

IV. ВЗАИМНАЯ СВЯЗЬ МАССЫ И ЭНЕРГИИ

«Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга?.. Превращение тел в свет и свет в тела соответствует ходу природы, которая как бы услаждается превращениями».

И. Ньютон

Частная теория относительности утверждает взаимную связь энергии и массы, она устанавливается простой формулой:

$$E = mc^2, \quad (1)$$

где E — полная энергия, m — масса, c — скорость света. Как следствие (1), может рассматриваться зависимость массы m от скорости ее движения v , именно:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

где m_0 — масса при скорости $v = 0$. Впрочем, (2) получается в теории и независимо от (1).

Оба соотношения, (1) и (2), или похожие на них, для частных случаев выводились еще до появления теории Эйнштейна на основании других предположений. Зависимость массы заряженной сферы от скорости впервые с 1881 г. получила Дж. Дж. Томсоном. Абрагам дал выражение для изменения массы электрона с возрастанием v , несколько отличное от (2). Наконец, Лоренц, исходя из предположения о деформирующемся электроме, получил соотношение (2). Мы уже имели случай указывать, что теория Лоренца в значительной мере математически тождественна с частной теорией относительности. Формула (1) указывалась Газенэрлем и Лапжевецом на основании расчета массы света по световому давлению. Однако все такие выводы получены для частных случаев и, вообще говоря, приводят к различным формулам в зависимости от сделанных предположений. Так, например, эмиссионная теория света приводит к выражению $E = \frac{mc^2}{2}$, вместо (1); по Абрагаму

$$m = m_0 \frac{3}{8\beta^2} \left[-2\beta + (1 + \beta^2) \log \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right],$$

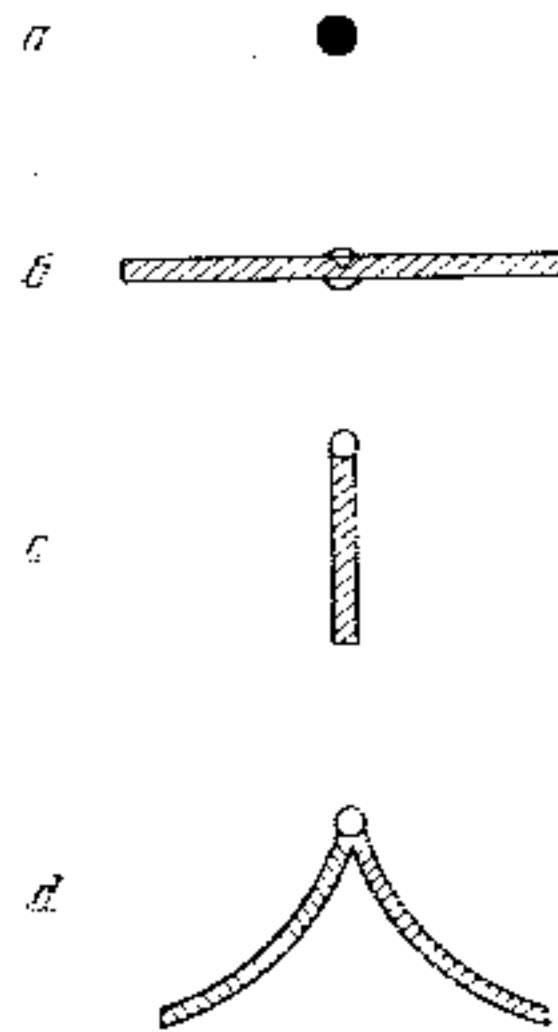
где $\beta = \frac{v}{c}$ и т. д. В теории относительности вывод (2) и (1) не зависит от частных предположений о природе материи и энергии, и формулы имеют совершенно универсальный характер.

Электроны, летящие с огромными скоростями в разрядных трубках, и β -лучи радиоактивных веществ составляют очень удобный, но и единственный объект¹, позволяющий в точности проверить на опыте зависимость массы от скорости (2). Начиная с 1901 г. по сей день почти непрерывно ведутся исследования в этом направлении, причем точность измерений постепенно возрастает. Явление впервые обнаружено Кауфманом [44]. Он работал с β -лучами радия, измеряя отношение заряда электрона к массе e/m для электронов различных скоростей. В общих чертах метод Кауфмана сводится к следующему. Пучок вылетающих β -электронов подвергается действию однородного электрического поля. Электроны отклоняются от прямолинейного пути, причем медленные электроны отклоняются больше быстрых и пучок рассеивается вкось (отклонение обратно пропорционально квадрату скорости). Одновременно электроны подвергаются действию однородного магнитного поля, силовые линии которого направлены так же, как в электрическом поле. Отклонение в таком магнитном поле будет перпендикулярно к отклонению, вызываемому электрическим полем, и обратно пропорционально первой степени скорости. На пути β -лучей, поперечно к ним, ставится фотографическая пластинка. Если бы полей не было совсем, на пластинке остался бы круглый след тонкого пучка неотклоненных лучей, в котором смешаны электроны всех скоростей (рис. 30, а). В электрическом поле этот след развернется в прямую линию, например вправо от средней точки (рис. 30, б). Если направление поля обернуть, расширение произойдет симметрично влево, причем наиболее удаленные от центра точки следа будут соответствовать самым медленным электронам. В одном магнитном поле след вытянется вертикально (фиг. 30, в). Наконец, в обоих полях вместе след развернется в параболу, правую или левую, смотря по направлению электрического поля. Каждая точка такой кривой соответствует электронам различных скоростей. Зная напряженности полей, по ходу кривых можно определить, как изменяется e/m в зависимости от скорости. Анализ этих кривых, запечатленных на фотографической пластинке, показал, что кривые не параболические и, следовательно, e/m меняется в зависимости от скорости. Нет никаких оснований предполагать изменение заряда, следовательно изменяется масса. Измерения Кауфмана носили довольно качественный

¹ В настоящее время мы имеем возможность получать достаточно быстрые заряженные частицы (электроны и ионы) при помощи ускорителей. Еще более быстрые частицы наблюдаются при изучении космических лучей.— *Ред.*

характер: общий ход изменения массы согласовался с формулой (2), но количественного согласия Кауфман не нашел.

В 1909 г. Бухерер опубликовал значительно более точное и обширное исследование того же вопроса [44]. Источником электронов по-прежнему служил препарат радия, но, в отличие от опытов Кауфмана, электроны подвергались действию не параллельных, а скрещенных по-



Фиг. 30. Схема опытов Кауфмана

лей—электрического и магнитного. Крупишка радия помещалась в центре, внутри круглого пластинчатого конденсатора с узким зазором. Под действием электрического поля внутри конденсатора электроны отклонялись вверх или вниз в большей или меньшей степени, в зависимости от скорости. Магнитное поле, поперечное к электрическому, вызывает отклонение электронов в той же плоскости, что и электрическое поле, и подбором направления и силы поля можно добиться того, чтобы магнитное и электрическое отклонения взаимно компенсировались и электроны выходили наружу, параллельно пластинкам конденсатора. В разных азимутах круглого конденсатора радиально летящие электроны образуют различные углы с магнитным полем; поэтому под разными азимутами будут компенсированы отклонения электронов различных скоростей. Следовательно, в различных точках из конденсатора

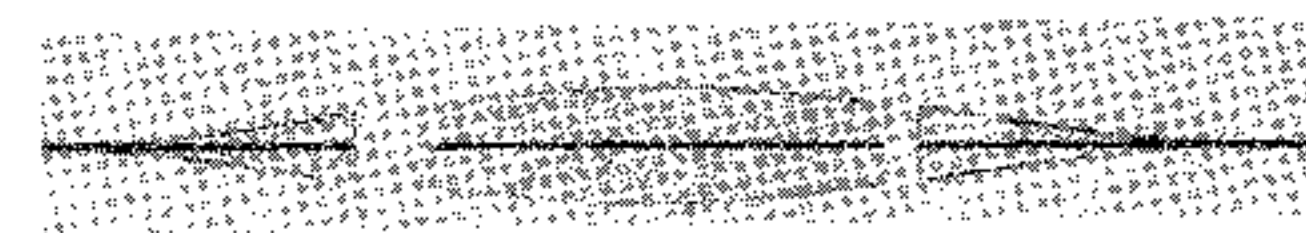
наружу будут выходить электроны с разными скоростями. Магнитное поле простирается и за пределы конденсатора; поэтому вышедшие наружу электроны будут отклоняться (магнитное поле здесь не компенсировано электрическим). Вокруг конденсатора помещается фотографическая пленка, на которой и запечатлеваются следы выходящих электронов. На фиг. 31 дан пример такой фотографии Бухерера. Средняя неотклоненная линия — след γ -лучей радия. Условия действительного опыта не соответствуют изложенной упрощенной схеме. На пленку попадают и некомпенсированные лучи, очень затрудняющие расчет e/m в областях, удаленных от максимума кривой Бухерера. Сам Бухерер и другие экспериментаторы, работавшие тем же методом, пользовались для расчета только областью, соответствующей наибольшему отклонению. Результаты представлены в табл. 7. В первой строке указано значение v/c , во второй приведена величина e/m_0 , вычисленная по формуле (2), т. е. предположено, что

$$m_0 = m \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Таблица 7

$\frac{v}{c}$	0,3173	0,3787	0,4281	0,5154	0,6870
$\frac{e}{m_0} \cdot 10^{-7}$	1,752	1,761	1,760	1,763	1,767

e/m оказывается постоянным в пределах ошибок опыта и равным в среднем $1,766 \cdot 10^7$ электромагнитных ед., а стало быть e/m изменяется в согласии с формулой (2). За последние годы неоднократно пытались воспользоваться не только центральной частью кривой Бухерера, но и всей кривой в целом. На этом основании делались выводы [45], что для скоростей,



Фиг. 31.

очень близких к скорости света c , формула (2) перестает быть справедливой. Однако расчет искаженной кривой, вызываемых некомпенсированными лучами, проникающими в пленку, показывает [46], что пользоваться боковыми частями пеленки для тех или иных выводов трудно,—здесь условия опыта не определены. Разумеется, очень желательно такое усовершенствование метода Бухерера, которое позволило бы избавиться от некомпенсированных электронов или по крайней мере допустить бы их количественный учет. Таким образом удалось бы проверить (2) в наиболее интересной области скоростей, очень близких к скорости света. Из старых же кривых Бухерера все дозволяемые условиями опыта выводы уже сделаны, и они удовлетворительно подтверждают формулу (2).

В 1914 г. опыты Бухерера повторялись Нейманом. Пример окончательных полученных им результатов дан в табл. 8.

Таблица 8

$\frac{v}{c}$	0,39152	0,48913	0,60178	0,70897	0,80085	$\approx 0,85$
$\frac{e}{m_0} \cdot 10^{-7}$	1,767	1,764	1,762	1,757	1,779	1,771

В таблице e/m_0 вычислено из наблюдаемых величин по формуле (2). При $v/c = 0,80$ масса электрона возрастает в сравнении с m_0 приблизительно в 3 раза, между тем e/m_0 остается практически постоянным.

В последнее время, в 1921 г., очень тщательные измерения изменения массы электрона в зависимости от скорости сделаны в Швейцарии Гюи (Guye), Ратновским и Лаванши. Они работали с очень быстрыми катодными лучами, подвергая их действию скрещенных магнитного и электрического полей. Эти опыты не захватывают такого широкого интервала вариации скоростей, какой возможен с β -лучами радия, зато точность измерений в этом случае много выше. Выборка из результатов приведена в табл. 9.

Таблица 9

$\frac{v}{c}$	$\frac{m}{m_0}$ набл.	$\frac{m}{m_0}$ вычисл.	Δ
0,2581	0,041	1,035	+0,006
0,3029	1,046	1,049	-0,003
0,3551	1,070	1,069	+0,001
0,4044	1,096	1,094	+0,002
0,4468	1,120	1,117	+0,003
0,4829	1,139	1,142	-0,003

Последний столбец таблицы показывает отклонение наблюдаемой величины от теоретической, причем видно, что отклонения незначительны и случайны. Другие формулы для изменения массы электрона со скоростью, отличные от (2), например формула Абрагама, выведенная в предположении твердого сферического недеформирующегося электрона, дают значительные отклонения от величин, найденных на опыте.

Итак, опыт с полной доступной точностью подтверждает формулу Лоренца — Эйнштейна (2) в интервале скоростей приблизительно от 0 до 0,8 скорости света. Для завершения экспериментальной задачи, разумеется, желательно продвинуться дальше в направлении скоростей, еще ближе подходящих к скорости света, но на этом пути придется преодолеть большие экспериментальные затруднения. Очень мало надежды, что формула (2) когда-либо будет проверена не только для массы электрона, но и для молярных тел¹. Даже скорости порядка тысячи километров в секунду должны сопровождаться таким ничтожным изменением массы, которое ускользает от самого тонкого из известных нам способов измерений.

Значение общего принципа инертности энергии (1) настолько глубоко, что его по праву можно назвать важнейшим следствием теории относительности. Мы говорили уже, что формула (1) для частных случаев неоднократно выводилась помимо теории относительности, но в последней она приобретает общность термодинамических принципов. Какова бы ни была масса, принцип (1) утверждает, что 1 г этой массы эквивалентен

¹ См. примеч. на стр. 67.

$9 \cdot 10^{20}$ эргов. Каким бы способом ни уменьшалась энергия, изменение ее на 1 эрг сопровождается убылью массы на $\frac{1}{9} \cdot 10^{-2}$ г. Увеличение запаса тепла в 1 кг воды при нагревании на 100°C будет соответствовать увеличению массы приблизительно на одну миллионную миллиграмма. Это число показывает, насколько трудно проверить формулу (1) в лабораторных условиях. Можно заметить к тому же, что вода обладает исключительно большой теплоемкостью.

Не менее безнадежно в этом смысле складываются условия при химических превращениях. В течение многих лет, с 1890 г. по 1907 г., Ландольт [47] исследовал, с какой точностью выполняется при химических реакциях закон сохранения массы. Для всего длинного ряда изученных процессов, в пределах точности измерений (сотые доли миллиграмма), изменений массы не обнаружилось. Это вполне согласуется с формулой (1). Возьмем для примера одну из самых энергичных реакций — образование воды из газообразного водорода и кислорода. При получении 18 г воды развивается тепло, эквивалентное $3 \cdot 10^{12}$ эргам. Следовательно, изменение массы, согласно (1), должно быть равным $\frac{1}{9} \cdot 10^{-8}$ г. Такая величина измерению недоступна.

Для проверки (1), хотя бы качественной, физику остается обратиться или к миру внутриатомных явлений, или, наоборот, к космическим процессам. В обоих случаях круговорот энергии несравнимо больше, чем в мирных лабораторных процессах.

В 1913 г. Лапжесон [48] пытался объяснить отклонения атомных весов элементов от целых чисел изменениями энергии, сопровождающими образование сложных атомов из простейшего вещества — водорода. Открытие изотопов показало, что в большинстве случаев отклонения атомных весов от кратности весу водорода объясняются наличием смеси изотопических элементов с несколько отличающимися атомными весами [49]. Однако идея Лапжесона вполне может быть применена для объяснения отклонений от кратности для тех элементов, у которых заведомо нет изотопов¹. Атомный вес водорода 1,008 (относительно кислорода), а у гелия 4,002. Изотопов нет ни у того ни у другого. По гипотезе Праута, для гелия должно ожидать атомного веса $4 \times 1,008 = 4,032$. По Лапжесону, разность масс 0,030 может быть объяснена тем, что при образовании

¹ Содержание этих страниц соответствовало состоянию науки в момент, когда писалась настоящая книга. За четверть века, прошедшие с тех пор, ядерная физика достигла громадных успехов. Конкретные данные, использованные С. И. Вавиловым, подверглись пересмотру. Обнаружены изотопы водорода и гелия; ядро гелия образовано двумя протонами и двумя нейтронами; объяснение, предложенное Милликеном для истолкования космических лучей, оказалось несостоятельным и т. д. Однако именно в области ядерной физики и космических лучей надежно установлена в настоящее время правильность соотношения $E = mc^2$, получившего громадное значение. О современном положении вопроса см., например, Э. В. Школьников — «Атомная физика», т. II.

ядра гелия из 4 водородных ядер освобождается огромная энергия, уходящая в виде излучения. В граммах эта разность масс равна $4,95 \cdot 10^{-26}$ г. Согласно формуле (1), такая убыль массы эквивалентна выделению энергии в $4,45 \cdot 10^{-9}$ эрга на каждый атом гелия. До тех пор, пока физика атомного ядра останется мало известной, трудно непосредственно проверить гипотезу Ланжевена. Есть, однако, один факт, косвенно подтверждающий ее. В 1925 г. Милликэну удалось довольно точно измерить длину волны загадочной «пропикающей радиации», идущей на землю, повидимому, от туманностей [50]. Радиация оказалась крайне «жесткой», проходящей без значительного ослабления толщи свинца в десятки сантиметров. По измерениям Милликэна, средняя длина волны проникающего излучения равна приблизительно 0,00005 мр, или $5 \cdot 10^{-12}$ см. По основному, твердо установленному постулату теории квантов, всякий свет излучается целыми порциями-квантами величины $\frac{h \cdot c}{\lambda}$, где h — универсальная постоянная¹, равная $6,54 \cdot 10^{-27}$, λ — длина волны, c — скорость света. Выше мы видели, что убыль энергии при образовании атома гелия из водорода, по Ланжевону, равна $4,45 \cdot 10^{-9}$ эргов. Положим, что вся энергия излучается в виде одного кванта, т. е. приравняем

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = 4,45 \cdot 10^{-9}.$$

Отсюда находим, что $\lambda = 4,5 \cdot 10^{-12}$ см — в хорошем согласии с числом, найденным Милликэном для длины волны пропикающей радиации. Поэтому Милликэн заключает, что пропикающее излучение возникает в туманностях в процессе уплотнения водорода в гелий. Это рассуждение нельзя считать прямым доказательством гипотезы Ланжевена, но во всяком случае все сделанные предположения стройно складываются друг с другом, качественно подтверждая формулу (1).

Отступление от правила целых чисел в атомных весах ч и с т ы х элементов — след когда-то происшедшего превращения части массы атома в лучистую энергию². Астон в 1919 г. впервые определил атомные веса чистых элементов посредством разделения их изотопов в «массовом спектрографе» [49]. Недавно он произвел новые, очень точные измерения в заново перестроенном приборе [51]. Точность настолько велика, что можно надежно определять даже очень небольшие отклонения от целых

чисел в атомных весах элементов. В табл. 10 приведены эти новые данные Астона в несколько округленном виде. В первом столбце указан символ

Таблица 10

Атом	$\frac{d}{m} \cdot 10^4$	Атом	$\frac{d}{m} \cdot 10^4$
H	0	A (40)	85
He	72	As	86
Li (6)	58	Kr (78)	87
Li (7)	61	Kr (79)	87
B (10)	64	Kr (80)	87
B (11)	68	Kr (81)	86
C	75	Kr (82)	87
N	72	Kr (83)	87
O	78	Kr (84)	86
F	78	Kr (86)	86
Ne (20)	78	J	83
Ne (22)	75	Su (120)	85
P	83	Xe (134)	83
Cl (35)	82	Pg (200)	79
A (36)	84		
Cl (37)	83		

элемента; цифры, стоящие около некоторых символов, обозначают приблизительный атомный вес (массовое число m , или число протонов¹, входящих в состав атома) того или иного изотопа элемента. Во втором столбце находится величина d/m (увеличенная в 10 000 раз), т. е. отклонение d действительного атомного веса от массового числа m , деленное на это число; иными словами, приведена средняя убыль массы на каждый протон, составляющий ядро данного атома. В этой таблице, естественно (в отличие от принятого в химии обычая), атомный вес водорода положен равным в точности единице, поэтому и d/m для него в точности равно нулю. Чем больше d/m , тем, вероятно, прочнее ядро атома (за очевидным исключением водорода), ибо тем большая энергия освободилась при его созидании. Если внимательно рассмотреть таблицу или начертить ее графически в функции массовых чисел, то легко видеть, что область наиболее устойчивых атомов соответствует приблизительно криптонам, у них d/m максимальное, далее d/m начинает постепенно убывать. Возможно, что это уменьшение d/m — первый признак неустойчивости остальных ядер тяжелых элементов, резко проявляющейся в радиоактивных явлениях.²

¹ Современные измерения дают для постоянной Планка значения $6,62 \cdot 10^{-27}$ эргсек.

² Неудачное выражение, соответствующее правильной идее объяснения дефекта масс и обозначающее, что при образовании стабильного ядра выделяется значительное количество энергии, излучение которой уменьшает как энергию, так и массу системы, частиц образовавших данное ядро. — *Ред.*

¹ Массовое число m , как в дальнейшем стало известно, определяет не число протонов, а сумму числа протонов и нейтронов, входящих в состав ядра. Так как массы протона и нейтрона отличаются только на небольшую величину, то данные, приведенные в табл. 10, качественно сохраняют свое значение. Данные о массах, использованные при построении таблицы, в настоящее время также значительно уточнены. — *Ред.*

Для современной теоретической астрофизики взаимная связь массы* и энергии служит мечом Геракла, разрубающим самые сложные гордые узлы учения о космосе. Затруднения именно разрубаются, а не распутываются постепенно, потому что формула (1) решает задачу о связи массы и энергии совершенно независимо от частных форм той и другой.

Еще недавно в астрофизике были две отдельные задачи -- о массах и об энергии светил. Теперь они слились в одну. Масса определяет наличие энергии, излучение энергии сопровождается убылью* массы, — непрерывно, в течение тысяч миллиардов лет излучая свет, солнца не остывают, а вообще исчезают. История развития одной звезды для астронома непосредственно недоступна. Длительность жизни звезд определяется такими сроками (10^{12} — 10^{13} лет), в сравнении с которыми бесконечно мала не только жизнь человека, но и человечества в целом. Затруднения здесь обратны тем, с которыми встречается физик при изучении истории и состояний одной молекулы. В этом случае процессы столь быстры и кратковременны (10^{-15} — 10^{-8} сек.), что для человеческой шкалы времен они практически мгновенны. Затруднение и там и здесь разрешается статистически. Звезд и молекул очень много, индивидуальную звезду и молекулу можно заменить средней. История одной средней звезды за все триллионы лет ее жизни может быть прочитана сразу на небесном своде. Различные звезды находятся в данный момент в различных фазах своей истории, и звездная статистика позволяет заглянуть и в отдаленнейшее прошлое, и на триллионы лет вперед в будущее.

Астрофизик Рассель составил статистическую диаграмму звезд, устанавливающую связь между абсолютной яркостью звезд и характером спектра их излучения [52]. Эта диаграмма и служит схематической линией развития средней звезды. Звезда начинает свою историю в виде огромного газообразного шара с диаметром, соизмеримым с поперечниками орбит удаленных планет солнечной системы (звезды-гиганты). Плотность газа ничтожна, поверхностная температура небольшая, свечение в среднем красное. Постепенно плотность звезды возрастает, увеличивается температура поверхности, звезда белает, пробегая последовательно через различные спектральные типы (обозначаемые буквами *M*, *K*, *G*, *F*, *A*, *B*). В белой стадии (спектр *A* или *B*) звезда достигает кульминационного пункта поверхностной температуры. Далее плотность увеличивается, но звезда охлаждается, снова постепенно возвращается к красному свечению (звезды-карлики). Эддингтон на основании своей теории внутреннего строения звезд пришел к выводу, что абсолютная яркость звезды должна определяться только массой, независимо от того, находится ли звезда в стадии великана или карлика [53]. С этой точки зрения диаграмма Расселя определяется не столько

возрастанием плотности, сколько убыванием массы звезды. Масса звезды убывает со временем, потому что звезда непрерывно излучает радиацию в мировое пространство. По формуле (1), зная солнечную постоянную, легко вычислить, что масса Солнца ежеминутно уменьшается на 250 миллионов тонн. Через триллион лет, при такой же скорости отдачи, Солнце вообще должно бы исчезнуть. Но, по мере старения звезды и уменьшения ее массы, уменьшается и излучение, и окончательное исчезновение звезды может осуществляться только крайне медленно. Массы, рассеянные в мировом пространстве, собираются ньютоновским тяготением в гигантские скопления. Предельному росту звездных масс, по Эддингтону, кладет световое давление, развивающееся при стягивании масс и чудовищном разогревании центра (до десятков миллионов градусов). Световое давление и центробежные силы при вращении звезды противодействуют ньютоновской центростремительной силе и останавливают возрастание звездной массы. Далее начинается растрачивание массы в виде света. Свет не только разрыхляет звезду своим давлением, но и уносит звездную массу в пространство. С этой точки зрения диаграмма Расселя — качественное доказательство взаимной связи* энергии и массы.

По Эддингтону, абсолютная яркость звезды L пропорциональна $M^{7/2}$, где M — масса звезды. С другой стороны, уменьшение массы dM , очевидно, пропорционально L , относительное уменьшение массы, т. е. dM/M , следовательно, пропорционально $M^{7/2}$; чем меньше масса, тем меньше процентное растрачивание массы через излучение. Основываясь на этом, Фохт [54] вывел интересное заключение относительно статистики двойных звезд. Вообще говоря, отношение яркостей парных звезд бывает весьма различным. Представим себе, что одна компонента двойной звезды очень яркая, т. е., по Эддингтону, имеет большую массу M_n , другая — слабая, с меньшей массой M_s . Со временем, по вышесказанному, большая звезда должна растратить значительно большую долю своей массы, чем малая звезда, и отношение M_n/M_s постепенно в течение миллиардов лет должно стремиться к единице. Проверить это заключение можно, пользуясь статистическими данными о двойных звездах и расположив их в расселевскую диаграмму. Отношение масс M_n/M_s для двойных звезд определяется на основании законов их движения вокруг общего центра тяжести, по общим правилам небесной механики. Фохт обработал в этом направлении статистические данные относительно 85 звездных пар; результаты собраны в табл. 11.

Две части таблицы соответствуют восходящей и нисходящей ветви диаграммы Расселя. S_n обозначает спектральный класс большей звезды, n показывает число двойных звезд из общего числа 85, относящихся к данному классу. Общий ход M_n/M_s подтверждает выказанное предположение о постепенном приближении отношения, по мере эволюции звезды, к единице. Отдельные значительные колебания неизбежны в «статистике

Таблица 11

Величина	S_h	$\frac{M_h}{M_s}$	n	Кванты	S_h	$\frac{M_h}{M_s}$	n
	M		18,4		2	A	1,6
K		2,7	6	F	1,3	23	
G		1,9	9	C	1,25	18	
H		3,0	5	K	1,23	11	
B		4,6	8	M	1,19	2	

малых чисел». Фокс приводит и другие доводы статистики двойных звезд, подтверждающие правильность теории Эддингтона, а следовательно и принципа взаимной связи* энергии и массы.

Уменьшение массы светила вследствие излучения, принимающее такие размеры, как этого требует астрофизика, должно сопровождаться уменьшением числа атомов. Повидимому, нет оснований предполагать наличие корпускулярного излучения большой силы с поверхности звезды¹. Остается предположить², что внутри светила, при колоссальных температурах в десятки миллионов градусов, происходит самоуплотнение вещества*, превращение его в излучение [55]. Такие процессы, как образование гелия из водорода (ср. стр. 68), недостаточны не только для объяснения уменьшения массы звезды, но и для понимания источников ее энергии, поддерживающей в течение триллионов лет звезду в солнечном состоянии. Внутри звезды электроны и протоны неизвестным нам способом должны превращаться в радиацию и улетать со скоростью света в пространство. Вот один из выводов, к которому почти неизбежно приводит сочетание данных астрофизики и принципа инертности энергии. Значение этого вывода для понимания природы света и атома сейчас трудно предугадать. Современные конкретные представления о свете и веществе совершенно не предусматривают возможности превращения одного в другое. Нани электроны и протоны могут существовать в свободном виде или сочетаться в различные атомные и молекулярные системы, но мы пока не представляем себе, как мо-

¹ Корпускулярное излучение Солнца вызывает на Земле свечение северных сияний. Энергия этого излучения ничтожна в сравнении с энергией радиации, однако «масса» радиации, падающей на Землю в секунду, тоже велика — около пуда!

² Излагаемые ниже соображения принадлежат Дикинсу. Действительно, позднее были установлены на опыте явления образования пар (электрон — позитрон) из γ -кванта и так называемой «аннигиляции», т. е. обратного явления, представляющего собой образование γ -кванта за счет объединения электрона и позитрона. По современным представлениям, энергия, выделяемая звездами, обусловлена ядерными реакциями, при которых происходит синтез более устойчивых ядер с выделением значительной энергии. — *Ред.*

жет электрон или протон совершенно исчезнуть как таковой. С другой стороны, свет (будет ли он соответствовать волнам, или квантам, или тому и другому вместе), по нашим представлениям, может вызывать преобразование в атомах при поглощении (ионизация, диссоциация и пр.), превращаясь в иные формы энергии, но мы не знаем, как свет может разрушить или создать новый электрон или протон. Между тем возможность этого указывается принципом (1), а фактического существования таких процессов, повидимому, требует астрофизика. Перед нами возникают туманные контуры грядущей единой теории света и вещества, реальные формы которой пока совсем не ясны.