опыта Майкельсона–Морли и ряда других экспериментов позволил сделать вывод о том, что представления об эфире как среде, в которой распространяются световые волны, ошибочно. Следовательно, для света не существует избранной (абсолютной) системы отсчета. Движение Земли по орбите не оказывает влияния на оптические явления на Земле.

Исключительную роль в развитии представлений о пространстве и времени сыграла теория Максвелла. К началу XX века эта теория стала общепризнанной. Предсказанные теорией Максвелла электромагнитные волны, распространяющиеся с конечной скоростью, уже нашли практическое применение – в 1895 году было изобретено радио (А.С. Попов). Но из теории Максвелла следовало, что скорость распространения электромагнитных волн в любой инерциальной системе отсчета имеет одно и то же значение, равное скорости света в вакууме. Отсюда следует, что уравнения, описывающие распространение электромагнитных волн, не инвариантны относительно преобразований Галилея. Если электромагнитная волна (в частности, свет) распространяется в системе отсчета K' (рис. 1) в положительном направлении оси x' , то в системе K свет должен, согласно галилеевской кинематике, распространяться со скоростью $c + v$, а не c .

Итак, на рубеже XIX и XX веков физика переживала глубокий кризис. Выход был найден Эйнштейном ценой отказа от классических представлений о пространстве и времени. Наиболее важным шагом на этом пути явился пересмотр используемого в классической физике понятия абсолютного времени. Классические представления, кажущиеся наглядными и очевидными, в действительности оказались несостоятельными. Многие понятия и величины, которые в нерелятивистской физике считались абсолютными, т.е. не зависящими от системы отсчета, в эйнштейновской теории относительности переведены в разряд относительных. Так как все физические явления происходят в пространстве и во времени, новая концепция пространственно-временных закономерностей не могла не затронуть в итоге всю физику.

В основе специальной теории относительности лежат два принципа или постулата, сформулированные Эйнштейном в 1905 г.

1. **Принцип относительности:** все законы природы инвариантны по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой. Это означает, что во всех инерциальных системах физические законы (не только механические) имеют одинаковую форму. Таким образом, принцип относительности классической механики обобщается на все процессы природы, в том числе и на электромагнитные. Этот обобщенный принцип называют *принципом относительности Эйнштейна*.

2. **Принцип постоянства скорости света:** скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета. Скорость света в СТО занимает особое положение. Это предельная скорость передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую.

Эти принципы следует рассматривать как обобщение всей совокупности опытных фактов. Следствия из теории, созданной на основе этих принципов, подтверждались бесконечными опытными проверками. СТО позволила разрешить все проблемы «доэйнштейновской» физики и объяснить «противоречивые» результаты известных к тому времени экспериментов в области электродинамики и оптики. В последующее время СТО была подкреплена экспериментальными

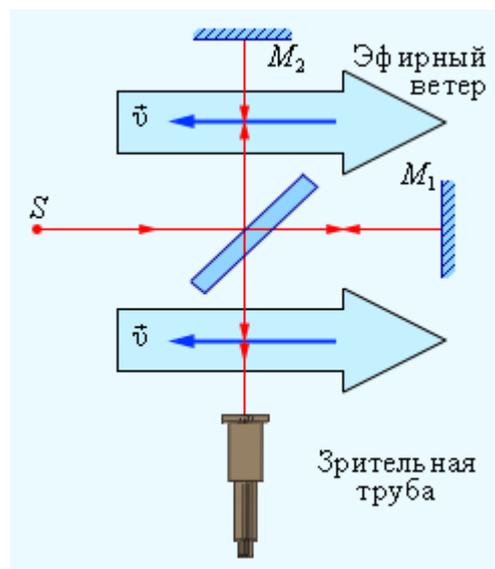


Рис. 2. Упрощенная схема интерференционного опыта Майкельсона–Морли

данными, полученными при изучении движения быстрых частиц в ускорителях, атомных процессах, ядерных реакций и т.п.

Постулаты СТО находятся в явном противоречии с классическими представлениями. Рассмотрим такой мысленный эксперимент: в момент времени $t = 0$, когда координатные оси двух инерциальных систем K и K' совпадают, в общем начале координат произошла кратковременная вспышка света. За время t системы сместятся относительно друг друга на расстояние vt , а сферический волновой фронт в каждой системе будет иметь радиус ct (рис. 3), так как системы равноправны и в каждой из них скорость света равна c .

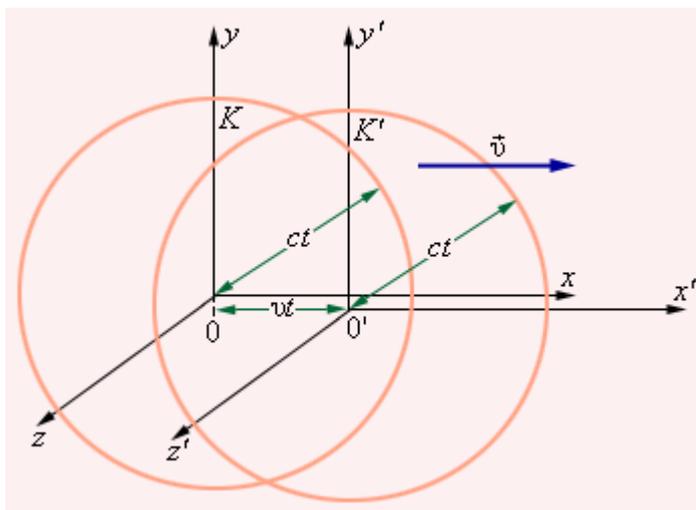


Рис. 3. Кажущееся противоречие постулатов СТО.

С точки зрения наблюдателя в системе K центр сферы находится в точке O , а с точки зрения наблюдателя в системе K' он будет находиться в точке O' . Следовательно, центр сферического фронта одновременно находится в двух разных точках!

Причина возникающего недоразумения лежит не в противоречии между двумя принципами СТО, а в допущении, что положение фронтов сферических волн для обеих систем относится к *одному и тому же моменту времени*. Это допущение заключено в формулах преобразования Галилея, согласно которым время в обеих системах течет одинаково: $t = t'$. Следовательно, постулаты Эйнштейна находятся в противоречии не друг с другом, а с формулами преобразования Галилея. Поэтому на смену галилеевых преобразований СТО предложила другие формулы преобразования при переходе из одной инерциальной системы в другую – так называемые *преобразования Лоренца*, которые при скоростях движения, близких к скорости света, позволяют объяснить все релятивистские эффекты, а при малых скоростях ($v \ll c$) переходят в формулы преобразования Галилея. Таким образом, новая теория (СТО) не отвергла старую классическую механику Ньютона, а только уточнила пределы ее применимости. Такая взаимосвязь между старой и новой, более общей теорией, включающей старую теорию как предельный случай, носит название *принципа соответствия*.

2. Относительность промежутков времени

При выполнении любых физических измерений исключительную роль играют пространственно-временные соотношения между *событиями*. В СТО событие определяется как физическое явление, происходящее в какой-либо точке пространства в некоторый момент времени в избранной системе отсчета. Таким образом, чтобы полностью охарактеризовать событие, требуется не только выяснить его физическое содержание, но и определить его место и время. Для этого необходимо использовать процедуры измерения расстояний и промежутков времени. Эйнштейн показал, что эти процедуры нуждаются в строгом определении.

Для того чтобы в выбранной системе отсчета выполнять измерения промежутка времени между двумя событиями (например, началом и концом какого-либо процесса), происходящими в *одной и той же точке пространства*, достаточно иметь эталонные часы. Наибольшей точностью в настоящее время обладают часы, основанные на использовании собственных колебаний молекул аммиака (молекулярные часы) или атомов цезия (атомные часы). Измерение промежутка времени опирается на понятие *одновременности*: длительность какого-либо

процесса определяется путем сравнения с промежутком времени, отделяющим показание часов, *одновременное с концом процесса*, от показания тех же часов, *одновременного с началом процесса*. Если же оба события происходят в разных точках системы отсчета, то для измерения промежутков времени между ними в этих точках необходимо иметь *синхронизованные часы*.

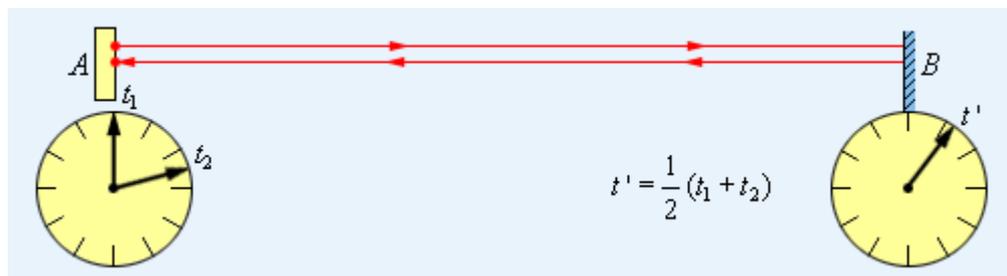


Рис. 4. Синхронизация часов в СТО.

Эйнштейновское определение процедуры синхронизации часов основано на независимости скорости света в пустоте от направления распространения. Пусть из точки *A* в момент времени t_1 по часам *A* отправляется короткий световой импульс (рис. 4). Пусть время прихода импульса в *B* и отражения его назад на часах *B* есть t' . Наконец, пусть отраженный сигнал возвращается в *A* в момент t_2 по часам *A*. Тогда по определению часы в *A* и *B* идут синхронно, если $t' = (t_1 + t_2)/2$.

Существование единого мирового времени, не зависящего от системы отсчета, которое принималось как очевидный факт в классической физике, эквивалентно неявному допущению о возможности синхронизации часов с помощью сигнала, распространяющегося с бесконечно большой скоростью.

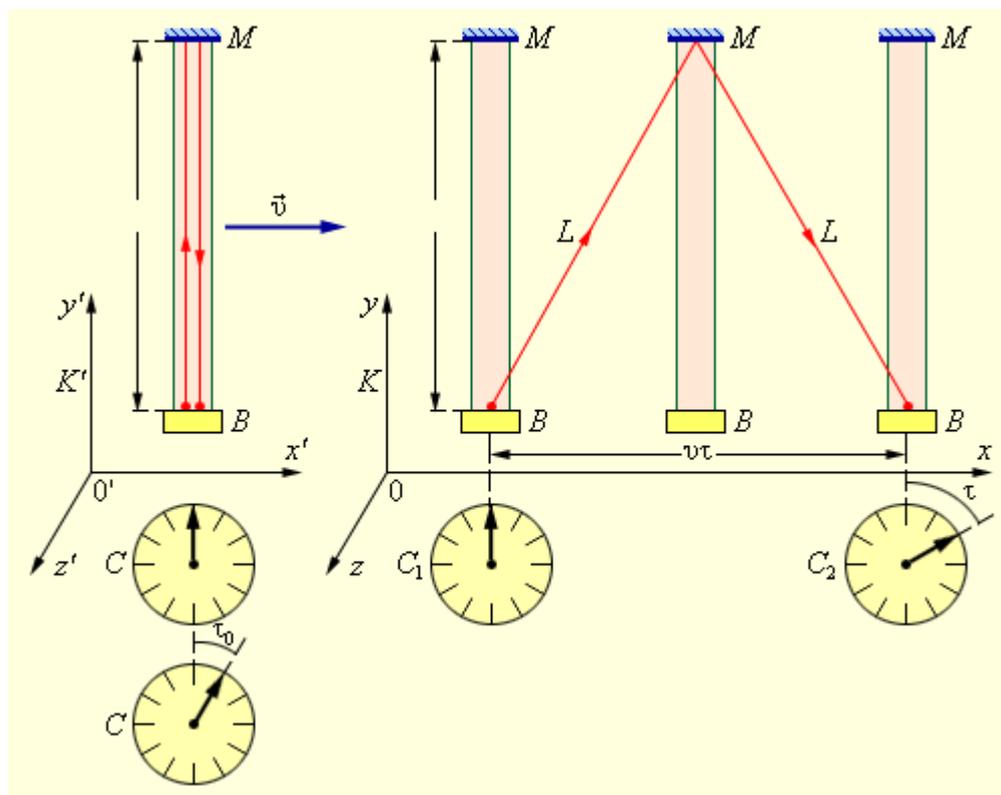


Рис. 5. Относительность промежутков времени. Моменты наступлений событий в системе K' фиксируются по одним и тем же часам C , а в системе K – по двум синхронизованным пространственно-разнесенным часам C_1 и C_2 . Система K' движется со скоростью v в положительном направлении оси x системы K .

Итак, в разных точках выбранной системы отсчета можно расположить синхронизованные часы. Теперь можно дать определение понятия одновременности событий, происходящих в

пространственно-разобренных точках: *эти события одновременны, если синхронизованные часы показывают одинаковое время.*

Рассмотрим теперь вторую инерциальную систему K' , которая движется с некоторой скоростью v в положительном направлении оси x системы K . В разных точках этой новой системы отсчета также можно расположить часы и синхронизировать их между собой, используя описанную выше процедуру. Теперь интервал времени между двумя событиями можно измерять как по часам в системе K , так и по часам в системе K' . Будут ли эти интервалы одинаковы? Ответ на этот вопрос должен находиться в согласии с постулатами СТО.

Пусть оба события в системе K' происходят в одной и той же точке и промежуток времени между ними равен τ_0 по часам системы K' . Этот промежуток времени называется *собственным временем*. Каким будет промежуток времени между этими же событиями, если его измерить по часам системы K ?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующий мысленный эксперимент. На одном конце твердого стержня некоторой длины l расположена импульсная лампа B , а на другом конце – отражающее зеркало M . Стержень расположен неподвижно в системе K' и ориентирован параллельно оси y' (рис. 5). Событие 1 – вспышка лампы, событие 2 – возвращение короткого светового импульса к лампе.

В системе K' оба рассматриваемых события происходят в одной и той же точке. Промежуток времени между ними (собственное время) равен $\tau = 2l/c$. С точки зрения наблюдателя, находящегося в системе K , световой импульс движется между зеркалами зигзагообразно и проходит путь $2L$, равный

$$2L = 2\sqrt{l^2 + (v\tau/2)^2},$$

где τ – промежуток времени между отправлением светового импульса и его возвращением, измеренный по синхронизованным часам C_1 и C_2 , расположенными в разных точках системы K . Но согласно второму постулату СТО, световой импульс двигался в системе K с той же скоростью c , что и в системе K' . Следовательно, $\tau = 2L/c$.

Из этих соотношений можно найти связь между τ и τ_0 :

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где $\beta = v/c$.

Таким образом, промежуток времени между двумя событиями зависит от системы отсчета, т.е. является относительным. Собственное время τ_0 всегда меньше, чем промежуток времени между этими же событиями, измеренный в любой другой системе отсчета. Этот эффект называют *релятивистским замедлением времени*. Замедление времени является следствием инвариантности скорости света.

Эффект замедления времени является взаимным, в согласии с постулатом о равноправии инерциальных систем K и K' : для любого наблюдателя в K или K' медленнее идут часы, связанные с движущейся по отношению к наблюдателю системой. Этот вывод СТО находит непосредственное опытное подтверждение. Например, при исследовании космических лучей в их составе обнаружены μ -мезоны – элементарные частицы с массой, примерно в 200 раз превышающей массу электрона. Эти частицы нестабильны, их среднее собственное время жизни равно $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с. Но в космических лучах μ -мезоны движутся со скоростью, близкой к скорости света. Без учета релятивистского эффекта замедления времени они в среднем пролетали бы в атмосфере путь, равный

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \gg \tau_0.$$

$\sigma\tau_0 = 660$ м. На самом деле, как показывает опыт, мезоны за время жизни успевают пролетать без распада гораздо большие расстояния. Согласно СТО, среднее время жизни мезонов по часам земного наблюдателя равно ¹¹³, так как $\beta = v/c$ близко к единице. Поэтому средний путь $v\tau$, проходимый мезоном в земной системе отсчета, оказывается значительно больше 660 м.

¹¹³ В.Э.: Что-то, видимо, пропущено.

С релятивистским эффектом замедления времени связан так называемый «парадокс близнецов». Предполагается, что один из близнецов остается на Земле, а второй отправляется в длительное космическое путешествие с субсветовой скоростью. С точки зрения земного наблюдателя, время в космическом корабле течет медленнее, и когда астронавт возвратится на Землю, он окажется гораздо моложе своего брата-близнеца, оставшегося на Земле. Парадокс заключается в том, что подобное заключение может сделать и второй из близнецов, отправляющийся в космическое путешествие. Для него медленнее течет время на Земле, и он может ожидать, что по возвращению после длительного путешествия на Землю он обнаружит, что его брат-близнец, оставшийся на Земле, гораздо моложе его.

Чтобы разрешить «парадокс близнецов», следует принять во внимание неравноправие систем отсчета, в которых находятся оба брата-близнеца. Первый из них, оставшийся на Земле, всё время находится в инерциальной системе отсчета, тогда как система отсчета, связанная с космическим кораблем, принципиально неинерциальна. Космический корабль испытывает ускорения при разгоне во время старта, при изменении направления движения в дальней точке траектории и при торможении перед посадкой на Землю. Поэтому заключение брата-астронавта неверно. СТО предсказывает, что при возвращении на Землю он действительно окажется моложе своего брата, оставшегося на Земле.

Эффекты замедления времени пренебрежимо малы, если скорость космического корабля гораздо меньше скорости света c . Тем не менее, удалось получить прямое подтверждение этого эффекта в экспериментах с макроскопическими часами. Наиболее точные часы – это атомные часы на пучке атомов цезия. Эти часы «тикают» 9192631770 раз в секунду. Американские физики в 1971 году провели сравнение двух таких часов, причем одни из них находились в полете вокруг Земли на обычных реактивных лайнерах, а другие оставались на Земле в военно-морской обсерватории США. В соответствии с предсказаниями СТО, путешествующие на лайнерах часы должны были отстать от находящихся на Земле часов на $(184 \pm 23) \cdot 10^{-9}$ с. Наблюдаемое отставание составило $(203 \pm 10) \cdot 10^{-9}$ с, т.е. в пределах ошибок измерений. Через несколько лет эксперимент был повторен и дал результат, согласующийся со СТО с точностью 1 %.

В настоящее время уже необходимо принимать во внимание релятивистский эффект замедления хода часов при транспортировке атомных часов на большие расстояния.

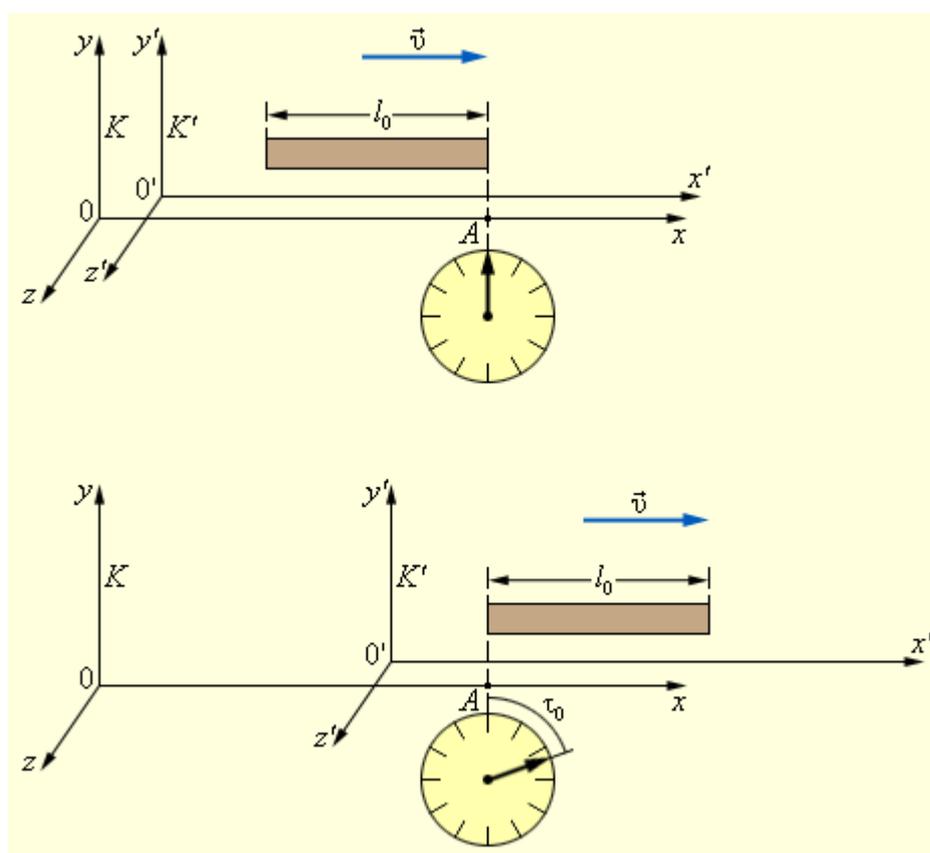


Рис. 6. Измерение длины движущегося стержня.

3. Относительность расстояний

Пусть твердый стержень покоится в системе отсчета K' , движущейся со скоростью v относительно системы отсчета K (рис. 6). Стержень ориентирован параллельно оси x' . Его длина, измеренная с помощью эталонной линейки в системе K' , равна l_0 . Ее называют *собственной длиной*. Какой будет длина этого стержня, измеренная наблюдателем в системе K ? Для ответа на этот вопрос необходимо дать определения процедуры измерения длины движущегося стержня.

Под длиной l стержня в системе K , относительно которой стержень движется, понимают расстояние между координатами концов стержня, зафиксированными одновременно по часам этой системы. Если известна скорость системы K' относительно K , то измерение длины движущегося стержня можно свести к измерению времени: длина l движущегося со скоростью v стержня равна произведению $v\tau_0$, где τ_0 – интервал времени по часам в системе K между прохождением начала стержня и его конца мимо какой-нибудь неподвижной точки (например, точки A) в системе K (рис. 6). Поскольку в системе K оба события (прохождение начала и конца стержня мимо фиксированной точки A) происходят в одной точке, то промежуток времени τ_0 в системе K является собственным временем. Итак, длина l движущегося стержня равна $l = v\tau_0$.

Найдем теперь связь между l и l_0 . С точки зрения наблюдателя в системе K' , точка A , принадлежащая системе K , движется вдоль неподвижного стержня налево со скоростью v , поэтому можно записать $l_0 = v\tau$, где τ есть промежуток времени между моментами прохождения точки A мимо концов стержня, измеренный по синхронизованным часам в K' . Используя связь между промежутками времени τ и τ_0 ,

$$\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - \beta^2},$$

найдем

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Таким образом, длина стержня зависит от системы отсчета, в которой она измеряется, т.е. является относительной величиной. Длина стержня оказывается наибольшей в той системе отсчета, в которой стержень покоится. Движущиеся относительно наблюдателя тела сокращаются в направлении своего движения. Этот релятивистский эффект носит название *лоренцева сокращения длины*.

Расстояние не является абсолютной величиной, оно зависит от скорости движения тела относительно данной системы отсчета. Сокращение длины не связано с какими-либо процессами, происходящими в самих телах. Лоренцево сокращение характеризует изменение размера движущегося тела в направлении его движения. Если стержень на рис. 6 расположить перпендикулярно оси x , вдоль которой движется система K' , то длина стержня оказывается одинаковой для наблюдателей в обеих системах K и K' . Это утверждение находится в соответствии с постулатом о равноправии всех инерциальных систем.

Для доказательства можно рассмотреть следующий мысленный эксперимент. Расположим в системах K и K' вдоль осей y и y' два жестких стержня. Стержни имеют одинаковые собственные длины l , измеренные неподвижными по отношению к каждому из стержней наблюдателями в K и K' , и один из концов каждого стержня совпадает с началом координат O или O' . В некоторый момент стержни оказываются рядом и представляется возможность сравнить их непосредственно: конец каждого стержня может сделать метку на другом стержне. Если бы эти метки не совпали с концами стержней, то один из них оказался бы длиннее другого с точки зрения обеих систем отсчета. Это противоречило бы принципу относительности.

Неизменность длины движущегося стержня, ориентированного перпендикулярно направлению движения, была использована в п. 2 при анализе релятивистского замедления времени.

Следует обратить внимание, что при малых скоростях движения ($v \ll c$) формулы СТО переходят в классические соотношения: $l = l_0$ и $\tau = \tau_0$. Таким образом, классические представления, лежащие в основе механики Ньютона и сформировавшиеся на основе многовекового опыта наблюдения над медленными движениями, в специальной теории относительности соответствуют предельному переходу при $\beta = v/c \rightarrow 0$. В этом проявляется *принцип соответствия* (см. п. 1).

4. Преобразования Лоренца

Классические преобразования Галилея несовместимы с постулатами СТО и, следовательно, должны быть заменены другими преобразованиями. Эти новые преобразования должны установить связь между координатами (x, y, z) и моментом времени t события, наблюдаемого в системе отсчета K , и координатами (x', y', z') и моментом времени t' этого же события, наблюдаемого в системе отсчета K' .

Кинематические формулы преобразования координат и времени в СТО называются преобразованиями Лоренца. Они были предложены в 1904 году еще до появления СТО как преобразования, относительно которых инвариантны уравнения электродинамики. Для случая, когда система K' движется относительно K со скоростью v вдоль оси x , преобразования Лоренца имеют вид:

$$\begin{cases} x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ y = y', \\ z = z', \\ t = \frac{t' + vx' / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \end{cases} \quad \begin{cases} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = \frac{t - vx / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \end{cases}$$

Из преобразований Лоренца вытекает целый ряд следствий. В частности, из них следует релятивистский эффект замедления времени и лоренцево сокращение длины. Пусть, например, в некоторой точке x' системы K' происходит процесс длительностью $\tau_0 = t'_2 - t'_1$ (собственное время), где t'_1 и t'_2 – показания часов в K' в начале и конце процесса. Длительность τ этого процесса в системе K будет равна

$$\tau = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + vx' / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{t'_1 + vx' / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Аналогичным образом можно показать, что из преобразований Лоренца вытекает релятивистское сокращение длины. Одним из важнейших следствий из преобразований Лоренца является вывод об относительности одновременности. Пусть, например, в двух разных точках системы отсчета K' ($x'_1 \neq x'_2$) одновременно с точки зрения наблюдателя в K' ($t'_1 = t'_2 = t'$) происходят два события. Согласно преобразованиям Лоренца, наблюдатель в системе K будет иметь

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{x'_1 + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad x_2 = \frac{x'_2 + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \Rightarrow x_1 \neq x_2, \\ t_1 &= \frac{t' + vx'_1 / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t_2 = \frac{t' + vx'_2 / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \Rightarrow t_1 \neq t_2. \end{aligned}$$

Следовательно, в системе K эти события, оставаясь пространственно разобщенными, оказываются неодновременными. Более того, знак разности $t_2 - t_1$ определяется знаком выражения $v(x'_1 - x'_2)$, поэтому в одних системах отсчета первое событие может предшествовать второму, в то время как в других системах отсчета, наоборот, второе событие предшествует первому. Этот вывод СТО не относится к событиям, связанным причинно-следственными связями, когда одно из событий является физическим следствием другого. Можно показать, что в СТО не нарушается принцип причинности, и порядок следования причинно-следственных событий одинаков во всех инерциальных системах отсчета.

Относительность одновременности пространственно-разобщенных событий можно проиллюстрировать на следующем примере.

Пусть в системе отсчета K' вдоль оси x' неподвижно расположен длинный жесткий стержень. В центре стержня находится импульсная лампа B , а на его концах установлены двое синхронизированных часов (рис. 7(a)), система K' движется вдоль оси x системы K со скоростью v . В некоторый момент времени лампа посылает короткие световые импульсы в направлении концов стержня. В силу равноправия обоих направлений свет в системе K' дойдет до концов стержня

одновременно, и часы, закрепленные на концах стержня, покажут одно и то же время t' . Относительно системы K концы стержня движутся со скоростью v так, что один конец движется навстречу световому импульсу, а другой конец свету приходится догонять. Так как скорости распространения световых импульсов в обоих направлениях одинаковы и равны c , то, с точки зрения наблюдателя в системе K , свет раньше дойдет до левого конца стержня, чем до правого (рис. 7(b)).

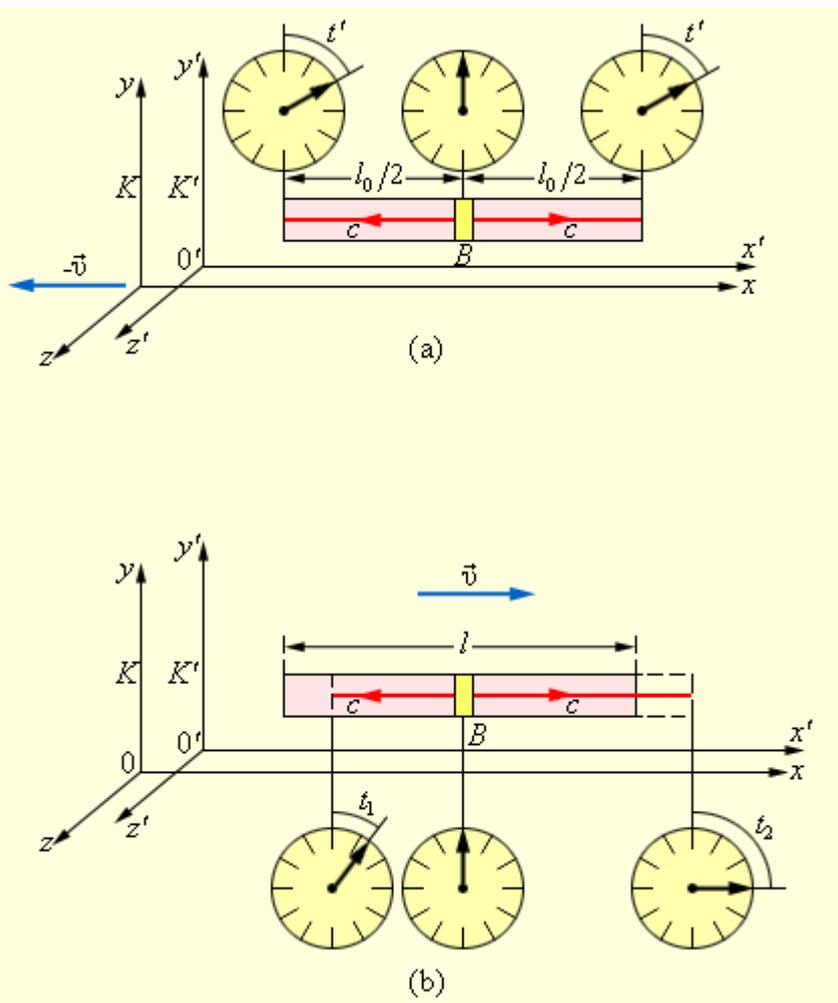


Рис. 7. Относительность одновременности. Световой импульс достигает концов твердого стержня одновременно в системе отсчета K' (а) и не одновременно в системе отсчета K (б).

Преобразования Лоренца выражают относительный характер промежутков времени и расстояний. Однако, в СТО наряду с утверждением относительного характера пространства и времени важную роль играет установление инвариантных физических величин, которые не изменяются при переходе от одной системы отсчета к другой. Одной из таких величин является скорость света c в вакууме, которая в СТО приобретает абсолютный характер. Другой важной инвариантной величиной, отражающей абсолютный характер пространственно-временных связей, является интервал между событиями.

Пространственно-временной интервал определяется в СТО следующим соотношением:

$$s_{12} = \sqrt{c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2},$$

где t_{12} – промежуток времени между событиями в некоторой системе отсчета, а l_{12} – расстояние между точками, в которых происходят рассматриваемые события, в той же системе отсчета. В частном случае, когда одно из событий происходит в начале координат системы отсчета в момент времени $t_1 = 0$, а второе – в точке с координатами x, y, z в момент времени t , пространственно-временной интервал между этими событиями записывается в виде

$$s = \sqrt{c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2}.$$

С помощью преобразований Лоренца можно доказать, что пространственно-временной интервал между двумя событиями не изменяется при переходе из одной инерциальной системы в другую. Инвариантность интервала означает, что, несмотря на относительность расстояний и промежутков времени, протекание физических процессов носит объективный характер и не зависит от системы отсчета.

Если одно из событий представляет собой вспышку света в начале координат системы отсчета при $t = 0$, а второе – приход светового фронта в точку с координатами x, y, z в момент времени t (рис. 3), то

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2,$$

и, следовательно, интервал для этой пары событий $s = 0$. В другой системе отсчета координаты и время второго события будут другими, но и в этой системе пространственно-временной интервал s' окажется равным нулю, так как

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2.$$

Для любых двух событий, связанных между собой световым сигналом, интервал равен нулю.

Из преобразований Лоренца для координат и времени можно получить *релятивистский закон сложения скоростей*. Пусть, например, в системе отсчета K' вдоль оси x' движется частица со скоростью

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'}.$$

Составляющие скорости частицы u'_x и u'_z равны нулю. Скорость этой частицы в системе K будет равна

$$u_x = \frac{dx}{dt}.$$

С помощью операции дифференцирования из формул преобразований Лоренца можно найти:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v u'_x}{c^2}}, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

Эти соотношения выражают релятивистский закон сложения скоростей для случая, когда частица движется параллельно относительной скорости \vec{v}

систем отсчета K и K' .

При $v \ll c$ релятивистские формулы переходят в формулы классической механики:

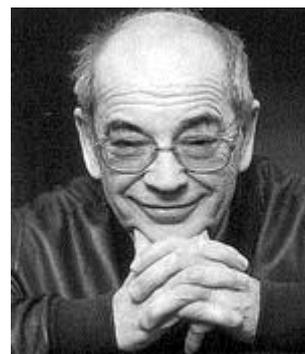
$$u_x = u'_x + v, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

Если в системе K' вдоль оси x' распространяется со скоростью $u'_x = c$ световой импульс, то для скорости u_x импульса в системе K получим

$$u_x = \frac{c + v}{1 + v/c} = c, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

Таким образом, в системе отсчета K световой импульс также распространяется вдоль оси x со скоростью c , что согласуется с постулатом об инвариантности скорости света.

В Интернете можно найти множество сайтов, занимающихся оболваниванием молодежи. В качестве примера укажем еще на один сайт – **Элементы** (*elementy.ru*), – поддерживаемый фондом **Династия**. Хозяин Фонда, *Дмитрий Борисович Зимин*, уверяет нас: «С момента основания (2001) главный приоритет Фонда, – поддержка российской науки и образования». Фактически же деньги Зимина работают против «российской науки и образования», хотя бы потому, что на его сайте опубликована «уникальная энциклопедия Джеймса Трефила «Природа науки. 200 законов мироздания»».



Зимин Д.Б.

Дмитрий Зимин совместно с издательством «Гелеос» в 2007 году выпустил эту энциклопедию в виде красочно оформленной книги подарочного образца. Кроме того, фонд «Династия» и предприятие «Гелеос» в качестве подарков в серии «Элементы» напечатали также «Краткую историю почти всего на свете» Билла Брайсона, получившую премию Рене Декарта, а также «Мир в ореховой скорлупе» Стивена Хокинга – известного сочинителя мифов о чёрных дырах, Большом взрыве и других фантазий из области жёлтой науки. Все эти глянецовые подарки от Зимина, конечно, очень вредны для молодых людей, желающих побольше узнать об окружающем нас мире. Их пагубность состоит в том, что они дают ложное представление о действительно научном способе познания, которым должны владеть истинные исследователи.

В преамбуле к энциклопедии Трефила говорится:

«Представляя этот впечатляющий и заслуживающий внимательного изучения труд, мы, однако, хотели бы предложить всем читателям нашего сайта рассматривать эту энциклопедию не как «догму», а как «пищу для ума», отправную точку для своих собственных размышлений. Мы рады приветствовать любые комментарии и мнения людей, имеющих иной взгляд как на содержание отдельных статей, так и на предлагаемый подбор «законов мироздания» в целом».



Действительно, на сайте «Элементы» имеется Форум, где обсуждаются различные проблемы физики. Однако критика теории относительности там практически запрещена. Чтобы наш читатель мог сам убедиться в низкопробности подачи материалов на сайте «Элементы», процитируем из «уникальной энциклопедии» статью –

Теория относительности

Говорят, что прозрение пришло к Альберту Эйнштейну в одно мгновение. Ученый якобы ехал на трамвае по Берну (Швейцария), взглянул на уличные часы и внезапно осознал, что если бы трамвай сейчас разогнался до скорости света, то в его восприятии эти часы остановились бы – и времени бы вокруг не стало. Это и привело его к формулировке одного из центральных постулатов относительности – что различные наблюдатели по-разному воспринимают действительность, включая столь фундаментальные величины, как расстояние и время.

Говоря научным языком, в тот день Эйнштейн осознал, что описание любого физического события или явления зависит от *системы отсчета*, в которой находится наблюдатель. Если пассажирка трамвая, например, уронит очки, то для нее они упадут вертикально вниз, а для пешехода, стоящего на улице, очки будут падать по параболе, поскольку трамвай движется, в то время как очки падают. У каждого своя система отсчета.

Но хотя описания событий при переходе из одной системы отсчета в другую меняются, есть и универсальные вещи, остающиеся неизменными. Если вместо описания падения очков задаться вопросом о законе природы, вызывающем их падение, то ответ на него будет один и тот же и для наблюдателя в неподвижной системе координат, и для наблюдателя в движущейся системе координат. Закон распределенного движения в равной мере действует и на улице, и в трамвае. Иными словами, в то время как описание событий зависит от наблюдателя, законы

природы от него не зависят, то есть, как принято говорить на научном языке, являются *инвариантными*. В этом и заключается *принцип относительности*.

Как любую гипотезу, принцип относительности нужно было проверить путем соотнесения его с реальными природными явлениями. Из принципа относительности Эйнштейн вывел две отдельные (хотя и родственные) теории. *Специальная, или частная, теория относительности* исходит из положения, что законы природы одни и те же для всех систем отсчета, движущихся с постоянной скоростью. *Общая теория относительности* распространяет этот принцип на любые системы отсчета, включая те, что движутся с ускорением. Специальная теория относительности была опубликована в 1905 году, а более сложная с точки зрения математического аппарата общая теория относительности была завершена Эйнштейном к 1916 году.

Специальная теория относительности

Большинство парадоксальных и противоречащих интуитивным представлениям о мире эффектов, возникающих при движении со скоростью, близкой к скорости света, предсказывается именно специальной теорией относительности. Самый известный из них – эффект замедления хода часов, или *эффект замедления времени*. Часы, движущиеся относительно наблюдателя, идут для него медленнее, чем точно такие же часы у него в руках.

Время в системе координат, движущейся со скоростями, близкими к скорости света, относительно наблюдателя растягивается, а пространственная протяженность (длина) объектов вдоль оси направления движения – напротив, сжимается. Этот эффект, известный как *сокращение Лоренца–Фицджеральда*, был описан в 1889 году ирландским физиком Джорджем Фицджеральдом (George Fitzgerald, 1851–1901) и дополнен в 1892 году нидерландцем Хендриком Лоренцем (Hendrick Lorentz, 1853–1928). Сокращение Лоренца–Фицджеральда объясняет, почему опыт Майкельсона–Морли по определению скорости движения Земли в космическом пространстве посредством замеров «эфирного ветра» дал отрицательный результат. Позже Эйнштейн включил эти уравнения в специальную теорию относительности и дополнил их аналогичной формулой преобразования для массы, согласно которой масса тела также увеличивается по мере приближения скорости тела к скорости света. Так, при скорости 260 000 км/с (87% от скорости света) масса объекта с точки зрения наблюдателя, находящегося в покоящейся системе отсчета, удвоится.

Со времени Эйнштейна все эти предсказания, сколь бы противоречащими здравому смыслу они ни казались, находят полное и прямое экспериментальное подтверждение. В одном из самых показательных опытов ученые Мичиганского университета поместили сверхточные атомные часы на борт авиалайнера, совершавшего регулярные трансатлантические рейсы, и после каждого его возвращения в аэропорт приписки сверяли их показания с контрольными часами. Выяснилось, что часы на самолете постепенно отставали от контрольных всё больше и больше (если так можно выразиться, когда речь идет о долях секунды). Последние полвека ученые исследуют элементарные частицы на огромных аппаратных комплексах, которые называются ускорителями. В них пучки заряженных субатомных частиц (таких как протоны и электроны) разгоняются до скоростей, близких к скорости света, затем ими обстреливаются различные ядерные мишени. В таких опытах на ускорителях приходится учитывать увеличение массы разгоняемых частиц – иначе результаты эксперимента попросту не будут поддаваться разумной интерпретации. И в этом смысле специальная теория относительности давно перешла из разряда гипотетических теорий в область инструментов прикладной инженерии, где используется наравне с законами механики Ньютона.

Возвращаясь к законам Ньютона, я хотел бы особо отметить, что специальная теория относительности, хотя она внешне и противоречит законам классической ньютоновской механики, на самом деле практически в точности воспроизводит все обычные уравнения законов Ньютона, если ее применить для описания тел, движущихся со скоростью значительно меньше, чем скорость света. То есть, специальная теория относительности не отменяет ньютоновской физики, а расширяет и дополняет ее (подробнее эта мысль рассматривается во Введении).

Принцип относительности помогает также понять, почему именно скорость света, а не какая-нибудь другая, играет столь важную роль в этой модели строения мира – этот вопрос задают многие из тех, кто впервые столкнулся с теорией относительности. Скорость света выделяется и играет особую роль универсальной константы, потому что она определена естественнонаучным законом (см. Уравнения Максвелла). В силу принципа относительности скорость света в вакууме *c* одинакова в любой системе отсчета. Это, казалось бы, противоречит

здравому смыслу, поскольку получается, что свет от движущегося источника (с какой бы скоростью он ни двигался) и от неподвижного доходит до наблюдателя одновременно. Однако это так.

Благодаря своей особой роли в законах природы скорость света занимает центральное место и в общей теории относительности.

Общая теория относительности

Общая теория относительности применяется уже ко всем системам отсчета (а не только к движущимся с постоянной скоростью друг относительно друга) и выглядит математически гораздо сложнее, чем специальная (чем и объясняется разрыв в одиннадцать лет между их публикацией). Она включает в себя как частный случай специальную теорию относительности (и, следовательно, законы Ньютона). При этом общая теория относительности идет значительно дальше всех своих предшественниц. В частности, она дает новую интерпретацию гравитации.

Общая теория относительности делает мир четырехмерным: к трем пространственным измерениям добавляется время. Все четыре измерения неразрывны, поэтому речь идет уже не о пространственном расстоянии между двумя объектами, как это имеет место в трехмерном мире, а о пространственно-временных интервалах между событиями, которые объединяют их удаленность друг от друга – как по времени, так и в пространстве. То есть пространство и время рассматриваются как четырехмерный пространственно-временной континуум или, попросту, *пространство-время*. В этом континууме наблюдатели, движущиеся друг относительно друга, могут расходиться даже во мнении о том, произошли ли два события одновременно – или одно предшествовало другому. К счастью для нашего бедного разума, до нарушения причинно-следственных связей дело не доходит – то есть существования систем координат, в которых два события происходят не одновременно и в разной последовательности, даже общая теория относительности не допускает.

Закон всемирного тяготения Ньютона говорит нам, что между любыми двумя телами во Вселенной существует сила взаимного притяжения. С этой точки зрения Земля вращается вокруг Солнца, поскольку между ними действуют силы взаимного притяжения. Общая теория относительности, однако, заставляет нас взглянуть на это явление иначе. Согласно этой теории, гравитация – это следствие деформации («искривления») упругой ткани пространства-времени под воздействием массы (при этом чем тяжелее тело, например Солнце, тем сильнее пространство-время «прогибается» под ним и тем, соответственно, сильнее его гравитационное поле). Представьте себе туго натянутое полотно (своего рода батут), на которое помещен массивный шар. Полотно деформируется под тяжестью шара, и вокруг него образуется впадина в форме воронки. Согласно общей теории относительности, Земля обращается вокруг Солнца подобно маленькому шару, пущенному кататься вокруг конуса воронки, образованной в результате «продавливания» пространства-времени тяжелым шаром – Солнцем. А то, что нам кажется силой тяжести, на самом деле является, по сути чисто внешним проявлением искривления пространства-времени, а вовсе не силой в ньютоновском понимании. На сегодняшний день лучшего объяснения природы гравитации, чем дает нам общая теория относительности, не найдено.

Проверить общую теорию относительности трудно, поскольку в обычных лабораторных условиях ее результаты практически полностью совпадают с тем, что предсказывает закон всемирного тяготения Ньютона. Тем не менее несколько важных экспериментов были произведены, и их результаты позволяют считать теорию подтвержденной. Кроме того, общая теория относительности помогает объяснить явления, которые мы наблюдаем в космосе, – например, незначительные отклонения Меркурия от стационарной орбиты, необъяснимые с точки зрения классической механики Ньютона, или искривление электромагнитного излучения далеких звезд при его прохождении в непосредственной близости от Солнца.

На самом деле результаты, которые предсказывает общая теория относительности, заметно отличаются от результатов, предсказанных законами Ньютона, только при наличии сверхсильных гравитационных полей. Это значит, что для полноценной проверки общей теории относительности нужны либо сверхточные измерения очень массивных объектов, либо черные дыры, к которым никакие наши привычные интуитивные представления неприменимы. Так что разработка новых экспериментальных методов проверки теории относительности остается одной из важнейших задач экспериментальной физики.

Векордия (VEcordia) представляет собой электронный литературный дневник Валдиса Эгле, в котором он цитировал также множество текстов других авторов. Векордия основана 30 июля 2006 года и первоначально состояла из линейно пронумерованных томов, каждый объемом приблизительно 250 страниц в формате А4, но позже главной формой существования издания стали «извлечения». «Извлечение Векордии» – это файл, в котором повторяется текст одного или нескольких участков Векордии без линейной нумерации и без заранее заданного объема. Извлечение обычно воспроизводит какую-нибудь книгу или брошюру Валдиса Эгле или другого автора. В названии файла извлечения первая буква «L» означает, что основной текст книги дан на латышском языке, буква «E», что на английском, буква «R», что на русском, а буква «M», что текст смешанный. Буква «S» означает, что файл является заготовкой, подлежащей еще существенному изменению, а буква «X» обозначает факсимилы. Файлы оригинала дневника Векордия и файлы извлечений из нее Вы **имеете право** копировать, пересылать по электронной почте, помещать на серверы WWW, распечатывать и передавать другим лицам бесплатно в информативных, эстетических или дискуссионных целях. Но, основываясь на латвийские и международные авторские права, **запрещено** любое коммерческое использование их без письменного разрешения автора Дневника, и **запрещена** любая модификация этих файлов. Если в отношении данного текста кроме авторских прав автора настоящего Дневника действуют еще и другие авторские права, то Вы должны соблюдать также и их.

В момент выпуска настоящего тома (обозначенный словом «Версия:» на титульном листе) главными представителями Векордии в Интернете были сайты: для русских книг – <http://vecordija.blogspot.com/>; для латышских книг – <http://vekordija.blogspot.com/>.

Оглавление

VEcordia	1
Извлечение R-OAKL-3	1
Олег Акимов.....	1
Критика ТО.....	1
Критика ТО.....	2
10. Эксперимент Майкельсона–Морли.....	2
– I –	2
– II –	8
– III –	13
– IV –	19
Приложение № 1 Валдиса Эгле: линии Акимова	23
Приложение № 2 Валдиса Эгле: «компенсационный механизм»	25
11. Радиолокационный метод	27
– I –	27
– II –	32
12. Отклонение лучей света вблизи массивных тел	39
– I –	39
– II –	45
– III –	49
– IV –	51
– V –	56
– VI –	59
13. Аномальное движение перигелия Меркурия	66
– I –	66
– II –	67
– III –	69
– IV –	71
– V –	73
– VI –	76
14. Как создавалась общая теория относительности	80
– I –	80
– II –	86

Главный аргумент против теории относительности.....	96
Почему теория относительности ошибочна.....	100
СТО как спекулятивная догма	104
1. Постулаты СТО	104
2. Относительность промежутков времени	106
3. Относительность расстояний.....	110
4. Преобразования Лоренца	111
Теория относительности	114
Специальная теория относительности	115
Общая теория относительности.....	116
Оглавление	117