

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

Новые опытные подтверждения следствий общей теории относительности.

С. И. Вавилов.

1. Одно из самых важных следствий общей теории относительности — зависимость местного времени от потенциала тяготения в данном месте. Атом, излучающий тонкие спектральные линии на поверхности светила, может рассматриваться, как точнейшие часы, на которых неизбежно должно отразиться влияние тяготения; чем больше потенциал тяготения в данной точке, тем медленнее пойдут часы, тем больше сместится в красную сторону спектра линейное излучение атомов. Если обозначить через ν_0 неизменную частоту световых колебаний, через $\Delta\nu$ изменение частоты, требуемое общей теорией относительности, то

$$\Delta\nu = -\frac{k}{c^2} \cdot \frac{M}{r} \nu_0 \quad (1)$$

здесь k — постоянная тяготения, M — масса светила, r — его радиус, c — скорость света. Величина „красного смещения“ даже для поверхности солнца крайне незначительна (несколько сотых долей λ), но все же доступна спектроскопическому наблюдению. Многочисленные попытки обнаружить „красное смещение“ на солнце приводили, однако, почти всегда к довольно неопределенным результатам. В газовой оболочке солнца имеется несколько причин, которые, в свою очередь, могут вызывать значительное изменение положения спектральных линий (относительное движение в атмосфере солнца, давление, аномальная дисперсия). Выделить чистый релятивистский эффект затруднительно. В этом смысле солнечные спектральные наблюдения едва ли могут дать вполне безупречное доказательство наличия красного смещения, или его отсутствия. С другой стороны, для теории очень существенно выяснить этот пункт; по словам Эйнштейна, отсутствие красного смещения равносильно неприемлемости общей теории относительности. Для несомненного доказательства красного смещения нужно отыскать место с потенциалом тяготения значительно большим, чем на солнце. Искать светило с массой во много раз большей, чем у солнца, повидимому, безнадежно. Массы порядка 10^{33} — 10^{34} г, как это выяснено Эддингтоном, должны быть предельными. Но ограниченность массы не исключает широких вариаций плотности, или радиуса светил; во вселенной имеются звезды-гиганты и звезды-карлики, примерно, с одинаковой массой. Звезды-карлики и являются объектом особенно удобным для обнаружения релятивистского смещения. Особенно благоприятен в этом отношении спутник Сириуса, как показал Эддингтон¹⁾. Этот спутник относится к типу „белых карликов“, являясь звездой в ранней стадии развития (спектральный тип $F'0$ или $A5$). Из элементов орбиты спутника определяется его масса и скорость относительно Сириуса.

¹⁾ Monthly Notices 84, 308; 1924.

Параллакс Сириуса хорошо известен. Зная, кроме того, кажущуюся звездную „величину“ спутника, можно на основании этих данных определить абсолютные размеры спутника. Таким путем Эддингтон вычислил для спутника радиус 19600 км и колоссальную среднюю плотность 53 000 (масса $1,6 \cdot 10^{33}$ г). По этим данным на поверхности этой звезды можно ожидать относительно огромного красного смещения в несколько десятых Å . Адамс на обсерватории Моунт Вильсон¹⁾ произвел соответствующие спектральные наблюдения. Работа была очень трудной, так как собственное излучение спутника в значительной мере маскируется светом Сириуса (яркость которого, примерно, в 10000 раз больше). С другой стороны, неизбежное присутствие рассеянного света Сириуса на спектрограммах дает возможность сразу сравнить смещенные линии спутника с несмещенными линиями Сириуса. На основании фотометрического промера спектрограмм и после внесения поправок, связанных с наложением спектра Сириуса на спектр спутника, Адамс получил такие цифры для смещения спектральных линий:

Линия	Смещение $\left(\text{в } \frac{\text{км}}{\text{сек}} \right)$
H_{β}	+ 26
H_{γ}	21
Остальные линии	22
	Средн. + 23

Смещение выражено здесь в $\frac{\text{км}}{\text{сек}}$, соответственно эквиваленту смещения Доплера. Полученную величину надо еще поправить на скорость спутника относительно Сириуса, $1,7 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$. Исправленная величина будет, примерно, $+ 21 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ или $+ 0,32 \text{ Å}$. Отсюда обратно можно вычислить радиус спутника 18000 км и плотность 64000.

Таким образом следствие теории относительности о красном смещении удовлетворительно подтвердилось. Если обратно предположить заранее справедливость этого следствия, то получается новый прием определения размеров и плотности светил (разумеется, только в том случае, когда известна масса светила).

2. Исходная опытная база частной теории относительности — отрицательный результат опыта Майкельсона и других подобных опытов. Разрушить эту базу пытаются различными способами. Не прекращается критика „классической“, эфирной теории опыта Майкельсона, хотя до сих пор во всех случаях эта критика оказывалась плодом тех или иных недоразумений. В известных опытах Миллера²⁾ как будто бы обнаруживается наличие некоторого „эфирного ветра“ при переносе интерферометра на высоту. Опыты эти еще не закончены, подробности не опубликованы, и результаты одинаково удивительны как с релятивистской, так и с эфирной точки зрения. Суждение об этих опытах и прилаживание к ним теории относительности или теории эфира осторожнее отложить до тех пор, пока окончательно выяснится надежность результатов. Очень часто отрицательные результаты Майкельсона пытаются объяснить тем, что эфир, по крайней мере, в слоях, прилегающих к земле, увлекается землей при ее движении, подобно тому, как увлекается атмосфера. Если это так, то не только поступательное годовое движение земли не будет сопровождаться „эфирным ветром“, но и суточное вращение ничем не отразится на интерферометре. Еще в 1913 г. Саньяк³⁾ произвел интерференционный опыт во вращающейся системе.

¹⁾ W. S. Adams. Proc. of Nat. Washington, 11, 382, 1925.

²⁾ См. У. Ф. Н. В, вып. 3, стр. 177, 1925.

³⁾ G. Sagnac. Journ. de Phys. Mars 1914.

при чем источник света, зеркала и „наблюдатель“ (фотографическая пластинка) вращались на общей платформе; опыт дал положительный результат, т. е. смещение интерференционных полос такой величины, как это следует из гипотезы неподвижного эфира. В то время С а н ь я к считал такой результат опровержением теории относительности, но вскоре было выяснено, что противоречия с теорией относительности здесь нет. Частный принцип относительности имеет дело только с равномерным прямолинейным движением. Вращательное движение подлежит ведению общей теории. Наличие ускорения эквивалентно появлению сил тяготения (в обобщенном смысле), изменяющих величину скорости света. Приложение общей теории относительности к случаю равномерного вращения твердого тела приводит к выводу, что скорость света будет здесь

$$c' = c \pm r\omega \tag{2}$$

где c — скорость света в случае равномерного прямолинейного движения, r — расстояние точки периферии от оси вращения, ω — угловая скорость ¹⁾. Результат в этом случае такой же, как и в теории неподвижного эфира. Для равномерного прямолинейного движения принцип относительности и эфирная теория Лоренца одинаково устанавливают отсутствие эффектов первого порядка (относительно $\frac{v}{c}$), особенность принципа относительности — устранение эффектов второго порядка.

Для того, чтобы эффекты первого порядка могли проявиться, световой луч, так или иначе, надо повернуть, „ускорить“.

Для примирения положительных результатов опыта С а н ь я к а с отрицательными результатами опыта М а й к е л ь с о н а приходилось предполагать, что небольшой прибор С а н ь я к а не увлекает при своем вращении относительно земли окружающего эфира (Л е н а р д). Однако и такое положение потеряло почву после нового опыта М а й к е л ь с о н а - Г э л ь я ²⁾, законченного в 1925 г. На этот раз дело идет об опыте с положительными результатами.

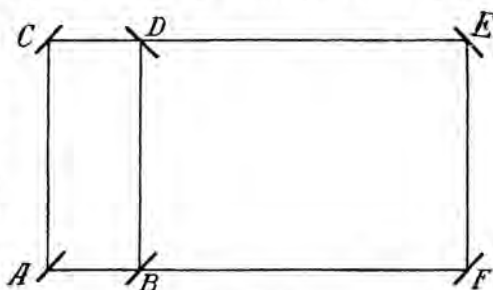


Рис. 1.

Задача опыта — обнаружить оптическим путем суточное вращение земли. Общая теория относительности и гипотеза неподвижного эфира требуют наличия эффекта первого порядка (2), теория увлекаемого эфира требует отсутствия эффекта, как и в первом опыте М а й к е л ь с о н а. Опыт был поставлен следующим образом (рис. 1).

С запада на восток на земле были уложены водопроводные трубы CE и AF диаметром в 30 см. Длина CE и AF 610 м. Трубы AC , BD , FE , идущие с севера на юг, имеют длину 340 м. Одним общим насосом, работающим от 50-сильного мотора, можно было в течение 3 часов откачать воздух из труб приблизительно до 1 см давления. Луч света от дуги раздваивался у слегка посеребренного зеркала A и при помощи зеркал C, D, E, B, F мог обходить контуры $ABCD$ и $A'FEC$ против и по часовой стрелке. Установка зеркал производилась при помощи выпущенных наружу штанг с установочными винтами. Когда воздух из труб откачивался, интерференционная картина получалась совершенно отчетливо.

¹⁾ Простой вывод формулы (2) дает С. Runge. *Naturwissenschaften*, 20, 440, 1925.

²⁾ А. А. Michelson and Henry G. Gale assisted by Fred. Pearson. *Astroph. Journ.*, 61, 137, 1925.

Плечи AF и CE идут по разным широтам, соответственно ψ_1, ψ_2 в формуле (2) для этих участков пути светового пучка различны. Лучи, идущие против и по часовой стрелке, в контуре $AFECA$ сойдутся в точке A с разностью фаз:

$$\Delta = \frac{4l(\psi_1 - \psi_2) \cdot R}{c \cdot \lambda} \sin \psi \quad (3)$$

здесь l — длина плеча AF , ψ_1, ψ_2 — широты, на которых располагаются AF и CE , ψ — средняя широта места, R — радиус земли, c — скорость света, λ — средняя длина волны светового источника. Для определения смещения интерференционной полосы служит вспомогательный контур $ABDCA$, в котором плечи AB и CD очень малы и, следовательно, Δ — ничтожна. Свет один раз пропускается по этому малому контуру, второй раз по большому; получающееся смещение интерференционных полос и позволяет определить разность фаз (3). Выражение (3), вычисленное на основании гипотезы неподвижного эфира или общей теории относительности в установке Майкельсона-Гэля, равнялось

$$0,236 \pm 0,002$$

Величина наблюдения (среднее из 13 групп отсчетов по 20 измерений в каждой)

$$0,230 \pm 0,005.$$

Числа приведены в долях ширины интерференционной полосы.

Таким образом следствие общей теории относительности, или гипотезы неподвижного эфира подтвердилось с громадной степенью точности.

Для защитников теории эфира приложение отрицательных результатов старого и положительных результатов нового опыта Майкельсона возможно только в предположении тонкого слоя эфира, увлекаемого поступательным движением и не увлекаемого вращением земли.