

можно наблюдать в каждую ясную ночь, после заката или перед восходом солнца. В наших широтах он наблюдается плохо и редко. Этот слабый свет простирается от горизонта кверху в виде конуса с высотой, направленной вдоль линии зодиака. Иногда на противоположной стороне горизонта наблюдается еще более слабое свечение, так называемый «отблеск». В спектре зодиакального света существует непрерывный фон и отдельные линии, например желто-зеленая линия северных сияний. Обычно зодиакальный свет объясняют рассеянием солнечного света космической пылью и роями метеоритов. Эти массы, вызывающие зодиакальный свет, Зеелигер и считает причиной вращения перигелия Меркурия. Он предполагает, что названные массы концентрированы по преимуществу в двух эллипсоидальных оболочках; размеры одной соответствуют приблизительно размерам орбиты Меркурия, другая доходит почти до земной орбиты. Результаты расчетов Зеелигера даны в четвертом столбце таблицы. Для Меркурия получается прекрасное совпадение с цифрой Ньюкома, чему, конечно, не приходится удивляться, ибо в расчеты входят произвольные постоянные, выбираемые так, чтобы указанное согласие получилось. Разумеется, теорию Зеелигера можно с одинаковым успехом приспособить и к цифрам Гроссмана. Соображения Зеелигера имеют преимущество указания реального возмущающего фактора. Но до тех пор, пока иными путями не будет устранена произвольность в выборе значений для массы космической пыли и ее распределения, гипотеза Зеелигера останется только возможностью. Нужны новые исследования свойств и особенностей зодиакального света, только таким путем можно разрешить альтернативу: возмущающие действия или обобщение закона тяготения. Если принять факт отклонения световых лучей в поле тяготения, согласно теории Эйнштейна, доказанным, то вращение перигелия станет необходимым следствием и гипотеза Зеелигера автоматически отпадет.

Другой способ объяснить аномалии движения планет — применить иной закон тяготения. Таких попыток было много, некоторые из них привели к выражениям для вращающегося перигелия, в точности совпадающим с формулой Эйнштейна (1). В этих гипотезах, созданных именно для данного случая, нельзя усмотреть ни подтверждения, ни отрицания теории, как нам приходилось говорить уже много раз. Изложение многочисленных несправедливых законов тяготения вышло бы из рамок этой книги.

VIII. СМЕЩЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ

«Если значение слов определить по тому смыслу, в каком эти слова обычно употребляются, то под названиями время, пространство, место и движение и следует разуметь эти постижимые чувствами меры их».

«Тот, кто отыщет гипотезу, по которой вода, будучи столь разреженной, в то же время не способна к сжатию силой, сумеет, несомненно, при помощи той же гипотезы представить золото, воду и все другие тела сколько ему угодно разреженными».

И. Ньютон

Уже в первом варианте общего принципа относительности, в 1907 г., Эйнштейн указал такое необходимое следствие эквивалентности поля тяготения и равномерного ускорения системы отсчета: всякий физический периодический процесс («ход часов»), происходящий в некотором поле тяготения с потенциалом Φ , должен казаться наблюдателю замедленным. Иными словами, местное время, определяемое какими угодно физическими часами, будет меняться в зависимости от поля тяготения. Если обозначить через ν_0 частоту колебаний часов в секунду в пространстве с потенциалом тяготения Φ_0 , а через ν — частоту в пространстве с потенциалом Φ , то в первом приближении, по общему принципу относительности,

$$\frac{\nu - \nu_0}{\nu} = -\frac{\Phi_0 - \Phi}{c^2}. \quad (1)$$

Потенциал $\Phi = \frac{kM}{r}$, где k — постоянная закона тяготения Ньютона, M — масса светила, r — расстояние от его центра до данной точки. Наиболее удобным (если не единственным) физическим явлением, позволяющим проверить следствие (1), служит волнообразный световой процесс. Определенная спектральная линия какого-либо атома — наиболее совершенные «часы», которые только можно себе представить. Ширина спектральной линии атома, излучающего в разреженном пространстве,

крайне незначительна, т. е. период, практически вполне определенный. С другой стороны, два экземпляра одного и того же сорта атомов, находящиеся в одинаковых физических условиях [если отвлекаться от следствия (4)], излучают в точности одинаковые спектральные линии. По Эйнштейну, однако, два атома, скажем, на Солнце и Земле, находящиеся совершенно в одинаковых условиях, за исключением поля тяготения, должны излучать несколько различные спектральные линии. Если в формуле (4) от частот ν перейти к длинам волн, пользуясь соотношением $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то формула примет следующий вид:

$$\lambda_0 - \lambda = \left\{ \frac{\Phi_0}{c^2} - \frac{\Phi}{c^2} \right\} \cdot \lambda_0.$$

Тяготение на поверхности Земли ничтожно в сравнении с тяготением на поверхности Солнца, поэтому членом Φ_0/c^2 можно пренебречь. Подставив вместо Φ его значение, находим поэтому:

$$\lambda_0 - \lambda = - \frac{kM}{r \cdot c^2} \cdot \lambda_0, \quad (2)$$

т. е. длина волны, соответствующая той же спектральной линии на Земле, будет короче, чем на Солнце, — солнечные линии будут сдвинуты в красную сторону спектра в сравнении с земными. Если взять за M массу Солнца, r — его радиус, то ожидаемое «красное смещение» солнечных линий должно достигать величины:

$$\lambda_0 - \lambda = - 2,12 \cdot 10^{-6} \lambda_0. \quad (3)$$

Длина волны желтого света — около 6000 Å (ангстрем = 10^{-8} см); следовательно, для такой желтой линии, по формуле (3), должно наблюдаться на Солнце смещение в красную сторону на 0,013 Å. Величина эта сама по себе очень мала, но вполне может быть замеченной при помощи спектроскопов большой разрешающей силы.

Астрофизические доказательства всегда обречены на большую или меньшую неопределенность. Мы не знаем всех физических условий на Солнце или звездах, вынуждены экстраполировать результаты, полученные в земной, лабораторной обстановке, и, самое главное, у нас нет возможности произвести опыт над Солнцем или звездой, оставляя одни факторы и устраняя другие. Перед астрономом всегда происходит процесс, находящийся под влиянием самых разнообразных причин. Приписывая доминирующее влияние одному фактору перед другими, астрофизик далеко не всегда уверен в правомочности этого. Примерами такой неуверенности могут служить явления, изложенные в двух последних главах. Еще более яркой иллюстрацией указанного малоутешитель-

ного обстоятельства может служить вопрос о «красном смещении» спектральных линий, требуемом теорией Эйнштейна [70].

Красное смещение в чистом виде должно наблюдаться только в том случае, если атом источника света на Земле и соответствующий атом на Солнце находятся в одинаковых условиях, за исключением поля тяготения. Если менять физические условия, то спектральные линии (излучения или поглощения) будут, вообще говоря, тоже изменяться.

У движущегося атома линия сместится в красную или фиолетовую сторону вследствие доплеровского эффекта. Если движение происходит благодаря высокой температуре газа, доплеровский эффект скажется в уширении линий. Солнце вращается, поэтому на краях линии будут смещены — на одном крае в красную, на другом в фиолетовую сторону; в центре такого смещения не будет. Помимо того, в атмосфере Солнца должны существовать восходящие и нисходящие токи газа, также вызывающие доплеровское смещение в ту или другую сторону.

Если газ находится под высоким давлением, то линии также будут смещаться вследствие соударения молекул и возникающих при этом больших местных молекулярных электрических полей (эффект Штарка). В большинстве случаев такое смещение при высоких давлениях должно происходить в красную сторону.

Фраунгоферовым солнечным линиям поглощения должна соответствовать область аномальной дисперсии, в которой показатель преломления среды испытывает резкие, причудливые изменения. Благодаря этому часть света по обе стороны от центра фраунгоферовой линии будет отклоняться и рассеиваться в стороны и ширина полосы увеличится, притом асимметрично, так что центр тяжести полосы сместится в красную сторону спектра.

При поглощении света в разреженном газе значительная часть поглощенного света снова будет излучаться (резонансное излучение), затем снова поглотится и т. д., пока вследствие редких соударений между молекулами не обратится в энергию теплового движения. По теории квантов, частота излучаемого света несколько меньше, чем частота поглощенного света¹, разность частот ничтожно мала (порядка миллионных долей Å), однако если процесс последовательных поглощений и излучений повторяется на пути от Солнца к Земле тысячи раз, смещение (снова в красную сторону) может стать наблюдаемым (эффект Комптона).

Магнитные и электрические поля могут расщеплять спектральные линии (эффект Зеемана и Штарка) и перемещать центр тяжести линии

¹ При излучении происходит механический толчок (отдача), вследствие чего атом приобретает некоторую скорость и кинетическую энергию k . Если величина поглощенного кванта $h\nu_0$, то фактически излучиться может только квант $h\nu = h\nu_0 - k$, откуда $\nu = \nu_0 - \frac{k}{h}$; $h = 6,54 \cdot 10^{-27}$. (См. прим. на стр. 98. — *Ред.*)

в ту и другую сторону. Есть и другие факторы смещения спектральных линий, которые можно заподозрить на Солнце, но от перечисления их мы здесь воздержимся. И без того ясно, что у эйнштейновского эффекта на Солнце слишком много и помощников и противников.

Помимо этого, и земной эталон, например спектральные линии вольтовой дуги, также должен быть тщательно обследован, прежде чем послужить для сравнения с солнечными линиями. Точное положение дуговых линий зависит от давления и меняется в зависимости от расстояния светящихся атомов, от полюсов дуги (полюсный эффект).

Нет возможности, да пожалуй и надобности, в рамках этой книги излагать подробно сложные, запутанные перипетии вопроса об экспериментальной проверке эйнштейновского красного смещения на Солнце. Еще до появления теории Эйнштейна, в 1897 г., Дьюсел обнаружил систематическое красное смещение солнечных линий, порядка величины формулы (3), остающееся за вычетом доплеровского смещения. Однако в дуговом спектре, служившем для сравнения, не были приняты во внимание влияния давления и «полюсный эффект», поэтому данные Дьюсела нельзя считать доказательными.

Начиная приблизительно с 1909 г. и до последнего времени появлялось очень много работ, посвященных красному смещению. Ни одну из них нельзя считать вполне доказательной как в отрицательном, так и в положительном смысле. Одни и те же наблюдения и цифры в различных интерпретациях давали иногда совершенно противоречивые ответы. Один и тот же наблюдатель иногда приходил к выводам, совершенно противоположным тому, что он получал раньше. Астрофизики и физики, подвергавшие критическому анализу весь существующий наблюдательный материал, неизменно приходили к неопределенному выводу. В зависимости от личных склонностей обозревателя эта неопределенность получала либо положительную, либо отрицательную окраску. Мы ограничимся изложением результатов последней по времени и, повидимому, наиболее тщательной работы по этому вопросу, опубликованной известным американским астрофизиком Сент-Джоном [71] (1923—1926 гг.).

Сент-Джон в этой работе изучил 330 солнечных фраунгоферовых линий на Солнце, относящихся к парам железа. Выбор этих линий определяется тем, что они должны возникать в таких слоях обрабатываемого слоя, где давление очень мало (около 0,1 атмосферы). Таким образом, самый главный пособник красного смещения — давление — устраняется, одновременно ослабляется роль аномальной рефракции; влиянием магнитных и электрических полей Солнца в этом случае по разным соображениям также можно пренебречь. Таким образом, по Сент-Джону, в его группе линий остаются только два смещающих фактора — эффект Доплера и предполагаемый эффект Эйнштейна. Результаты, полученные Сент-Джоном, представлены в табл. 16.

Таблица 16

Число линий	Интенсив- ность	Средняя длина волны, А	$\lambda - \lambda_0$ вычисл., А	$\lambda - \lambda_0$ набл., А	Δ , А	Различная скорости, км/сек
17	12	3826	0,008	0,012	+0,004	0,3 вниз
24	14	3821	0,008	0,012	+0,0032	0,25 »
10	10,4	4308	0,0091	0,0113	+0,0022	0,16 »
10	6,2	5443	0,0115	0,0112	-0,0003	»
131	4,8	4758	0,0110	0,0084	-0,0016	0,1 вверх
106	4,5	4763	0,0100	0,0069	-0,0031	0,2 »
33	3,3	4957	0,0105	0,0074	-0,0031	0,2 »

В первом столбце указано число линий, примененных для получения среднего смещения, во втором — относительная интенсивность линий, в пятом — среднее смещение, в четвертом — теоретическое значение смещения по формуле (3), в шестом — разность наблюдаемых и вычисленных величин, в седьмом эта разность перечислена на скорости восходящих и нисходящих токов газа, если разность объяснить доплеровским эффектом.

Из таблицы видно, что смещение порядка величины, требуемого формулой (3), существует для всех линий, однако наблюдаются систематические отклонения, именно: у наиболее интенсивных линий эффект больше, чем по Эйнштейну, у слабых меньше, у средних линий расхождение очень мало. Как показал Сент-Джон в своих прежних работах, интенсивность линий данной группы определяется главным образом глубиной уровня солнечной атмосферы, на которой они возникают: чем глубже в атмосфере лежат поглощающие слои, тем слабее кажутся линии. С этой точки зрения второй столбец таблицы до некоторой степени характеризует высоту соответствующих слоев солнечной атмосферы. Самое естественное объяснение расхождений наблюдаемых и вычисленных смещений состоит в том, что верхние слои атмосферы находятся в нисходящем движении, а нижние в восходящем. Такие движения будут сопровождаться доплеровским смещением с противоположными знаками в согласии с данными таблицы.

Сент-Джон считает свои наблюдения подтверждением наличия эйнштейновского красного смещения на Солнце. Такое заключение именно Сент-Джона очень существенно, ибо в предыдущих своих работах над статистическим изучением смещения в так называемых циановых полосах солнечного спектра Сент-Джон (1917г.) приходил к отрицательному результату. Вопрос, конечно, нельзя еще полагать окончательно разрешенным. Во-первых, объяснения Сент-Джона, хотя и очень вероятные, все же несколько произвольны, по крайней мере

в отношении количественной стороны предполагаемых восходящих и нисходящих токов. Они станут более убедительными, если удастся доказать наличие таких потоков другим, независимым путем. Во-вторых, необходимо распространить наблюдения и на другие группы солнечных линий с той же тщательностью и таким же осторожным выбором, как в излагаемой работе. В-третьих, нужно объяснить отрицательные или неопределенные результаты многочисленных прежних работ.

В итоге можно сказать, что последние, особенно продуманные астрофизические наблюдения над солнечными линиями подтверждают существование красного смещения теории отпослательности. Для выяснения количественной стороны дела необходимо продолжение наблюдений.

Помимо Солнца, каждая звезда может служить также для наблюдения красного смещения. Обстоятельства здесь могут сложиться даже благоприятнее, если изучать звезду, масса и плотность которой значительно больше солнечной; на ней красное смещение должно проявиться сильнее, чем на Солнце. Однако если физические условия на периферии Солнца для нас во многом неопределены, то на звездах они просто неизвестны в каждом индивидуальном случае. У нас есть только средние статистические сведения о звездах, которые с большей или меньшей осторожностью и применяются к отдельной звезде. Поэтому только статистические данные о звездах могут позволить получить некоторые выводы о наличии или отсутствии красного смещения. Помимо этого, изучение слабого свечения звезд совсем не так легко и точно, как у Солнца.

О радиальных скоростях звезд астроном судит по доплеровскому смещению. Если взять большое число звезд одного класса, то радиальные скорости их будут иметь всевозможные положительные и отрицательные величины, распределенные по закону вероятностей. Произведя поправку на собственное движение солнечной системы, мы должны бы получить для среднего значения радиальных скоростей нулевую величину. Кэмбелл нашел, однако, что всегда получается остаток, причем этот остаток тем заметнее, чем больше средняя масса звезд данного класса. Это остаточное смещение можно истолковать как красное смещение Эйнштейна, но и в этом случае можно указать не меньшее количество конкурирующих факторов, чем для Солнца.

В так называемых звездных потоках можно приписать всем звездам одного и того же потока одинаковые средние скорости. В таких потоках есть звезды с меньшими и большими массами. Вебер произвел следующий расчет для Сириуса. Наблюдаемое смещение линий Сириуса соответствует радиальной скорости $-7,82$ км/сек, а для скорости всего потока созвездия

для Медведицы, в состав которого входит Сириус, радиальная скорость равна $-8,88$ км/сек. Положительную разность в $1,06$ км/сек можно приписать красному смещению. Масса и радиус Сириуса известны из других астрономических данных ($M = 2,4$ солнечных массы, $r = 1,376$ солнечных радиусов). По формуле (2), если перечислить смещение длин волн на эффект Доплера, получаем для красного смещения величину $+1,08 \pm 0,15$ км/сек, вполне согласующуюся с наблюдаемой величиной.

Бесспорно, эти заключения звездной статистики не могут служить решающим аргументом в пользу эйнштейновского эффекта, но они качественно подтверждают его и делают вероятным, что красное смещение существует во вселенной повсеместно.

Для безупречного (или почти безупречного) доказательства красного смещения нужно отыскать во вселенной место с потенциалом тяготения, значительно большим, чем на Солнце. У красного смещения теории относительности есть особенность, позволяющая отличить его от смещений, вызываемых давлением, магнитными и электрическими полями, комптоновским эффектом и пр. В этой группе причина смещения всегда сопровождается уширением линий, и только в доплеровском и эйнштейновском эффекте смещение может происходить без уширения линий. Если в излучении какого-нибудь светила с очень большим гравитационным полем будет наблюдаемо сильное красное смещение, без соответствующего уширения линий, и в то же время удастся исключить доплеровский эффект, то эффект Эйнштейна будет доказан безупречно, потому что ни одна известная физическая причина, за исключением доплеровского эффекта, не может вызвать такого чистого смещения.

Искать звезды с массами, во много раз большими солнечной, повидимому, безнадежно. Массы порядка 10^{33} — 10^{31} , как показывают астрофизические данные, являются в большинстве случаев предельными во вселенной. Но ограниченность массы не исключает широких вариаций плотности или радиуса светила; известны звезды-гиганты и звезды-карлики с массами почти одинаковыми. Звезды карлики — самый благоприятный объект для наблюдения эффекта Эйнштейна, ибо гравитационный потенциал пропорционален массе светила и обратно пропорционален его радиусу. Особенно удобен в этом смысле, как указали Эддингтон и Боттлингер, спутник Сириуса. Это очень слабая звезда, свет которой почти в 10 000 раз слабее, чем у самого Сириуса. Существование ее было сначала предсказано Бесселем теоретически на основании периодических колебаний прямых восхождений Сириуса; фактически звезда открыта в 1861 г. Кларком. По законам Кеплера, из элементов орбиты спутника определяется его масса и скорость относительно Сириуса. Масса составляет

0,85 солнечной, а средняя скорость обращения вокруг Сириуса 1,7 км/сек. Спектр спутника Сириуса относится к типу *F0* или *A5* (ранняя стадия развития). Отсюда Эддингтон заключил, что температура на его поверхности около 8000° . Спектр спутника заметно отличается от спектра самого Сириуса. Многие яркие линии Сириуса очень слабы на спутнике. Сильные водородные линии — самый характерный признак спектра спутника. Распределение света в непрерывном спектре заметно отличается от рассеянного света Сириуса, причем значительно ярче выражена область длинных волн¹. Спектр спутника соответствует, как сказано, высокой эффективной температуре; с другой стороны, по абсолютной величине суммарное излучение спутника очень мало. Параллакс Сириуса хорошо известен, и по астрономической «величине» звезды можно вычислить общее излучение. По температуре и общему излучению звезды находят ее поверхность, объем и радиус. Для радиуса получается 19 600 км, т. е. всего 0,0282 солнечного радиуса. Таким образом, по Эддингтону, плотность спутника должна быть необычайно большой, именно 53 000 относительно воды! Перед нами чудовищное карликовое солнце, сохранившее массу, но сократившееся по объему почти в 45 000 раз.

Этот вывод получен обычным астрономическим способом, который уверенно применяют ко всем звездам. Как же понять чудовищную среднюю плотность, которая на первый взгляд кажется совершенно невероятной? На Земле таких плотностей мы не знаем, да и во вселенной спутник Сириуса занимает почти исключительное место. Принципиальный ответ на этот вопрос дал еще Ньютон, что напоминает в эпиграфе. Самая плотная материя, известная нам, находится в крайне разреженном состоянии. Размеры ядер и электронов в атоме — порядка 10^{-13} см, а расстояние между ними в десятки тысяч раз больше (порядка 10^{-8} см). Если приписать ядру радиус порядка 10^{-13} см, то для плотности самого ядра получится колоссальное число 10^{16} , т. е. миллион миллиардов, перед которым, конечно, совершенно бледнеет плотность спутника Сириуса. Все 1 см³ «чистых ядер» без промежутков равнялся бы миллиарду тонн. Достаточно, чтобы размеры атома сократились с радиуса 10^{-8} см на 10^{-9} см, чтобы повысить плотность тесно сжатых атомов в 1000 раз.

При колоссальных температурах внутренних слоев звезды атомы должны быть ионизованы в сильнейшей степени. Внешние электронные оболочки атомов будут сорваны, и останутся ядра, окруженные узкими кольцами внутренних электронов. Эти атомы карлики, сжатые огромными силами тяготения, отчасти удерживаемые вместе пробегающими между ними электронами, и создадут компактные массы с плотностями того же порядка величины, что и у спутника Сириуса.

¹ Эти детали указываются потому, что иногда высказываются подозрения, не светится ли спутник главным образом в отраженном свете Сириуса.

Таким образом, по современной теории строения атомов, огромные плотности вполне возможны. Несколько удивительно не то, что средняя плотность спутника Сириуса достигает 53 000, а, наоборот, исключительность такого факта. Не объясняется ли она просто трудностью наблюдения столь малых по абсолютной величине объектов и, может быть, «молодостью» нашей вселенной, в которой еще мало таких стариков, каковыми являются «белые карлики» (Эддингтон)?

Гравитационное поле на поверхности спутника Сириуса должно быть чрезвычайно большим, потенциал тяготения в этом случае в 30 раз превосходит потенциал Солнца, и, следовательно, красное смещение, по формуле (2), будет в 30 раз заметнее, чем на Солнце. Для желтого света спектральная линия должна сместиться почти на $0,4 \text{ \AA}$, т. е. на величину, доступную наблюдению даже в спектроскоп средней разрешающей силы. Изучение спектра спутника Сириуса представляет поэтому двойной интерес. Если красного смещения не обнаружится, то это значит, что либо ошибочен расчет его плотности, либо не верна общая теория относительности. Наоборот, положительный результат подтвердит справедливость того и другого. Никакая иная причина, кроме тяготения, не может вызвать чистого смещения (без уширения) на огромную для спектроскописта величину в $0,4 \text{ \AA}$. Допплеровский же эффект для спутника Сириуса может быть исключен. Общее движение Сириуса и спутника, конечно, вызовет доплеровское смещение, но оно будет одинаковым для того и другого, и путем сравнения обоих спектров это смещение автоматически исключится. Движение спутника вокруг Сириуса мало (1,7 км/сек) и, кроме того, хорошо известно. Условия на поверхности спутника в отношении давления, температуры, магнитных и электрических полей едва ли могут сильно отличаться от солнечных условий; об этом можно судить по нормальному общему виду спектра. Таким образом, спутник Сириуса — крайне удобный объект для наблюдения эффекта Эйнштейна в чистом виде.

В 1925 г. американский астрофизик В. Адаме [72] опубликовал первые измерения спектра спутника, произведенные на обсерватории Маунт Вильсон при помощи 100-дюймового рефлектора. Трудности, связанные с измерениями, велики. Сириус и спутник разделены ничтожным угловым промежутком в $10''$, яркость главной звезды почти в 10 000 раз превосходит свечение спутника, поэтому на всех фотографиях спектр Сириуса (рассеиваемый частями прибора) несколько налагается на спектр спутника. Приходится ждать удобного времени наблюдения и брать короткие экспозиции при фотографировании. С другой стороны, присутствие рассеянного света Сириуса на спектрограммах дает возможность сразу сравнить смещенные линии спутника с несмещенными линиями Сириуса. Спектр спутника почти не маскируется спектром звезды в области синей водородной линии $H_\gamma (4861 \text{ \AA})$; наоборот, у $H_\gamma (4341)$ наложение спектров очень заметно, и при измерениях

приходится вводить значительные поправки; в области $H_\beta(4102 \text{ \AA})$ спектр спутника почти ослепляется спектром Сириуса. Измерения спектрограмм производились микрофотометром и компаратором. Для окончательных измерений были использованы 4 спектрограммы исключительно хорошего качества. Неисправленные на положение спектра Сириуса средние результаты собраны в табл. 17, причем смещения выражены здесь в километрах

Таблица 17

Линия H_β	26 ± 4 км/сек
Линия H_γ	10 ± 5 »
Остальные—слабые 10 линий (4212— 4549 \AA)	14 ± 11 »

в секунду соответственно эквиваленту смещения Доплера. Для сравнения можно указать, что красное смещение на Солнце, по Эйнштейну, эквивалентно $0,635$ км/сек, а на спутнике Сириуса, по данным Эддингтона, должно равняться приблизительно 20 км/сек.

В этой неисправленной таблице не искаженной или мало искаженной является только линия H_β . Линия H_γ и слабые добавочные линии искажены наложением свечения Сириуса, причем ясно, что несмещенные линии Сириуса должны кажущимся образом передвигать центр тяжести линий в фиолетовую сторону. После внесения исправлений Адамс получает такую таблицу:

Таблица 18

H_β	$+26$ км/сек	$0,40 \text{ \AA}$
H_γ	21	$0,30$ »
Добавочные линии Средн.	22 $+ 23$ км/сек	$0,32$ »

В последнем столбце смещения выражены в ангстремах. Полученные величины надо еще поправить на скорость спутника относительно Сириуса в $1,7$ км/сек (радиальная скорость всей системы учтена сравнением спектров обеих звезд). Исправленная средняя величина будет приблизительно $+ 21$ км/сек, или $+ 0,32 \text{ \AA}$.

Таким образом, огромное красное смещение на спутнике Сириуса действительно существует; по величине оно согласуется с тем, которое ожи-

далось Эддингтоном по теории Эйнштейна (20 км/сек). На этот раз наблюдения настолько убедительны, что, как нам кажется, эффект Эйнштейна можно считать в о л и с д о к а з а н н ы м. Особенно важно, что здесь налицо смещение такой величины, которое не может быть имитировано никакими другими известными физическими причинами. Сомневающимся в громадной плотности спутника предстоит тяжелая задача объяснить смещение спектральных линий на $0,5 \text{ \AA}$ без доплеровского эффекта и уширяющих факторов.

*Учет о зависимости местного времени от потенциала тяготения в данном случае доказывает наличие масс с колоссальными средними плотностями. Перед нами следствие теории относительности, подтверждаемое опытом.

Работа Адамса не встретила существенных возражений. Желающим сомневаться в правильности следствий теории относительности во что бы то ни стало высказывали подозрение, что Адамс произвольно «подобрал» подходящие спектрограммы и «очевидно руководился желанием действительно подтвердить предсказание Эддингтона» (Глейх [73]). Обвинения такого рода относятся скорее к этике научных исследований и критики, чем к физике, поэтому их лучше оставить в стороне. Часто высказываются сомнения в реальности огромной плотности спутника Сириуса. Ни один из сомневающихся, поскольку нам известно, не мог доказать невозможности таких плотностей; наоборот, современные представления о строении атомов и данные астрофизики с большой вероятностью позволяют утверждать, что недра светил обладают колоссальными плотностями. С другой стороны, независимо от прочих данных, теория относительности сама доказывает реальность плотности спутника Сириуса.

Высказывалось предположение, что «белый карлик» Сириуса светит главным образом просто отраженным светом. На это можно возразить: 1) отношение интенсивностей спутника и Сириуса ($1 : 10\ 000$) слишком велико, чтобы его можно было объяснить главным образом отражением; 2) спектр спутника, как изложено выше, существенно отличается от свечения звезды и искажается рассеянным светом Сириуса только в далекой синей и фиолетовой части спектра; 3) именно красное смещение линий служит независимым доказательством собственного свечения спутника; 4) разумеется, некоторое количество отраженного света повысит абсолютную яркость звезды, но благодаря этому астроном приписывает ей размеры большие, чем в действительности, и, следовательно, ошибочно п о н и м а е т плотность. Если спутник Сириуса вдобавок к собственному свету отражает еще заметную долю света Сириуса, то плотность его должна быть еще больше $53\ 000$!

Наконец, существуют попытки вывести красное смещение помимо теории относительности. Для этого часто комбинируют постулаты теории квантов и принцип взаимной связи энергии и массы (Форстерлинг,

Бухерер, Шапошников и др.) или вводят новые гипотезы о величине скорости света в поле тяготения (Глейх). Независимо от правильности или ошибочности таких выводов (в некоторых случаях они ошибочны), существование их едва ли противоречит теории относительности; все они основаны на новых предположениях и являются попытками конкретизировать содержание частных теорем теории относительности, полученных из самых общих положений, без каких-либо детальных представлений о природе света и вещества»*.

В трех последних главах рассмотрены важнейшие следствия общей теории относительности. Отклонение световых лучей в поле тяготения Солнца происходит так, как это следует из теории. Здесь остается только выявить роль сомнительного эффекта Курвуазье. Вращение планетных орбит, предсказываемое теорией, наблюдается в действительности; надо устранить только некоторую количественную неопределенность, связанную с неточностью расчета движения перигелия и ошибками наблюдения. Красное смещение спектральных линий в поле тяготения, требуемое теорией, подтверждается. По наблюдениям Солнца и статистике звездных спектров трудно рассчитывать на точную количественную проверку явления, но спектр спутника Сириуса дает вполне убедительное доказательство и в этом отношении.

Таким образом, не известно ни одного факта, противоречащего выводам общей теории относительности; наоборот, во всех случаях, в пределах допускаемой опытом точности, следствия теории подтверждены.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. de Sitter. Phys. Zs. 14, 429, 1267, 1913.
2. M. La Rosa. Zs. f. Phys. 21, 333, 1924; H. Thirring. Zs. f. Phys. 31, 133, 1925.
3. Ср. W. Paulijr. Relativitätstheorie. Enz. d. math. Wiss., B. V₂, S. 549.
4. A. Michelson. Astr. J. 65, 12, 1927.
5. C. Maxwell. Nature 21, 314, 1879.
6. C. V. Burton. Phil. Mag. 19, 417, 1910.
7. A. Michelson and E. W. Morley. Am. J. of Sci. 34, 343, 1887.
8. W. Wien. Phys. Zs. 5, 605, 585, 1904.
9. A. Schweitzer. Phys. Zs. 5, 809, 1904.
10. Jacob. Comptes Rendus 184, 1432, 1927.
11. A. Michelson. Phil. Mag. 8, 716, 1904.
12. Современное изложение см. в кн. H. Bouasse, Propagation de la lumière, Paris, 1925.
13. Ср., например, H. A. Lorentz, The theory of electrons, стр. 168, 1909.
14. A. H. Bucherer. Zs. f. Phys. 41, 18, 1927.
15. Carlo del Lungo. Il nuovo Cimento 4, XXIX, 1927, Febbraio.
16. A. Michelson. Am. J. of Sci. 22, 120, 1881.
17. См., например, E. W. Morley and D. C. Miller, Phil. Mag. 9, 669, 1905.
18. A. Michelson and E. W. Morley. Am. J. of Sci. 34, 333, 1887.
19. E. W. Morley and D. C. Miller. Phil. Mag. 9, 680, 1905.
20. См., например, H. A. Lorentz. The theory of electrons, стр. 195 и след., 1909.
21. D. C. Miller. Proc. Nat. Ac. of Washington 11, 307, 1925; русский перевод: Учен. фаз. журн 5, 177, 1925.
22. D. C. Miller. Science 63, 433, 1926.
23. J. J. Nassau and P. M. Morse. Astr. J. 65, 73, 1927.
24. H. Thirring. Zs. f. Phys. 35, 723, 1926; также J. Weber. Phys. Zs. 27, 5, 1926.
25. D. C. Miller. Science 65, 454, 1927.
26. Roy. J. Kennedy. Proc. Nat. Ac. of USA 12, 621, 1926.
27. A. Piccard et E. Stahel. Comptes Rendus 183, 420, 1926; также G. Guadet. Rev. d'Optique 5, 363, 1926.
28. A. Piccard und E. Stahel. Naturwissenschaften 15, 140, 1927; Comptes Rendus 184, 451, 1927.
29. H. Bouasse. Propagation de la lumière, стр. 156, 1925.
30. P. S. Epstein. Phys. Rev. 29, 753, 1927.
31. Trouton and Noble. Phil. Trans. 202, 165, 1904.
32. R. Tomaschek. Ann. d. Phys. 78, 743, 1925.
33. R. Tomaschek. Ann. d. Phys. 80, 509, 1926.
34. Carl T. Chase. Phys. Rev. 28, 379, 1926.