

НОВЫЕ ДАННЫЕ ЗА И ПРОТИВ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ¹⁾.

Г. Иоос.

Введение. Вокруг теории относительности вновь возгорелась борьба, но на этот раз уже не на бесплодной почве вопроса о логическом обосновании теории, а по вопросу чисто физическому, об экспериментальной проверке теории. Любопытно следующее совпадение. В одной из тетрадок „Proceedings of the National Academy of Washington“ было опубликовано чрезвычайно интересное подтверждение смещения спектральных линий в поле тяготения к красному концу спектра, — смещения, требуемого общей теорией относительности, но до сих пор еще не получившего безупречного подтверждения. В следующей же тетрадке этих „Proceedings“ был опубликован результат повторения опыта Майкельсона, резко противоречащий специальной теории относительности. Кроме того, в последнее время подвергнулись обсуждению явления абберации, в которых усматривались кажущиеся противоречия с теорией относительности.

Доказательство смещения к красному.

До сих пор поиски предсказанного Эйнштейном смещения спектральных линий ограничивались исследованием солнечного спектра. Однако предполагаемое влияние поля тяготения на солнце столь мало, что оно лежит у самой границы точности измерений. Кроме того, другие факторы, например, давление, могут вызывать аналогичные смещения спектральных линий и маскировать ожидаемый эффект. В последнее время К. Ф. Боттлингер, И. Вебер и А. С. Эддингтон указали на другое светило — спутник Сириуса, условия изучения спектра которого значительно более благоприятны для поисков смещения.

Эта звезда — одна из тех немногих, о которых нам известно достаточно данных, чтобы путем элементарных соображений определить порядок величины поля тяготения на их поверхности. Нам известно,

¹⁾ Phys. Zeitschr. 27, 1, 1926. Доложено 18/XI 1925 г. в Галле на собрании Gauverein Sachsen-Thüringen-Schlesien Немецкого Физического Общества. Перев. Иг. Тамм.

что время обращения этой визуальной двойной звезды равно 49,3 годам, и что большая ось орбиты спутника вокруг главной звезды равна 20 радиусам земной орбиты. Согласно третьему закону Кеплера, из этих данных следует, что общая масса системы Сириуса в 3,5 раза превышает массу солнца. Однако, более того, удалось измерить не только орбиту спутника относительно главной звезды, но и орбиты обеих звезд относительно их центра тяжести, что дает возможность определить отношение массы спутника к массе главной звезды; отношение это равно 2,5:1. Стало быть, масса спутника равна массе солнца. Чтобы определить его радиус, надо сравнить его яркость с яркостью солнца. Спутник Сириуса, находящийся от нас на расстоянии 9 световых лет, что соответствует полугодичному параллаксу в $0,37''$, является звездой 8,5 величины. Чтобы сравнить его истинную яркость с яркостью солнца, нужно мысленно перенести обе эти звезды на одинаковое стандартное расстояние, которое обычно принимается соответствующим параллаксу в $0,1''$. Яркость спутника Сириуса на этом расстоянии была бы в $(3,7)^2$ раз меньше. Так как, по определению, уменьшение яркости звезды в 2,512 раз соответствует уменьшению ее величины на единицу, то абсолютная яркость спутника Сириуса, т.-е. кажущаяся величина его на стандартном расстоянии, равна 11,34. Солнце на том же расстоянии от нас казалось бы нам звездой 4,9 величины. Таким образом, яркость спутника Сириуса в $2,5^{(11,3-4,9)} = 376$ раз меньше яркости солнца. Если бы обе эти звезды обладали одинаковой температурой, а стало быть и одинаковой яркостью на единицу поверхности, то отсюда можно было бы заключить, что поверхность спутника Сириуса составляет $\frac{1}{376}$ поверхности солнца. Однако по непрерывному спектру и по характеру линейного спектра поглощения температура спутника Сириуса определяется равной 8000° , тогда как температура солнца равна лишь 5900° . Стало быть, согласно закону Стефана-Больцманна, его поверхностная яркость в $\left(\frac{80}{59}\right)^4$ раз больше поверхностной яркости солнца; поэтому только что указанная величина его поверхности должна быть уменьшена в то же число раз, отсюда следует, что его радиус составляет 0,0285 солнечных радиусов, т.-е. равен 79800 км. Стало быть, плотность спутника Сириуса достигает фантастической величины порядка $50\,000^1$). Исходя из несколько иных соображений звездно-стати-

¹⁾ Эта громадная величина плотности вполне согласуется с широко известной теорией строения звезд Эддингтона. По Эддингтону, во внутренности звезд, где температура достигает миллионов градусов, все атомы ионизированы и ядра их почти полностью лишены всех внешних электронов. Благодаря этому при громадных давлениях, господствующих во внутренности звезд, ядра и свободные электроны сближаются до расстояний, значительно меньших радиуса неионизированных атомов.

стического характера, Сирс¹⁾ (Seares) вычислил, что радиус спутника Сириуса должен равняться 25000 км, если причислить эту звезду к спектральному классу F0, и 18000 км, если принять, что она принадлежит к классу A₅. С помощью приведенных значений величин r и M величина смещения к красному по формуле Эйнштейна

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{\chi M}{c^2 r} \right)$$

определяется равной примерно 0,3 ангстрёма, против 0,008 ангстрёма для солнца.

Несмотря на столь значительную величину смещения, все же даже при самом благоприятном положении звезд очень трудно получить безупречные снимки спектра спутника Сириуса, так как на его спектр налагается спектр главной звезды, величина которой превышает по яркости величину спутника на 10 единиц. Вследствие этого только четыре из снимков, сделанных В. Адамсом²⁾ на Моунт Вильсон, оказались пригодными для измерений. На этих фотографиях в середине был снят спектр спутника, а сверху и снизу от него — слабо снят спектр главной звезды, что давало возможность сравнить длину световых волн спутника и главной звезды. Плотность главной звезды столь мала, что можно пренебречь влиянием тяготения на ней по сравнению с влиянием тяготения на главной звезде. Интенсивность налагавшегося на спектр спутника спектра главной звезды была у линии H_β еще весьма малой, однако, у H_γ она была уже того же порядка величины, как и интенсивность спектра спутника. Эти соотношения обуславливаются более высокой температурой главной звезды. Так как спектр Сириуса налагался и на среднюю часть снимков, то при равной интенсивности налагавшихся спектров измерения средней части снимков соответствуют среднему арифметическому из длин волн спутника и Сириуса, и стало быть истинное отличие длины волн на спутнике от длины волн на Сириусе в два раза больше измеренного. Соответствующие поправки, вводились в измерения у H_γ; поправки эти вполне обоснованы.

Если выразить смещение к красному в эквивалентной скорости по направлению луча зрения, вызывающей равное Допплерово смещение, то величина смещения линии H_β равна в среднем $26 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ (крайние значения 31 и 17), линии же H_γ по внесению поправки $21 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$.

Кроме того, были измерены некоторые другие линии, в том числе Mg⁺ 4481, давшие в среднем 22 км. Среднее из всех измерений равно 23 км. Отсюда нужно вычесть действительную скорость спутника от-

¹⁾ Seares. Astrophys. Journ. 55, 165, 1922.

²⁾ W. Adams. Proc. Nat. Ac. Washington 11, 382, 1925.

носителем Сириуса, достигавшую в момент наблюдения 1,7 км по направлению луча зрения. Таким образом смещение к красному оказывается равным $21 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, что соответствует изменению длины волны на 0,32 ангстр. Можно было бы попытаться приписать это смещение влиянию давления хотя, как это непосредственно явствует из сравнения с условиями на поверхности земли, значительная величина потенциала тяготения связана с малым давлением. Упоминание Адамса о том, что линии очень размыты, указывает на влияние давления. Соотношение между расширением и смещением линий, вызываемым давлением, тщательнее всего изучено на ртутной линии 2536 Хр. Фюхтбауером, Г. Иоосом и О. Динкелакером¹⁾. Результаты этого исследования, по крайней мере в отношении порядка величины, вероятно, могут быть отнесены ко всем спектральным линиям не водородоподобных атомов. Согласно этому исследованию, наблюденная величина смещения 0,3 ангстр. может быть вызвана давлением водорода примерно в 75 атмосфер. При этом ширина линии достигла бы 2 ангстр., что согласуется с указаниями Адамса. Таким образом, смещение не принадлежащих водороду линий не доказательно. Однако иначе обстоит дело с водородными линиями. В противоположность другим линиям, смещение которых в электрическом поле незначительно и пропорционально квадрату напряжения, эффект Штарка в линиях водорода пропорционален напряжению поля. В виду этого нужно ожидать, что расширение под влиянием давления у водородных линий будет значительно больше, ибо расширение это вызывается ведь межмолекулярными электрическими полями. И действительно, согласно измерениям А. Росси²⁾, правда, довольно грубым, расширение Бальмеровых линий (при испускании) столь велико, что при 75 атм. ширина их должна была бы достигать несколько тысяч ангстрём. Таким образом влияние давления нужно считать исключенным. Так как другие причины, могущие вызвать смещение к красному, нам не известны, то представляется законным заключить, что в спектре спутника Сириуса мы действительно имеем дело с искомым влиянием тяготения³⁾.

¹⁾ Chr. Füchtbauer, G. Ioos und O. Dinkelacker. Ann. d. Phys. 71, 204, 1923.

²⁾ A. Rossi. Astrophys. Journ. 34, 299, 1911. Сравни теорию Гольстмарка J. Holtswark. Ann. d. Phys. 59, 623, 1919) и относящиеся к низким давлениям (примерно, до 400 мм) измерения Хельберта (O. Hulbert. Phys. Rev. 22, 24, 1923).

³⁾ Можно было бы еще попытаться предположить, что поглощение Бальмеровых линий происходит не в том слое, где поглощение остальных линий. Так как, однако, смещение линий под влиянием давления при всех условиях связано с их расширением, то возможность эта изменяется, если только ширина линий была одинакова в обоих спектрах (водородном и неводородном. Прим. перс.). К сожалению, в работе Адамса по этому вопросу нет указаний. Что касается соотношений между расширением и смещением под влиянием давления, то ни в цитированной работе Росси, ни в работе Хельберта нет никаких указаний о смещении максимума линий

АБЕРРАЦИЯ.

Ленард¹⁾ считал, что теории относительности противоречит следующее обстоятельство. Если абберация зависит только от относительной скорости наблюдателя и источника света, то спектроскопические двойные звезды должны казаться раздельными как раз тогда, когда они находятся в противостоянии, ибо в этот момент их скорости противоположно направлены и перпендикулярны лучу зрения. Так как это не имеет места, и так как, с другой стороны, движение земли проявляется в абберации, то, стало быть, этим путем можно обнаружить абсолютное движение. Тирринг²⁾ разъяснил этот вопрос следующим образом. Теория относительности не отрицает возможности обнаружить ускоренное движение относительно инерциальной системы неподвижных звезд, которое можно обнаружить хотя бы на опыте с маятником Фуко. Абберация зависит в действительности от движения по отношению к этой инерциальной системе. Ибо последовательное применение общей теории относительности приводит к следующему результату: для наблюдателя, покоящегося относительно инерциальной системы, явления абберации сводятся только к тому, что он видит движущуюся светящуюся точку в том месте, где она находилась $\frac{r}{c}$ секунд тому назад (r есть эффективное расстояние точки от наблюдателя). Поэтому при наблюдении двойных звезд он просто видит каждую из них в более ранней фазе. Напротив, при ускоренном движении наблюдателя по отношению к инерциальной системе неподвижных звезд имеет место искривление световых лучей, которые при движении по земной орбите приводят к абберационным явлениям, совпадающим с требованиями элементарной теории.

В том же смысле должны быть истолкованы и результаты интересных опытов И. Штарка³⁾. Штарк заставлял падать каналовые лучи водорода на плоскую алюминиевую поверхность. Отбрасывая изображение алюминиевой поверхности на щель спектрографа, Штарк наблюдал свечение в плоскости этой поверхности перпендикулярно к направлению каналовых лучей. Путем наблюдений в продольном направлении было установлено, что водородные линии испускаются, главным образом, движущимися частицами. Кроме этих частиц, однако, вдоль поверхности алюминия находились еще и пары ртути, возбуждавшиеся водородными каналовыми лучами и светившиеся в покоящемся состоянии. Оказалось, что в свете движущихся водородных лучей граница алюминиевой поверхности была видна на том же самом месте, как и в свете

¹⁾ P. Lenard. Zeitschr. f. techn. Phys. 6, 81, 1925.

²⁾ H. Thirring. Zeitschr. f. techn. Phys. 6, 561, 1925; Zeitschr. f. Phys. 30, 63, 1925.

³⁾ J. Stark. Ann. d. Phys. 77, 16, 1925.

покоющихся атомов ртути. Если бы нормаль к волновой поверхности движущихся Н-лучей, благодаря движению их носителей, составляла с нормалью к волновой поверхности света неподвижных атомов угол порядка $\frac{v}{c}$, то, исходя из размеров применявшихся для наблюдений приборов нужно было бы ожидать смещение в 1,2 мм. В действительности же смещение это было во всяком случае меньше $5 \cdot 10^{-2}$ мм. Напротив, согласно приведенным выше соображениям, никакого смещения вовсе и не должно быть. Наблюдатель покоится в инерциальной системе и видит границу свечения движущихся частиц в том самом месте, где эти частицы действительно перестают излучать, т.-е. на поверхности алюминия. На том же самом месте видит он и границу свечения атомов ртути.

Повторение опыта Майкельсона.

Хотя все изложенные факты подлежат истолкованию в пользу теории относительности, однако, если подтвердятся результаты, полученные при повторении опыта Майкельсона на Моунт Вильсон, теорию эту все же нужно будет считать опровергнутой. Сущность этого опыта общеизвестна, так что мы не будем останавливаться на его описании. Если одно из плеч интерферометра составляет с горизонтальной слагающей скорости земли (или скорости „эфирного ветра“) угол β , и если α есть угол между направлением эфирного ветра в пространстве и нормалью к плоскости прибора, то по теории неподвижного эфира при повороте прибора на 90° нужно ожидать следующего смещения интерференционных полос:

$$\Delta n = \frac{2l}{\lambda} \left(\frac{v}{c} \right)^2 \sin^2 \alpha \cos 2\beta$$

где l есть длина плеча, λ — длина световой волны, и v — скорость земли относительно эфира. Как известно, отсутствие ожидавшегося смещения в опыте, произведенном Майкельсоном и Морлеем в 1887 году, привело к созданию теории относительности. В 1904 и 1905 годах Морлей и Миллер¹⁾ повторили этот опыт, пользуясь прибором значительно больших размеров, в котором длина плеча достигала 32 метров (благодаря применению многократного отражения действительная длина плеча была сведена к 4 м). И в этом опыте смещение полос при повороте прибора лежало в пределах ошибок измерения и было значительно меньше ожидавшегося смещения, так что результат опыта был признан отрицательным. Пользуясь тем же самым прибо-

¹⁾ E. W. Morley and D. C. Miller. Phil. Mag. 9, 669 и 680, 1905.

ром, Д. Миллер ¹⁾ повторил опыт на высоте 1800 м на Моунт Вильсон, и к величайшему изумлению нашел смещение полос, достигавшее $\frac{1}{3}$ ожидавшейся величины. Результат этот сначала был приписан ошибкам наблюдения. Поэтому весь прибор был перестроен, при чем для исключения магнитных воздействий железные части были тщательнейшим образом устранены. Но и с новым интерферометром смещение полос на Моунт Вильсон было вновь обнаружено. Затем прибор этот был перенесен на равнину в Кливлэнд, где в 1922 и 1923 годах были произведены многочисленные наблюдения, которые все дали отрицательный результат. Начиная с сентября 1924 г., наблюдения вновь производились на Моунт Вильсон, при чем прибор был установлен на новом месте. Вновь было обнаружено смещение примерно той же величины, как и в 1921 году. Самый длинный ряд измерений был произведен в марте и апреле 1925 года, когда в общей сложности было произведено 1600 отдельных измерений.

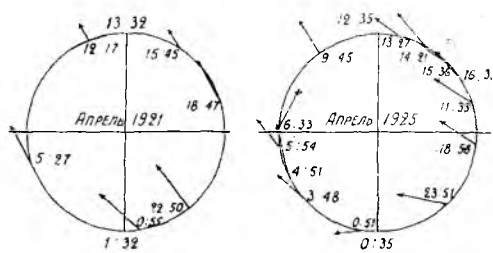


Рис. 1.

На рис. 1 нанесены скорость и направление эфирного ветра в различные часы звездного времени (по наблюдениям в апреле 1921 и апреле 1925 годов). На рис. 2 нанесен азимут наблюдавшегося в апреле 1925 г. эфирного ветра в зависимости от звездного времени. При некоторой ловкости через точки наблюдения можно провести синусообразную кривую. Окончательный результат опыта сводит ся, по Миллеру ²⁾, к тому, что на Моунт Вильсон имеет место относительное движение земли и эфира со скоростью $10 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$.

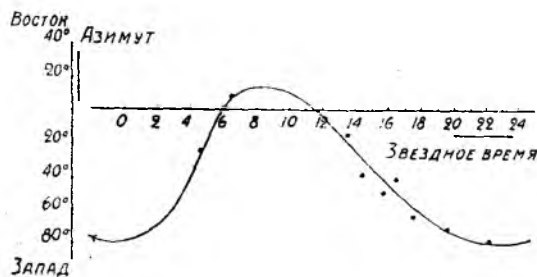


Рис. 2.

Что можно сказать об этом результате? Судя по отчету об опытах, трудно предположить, чтобы могли иметь место грубые источники ошибок, ибо, повидимому, постоянство температуры и неподвижность установки контролировалась всеми мыслимыми способами. Все же достоверного суждения издалика составить нельзя. Далее, можно спросить, являются ли результаты

¹⁾ D. C. Miller. Phys. Rev. 19, 407, 1922.

²⁾ D. C. Miller. Proc. Nat. Ac. Washington 11, 314, 1925. Д. К. Миллер. Эфирный ветер. — Успехи Физич. Наук. 5, стр. 177, 1925.

Миллера, как таковые, ясными и понятными (einleuchtend)? В этом отношении мы прежде всего встречаемся с двумя сомнениями. 1) Если на поверхности земли на уровне моря эффект отсутствует, тогда как полная величина относительной скорости земли и эфира равна $30 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$,

то и с точки зрения частично увлекаемого эфира трудно понять, как может относительная скорость возрасть столь чудовищно быстро с высотой (до $\frac{1}{3}$ полной величины на Моунт Вильсон). Если же, однако, как об этом будет сказано ниже, полную скорость нужно считать равной нескольким сотням километров в секунду, то это возрастание становится не столь невероятно быстрым, как при скорости в $30 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$.

2. Вызывает сомнение замечание автора, что не было обнаружено заметного изменения величины эффекта в зависимости от времени года, и что, напротив, скорость и направление эфирного ветра, повидимому, определяются звездным временем наблюдения. Если бы эффект зависел только от скорости земли в ее орбите вокруг солнца, то ту точку небосвода, из которой дует эфирный ветер, легко было бы определить путем следующих рассуждений. Направление относительной скорости земли и эфира во всяком случае должно лежать в плоскости орбиты; в виду приблизительно круговой формы орбиты направление скорости должно быть перпендикулярным направлению на солнце. Так как проекция земной орбиты на небосвод совпадает с эклиптической, то искомая точка должна лежать на эклиптике на расстоянии 90° от солнца. Отсюда явствует, что эта точка в разные времена года лежит в разных участках звездного неба. Таким образом совершенно непонятно, как может направление эфирного ветра быть функцией звездного времени, не зависящей от времени года. Иначе будет обстоять дело, если на движение земли по орбите налагается еще общее движение всей солнечной системы, направление которого, конечно, не меняется в течение года. Результирующая обеих скоростей будет тем менее зависеть от времени года, чем больше общая скорость солнечной системы по отношению к скорости земли по орбите. Поэтому, чтобы объяснить незначительность влияния времени года, нужно принять, что скорость солнечной системы достигает нескольких сотен километров в секунду. Что касается скорости солнца по отношению к неподвижным звездам, то сравнительно достоверно известно, что скорость эта равна $20 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, и, стало

быть ни в коем случае не достаточна для объяснения результатов опыта Миллера. Однако в настоящее время в астрономии принимается, что спиральные туманности представляют собою наиболее далекие миры, координированные с нашей млечной системой. Исходя из установленной при наблюдении этих туманностей величины эффекта Доплера, нужно считаться с движением нашей системы Млечного

Пути по отношению к другим млечным системам, скорость которого достигает, примерно, $200 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ ¹⁾.

ПОВТОРЕНИЕ В ГОРАХ ОПЫТА ТРАУТОНА И НОБЛЯ.

В виду фундаментального значения результатов Миллера чрезвычайно необходимо их проверить. Для нового повторения опыта Майкельсона требуются большие средства и много времени. С другой стороны, результаты Миллера делают желательным повторение на большой высоте ряда других опытов, имеющих отношение к теории относительности и производившихся до сих пор лишь на уровне моря. Прежде всего следует упомянуть опыт Траутона и Нобля ²⁾, долженствующий установить существование вращающего момента сил, действующего согласно теории эфира на свободно подвешенный заряженный конденсатор и пропорционального $\left(\frac{v}{c}\right)^2$. Этот опыт подготовлялся в Иене и, как любезно сообщил Р. Томашек, был произведен этой осенью на перевале Юнгфрау (Jungfrau-joch). Хотя чувствительность прибора в 20 раз превышала чувствительность того прибора, которым пользовались Траутон и Нобль, и хотя с его помощью легко было бы обнаружить относительную скорость в $3 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, однако, никакого эффекта не наблюдалось. Так как отрицательный результат этого опыта вытекает из закона инертности всех видов энергии, то закон этот таким образом должен во всяком случае считаться справедливым, даже если результаты Миллера и подтвердятся.

З а к л ю ч е н и е: Так как для опровержения теории относительности достаточно обнаружить поступательное движение земли на одном единственном опыте, то хотя прочие изложенные работы и свидетельствуют против вероятности результатов, полученных Миллером, все же они никогда не смогут перевесить значения этих результатов, если только эти последние будут достоверно установлены. В таком случае, однако, была бы опровергнута, не только теория относительности, но и Лорентцова теория неподвижного эфира, исключаяющая все эффекты 1-го порядка относительно $\frac{v}{c}$. Поэтому представляется не лишним перед повторением

¹⁾ J. Weber. в Phys. Zeitschr. 27, 5, 1926, указывает еще на следующее противоречие. Из какой бы точки небосвода ни дул эфирный ветер, крайние значения, которые принимает его азимут, в течение суток, благодаря вращению земли вокруг своей оси, должны быть симметричны относительно направления оси вращения, т.-е. относительно линии юг — север. Между тем, как явствует из рис. 2, измеренные Миллером значения азимута этому требованию не удовлетворяют (резко выраженное смещение кривой азимутов вниз, т.-е. к западу). *Прим. перев.*

²⁾ F. T. Trouton and H. R. Noble. Phil. Trans. A. 202, 165.

опыта Майкельсона повторить в горах хотя бы один из очень легко осуществимых опытов первого порядка, например, интерференционный опыт Кеттелера¹⁾. Мы не станем останавливаться на картине того хаоса, в который, в случае подтверждения результатов Миллера, будут повергнуты все теории электродинамики движущихся тел, правда, за исключением теории Стокса-Планка²⁾ сжимаемого, свободного от вихрей, эфира. Пожалуй, можно даже сомневаться в том, возможно ли было бы в этом случае единое истолкование электродинамических и оптических явлений в движущихся телах, но с другой стороны, в этом случае открылась бы нечаянная возможность измерить в лабораторных условиях движение земли относительно удаленных миров спиральных туманностей,—движение, лишь порядок величины которого может быть определен астрономическими методами.

1) Ketteler. Pogg. Ann. 144, 1872.

2) См., напр., Н. А. Lorentz. Theory of Electrons, Leipzig, 1909, pp. 168 и след.