

Отклонение света в гравитационном поле солнца (результаты английских экспедиций по наблюдению солнечного затмения 1919 г.).

Г. С. Ландсберг.

1. Общий принцип относительности приводит к следствию согласно которому световой луч должен испытывать искривление в гравитационном поле, и вычисления Einstein'a дают возможность подсчитать величину этого искривления в зависимости от напряжения поля тяготения. Полное солнечное затмение позволяет сфотографировать звезды, расположенные в непосредственной близости к солнцу, и сравнение полученных таким образом видимых положений звезд с их обычным положением, когда посылаемые ими лучи не проходят вблизи массивного шара солнца, может служить для экспериментальной проверки выводов теории Einstein'a. Такова и была задача двух английских экспедиций, снаряженных в Собраль, в Северной Бразилии, и на остров Принца (в Гвинейском заливе) для наблюдения полного солнечного затмения 29 мая 1919 года, результаты работ которых недавно опубликованы ¹⁾.

По планам, разработанным комиссией из выдающихся английских астрономов и астрофизиков—Dyson, Eddington, Fowler и Turner—надлежало сфотографировать звезды, расположенные вблизи солнца во время полной фазы, и ту же группу звезд в их обычном ночном расположении, чтобы проверить, существует ли систематическое отклонение в видимом расположении звезд во время затмения. Так как максимальное ожидаемое смещение на пластинке не должно было превосходить $\frac{1}{60}$ мм., то сравнение фотографий должно было быть произведено при помощи измерительного аппарата, употребляющегося при промерах пластинок, для каковой цели, кроме фотографий во время затмения и сравнительных ночных фотографий надо было иметь еще штандартный снимок, сделанный на пластинке, обращенной к объективу своей стеклянной стороной, что позволяло накладывать изучаемые негативы на штандарт слоем на слой.

Из обеих экспедиций наиболее полные и определенные результаты были получены Бразильской при помощи 4-дюймового рефрактора с фокусным расстоянием в 6 mt. Другие наблюдения той же экспедиции недостоверны вследствие несовершенства установки, а результаты второй экспедиции скомпрометированы туманной погодой, не позволившей получить резких изображений звезд.

¹⁾ Philosoph. Transactions of the Royal Society of London ser. A, vol. 229 pp. 221—333. Ввиду того, что в России до сих пор не получен этот том Phil. Trans., материал для настоящего реферата заимствован из статьи E. Freundlich (Die Naturwissenschaften 8, p. 667, 1920).

2. На фотографической пластинке было получено изображение 7 звезд, координаты которых на негативе определяются числами x и y , при чем началом координат служит центр пластинки. Таких фотографий было получено во время полной фазы 7 штук. Для сравнения служили 7 ночных снимков, произведенных по возможности в сходных условиях. При наложении этих негативов на штандартные обнаруживается расхождение между соответственными звездами, обуславливаемое следующими причинами:

1. Несовпадение начал координат на обеих пластинках (сдвиг измеряемой пластинки относительно штандартной). Для всех звезд на данной пластинке координата x изменится на постоянную величину c , координата y —на постоянную величину t .

2. Несовпадение осей координат (поворот измеряемой пластинки относительно штандартной). Координата x изменяется на величину b , y , координата y —на величину d , x .

3. Несовпадение масштаба (Skalenwerte). Масштабом называют выраженное в миллиметрах расстояние на пластинке между двумя звездами, расстояние которых на небесной сфере по дуге большого круга = $1'$. Для обычных астрографических объективов масштаб равен приблизительно 1 мм. на $1'$. Однако его величина слегка меняется для различных участков одной и той же пластинки, при чем изменения эти возрастают пропорционально расстоянию от центра пластинки. Для двух различных снимков масштабы могут оказаться отличными вследствие, например, изменения фокусировки (температурные влияния, неточность установки и т. д.).

Влиянием этой причины координата x изменяется на a , x , координата y —на e , y .

4. Влияние уклонения луча в гравитационном поле. Это последнее по теории Einstein'a для координаты x равно $\alpha \cdot E_x$, для координаты y равно $\alpha \cdot E_y$, где E_x и E_y коэффициенты, даваемые теорией. Уклонение, обуславливаемое этой причиной, зависит от расстояния звезды от центра солнца.

Таким образом, несмотря на существование целого ряда причин, обуславливающих несовпадение изображений на двух пластинках, есть возможность учесть влияние каждой из них, пользуясь различием законов, управляющих изменением величины смещения в зависимости от положения звезды.

Действительно, согласно вышесказанному, смещение на пластинке выражается:

$$\begin{aligned}\Delta x &= a \cdot x + b \cdot y + c + \alpha \cdot E_x \\ \Delta y &= d \cdot x + e \cdot y + t + \alpha \cdot E_y\end{aligned}$$

где x , y , Δx и Δy даются наблюдениями, E_x и E_y — теорией Эйнштейна, а величины a , b , c , d , e , t и α подлежат определению. Таким образом каждая пластинка даст семь пар таких уравнений (по числу звезд), с четырьмя неизвестными, которые определяются по методу наименьших квадратов.

Таблица I дает значения α , определенные для каждой из семи пластинок.

Таблица I.

Прямое восхождение.		Склонение.	
α_{\mp} Разность между пластинкой зат- мения и штан- дартом.	α_{B} Разность между пластинкой сравнения и штанدارтом.	α_{\mp} Разность между пластинкой зат- мения и штан- дартом.	α_{B} Разность между пластинкой сравнения и штандартом.
+0 ^г ,098	+0 ^г ,042	+0 ^г ,126	+0 ^г ,044
126	24	139	07
107	— 15	114	021
148	+ 18	111	10
140	20	137	40
073	05	139	60
145	08	136	35
+0 ^г ,120	+0 ^г ,015	+0 ^г ,129	+0 ^г ,031

Вторая и четвертая колонна должны были бы дать для α значе- ние равное нулю, ибо на пластинках сравнения влияние гравитацион- ного поля отсутствует. Полученное малое значение следует отнести на счет ошибок в расположении звездных изображений на штандарт- ной пластинке, исключить которые мы можем, вычтя из α_{F} величину α_{B} . Таким образом влияние вспомогательной штандартной пластинки исключается, и из обоих координат получаем влияние гравитационного поля на уклонение

$$\alpha = 0^{\text{г}},100 = 0'',625.$$

Это значение относится к звездам, угловое расстояние которых центра солнца = 50'. Уклонение для лучей, идущих от края солнца = $1'',98 \pm 0'',12$, в то время, как теория Einstein'a дает $1'',75$.

Вторая мало надежная группа бразильских наблюдений дает для α , для края солнца значение = $0'',93$.

Наблюдения на острове Принца дают также менее надежную цифру, $\alpha = 1'',61 \pm 0'',30$.

На прилагаемом графике (см. рис. 1) по оси абсцисс отложены угловые расстояния семи наблюдавшихся звезд от центра солнца, а ординатами нанесенных точек служат радиальные смещения звезд

(т.е. смещения вдоль линии, соединяющей центр солнца со звездой). Толстая сплошная линия соответствует теории Эйнштейна.

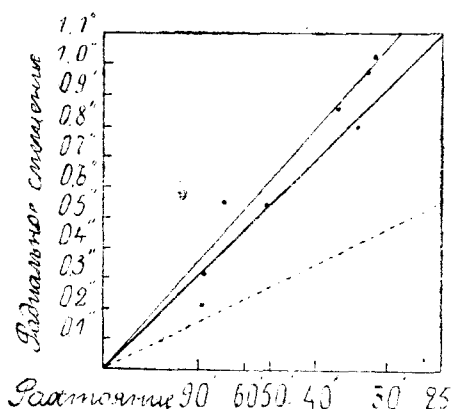


Рис. 1.

Действительно наблюдаемые точки группируются около тонкой сплошной линии. Пунктирная — соответствует уклонениям, которые испытали бы вследствие солнечного притяжения материальные частицы, летящие со скоростью света (ньютонова теория истечений).

Таким образом фотографии во время солнечного затмения в Собрале и на острове Принца с несомненностью обнаруживают систематическое смещение звездных изображений, как будто бы световой

луч загибается в гравитационном поле. Величина смещения хорошо согласуется с предсказаниями теории относительности.

3. Предположения, пытавшиеся объяснить наблюдаемое отклонение без помощи принципа относительности, не могут считаться состоятельными. Такими предположениями были:

а. Аномальная рефракция в земной атмосфере, обуславливаемая боковым преломлением внутри конуса тени.

Однако, для того, чтобы объяснить этой причиной наблюдаемый эффект, надо допустить во время полной фазы падение температуры на 20° в минуту (Eddington). Небольшое понижение температуры, которое имело место в действительности, могло бы вследствие бокового преломления вызвать эффект не более $0'',1$, т.е. около 5% наблюдаемой величины.

б. Преломление света в атмосфере, окружающей солнце. Однако смещение, вызываемое рефракцией в атмосфере, окружающей центр тяготения, не должно убывать пропорционально увеличению углового расстояния звезды до центра солнца, как это наблюдается на полученных фотографиях.

Кроме того атмосфера такой плотности, при которой эффект мог бы достигнуть наблюдаемого значения, должна была бы ослабить проходящий через нее свет до состояния полной невидимости звезд (понижение яркости в круглых цифрах на 200 звездных величин).

с. Явление так назыв. „годовой рефракции“ (jährliche Refraction). По наблюдениям Courvoisier, координаты звезд, определенные для момента, когда звезда находится на расстоянии 90° от солнца, обнаруживают систематическое смещение звезды на $0'',1$. С изменением углового расстояния звезды до солнца угол рефракции меняется, и для расстояния в 20° он достигает $0'',4$. Для края солнца Courvoisier экстраполирует $0'',6$. Чтобы учесть влияние годичной рефракции, Courvoisier подставил в формулу смещения Δx пятый член, зависящий от ве-

личины годичной рефракции ρ , и вычислил ее влияние. Оказалось, что $\rho = 0$, т.-е. закон изменения наблюдаемого смещения с расстоянием не совместим с допущением годичной рефракции. Предположение же, что наблюдаемый закон искажен возможными неправильностями в положении звезд на краю пластинки и при том как раз таким образом, что подтверждается принцип относительности, слишком мало вероятно. Наконец, космическая причина самой годичной рефракции подвержена сомнению. Возможно, что мы имели дело с феноменом физиологического происхождения или зависящим от инструментов.
