

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИФР
110СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ¹⁾.*Дж. Г. Джинс, Лондон.*

До последнего времени астрономия занималась почти исключительно солнцем, луною и планетами; звезды были только невообразимо удаленными светящимися точками, представлявшими небольшой интерес. Теперь Урания вышла за пределы комочка пыли, который мы называем солнечной системой, и претендует на всю вселенную; интерес астронома сосредоточен почти исключительно на звездах. Астроном-динамик, например, потерял интерес к движениям планет и их спутников и изучает распределение и движения звезд в надежде, по крайней мере, обнаружить общий план строения и механизма вселенной; для него вселенная — единая динамическая система, образованная из неисчислимых частиц-звезд, каждая из которых притягивает другую, согласно закону всемирного тяготения.

Астроном-физик интересуется звездами с другой стороны. Для него каждая отдельная звезда — целая физическая система. Это тигель, в котором материя подвергается действию таких температур и давлений, которые совершенно недоступны земному физическому. Исследуя излучение звезд, астрофизик пытается разобраться в их физическом строении, открыть источник их энергии и понять механизм, посредством которого энергия переносится к поверхности звезд, разряжаясь затем в пространство в виде излучения. Таким путем есть надежда узнать о свойствах материи, которые недоступны земному физическому в силу ограниченности пределов физических условий, находящихся в его распоряжении. Я позволю себе сделать сравнение, верное, по крайней мере, в отношении масштаба: бактерии в дождевой капле могут узнать кое-что о свойствах воды, манипулируя частицами капли посредством своих ничтожных сил; но они могут также кое-чему научиться, наблюдая Ниагарский водопад, находящийся вне их власти.

¹⁾ Лекция, читанная в Лондонском университете 9 ноября 1926 г. Nature, Suppl. № 2979, Dec. 4, 1926.

Объект астрофизика очень похож на Ниагару; конечная цель астрофизика — слить космическую физику с земной так, чтобы получилась всеобъемлющая наука. Только осуществив это, можно будет понять основные тенденции и факты физической вселенной.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЗВЕЗДНЫХ СПЕКТРОВ.

Только один метод пригоден для этой цели — изучение радиации различных звезд. Если исключить ненаучные домыслы, то можно сказать, что астрофизика родилась в 1863 г., когда Гэггинс соединил спектроскоп с телескопом и нашел, что некоторые линии звездных спектров совпадают с линиями, которые в земных лабораториях испускаются известными химическими элементами. Прежние астроспектроскописты были убеждены, что они исследуют «химию звезд», но теперь мы знаем, что на самом деле они начинали исследование фундаментальной проблемы физики звезд. Например, было найдено, что спектр Сириуса дает очень сильные линии водорода и очень слабые линии кальция. В солнечном спектре относительная интенсивность этих линий находится в обратном отношении: линии кальция сильные, линии водорода слабые. Прежде заключали, что водород доминирует на Сириусе, а кальций на Солнце. Предполагая, что Сириус должен когда-нибудь обратиться в звезду, подобную нашему Солнцу, астрофизики заключали, что вещество должно постепенно превращаться из водорода в кальций и другие более сложные элементы. Таким образом, как будто бы подтверждалась старая гипотеза о том, что более сложные элементы образовались путем постепенной эволюции из простейших.

Действительное толкование этих старых наблюдений, как убедительно доказали исследования Сага, Р. Фоулера и Мильна, заключается просто в том, что на поверхности Сириуса такая температура, при которой водород особенно активно излучает и поглощает радиацию; на поверхности солнца температура ниже, водород там относительно инертен, зато активны кальций, железо и пр. Как физик в лаборатории может получать различные спектры в одной и той же пустотной трубке, меняя способ и условия возбуждения, так и природа производит различные спектры от одного и того же звездного материала, при различных температурах.

Ясно, что это обстоятельство отнимает у звездных спектров всякое прямое значение для понимания эволюции. Спектры звезд говорят нам только о температуре, которая царит в настоящее время на их поверхности. Если бы мы расположили звезды в порядке их возрастов, то сравнение их спектров показало бы нам только, что поверхности становятся горячее или холоднее; мы не получили бы никаких данных о химических изменениях в веществе звезд.

РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД.

Однако знание температуры поверхности звезд открывает дверь к дальнейшим ценным сведениям. Чем горячее поверхность, тем энергичнее она излучает тепло; зная температуру поверхности звезды, легко вычислить ее радиацию на 1 см^2 поверхности. Например, Солнце излучает приблизительно 90 000 калорий в минуту с 1 см^2 , что соответствует приблизительно мощности машины в 8 лощ. сил. Самые горячие звезды излучают, по всей вероятности, по крайней мере в 1000 раз бóльшую энергию с 1 см^2 , чем Солнце.

Таким путем можно оценить радиацию звезды на 1 см^2 ее поверхности. Мы можем также оценить излучение со всей поверхности. Это сразу вычисляется по расстоянию и кажущейся яркости звезды. Простое деление дает величину поверхности звезды, а следовательно, радиус и объем. Вычисленные радиусы звезд колеблются в пределах от радиусов, в 300 раз превышающих солнечный (Бетельгейзе) до 0,03 солнечного радиуса (спутник Сириуса).

Хорошо известно, что диаметры некоторых звезд недавно были непосредственно определены интерферометром Майкельсона¹⁾, причем измеренные величины почти полностью совпадают с радиусами, вычисленными указанным простым способом. Интерференционный метод применим только для самых больших звезд, но на другом крайнем конце шкалы на помощь пришла теория относительности. В излучении спутника Сириуса наблюдалось смещение спектральных линий в красную сторону, предсказанное Эйнштейном, как необходимое следствие теории относительности²⁾. Найденная величина смещения в точности согласуется с значением радиуса, вычисленным для звезды указанным способом. Об этих измерениях размеров Бетельгейзе и спутника Сириуса было написано много сенсационного, однако, следует помнить, что хотя методы новы и представляют огромный интерес и важность, но результаты оказались в точности теми, которые всеми ожидалось; они практически неизбежны, как показывает простой арифметический расчет. В этом расчете есть только один недостаток. Он основан на предположении, что поверхности звезд испускают свое полное температурное излучение подобно поверхности Солнца. Если бы звезды были прозрачными телами подобно планетарным туманностям, или, наоборот, твердыми телами в роде луны, то сделанное предположение оказалось бы ошибочным, что и обнаружилось бы наблюдениями.

Изложенные наблюдения показали нам то существенно новое и положительное, что Бетельгейзе и спутник Сириуса не являются

¹⁾ См. У. Ф. Н. 4, 29, 1924. *Прим. перев.*

²⁾ Ср. У. Ф. Н. 5, 457, 1925. *Прим. перев.*

ни прозрачными, ни твердыми телами, но полными радиаторами подобно Солнцу. Более того, три звезды, о которых идет речь, т.-е. Бетельгейзе, Солнце и спутник Сириуса, различаются между собою в наибольшей возможной для звезд степени: они приблизительно представляют две крайности и середину в шкале звезд, при любом ее расположении. Отсюда естественно предположить, что все звезды — полные радиаторы как в отношении механизма излучения, так и подобия строения.

Физическое состояние внутри звезд.

Каков же механизм излучения? И что можно предварительно сказать о физическом состоянии звездной материи? В прежнее время спектроскописты, исходя из ошибочной аналогии с лабораторными опытами, предполагали, что нагретый газ всегда дает линейный спектр, а непрерывный спектр, подобный звездному, может излучаться только твердыми и жидкими телами. Теперь все поняли, что такой взгляд ошибочен: непрерывный спектр звезды указывает только, что она непрозрачна и вопрос о строении звезды остается открытым.

Теперь общераспространенным является взгляд, что звезды состоят из материи, в значительной степени распавшейся вследствие высокой температуры звезды на составляющие электроны и ядра, которые движутся почти независимо, подобно молекулам газа. В более мирных условиях электростатические притяжения быстро соединили бы блуждающие ядра и электроны в полные атомы и молекулы; но они бессильны в общем вихре летящих корпускул и перед дробящими ударами квантов радиации высокой частоты, соответствующей высокой температуре внутри звезды. Когда в 1917 г. я впервые высказал такой взгляд (*Phil. Trans.* 218, p. 209), я думал, что он совершенно нов, но впоследствии узнал, что еще в 1644 г. Декарт догадывался, что Солнце и неподвижные звезды созданы из материи, «которая обладает столь бурным движением, что, наталкиваясь на другие тела, она дробится на бесконечно малые частицы». Мое предположение — не догадка, оно имеет неопровержимые научные основания. В 1907 г. Эмден опубликовал расчеты¹⁾ относительно внутреннего состояния Солнца и звезд. Он предполагал, что звезды являются массами газа, пребывающими в равновесии, подобно нижним облакам земной атмосферы. Это случай так называемого «адиабатического» равновесия, в котором предполагается наличие потоков, достаточных для постоянного перемешивания составляющих газов. Основываясь на этом предположении, Эмден нашел, что если бы Солнце состояло из воздуха, или других двухатомных газов равного молекулярного веса, то темпе-

¹⁾ Emden. *Gaskugeln*, S. 96.

ратура в центре должна бы достигать 455 миллионов градусов. Если бы Солнце состояло из водорода, или другого двухатомного газа с молекулярным весом 2, то центральная температура была бы 31,5 миллионов градусов. Эти температуры настолько высоки, что ни один атом, или молекула выдержать их не могут. При 31,5 миллионах градусов квант тепловой радиации обладает энергией в $2,1 \cdot 10^{-8}$ эрга, достаточной для движения электрона в поле с противодействующей разностью потенциалов в 13500 вольт. Однако даже при таких квантах, летающих вокруг, атомные ядра останутся целыми; для разложения ядер на составные электрические заряды нужны температуры, значительно превышающие температуры в центре звезд. Но электроны неизбежно должны вырваться из атомов среднего атомного веса, и ядра останутся совершенно или почти обнаженными.

Как первое грубое приближение, мы можем рассматривать звездную материю, во всяком случае, в горячих центральных областях как смесь чистых ядер и электронов. От центра к периферии звезды температура падает, и мы встречаем все более сформированные атомы; наконец, вблизи поверхности атомы совершенно закончены, за исключением, может быть, одного или двух внешних электронов. На поверхности наиболее холодных звезд мы находим даже молекулы, например, окись титана и гидрид магния, обнаруживающиеся в спектрах некоторых классов звезд.

МЕХАНИЗМ ВНУТРЕННОСТИ ЗВЕЗДЫ.

Смесь свободных электронов и ядер, или не вполне сформированных атомов должна вести себя подобно смеси одноатомных газов. В совершенно разложившемся водороде каждая молекула водорода порождает четыре движущихся единицы — два протона и два свободных электрона; эффективный молекулярный вес смеси будет 0,5. Соответствующая цифра для гелия — 1,33, для кальция — 1,90, для железа — 2,07, для свинца — 2,50; но атомы свинца не могут полностью разложиться при звездных температурах, поэтому значение эффективного молекулярного веса свинца в звездах будет несколько выше. Примем временно 2 как средний молекулярный вес звездной материи; тогда, по расчетам Эмдена (для водородных молекул), мы найдем для центральной температуры Солнца 31,5 миллионов градусов. В эту цифру нужно внести различные поправки; они имеют, однако, сравнительно небольшое значение, и первоначальное значение Эмдена в 31,5 миллионов градусов, вероятно, не очень далеко от действительной температуры в центре Солнца. Рассель недавно указал, что большинство звезд имеет температуру в центре очень близкую к 32 миллионам градусов (*Nature*, август 8, 1925).

Одна из необходимых поправок, упущенная Эмденом при его расчете, — поправка на световое давление внутри звезд¹⁾. При 31,5 миллионах градусов световое давление достигает примерно 2500 миллионов атмосфер. Колоссальное в сравнении с земными давлениями, это световое давление составляет, однако, только около 5% газового давления разложившихся атомов и электронов в центре Солнца. Учесть это световое давление значило бы то же самое, что понизить принятый нами средний молекулярный вес на 5%, но ни в одном случае мы не знаем этого молекулярного веса с такой точностью. В исключительно больших звездах давление света приобретает несколько большее значение. Например, в центре звезды с массой, примерно, в 10 раз больше солнечной, световое давление составляет приблизительно половину газового давления. Для учета его действия в этом случае нам пришлось бы понизить принятый средний молекулярный вес, примерно, с 2 до 1. Во всяком случае, мы получим верную картину строения звезд, если будем представлять себе слои звездной материи, тяготение которых к центру сдерживается непрерывным натиском некоторого числа атомных ядер, или частично оголенных атомов с «молекулярным весом», практически совпадающим с соответствующим весом полных атомов; вместе с ядрами и атомами тяготению противодействует огромное число свободных электронов с постоянным «молекулярным весом» 0,00055 и значительное меньшее число «молекул радиации», молекулярный вес которых чрезвычайно мал. Комбинированный натиск этих трех типов корпускул и охраняет звезду от сокращения под действием собственного тяготения.

Полагаю, что это — наиболее верная грубая картина строения звезды. Соответствующий образ механизма этого строения получится, если представить себе вместо ядер α -частицы, вместо свободных электронов — β -частицы, а вместо радиации — γ -лучи (хотя в большинстве звезд главная часть излучения имеет длины волн X-лучей), точно так же, как в лаборатории β -лучи — более проникающие, чем α -лучи, а γ -лучи проникают больше, чем те и другие.

ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ ВНУТРИ ЗВЕЗДЫ.

В обычной кинетической теории газов теплопроводность рассматривается как результат действия молекул — носителей энергии. Ка-

¹⁾ Я впервые обратил на это внимание в рецензии на книгу Эмдена (Astroph. Journ. 30, 72, 1909) и дал довольно точную цифру для отношения светового давления к обычному давлению газа внутри звезд в 1917 (Phil. Trans. 218, p. 209). За несколько месяцев до этого Эддингтон опубликовал расчеты, по которым это отношение было переоценено в несколько сот раз. При первой же возможности он исправил эту цифру (Mon. Not. R. A. S. Июнь 1917). Вместе с исправлением отпало и сенсационное следствие, что световое давление имеет доминирующее значение в динамике внутренности звезд.

ждая молекула обладает переносной способностью, точно пропорциональной ее тепловой энергии, ее скорости и длине свободного пути. Внутри звезд, как мы видели, есть три различных типа носителей: ядра (или атомы), свободные электроны и радиация. Относительную переносную способность этих трех типов носителей можно сравнить, перемножая энергию, скорость и длину свободного пути каждого носителя.

Ядра и свободные электроны имеют, конечно, вполне определенные длины свободных путей. Тоже можно сказать и в отношении радиации, если рассматривать ее как состоящую из дискретных квантов; в момент излучения кванта свободный путь начинается, в момент поглощения — кончается. Будем ли мы стоять на волновой или квантовой точке зрения, мы можем предполагать, что пучок радиации убывает в своей интенсивности соответственно множителю e^{-kx} , проходя толщину x материи плотности ρ ; k здесь — коэффициент поглощения материи. Сравнивая это выражение с формулой кинетической теории $e^{-\frac{x}{\lambda}}$, определяющей убывание силы потока движущихся молекул, мы видим, что свободный путь радиации должен быть равным $\frac{1}{k\rho}$. Если воспользоваться этим значением свободного пути радиации и вычислить переносные способности вышеуказанным способом, то оказывается, что переносная способность как ядер, так и электронов незначительна в сравнении с радиацией. Энергия, переносимая ядрами и электронами, может быть много больше, однако, расстояние, на которое энергия переносится, свободный путь ядер и электронов значительно меньше, чем у радиации; скорость их также меньше, так как радиация переносит энергию со скоростью света. Отсюда вытекает, что практически весь перенос энергии изнутри звезды на поверхность осуществляется посредством радиации.

Этот общий принцип впервые был отчетливо выяснен Сэмпсоном в 1894 г. (Mem. R. A. S. 51, p. 123), но его фактическому применению мешал принятый им ошибочный закон излучения. Двенадцать лет спустя Шварцшильд независимо высказал ту же идею (Gött. Nachr., p. 41, 1906): он показал, что температура некоторого элемента внутри звезды должна определяться тем условием, что этот элемент получает столько же радиации, сколько излучает, и дал точные уравнения равновесия радиации; эти уравнения и служили основанием всех последующих рассмотрений задачи.

Конфигурация звезды в равновесии.

Как следствие того, что радиация совершенно вытесняет материальных носителей при переносе энергии к поверхности звезды, строение последней полностью определяется значениями k — коэффициента поглощения внутри звезды. Если этот коэффициент всюду

равен нулю, — звезда совершенно прозрачна и не может удерживать тепла; это звезда нулевой температуры и, следовательно, бесконечного протяжения. Если, с другой стороны, k всюду бесконечно, — звезда совершенно непрозрачна, излучение собирается там, где оно зарождается до тех пор, пока температура не станет бесконечной; это случай звезды с бесконечной температурой, но исчезающе-малого радиуса. Практический интерес имеют, разумеется, промежуточные значения k ; указанные два крайних случая показывают только, что строение звезды зависит полностью от значения коэффициента поглощения. Все попытки исследовать строение звезд, прежде чем стал известным коэффициент k , могут рассматриваться только как спекуляции.

Первая попытка Эддингтона вычислить k теоретически в 1922 г. (Mon. Not. R. A. S. 83, p. 32) оказалась неуспешной и была оставлена. В следующем году Крамерс (Phil. Mag. 46, p. 836) разработал ныне общепринятую теорию поглощения. Пользуясь коэффициентом поглощения, даваемым этой теорией, можно вполне определить строение звезды данной массы и с данной энергией. Таким способом я показал (Mon. Not. R. A. S. 85, стр. 196 и 394), что звезда данной массы может оставаться в равновесии при любом радиусе от нуля до бесконечности, при чем различные радиусы соответствуют различной скорости образования энергии в звезде от нуля до бесконечности. Звезда меняет радиус соответственно скорости отдачи энергии, чему соответствует поверхностная температура и спектральный тип. Если скорость образования энергии внезапно изменится, то звезда расширится или сожмется до радиуса и температуры, соответствующей новому значению скорости отдачи энергии. В противоположность обычному мнению, возрастание скорости образования энергии в звезде вызывает ее сжатие и повышение температуры; наоборот, ослабление скорости отдачи сопровождается расширением и охлаждением. Так, например, гигантские красные звезды, в роде Бетельгейзе, обязаны своим огромным размером не излучению слишком большой энергии, а, наоборот, слишком малой. Действительно, сравнительно компактные звезды, каковы, например, звезда Пласкетта и V Puppis, излучают значительно больше в отношении к их массам. Общий теоретический принцип можно проверить исследованием звездных пар приблизительно одинаковой массы, каковы, например, две пары в нижеследующей таблице. Поверхностная температура выведена здесь непосредственно по наблюдаемым спектрам, а радиусы вычислены ранее объясненным способом (см. табл. стр. 9).

Эволюция звезд.

Скорость отдачи энергии, повидимому, не меняется резко в действительных звездах. Имеется медленное вековое убывание, связанное с медленным всковым убыванием звездной массы, происходящим вслед-

Звезда	Масса (в сравнении с солнечной)	Образование энергии на г (эргов в секунду)	Наблюденная температура	Радиус (в сравнении с солнечным)
{ Солнце	1,00	1,9	5 750 °	1,00
{ α Центавра В . . .	0,97	1,4	3 700 °	2,03
{ Прокион	1,13	10,2	8 300 °	1,17
{ α Центавра А . . .	1,14	2,3	5 000 °	1,56

ствии непрерывного излучения. Например, 90 000 калорий радиации в минуту с 1 см² солнечной поверхности соответствует потере массы в 4.10⁻⁹ г; отсюда легко вычислить, что масса Солнца ежеминутно уменьшается на 250 миллионов тонн. Через миллионы миллионов лет такая растрата массы будет соответствовать гигантской массе Солнца. Для того чтобы проследить изменения радиуса и температуры действительной звезды, мы должны изучить последовательные конфигурации, получающиеся в результате изменения массы и отдачи энергии. Таким образом я нашел (Mon. Not. R. A. S., январь 1925), что нормальная звезда сначала должна уменьшаться в размерах и становиться горячее, но затем, в конце концов, расширяться и охладиться. Этот результат дает простое динамическое толкование последовательности „восходящих и нисходящих температур“, указанной впервые Локайером и составляющей основное следствие теории звездной эволюции Рэсселя (1913), хотя наша интерпретация весьма отлична от теории Рэсселя.

Атомный вес звездной материи.

В простейшем случае, когда энергия образуется равномерно по всей массе звезды, поверхностная температура T звезды массы M и данной яркости (с данной отдачей энергии) определяется уравнением:

$$\text{Яркость звезды} = C \cdot \left(\frac{N^2}{A}\right)^{-0,8} T^{0,8} \mu^{6,8} f(M);$$

здесь C — известная постоянная, N и A — атомный номер и атомное число звездных атомов, μ — эффективный молекулярный вес (около 2) разложившегося звездного вещества, T — температура поверхности звезды и $f(M)$ — функция, которую я вычислил и для которой составил таблицу; эта функция зависит только от массы звезды (Mon. Not. R. A. S. 85, p. 395).

Количество $\frac{N^2}{A}$ необходимо фигурирует в написанной формуле, так как коэффициент поглощения, определяющий все строение звезды,

пропорционален $\frac{N^2}{A}$. Если бы максвелловский демон мог разделить каждое атомное ядро в куске вещества на две равные части, то N и A и также $\frac{N^2}{A}$ уменьшились бы вдвое, и вещество стало бы вдвое прозрачнее, чем раньше. Отсюда ясно, что большое скопление материи в форме массивных ядер значительно сильнее поглощает X -лучи, чем большое число малых ядер с той же общей массой. По этой причине физик и врач выбирают свинец как материал для защиты от X -лучей: тонна свинца значительно надежнее в отношении предохранения от нежелательных X -лучей, чем тонна дерева, или железа. Если мы знаем силу рентгеновского аппарата и общий вес экранирующего материала вокруг него, то мы можем очень точно определить атомный вес материала, из которого сделан экран, измеряя количество X -радиации, проходящей через него.

Очень схожий метод может быть применен для определения атомного веса атомов, из которых составлена звезда. Звезда в действительности есть не что иное, как гигантский рентгеновский аппарат. Мы знаем общую массу многих звезд и легко можем вычислить скорость образования в них X -лучей; эта скорость — просто отдача лучистой энергии в пространство. Если бы можно было запустить нашего максвелловского демона внутрь звезды и заставить его разрубить каждое атомное ядро пополам, оставляя массу звезды и отдачу радиации неизменной, он уменьшил бы коэффициент поглощения звезды вдвое. В результате — строение звезды изменилось бы; ее радиус увеличился бы вчетверо, а поверхностная энергия уменьшилась бы вдвое. Мы можем следить за успешностью работы демона, наблюдая изменения поверхностной температуры звезды. Таким образом, наблюдая поверхностную температуру любой звезды известной массы и яркости, возможно определить атомный вес атомов, из которых составлена звезда. Формула, данная выше, позволяет это сделать.

Я должен, пожалуй, мимоходом указать, что Эддингтон и другие подошли к этому вопросу с другого конца, приписывая $\frac{N^2}{A}$ величины по догадке на основании наших сведений об элементах в атмосфере Солнца и звезд. Такой путь, однако, очень рискованный. Звездный спектр не дает указаний на то, какие элементы следует выбрать как находящиеся внутри; по крайней мере, есть возможность сказать a priori, что элементы внутри звезды совершенно отличны от элементов на поверхности. Какую ошибку сделал бы наблюдатель на другом небесном теле, если бы он предположил, что на земле нет других химических элементов, кроме тех, которые есть в атмосфере!

Но, положим, мы рискнули и приписали такие значения $\frac{N^2}{A}$, все количества, входящие в формулу для яркости, известны, остается

только вопрос, согласуются ли вычисленные яркости с наблюдаемыми непосредственно в телескоп? Не согласуются.

Ясно, что значение $\frac{N^2}{A}$ должно быть исправлено так, чтобы согласие получилось. Это и соответствует непосредственному определению $\frac{N^2}{A}$ по формуле яркости. Сделав это для ряда звезд, я нашел (Mon. Not. R. A. S., июнь 1926), что выясняются два очень важных факта. Во-первых, большинство значений, определенных таким образом, оказывается бóльшим, чем для урана, самого тяжелого элемента на земле. Во-вторых, различные значения $\frac{N^2}{A}$ систематически располагаются так, что наиболее молодые звезды дают наибольшие значения для $\frac{N^2}{A}$, по мере старения звезд числа уменьшаются.

Второй результат имеет обширные следствия. В противоположность взглядам прежних спектроскопистов, а также, повидимому, господствующему и теперь мнению, атомы звезды становятся тем проще, чем она старше; эволюция происходит от сложного к простому, а не от простого к сложному, как в биологии. В настоящее время нет прямых экспериментальных данных по этому вопросу, за исключением радиоактивности, где эволюция, несомненно, идет от сложного к простому: атомы с меньшим атомным весом непрерывно получают как результат исчезновения тяжелых атомов.

Данные астрофизики, указывающие на эволюцию материи в том же направлении, заставляют предположить что общая эволюция вещества во вселенной, может быть, протекает также, являясь обобщением радиоактивных процессов на земле.

Полученные данные целиком основаны на теории Крамерса о поглощении X-лучей. Эта теория, как было найдено, очень хорошо согласуется с наблюдаемым в лабораториях поглощением радиации тех же, примерно, длин волн, как и внутри звезд. Теоретические основания были обстоятельно и критически рассмотрены Эддингтоном, Мильном и др., при чем они не могли указать необходимости каких-либо существенных изменений. Однако, если данные из формулы Крамерса — единственные, то наши заключения, основаны хотя на прочном, но только одном основании. На самом деле, есть множество других доводов, как сейчас увидим.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗВЕЗДЕ.

Звезда неизбежно располагается так, что наибольшая концентрация материи имеется в центре. Это первое следствие закона обратных квадратов тяготения, хотя и закон поглощения имеет при этом некоторое значение. По формуле Крамерса для поглощения, распре-

деление материи в звезде таково, что плотность в центре в 100 или более раз превышает среднюю плотность; по крайней мере. 90 или 95 процентов общей массы звезды концентрировано в сфере половинного радиуса, т.е. в восьмой части объема. Но степень конденсации в центре очень нечувствительна к изменениям в формуле поглощения; любая рациональная формула будет также давать очень высокую конденсацию в центре. Строгое математическое рассмотрение этого обстоятельства (Mon. Not. R. A. S. июнь 1926, стр. 561) заставляет исключить возможность конвекционных токов, перемешивающих внутренность звезды, как кипящая вода перемешивается в чайнике. Конвекция в чайнике происходит потому, что вода на дне имеет меньшую плотность, чем менее горячая вода наверху; конвекции нет в звезде, потому что накалившаяся материя около центра, несмотря на интенсивный жар, во много раз плотнее холодной материи на поверхности. Таким образом, смесь материи внутри звезды не похожа на нижние слои атмосферы, где составляющие газы перемешиваются ветрами и бурями, но походит скорее на спокойную верхнюю атмосферу, в которой мельчайшие элементы всплывают кверху, а наиболее тяжелые опускаются вниз под действием тяжести.

Эти соображения подсказывают сразу, что элементы, обнаруживающиеся по спектрам на внешних областях Солнца и звезд, являются только наиболее легкими в ряде элементов, существующих на звезде. Естественно, что Земля, образовавшаяся из внешних слоев Солнца, содержит в себе те же химические элементы, как и этот внешний слой, но теперь ясно, что внутри должны быть более тяжелые элементы. Расчет, указывающий, что атомные числа звездной материи выше, чем у урана, не кажется более подозрительным и парадоксальным; он начинает казаться естественным и почти неизбежным.

Возникновение энергии звезды.

Дальнейшее указание на то, что атомные веса звездных атомов больше, чем у какого-либо из известных земных атомов, может быть получено из рассмотрения отдачи энергии внутри звезды. Солнце излучает около 2 эргов в секунду на грамм массы; такое же количество энергии, с такою же скоростью должно возникать внутри. По наиболее достоверным нашим данным, Солнце порождало и излучало энергию в том же количестве несколько миллионов миллионов лет. Могло ли солнце иметь такую способность к излучению, если бы оно состояло внутри из обычных земных элементов: кальция, железа, кремния и пр.?

Первое же побуждение ответить: нет. Если бы даже Солнце было построено из чистого урана, его излучательная способность составляла бы только, примерно, половину наблюдаемой; этой энергии хватило бы только на ничтожную долю того, что мы считаем жизнью Солнца. Солнце из чистого радия излучало бы больше, чем нужно для

данного момента, но жизнь такого Солнца была бы ограничена немногими тысячелетиями. Ни одна возможная комбинация земных элементов не может дать высокой радиации и устойчивости, которые наблюдаем на Солнце и звездах.

Мы должны, однако, помнить, что внутри звезд царят давления и температуры, недостижимые в наших лабораториях. Будут ли наши земные элементы вести себя совсем иначе в звездных условиях? Возможно ли, например, что внутренность Солнца состоит из обычных земных элементов и огромная отдача энергии связана только с высокой температурой и давлением?

Общее рассмотрение астрономического материала значительно освещает этот вопрос. Мы находим сразу, что звезды, излучающие наиболее энергично (на единицу массы), не являются, вообще говоря, наиболее горячими и наиболее плотными. Некоторые из наиболее горячих и плотных звезд совершенно посрамлены в отношении радиации очень холодными звездами малой плотности, каковы Антарес и Бетельгейзе. Если расположить звезды в порядке величины излучения на единицу массы, то окажется, что они распределятся не в порядке температур, или плотностей, но довольно точно в порядке возрастов; самые молодые звезды излучают наиболее энергично; независимо от их внутренней температуры и плотности, старшие звезды кажутся уставшими.

Эта общая тенденция показана в нижеследующей таблице.

Звезда	Отдача энергии (эргов на грамм)	Центральная температура	Центральная плотность	Возраст
Звезда Пласкета . . .	1000	500.000.000	Очень большая Больше 1000 0,005 0,5	Меньше 10^{11} лет
γ Puppis	640	300.000.000		
Антарес	320	1.000.000		
Капелла α	50	8.000.000		
Сириус	21	150.000.000	1.000	10^{12} лет
Солнце	1,88	70.000.000	300	$7 \cdot 10^{12}$ лет
α Центавра B	1,39	15.000.000	10	$71 \cdot 10^{12}$ лет
Крюгер 60 B	0,02	70.000.000	30.000	Очень старая
Сириус B	0,003	Неизвестна	Более 53.000	Неизвестен.

Спрашивается, могут ли существовать в действительности столь высокие плотности в центре звезд? Ответ получен на спутнике Сириуса (Сириус B). Непосредственное наблюдение показало, что средняя плотность этой звезды около 53 000, и, следовательно, плотность в центре должна быть еще больше. Между прочим, как заметил

Эддингтон, здесь мы имеем убедительное подтверждение нашего взгляда о том, что материя звезд состоит из атомов, разложившихся на главные составные части. Невозможно сжать материю, состоящую из целых атомов радиуса 10^{-8} см или более, до таких плотностей; это затруднение, однако, исчезает в отношении ничтожно малых ядер и электронов, размеры которых порядка 10^{-13} см.

Следует заметить, что многие данные таблицы являются только недостоверными догадками и не претендуют на большую точность. Многие астрономы предпочли бы другие цифры в этой таблице, однако, я сомневаюсь, что найдется кто-нибудь, кто стал бы серьезно опровергать общее положение, что способность звезды генерировать энергию прежде всего зависит от ее возраста, а не от центральной температуры и плотности.

Разумеется, могут существовать исключения из общего правила. Крайним примером этого служат Земля и Солнце. Материя обоих одного и того же предельного возраста, однако, они излучают весьма различные количества энергии на единицу массы. Это можно просто объяснить тем, что тяжелые атомы, определяющие энергию Солнца, опустились глубоко внутрь и потому не вошли в состав Земли и планет; такое же объяснение можно дать различной излучательной способности компонентов двойных систем. Эти исключения являются результатом особых условий в отдельных случаях; они не нарушают общего закона, что отдача звезды не определяется ее плотностью и температурой.

Таблица показывает, что закон хорошо подтверждается наблюдательной астрономией; его можно получить также теоретическим изучением действительного процесса образования энергии в звезде. Множество данных, в большинстве динамических, указывает, что звезды должны были существовать миллионы миллионов лет. Вот пример: недавно образовавшиеся двойные звезды имеют круговые, или почти круговые орбиты; это следствие способа их образования. Всякое гравитационное возмущение на круговой орбите стремится сделать ее более эллиптической, поэтому, чем старше двойная звезда, тем эллиптичнее должна быть ее орбита. В действительности так и происходит. На основании данных о числе и массах звезд, странствующих вокруг в пространстве, можно определить, с какой скоростью должна возрастать эллиптичность орбит двойных звезд; отсюда, обратно, можно определить возрасты действительных звезд. Это чисто-динамическая проблема. Ответ получается в миллионах миллионов лет.

Теперь можно определить количество радиации, излученной отдельными звездами в течение миллионов миллионов лет их существования. За исключением самых молодых звезд, общая масса излученной энергии оказывается значительно большей, чем масса звезды

в настоящем состоянии. Масса звезды ко времени ее рождения получается сложением массы излученной энергии и остающейся массы звезды. Таким образом, масса звезды при ее зарождении была много больше, чем теперь. Но в любой момент масса звезды состоит, главным образом из массы материи, из которой звезда построена; мы видим поэтому, что большая часть вещества, находившегося в звезде сначала, перестала существовать как вещество, она уничтожилась и, превратившись в радиацию, улетела в пространство. Еще в 1904 г. (*Nature*, 70, p. 101), я высказал предположение, что энергия создается в результате уничтожения материи; теперь действительно приходится считать, что в этом заключается источник энергии, излучаемой Солнцем и звездами. Электроны и протоны внутри звезды время от времени должны сталкиваться и взаимно уничтожать друг друга; соответствующая энергия испускается в виде излучения.

Энергия такого процесса колоссальна, она может сообщить обеим массам, принимающим участие в процессе, скорости, составляющие 0,866 скорости света. Другого способа, которым материя могла бы выделять энергию в таком же количестве нет; например, обычное сжигание тонны угля дает энергию достаточную для движения локомотива-экспресса в течение часа, а превращение тонны угля полностью в энергию сопровождалось бы выделением энергии, достаточной для отопления, освещения, механической работы и транспорта всей Великобритании в течение века.

Уничтожение каждого протона, или атома сопровождается вспышками лучистой энергии, странствующими внутри звезды, пока в результате неисчислимых поглощений и испусканий энергия не дойдет до поверхности и не улетит в пространство. Такие вспышки лучистой энергии схожи с вспышками, производимыми радиоактивными материалами в спинтарископе, но они во много тысяч раз мощнее. Огромная энергия этих вспышек компенсируется до некоторой степени их редкостью. Например, на Солнце только один атом из 10^{17} уничтожается в течение часа. В 1 см^3 солнечной массы заключается, примерно, 10^{22} атомов, из них исчезает каждый час около 100 000. Таким образом, энергия, возникающая в 1 см^3 солнечной массы, не очень велика: она равна приблизительно 9400 эргов или 0,00022 калории в час. Мощность потока энергии с поверхности Солнца определяется тем, что вся энергия, образующаяся в конусе глубиною в 695 000 км, должна выходить через отверстие этого конуса.

Таков в немногих словах механизм образования звездной энергии. Непосредственно за этим возникает вопрос, происходит ли образование энергии более бурно, сталкиваются ли электроны и протоны чаще внутри звезды в условиях огромных температур и плотностей?

На опыте известно, что обыкновенные радиоактивные процессы остаются безучастными и не усиливаются при тех высоких температурах, которые доступны в лаборатории; теория квантов объясняет это обстоятельство. Эйнштейн показал, что образование субатомной энергии может происходить только двумя путями: произвольно или под влиянием внешней радиации. Легко вычислить температуру, при которой последний фактор может стать заметным. Квант радиации при этой температуре должен равняться энергии, освобождаемой при данном субатомном процессе. Таким образом, температура, необходимая для разложения урана, оказывается равной приблизительно 120 000 миллионов градусов. Отсюда ясно, почему нагревание урана в лаборатории не может ускорить его распада. Такой же расчет показывает, что температура, потребная для ускорения скорости субатомного самоуничтожения материи, порядка 7 500 000 миллионов градусов. Можно заметить, что при более низких температурах, недостаточных для действительного уничтожения материи, могут все же ускоряться другие субатомные процессы. Это правильно в отношении мгновенной радиации звезды, но такие процессы не могут длительно влиять на радиацию. Все процессы, на которые влияет температура ниже 7,5 миллионов градусов, оставляют общее число электронов и протонов в звезде неизменным. Между тем все, данные астрономии говорят за то, что число электронов и протонов в звезде непрерывно убывает.

Эти соображения показывают, что относительно низкие температуры звезд, которые меньше миллиардов градусов, оказываются почти бездейственными в отношении образования звездной энергии; жар наиболее накаленных звезд не может оказывать на процесс уничтожения энергии большего влияния, чем тепло летнего дня на процесс разложения урана. Таким образом, достаточно ясно, что уничтожение материи в звездах определяется ни жаром, ни холодом, ни высокой или низкой плотностью, а просто течением времени.

Несмотря на это, Рассель (Nature, авг. 8, 1925), а затем Эддингтон (Nature, май 1, 1926), соглашаясь, что конечный источник звездной радиации есть уничтожение материи, предполагают, однако, что такое уничтожение может произойти, если температура обычной материи достигнет некоторого критического значения в 30—40 миллионов градусов. По Расселю, до этой критической температуры материя инертна, но как только она достигнута, внезапно происходит беспрепятственное превращение материи в радиацию.

Помимо нарушения изложенных физических принципов, это предположение связано еще с таким затруднением: образование энергии, возникающее по этому предположению, происходит не только беспрепятственно, но оно и неограниченно; если оно началось, его нельзя остановить. По гипотезе Расселя и Эддингтона, материя становится гермодинамически неустойчивой при звездных температурах, она

приобретает свойства взрывчатого вещества в точке взрыва. Если звездная материя достигла где-нибудь критической точки, то происходящее в результате уничтожение материи будет сопровождаться выделением такого тепла, что соседние слои материи также достигнут критической температуры и вся звезда почти мгновенно должна будет взорваться и перейти в радиацию. Мы не видели бы на небе постоянных светочей, но только последовательные появления новых звезд самого устрашающего типа по мере того, как различные звезды достигали бы критической точки и по очереди „лопались“. Несмотря на высокое положение, занимаемое в астрономической науке отцом и отчимом этой гипотезы, я считаю ее неприемлемой не только потому, что она противоречит общим принципам физики, но и потому, что против нее говорят звезды своим покойным видом.

Общее математическое рассмотрение проблемы устойчивости показывает, что звезда, построенная из материи, на отдачу энергии которой совершенно не влияют изменения температуры и плотности, будет динамически устойчива. Однако степень устойчивости невелика. Если свойства звездной материи таковы, что при повышении температуры увеличивается отдача энергии, то последний запас устойчивости исчезает. Всякое существенное влияние в этом направлении сделает звезду динамически неустойчивой.

Комбинируя этот чисто-динамический результат с изложенными физическими принципами, мы приходим к выводу, что, по крайней мере, в первом приближении, повышение температуры звездной материи не увеличивает отдачи энергии.

Звездная радиация должна возникать либо в материи земного типа, либо в материи иного типа, нам неизвестного. Если принять, что высокая температура и плотность не могут ускорить отдачи радиации обычной материи, то звездная радиация должна возникать из материи неизвестного на земле типа. Должны существовать другие типы материи, и хотя за последние годы физика и химия сильно сбились с дороги, однако, можно утверждать, что эти новые типы могут быть только элементами с более высокими атомными весами, чем у урана. Теперь становится ясным значение расчетов, показавших, что звездные атомные веса в большинстве случаев больше, чем у урана.

СОПОСТАВЛЕНИЕ И ТОЛКОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Тремя различными путями мы пришли к заключению, что атомные веса звездных атомов должны в большинстве случаев превышать атомный вес урана: 1) непосредственным вычислением по формуле Крамерса; 2) из соображения, что атомы вблизи центра звезды должны быть значительно тяжелее, чем около поверхности; 3) на основании того, что атомы с атомным весом меньшим, чем у урана, не

могут дать ни при каком нагревании и сжатии той интенсивной и длительной радиации, которая излучается звездами.

Оказалось, что атомные веса звездных атомов не только больше, чем у урана, но они систематически меняются от звезды к звезде. Коротко говоря, наиболее молодые звезды обнаруживают наибольшие атомные веса, и этот ключ наводит порядок в прежнем хаосе.

Мы предполагаем, что в первоначальной стадии материя состоит из смеси элементов с различными атомными весами. Наиболее тяжелые особенно легко произвольно самоуничтожаются, превращаясь в лучистую энергию; длительность их существования наиболее коротка. Эти элементы исчезают первыми по мере старения звезды; исчезновение их понижает средний атомный вес звезды и среднюю скорость отдачи радиации на единицу массы, так как тяжелые элементы — наиболее энергичные радиаторы. Так же как на берегу наиболее твердые скалы дольше всего выдерживают разрушающий натиск моря, так на звезде наиболее легкие элементы дольше всего противостоят разрушающему действию времени. В конце концов на звезде остаются только самые легкие элементы и она теряет излучающую способность. Наши земные элементы в столь малой степени способны к самопроизвольным превращениям, что их, по праву, можно назвать „постоянными“. Расчет показывает, что если бы эти элементы претерпевали заметное превращение за периоды, сравнимые с возрастом звезд (примерно, 10^{13} лет), то самостоятельное образование тепла земной массой нагрело бы ее до такой степени, что она стала бы необитаемой для человека. Радиоактивные элементы, разумеется, — исключение; они, вероятно, являются последними пережитками первоначальной более бурной материи и, таким образом, являются мостом между постоянными элементами и недолговечными элементами звезд.

Интересно знать, превращаются ли тяжелые атомы в радиацию сразу или через последовательные стадии превращений? Астрономические данные определенно указывают, что наиболее массивные звезды содержат большее разнообразие атомов, чем наше солнце, хотя вариации звездных масс шире, чем вариации атомных весов их атомов. Так как со временем эти звезды уменьшаются до массы Солнца, то процесс эволюции должен, очевидно, сопровождаться фактическим уничтожением атомов; недостаточно постулировать постепенное уменьшение атомного веса каждого атома до тех пор, пока он не станет постоянным. Радиоактивность показывает, что последний процесс может также происходить, но данные астрономии говорят за то, что это в лучшем случае — второстепенный процесс.

Число „постоянных“ атомов в массивной звезде, например, Антарес или *V Puppis*, не может заметно уменьшиться в ближайшие 10^{13} лет, так что они все должны дожить до конечной стадии звезды с массой,

составляющей, может быть, пятидесятую часть современной. Таким образом, примерно, 98% современных масс этих звезд должны состоять из непостоянных атомов. Другими словами, современная масса таких звезд, как Антарес и V Puppis, должна на 98% состоять из атомов, осужденных на превращение в радиацию, и только на 2% из атомов, которые не могут перейти в излучение. Ясно, что первичная материя вселенной должна быть непостоянного типа; наши земные атомы — только остатки непревращаемого пепла. Подобно бактериям в дождевой капле, взвешиваемым на Ниагаре, мы видим, что наша физика и химия — только каемка обширной науки; за побережьем, исследованным в наших лабораториях, лежит океан, существование которого мы только начинаем подозревать.

Мы приходим, следовательно, к выводу, что наиболее молодые звезды состоят из вещества, которое практически целиком неизвестно на Земле и обладает атомным весом большим, чем у урана. Это вещество самопроизвольно может уничтожаться, при чем освобождающаяся энергия проявляется в виде радиации. Скорость отдачи энергии, определяемая по яркости наиболее молодых звезд, порядка 1 000 эргов на грамм в секунду. Полное уничтожение 1 г материи сопровождается выделением $9 \cdot 10^{20}$ эргов, следовательно, звездная материя должна обладать „периодом спадания“ в $9 \cdot 10^{17}$ секунд или 30 000 миллионов лет. По мере того, как звезда стареет и остается менее превращающаяся материя, период спадания соответственно удлиняется. Материя Солнца, излучающего 2 эрга на грамм в секунду, должна иметь период спадания в 15 000 000 миллионов лет. Эти периоды спадания определяют скорость эволюции и длительность жизни звезд. Грубо говоря, звезда живет столько же, сколько атомы, ее составляющие, а длительности жизни атомов являются постоянными периодами.

Заметим, что периоды спадания звездных атомов длинны в сравнении с периодами обычного радиоактивного распада; это указывает, что радиоактивные элементы — только переходные образования в эволюции материи.

КРИТИЧЕСКАЯ ЦЕНТРАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА.

А priori можно ожидать, что в группе звезд с приблизительно одинаковыми массами, например, Солнце, Прокионе и двух компонентах α Центавра, скорость отдачи энергии будет очень различной, а, следовательно, эти звезды могут иметь очень различные поверхностные и центральные температуры. Действительно, на первый взгляд, такие звезды могут иметь любые температуры от нуля до бесконечности. На самом деле, однако, поверхностные температуры четырех указанных звезд, а также всех других звезд с той же массой лежат в узких пределах от 3 700 до 8 300 градусов; их центральные темпе-

ратуры, вероятно, колеблются в пределах от 15 до 100 миллионов градусов. Для звезд с другими массами пределы иные и значительно шире для звезд с большими массами. Но звезды определенной массы всегда обнаруживают определенный верхний предел, как поверхностной, так и центральной температуры. Эти пределы никогда не превосходятся, и большинство звезд с данной массой стремятся к ним. Наличие одного предела заставляет, разумеется, предполагать наличие другого и, повидимому, предельная центральная температура более существенна. Звезды с массой, как у нашего Солнца, никогда не имеют центральных температур выше 80 миллионов градусов, и большинство имеют центральные температуры, не очень далекие от 80 миллионов градусов. Для звезд с массами в 20 раз большими солнечной, соответствующий предел, вероятно, около 300 миллионов градусов, промежуточные пределы имеют звезды с промежуточными массами.

Это, разумеется, один из основных фактов астрофизики. Что он значит? Нормальный ход событий для звезды в роде *V Puppis* по мере потери массы и уменьшения радиации должен бы заключаться в постепенном сокращении размеров, сопровождающемся непрерывным возрастанием центральной температуры. Что останавливает это нормальное течение эволюции, как только центральная температура достигает 300 миллионов градусов?

Недавно я высказал предположение, что верхняя граница температуры для любой звезды соответствует просто той температуре, при которой ее центральные атомы теряют все или почти все электроны. Рассчитывается это очень просто, но надо предположить, что атомы в центре звезды имеют высокие атомные веса, что согласуется с предыдущими соображениями. Например, температура в 300 миллионов градусов достаточна, чтобы оборвать последние электроны с атомов атомного веса 300 или больше. Уменьшение критической центральной температуры по мере старения и уменьшения массы звезды является с этой точки зрения прямым следствием уменьшения атомного веса звездного материала, происходящего по мере постепенного уничтожения наиболее тяжелых атомов.

Остается объяснить, почему эта температура составляет верхний предел, почему звезда не может стать еще горячее, после того как у ее внутренних атомов оборваны последние электроны? Насколько я понимаю, есть только один возможный ответ. После того как с атома сорваны последние электроны, исчезает его способность к самоуничтожению и прекращается дальнейший рост отдачи радиации. С этого момента центральные атомы звезды действуют подобно регулятору паровой машины, управляя образованием энергии так, что центральная температура держится близкой к критической температуре. Если звезда начинает становиться горячее, центральные атомы все в большем числе теряют последние электроны и прекращают генерирование

энергии. Тогда звезда начинает охлаждаться, но при этом атомы восстанавливаются и снова начинают производить энергию, нагревая звезду. Механизм дает совершенный термостат, и легко показать, что действие его устойчиво. По мере старения звезды более тяжелые атомы в центре превращаются в радиацию первыми и исчезают, их место занимает более легкими атомами; для обрыва всех электронов с этих атомов достаточна более низкая температура, поэтому центральная критическая температура звезды падает.

Интересное подтверждение этой гипотезы дают компоненты недавно образовавшихся двойных звезд. Они обладают скоростью отдачи на единицу массы, как у молодых звезд, но массы их соответствуют значительно более старым звездам. Ясно, что „регуляторное“ действие должно быть особенно деятельно в отношении ограничения отдачи этих звезд, так что они должны иметь центральные температуры, очень близко совпадающие с максимальной для их масс. В действительности так и есть.

Все данные, доступные до сего времени, указывают, что уничтожение материи — квантовое явление; возможно, что оно соответствует не чему иному, как произвольному падению электрона на O -квантовую орбиту. Таким образом, объяснилось бы, почему голые ядра и свободные электроны не способны к уничтожению и почему, следовательно, атомы с оборванными электронами не превращаются в энергию.

ПРОНИКАЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Если земля дает только один конец цепи химических элементов, то где искать другой конец? Двигаясь по эволюционной лестнице, мы приходим к наиболее молодым звездам, содержащим элементы все с повышающимся атомным весом. Минуя звезды, мы приходим к туманностям; здесь мы должны найти элементы с наивысшими атомными весами и материю с наибольшей излучательной способностью.

По внешнему виду туманности — крайне слабые объекты, их излучение видимой радиации на единицу массы приблизительно такое, как у Солнца. Есть, однако, существенное различие в радиации звезд и туманностей. В момент зарождения радиация должна обладать огромной проникающей способностью; одновременное уничтожение одного электрона и протона дает излучение с длиной волны только в $1,3 \cdot 10^{-13}$ см. Однако огромная проникающая способность этого излучения внутри звезды достаточна только для прохождения ее на расстояние в малую долю радиуса звезды; последующие поглощения и излучения смягчают эту радиацию вследствие особого рода обобщенного эффекта Комптона, и она выходит за поверхность звезды в виде обычного температурного излучения. Но плотность туманности настолько меньше, чем у звезд, что такая радиация, зародившись

в туманности, проходит почти беспрепятственно в пространство. По дороге эта радиация может разрушить отдельные атомы, выбрасывая электроны со скоростями в миллионы вольт, но большая часть проходит беспрепятственно, пока не встретит среду с большой поглощательной способностью. Таким образом, нужно ожидать, что атмосферы звезд, Солнца и Земли и даже твердое тело Земли находятся под непрерывной бомбардировкой проникающей радиации, зарождающейся в туманностях.

Такая радиация открыта в земной атмосфере Кольгэрстером, Милликэном¹⁾ и другими, которые нашли, что она вне-земного происхождения. Если она зарождается в звездах, то количество ее должно сильно зависеть от положения Солнца. Этого нет, поэтому радиация идет из туманностей, или других космических масс, отличных от звезд. Совсем недавно (*Nature*, октябрь 9, 1926) Кольгэрстер и фон-Залис нашли, что интенсивность радиации изменяется в зависимости от положения космических масс, радиация идет, главным образом, из областей около Млечного Пути, в особенности из области Андромеды и Геркулеса.

Я вычислил, что общее количество проникающего излучения, получаемого на земле, примерно, вдвое больше, чем можно было бы получить от одной туманности Андромеды (*Nature*, декабрь 12, 1925), если бы она состояла только из материи с тою же излучательной способностью, как у самых молодых звезд. Ясно, что порядок величины наблюдаемой радиации согласуется с этим расчетом; с другой стороны, эта радиация настолько сильна, что трудно представить другой источник ее происхождения. Проникающая способность ее, по-видимому, значительно меньше, чем следовало бы ожидать от одновременного уничтожения электрона и протона, но я думаю, что это затруднение, если оно и существует, не непреодолимо. Совсем недавно Росселанд (*Astr. Journ.* Май 1926) указал, что бомбардировка этой радиацией может быть причиной наблюдаемых широких линий звездных спектров. До этого (*Nature*, декабрь 12, 1925) я предположил, что также объясняется свечение неправильных туманностей.

Есть соблазн пойти дальше в физику туманностей, попробовать понять свойства материи в ее первоначальных формах и заглянуть, может быть, в акт ее создания. Но это завело бы нас далеко в область догадок и спекуляций. До этих пор наша аргументация не зависела от догадок и домыслов. Там, где сначала, казалось, можно выбирать различные пути, при ближайшем рассмотрении все пути, за исключением единственного, оказывались запрещенными или наблюдаемыми фактами или хорошо установленными принципами физики или динамики; никогда не приходилось выбирать. По этой причине полученные

¹⁾ Ср. У. Ф. Н. 6, стр. 1, 1926. *Ред.*

заклучения, хотя и, несомненно, новые и, может быть, неожиданные, кажутся мне в основных чертах неизбежными. Я не вижу способа, как их можно избежать.

Жизнь и вселенная.

Обзор результатов, полученных космической физикой, заставил нас предположить, что физика земных лабораторий, только — окраина общей физики. Первичный физический процесс во вселенной — превращение материи в радиацию, о котором мы на земле ничего не знали, примерно, до 1904 г. Первичная материя вселенной состоит из чрезвычайно диссоциированных атомов — состояние вещества, о котором мы и не думали до 1917 г. Первичная радиация вселенной — не видимый свет, но радиация с короткими волнами и жесткостью, которая показалась бы невероятной в начале нашего века. Все наши знания о действительных основных физических условиях вселенной, в которой мы живем, есть результат работы последней четверти века.

Простое объяснение этого в том, что жизнь довольно естественно начинает исследование природы с изучения условий, непосредственно ее окружающих. Общие условия вселенной, как целого, — значительно более трудная задача для жизни на нашей планете, и к ней мы только приближаемся. Физические условия, в которых возможна жизнь, — только ничтожная доля шкалы физических условий вселенной, как целого. Понятие жизни предполагает длительность во времени; не может быть жизни там, где атомы меняют свой вид миллионы раз в секунду и ни одна пара атомов не может соединиться. Для жизни нужна также некоторая подвижность в пространстве. Эти два требования ограничивают небольшой интервал физических условий, в которых возможно жидкое состояние. Наш обзор показал, как малы эти границы сравнительно с тем, что происходит в целой вселенной. Первичная материя должна превращаться в излучение в течение миллионов миллионов лет, чтобы получилось исчезающе малое количество инертного пепла, на котором может существовать жизнь. И даже здесь этот пепел не должен быть слишком горячим, или холодным, иначе жизнь будет невозможной. Трудно вообразить жизнь какого-то высшего порядка, кроме как на планетах, согреваемых Солнцем. Если даже звезда проживет свои миллионы миллионов лет, то вероятность того, что она окажется Солнцем, окруженным планетами, составляет, насколько мы можем вычислить ее, примерно, одну стотысячную. Во всех отношениях пространства, времени, физических условий жизнь ограничена бытием только в ничтожно-малом уголке вселенной.

Что же такое жизнь? Есть ли это последняя цель, к которой движется все, для которой миллионы миллионов лет превращается материя в необитаемых звездах и туманностях и могучая радиация

посылается в пустынные пространства? Является ли все это только пышной подготовкой для жизни? Или она только случайный и совсем неважный побочный продукт естественных процессов, у которых свои более удивительные цели? Или — еще более скромная точка зрения, — не является ли жизнь своего рода болезнью, поражающей материю в старости, когда она потеряла высокую температуру и способность порождать радиацию высокой частоты, при помощи которых молодая и более сильная материя сразу разрушила бы жизнь? Или, отбрасывая смирение, мы должны сказать, что жизнь — единственная реальность, которая сама творит, вместо того, чтобы твориться гигантскими массами звезд и туманностей в необозримые промежутки астрономических сроков? Трудно даже перечислить те способы, которыми можно истолковать достигнутые результаты. Нет, однако, полагаю, ни одного способа их избежать.
