

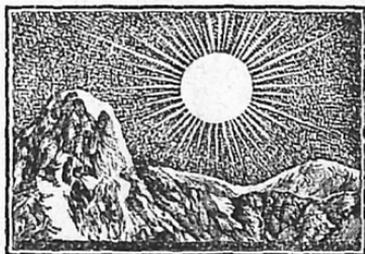
52

М-31

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

А. Г. МАСЕВИЧ

**ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ
СОЛНЦА И ЗВЕЗД**



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1949

2629/1
2630/1

1955

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

АПР 1955

52
M-31.

✓

А. Г. МАСЕВИЧ

ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

15833



207



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва — Ленинград

1949

Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы
и серии «Итоги и проблемы современной науки»

Председатель Комиссии
президент Академии Наук СССР академик
С. И. ВАВИЛОВ

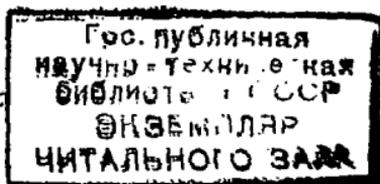
Зам. председателя член-корреспондент
Академии Наук СССР
П. Ф. ЮДИН

Ответственный редактор
Н. Н. ПАРИЙСКИЙ

73-26375

Д4

14395



ВВЕДЕНИЕ

В окружающей нас природе мы повсеместно наблюдаем светящиеся тела. В летние вечера в траве огоньками вспыхивают светлячки; таинственно светится в темноте ночи море; излучают свет зажженная спичка, свеча, горящий костер; электрические лампочки освещают дома и улицы; в витринах магазинов привлекает глаз разноцветный свет газосветных трубок. Это на Земле. А за ее пределами? Кто не наблюдал ночного неба, усеянного сверкающими звездами? Кажется, что звезд необозримо много. Однако при помощи телескопа удалось установить, что видимые невооруженным глазом звезды — лишь ничтожное количество звездных миров, существующих за пределами нашей солнечной системы. И все они светятся.

Когда мы задаем себе вопрос, отчего светятся некоторые земные тела, то ответ на этот вопрос не является для нас загадкой. Источником их свечения является горение, флуоресценция, высокотемпературное излучение. Но отчего светятся звезды? Что позволяет им излучать в пространство огромное количество тепла и света? Что является источником звездной энергии? Где он заложен и какова его физическая природа? Может ли этот источник энергии звезд исчерпаться; говоря иначе, могут ли звезды и наше Солнце, ближайшая к нам звезда, когда-нибудь погаснуть? А если могут, то когда это произойдет?

Эти вопросы с незапамятных времен волновали ум человека. Попытки ответить на них делались неоднократно, но лишь в последние десятилетия ученые смогли найти удовлетворительный ответ на большинство этих вопросов. Чтобы разобраться в них, нам придется несколько ближе познакомиться с миром звезд и с миром атомного ядра.

На первый взгляд может показаться странным, что же общего между звездами — огромными, раскаленными газовыми шарами, и ничтожно малыми частичками — атомами? Но это только на первый взгляд. Хорошо известно, что все тела состоят из атомов. Кроме того, — и это для нас будет особенно важным, — существует тесная связь между энергией, излучаемой звездами в мировое пространство, и поведением атомных ядер в недрах звезд. Но не будем забегать вперед. Познакомимся прежде с звездным миром.

1. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ

1. Далекие миры

Ночное небо, усеянное звездами, часто сравнивают с раскрытой книгой, в которой текст написан золотыми буквами — звездами. В этом поэтическом сравнении много верного. Кто умеет читать этот текст, тот прочтет в этой книге чудесные истории о далеких мирах, их движениях, зарождении и развитии.

Человек беспрестанно расширяет свои знания о Вселенной. Строчку за строчкой, страницу за страницей осваивает он увлекательный текст мироздания. Много еще осталось непрочитанных страниц в этой чудесной книге, но нет среди них таких, которые были бы не под силу человеческому уму, вооруженному материалистической наукой. Нет границ познанию человека!

Каждая звезда — это огромный раскаленный газовый шар, подобный нашему Солнцу.

Звезды, вследствие их большой отдаленности от нас, кажутся нам лишь слабо светящимися точками. Астрономические наблюдения позволяют определить межзвездные расстояния и сравнить действительную силу света или светимость различных звезд с силой света Солнца — ближайшей к нам звезды.

Чтобы пояснить величину межзвездных расстояний, приведем такой пример. Радиоволны распространяются в пространстве, как известно, с такой же скоростью, как и световые лучи. В течение одной секунды радиоволна успевает облететь вокруг земного шара, по экватору, примерно семь с половиной раз. Несколько больше одной секунды понадобится радиоволне, чтобы пройти расстояние от Луны до нас. Расстояние от Земли до Солнца радиоволна проходит за $8\frac{1}{2}$ минут.

А до ближайшей звезды Альфа Центавра радиоволна дойдет только через 4 года и 3 месяца.

Другие звезды находятся еще дальше, и свет от некоторых из них идет к нам десятки тысяч лет.

2. Разнообразие в мире звезд

Звездный мир весьма разнообразен. Есть звезды, которые во много раз больше и гораздо ярче нашего Солнца; есть звезды меньшие и по размерам и по количеству излучаемой ими энергии. Зная расстояние до звезды и ее видимый с Земли блеск, можно вычислить, каким был бы блеск этой звезды, если бы она находилась на месте Солнца. Отношение этого блеска к блеску Солнца и называется светимостью звезды, или ее силой света. Светимость, следовательно, показывает, во сколько раз звезда в действительности слабее или ярче нашего Солнца.

Светимости звезд очень разнообразны. У некоторых звезд они достигают значения в сотни тысяч. Так, например, светимость звезды S Золотой Рыбы равна 400 000. Это самая яркая из известных пока звезд. Встречаются и такие слабые звезды, которые излучают в десятки и сотни тысяч раз меньше энергии, чем Солнце. Звезд с меньшими светимостями, чем светимость Солнца, в нашей Галактике гораздо больше, чем звезд с большими светимостями.

Размеры звезд также меняются в значительных пределах. Существуют звезды-гиганты, поперечники которых в несколько тысяч раз больше поперечника Солнца (рис. 1), и, наоборот, звезды-карлики с поперечниками в сотни раз меньше солнечного.

Звезды бывают разреженные и чрезвычайно плотные. Средняя плотность некоторых гигантских звезд в десятки миллионов раз меньше плотности воды, а средняя плотность другой разновидности звезд, так называемых белых карликов, наоборот, в миллионы раз больше плотности воды.

Массы звезд различаются не столь сильно, как их размеры и светимости; они колеблются в пределах от одной десятой доли массы Солнца до нескольких десятков солнечных масс.

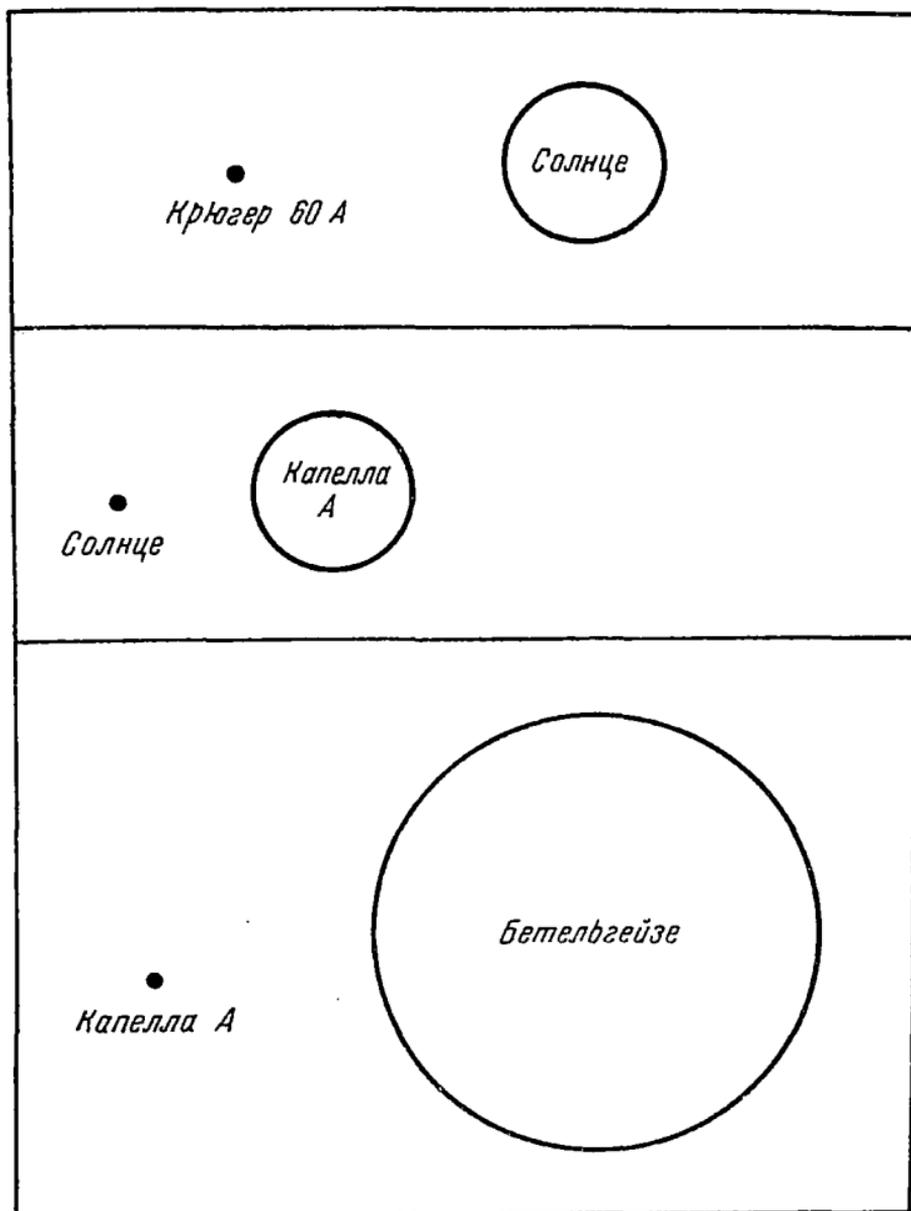


Рис. 1. Сравнительные размеры Солнца и некоторых звезд.

Вверху — звезда-карлик Крюгер 60 А и Солнце;
в середине — Солнце и желтый гигант Капелла А в другом масштабе;
внизу — Капелла А в другом масштабе и красный гигант Бетельгейзе

Внимательно присматриваясь к наиболее ярким звездам на небе, можно заметить, что одни излучают красноватый свет, другие — желтый, третьи — белый или голубой. По цвету звезд можно судить о температуре их поверхности. У горячих голубых звезд температура поверхности составляет около $25\,000^{\circ}$; температура поверхности желтых звезд примерно 6000° (такой звездой является наше Солнце); температура красных звезд — 3000° (такие звезды в астрономии называются х о л о д н ы м и звездами).

Наше Солнце по всем своим характеристикам занимает в разнообразном звездном мире среднее положение. Солнце — обыкновенная звезда, подобная множеству других.

Большинство звезд, как и наше Солнце, вероятно, окружены планетами или целыми планетными системами. Однако, вследствие дальности расстояния, обнаружить невидимых спутников звезд непосредственно нельзя. Только на основании косвенных признаков удалось обнаружить у некоторых звезд планеты. Недавно пулковский астроном Дейч определил период обращения невидимого спутника звезды 61 Лебеда.

Звезды часто встречаются парами, то есть спутником одной звезды является другая звезда. Точнее говоря, обе звезды движутся вокруг общего центра тяжести. Такие звезды называются д в о й н ы м и.

Изучение двойных звезд имеет очень большое значение, так как дает единственную пока возможность непосредственного определения звездных масс.

Наряду с двойными звездными системами обнаружены также и тройные и более-кратные системы звезд.

3. Необыкновенные звезды

Большинство известных нам звезд, в том числе и наше Солнце, — это обыкновенные звезды, несмотря на различие в размерах и светимости. Что это значит — обыкновенные или необыкновенные звезды? Любителю астрономии, особенно при более близком изучении, каждая звезда кажется необыкновенной, столько в ней интересных особенностей. Для человека же, равнодушного к природе, все звезды «на одно лицо».

Астрономы называют о б ы к н о в е н н ы м и такие звезды, которые не меняются в течение тысячелетий. Но встречаются и необыкновенные звезды. Блеск некоторых звезд не остается постоянным, он периодически меняется. Такие звезды называются п е р е м е н н ы м и . Звезды эти то сжимаются, то расширяются; они как бы пульсируют. Промежутки между моментами наибольшего сжатия или расширения у одних переменных звезд делятся годы, а у других — только несколько часов. Существуют и такие переменные звезды, у которых пульсация происходит неравномерно, через самые неопределенные промежутки времени, — они называются н е п р а в и л ь н ы м и п е р е м е н н ы м и з в е з д а м и .

Изучение переменных звезд позволяет делать ряд интереснейших выводов о строении Галактики и других звездных систем.

По исследованиям переменных звезд Советский Союз занимает первое место в мире.

У других, так называемых н о в ы х , звезд происходят еще более удивительные изменения. Небольшая звезда-карлик вдруг начинает вздуваться. Размеры ее быстро растут. За несколько суток она превращается в звезду-гиганта. Блеск ее за это время увеличивается в 10 тыс. раз и больше. В момент наибольшего блеска от звезды отделяется газовая оболочка, которая, продолжая расширяться, рассеивается в межзвездном пространстве. Согласно расчетам советского астронома проф. Б. А. Воронцова-Вельяминова, эти рассеивающиеся газовые оболочки служат одним из главных «поставщиков» межзвездного газа. Сама звезда начинает затем сжиматься, блеск ее ослабевает, и она превращается в слабого плотного карлика. В нашей Галактике ежегодно происходит около 200 вспышек новых звезд.

Отчего происходят эти вспышки?

Причина таких вспышек скорее всего внутреннего характера; она обуславливается какими-то нарушениями энергетического баланса в недрах звезды. Согласно теории ленинградских профессоров А. И. Лебединского и Л. Э. Гуревича, вспышка новой звезды объясняется взрывом в ее недрах, вызванным ядерными реакциями.

4. Наблюдаемые закономерности в звездном мире

Разнообразие в мире звезд чрезвычайно велико. Но отсюда не следует делать вывод, что в природе могут

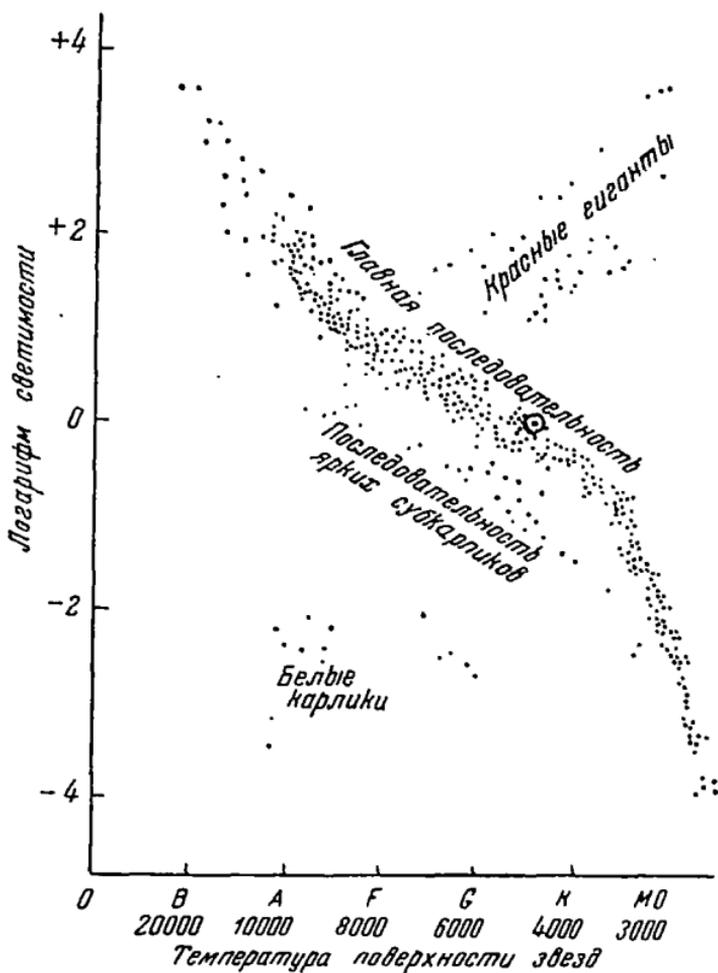


Рис. 2. Диаграмма «светимость — температура поверхности звезд» по проф. П. П. Паренаго

Буквы (от В до М0) соответствуют принятой в астрофизике спектральной классификации звезд. Под каждой буквой указана соответствующая ей температура поверхности

существовать звезды с любыми значениями массы, радиуса и светимости. Если нанести данные для всех известных звезд на координатную сетку, откладывая

по вертикали логарифм светимости (логарифмы для того, чтобы сделать шкалу более компактной), а по горизонтали — температуру поверхности звезды, то звезды распределяются не хаотично, а вдоль некоторых вполне определенных направлений.

Мы получим известную диаграмму Герцшпрунга-Рессела, которая и приведена на рис. 2 с исправлениями и дополнениями проф. П. П. Паренаго.

Основная масса звезд располагается на этой диаграмме вдоль так называемой Главной последовательности, простирающейся справа налево от самых холодных красных звезд-карликов до ярких массивных звезд — горячих гигантов — белых звезд. Вправо, вверх от Главной последовательности, расположена ветвь красных гигантов. Это — холодные, чрезвычайно яркие звезды огромных размеров, радиусы которых больше солнечного в 1000 раз и более. В то же время средние плотности этих звезд ничтожны, порядка 10^{-7} — 10^{-9} г/см³, т. е. в десятки тысяч раз меньше плотности окружающего нас воздуха. В левом углу диаграммы мы встречаемся с противоположной крайностью состояния звездной материи, с так называемыми белыми карликами. Это сверхплотные звезды малого радиуса и малой светимости. Средняя плотность белого карлика — порядка миллиона граммов в кубическом сантиметре.

Как видно на рис. 2, под Главной последовательностью звезд намечается еще одна последовательность, параллельная ей и сдвинутая в сторону меньших светимостей. Эта последовательность была обнаружена в 1946 г. проф. Паренаго и названа им Последовательностью ярких субкарликов. Звезды, находящиеся на ней, по массе и радиусу схожи с звездами крайней правой части Главной последовательности — обычными красными карликами, но во много раз ярче последних.

Большинство известных нам звезд принадлежит к Главной последовательности. Место Солнца на ней отмечено кружочком.

Диаграмма «светимость — температура» служит одним из основных источников для определения многих звездных характеристик, например, радиуса, массы,

плотности звезд, для которых непосредственное определение не представляется возможным.

Другой закономерностью звездного мира является так называемое соотношение «масса — светимость».

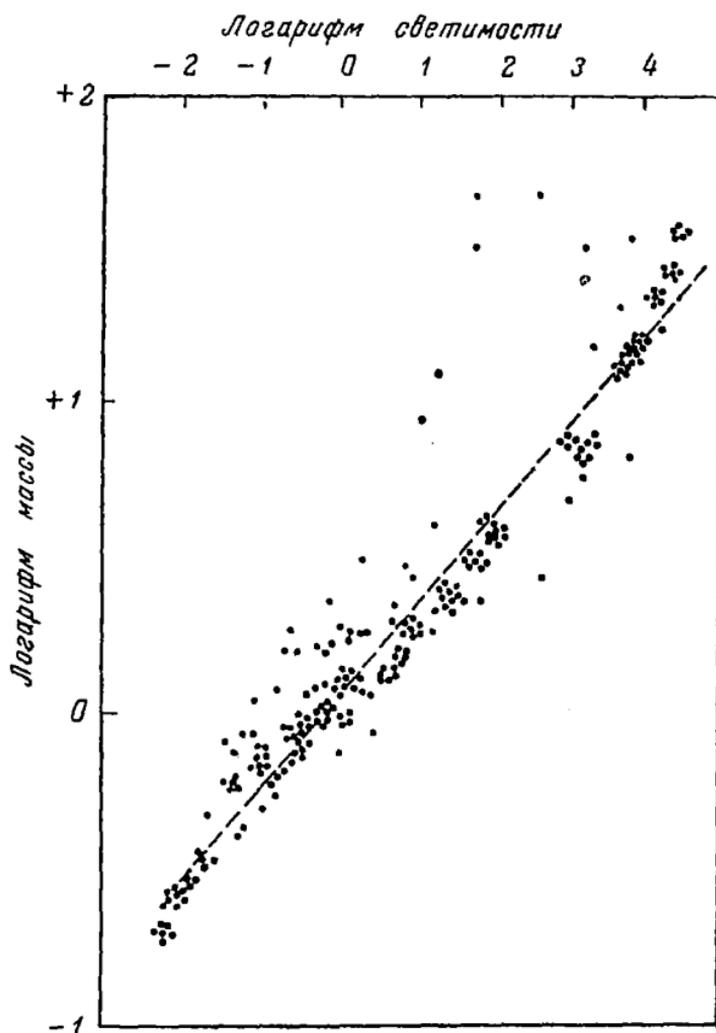


Рис. 3. Диаграмма «масса — светимость» по проф. П. П. Паренаго

Если нанести все звезды с известными массами на диаграмму — логарифм массы — логарифм светимости, то окажется, что почти все они расположатся вдоль некоторой кривой. Чем больше светимость звезды,

тем больше и ее масса. На рис. 3 дана зависимость «масса — светимость» по П. П. Паренаго. В среднем светимость звезды меняется пропорционально массе в степени 3. 3. Соотношение это хорошо выполняется для всех звезд Главной последовательности. Поэтому, если для какой-нибудь звезды, лежащей на Главной последовательности, масса не может быть определена из наблюдения, то ее находят, зная блеск звезды, из соотношения «масса — светимость».

Однако к ряду звезд, как, например, к субкарликам и белым карликам, это соотношение неприменимо.

Все данные о звездах говорят о том, что условия, в которых находится звездное вещество, чрезвычайно разнообразны, а это очень усложняет поставленный выше основной вопрос об источниках энергии Солнца и звезд.

5. Солнце — источник жизни

Солнечные лучи приносят свет и тепло на нашу планету. Дневной свет, растительность, сама жизнь на Земле существуют только благодаря самосвечению Солнца. Солнцу мы обязаны всеми видами энергии, потребляемой человеком. Без солнечных лучей, в темноте, растения произрастать не могут и, следовательно, без Солнца на Земле не было бы ни дров, ни угля, ни торфа. Без испарения воды с поверхности океанов и морей, не было бы рек и водопадов. Энергия воды, так же как и электрическая энергия, — это видоизмененная энергия Солнца. Ветер — это результат неравномерного нагревания земной поверхности лучами Солнца, значит, причиной ветра тоже являются солнечные лучи.

Энергия Солнца проявляется во всем, что нас окружает. «Пища только потому и является источником силы в нашем организме, — писал наш великий соотечественник К. А. Тимирязев, — что она не что иное, как консерв солнечных лучей». И добавлял: «Человек вправе величать себя сыном Солнца».

Значение Солнца известно человеку давно. Не удивительно поэтому, что в древности люди, не зная, что представляет собой Солнце, обожествляли его, строили в честь его храмы, молились ему, считали

Солнце самым главным божеством. Со временем поклонение Солнцу сменилось тщательным изучением его. Наука показала, что нет сверхъестественных сил в природе, что наше Солнце — это обычная звезда, каких во Вселенной множество. Но одновременно наука еще больше подчеркнула то значение, которое имеет Солнце для человека. Солнце — источник жизни на Земле. Без него поверхность нашей планеты была бы мертва и неподвижна.

Наше Солнце ближе к нам, чем другие звезды, поэтому его можно изучить особенно подробно. Близость эта, конечно, весьма относительна. С нашей земной точки зрения расстояние от Земли до Солнца очень велико.

Солнце удалено от нас примерно на 150 млн. км. Луч света, движущийся в безвоздушном пространстве со скоростью в 300 тыс. км в секунду, проходит это расстояние, как мы уже упоминали, за $8\frac{1}{2}$ минут. Но по сравнению с межзвездными расстояниями Солнце находится действительно близко от нас: настолько различны масштабы на Земле и в мировом пространстве. Знакомясь с миром звезд, нам сразу же следует иметь это в виду. Изучение Солнца помогает нам уяснить природу других далеких солнц-звезд.

Что же мы знаем о нашем Солнце?

Солнце, как уже говорилось выше, — это огромный раскаленный газовый шар, излучающий потоки света и тепла. Поперечник его равен 1400 тыс. км; он больше поперечника Земли в 109 раз. Солнечный диск кажется нам таких же размеров, как и лунный, только потому, что Солнце находится от Земли на расстоянии в 400 раз большем, чем Луна. Самолету, который может облететь за трое суток вокруг Земли, понадобится целый год, чтобы совершить путешествие вокруг Солнца. Объем Солнца превосходит объем нашей планеты в 1300 тыс. раз. Масса Солнца в 332 тыс. раз больше массы Земли, что в земных мерах веса составит число тонн, выражающееся двойкой с 27 нулями.

Температура солнечной поверхности составляет 6000° . Определили ее астрономы по цвету. Нам хорошо знакомо понятие красного и белого каления; каждый знает, что железо, раскаленное «докрасна», холоднее

того же железа, накаливаемого «добела». По цвету железа кузнец судит о его температуре; по цвету расплавленной стали сталевар регулирует температуру в печи.

Температура нити накаливания электрической лампочки 2000° . Но зажженная днем электрическая лампочка по сравнению с солнечным светом кажется не только слабой, но и красноватой. Ослепительный свет дает вольтова дуга; на нее нельзя смотреть не зажмурившись. Ее температура около 4000° . Но самое яркое место в вольтовой дуге все же не может сравниться со светом Солнца. Небольшой шарик солнечного вещества, размером в пятикопеечную монету, сиял бы как лампа в миллион свечей.

Наблюдая Солнце, ученые пользуются специальными фильтрами, ослабляющими его свет.

Наблюдения показывают, что поверхность Солнца освещена неравномерно: к краям она заметно темнее, чем в центре. Объясняется это тем, что свет, идущий от более глубоких слоев, проходит в центре солнечного диска сквозь наружную атмосферу Солнца прямо, а на краях пронизывает ее косо и сильнее поглощается (рис. 4).

Видимую нами поверхность Солнца называют фотосферой. Из фотосферы и исходит в основном вся посылаемая Солнцем световая энергия. Глубже мы практически «не видим»: непрозрачность солнечного вещества не позволяет доходить до нашего глаза излучению более глубоких слоев.

6. Что происходит на поверхности Солнца

Поверхность Солнца кажется нам гладкой, но телескоп показывает, что на самом деле она имеет зернистое строение; на относительно темном фоне выступают более

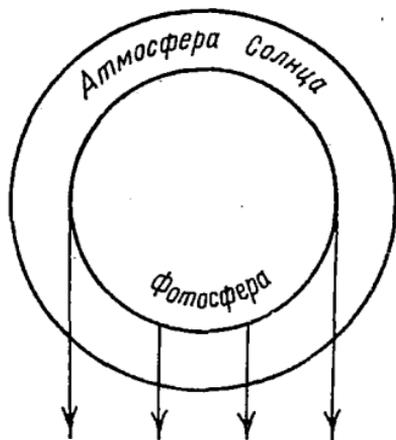


Рис. 4. Неодинаковый ход лучей сквозь атмосферу Солнца и поглощение в ней света

яркие пятна — гранулы. Эти светлые пятнышки выглядят на фотографии крупинками (рис. 5), а в действительности, как показал еще в 1905 г. русский ученый А. Ганский, размеры гранул составляют 700—1000 км. Они не находятся в покое. Это легко заметить, если посмотреть на фотографию той же части солнечной поверхности, сделанную через некоторое время.

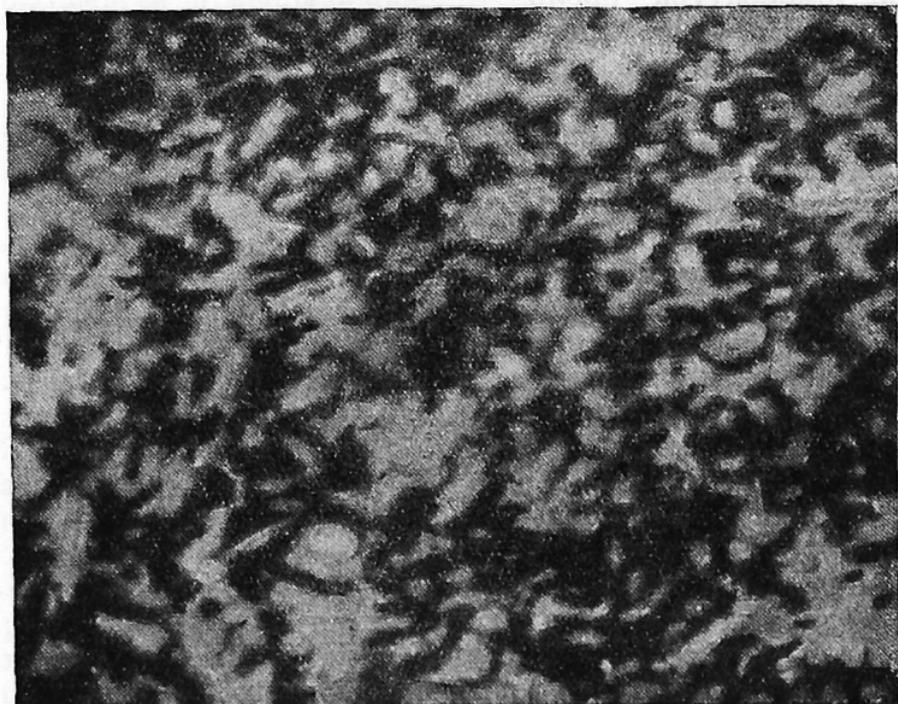


Рис. 5. Грануляция солнечной поверхности по А. Ганскому (Пулково)

Появившись на поверхности, гранула существует около трех минут, после чего исчезает, и на ее месте появляется новая. Это чрезвычайно интересное обстоятельство говорит о том, что фотосфера Солнца не однородна: она состоит из отдельных газовых образований, находящихся в непрерывном движении. «Горящий вечно океан», — писал о Солнце более двухсот лет тому назад наш великий ученый М. В. Ломоносов. Это сравнение как нельзя более удачно. Действительно, поверхность

Солнца подобна бушующему морю раскаленных газов.

На поверхности Солнца наблюдаются и другие явления: солнечные пятна, факелы, протуберанцы.

Солнечные пятна (рис. 6)—это вихревые воронки в фотосфере. Их поверхность имеет темпе-

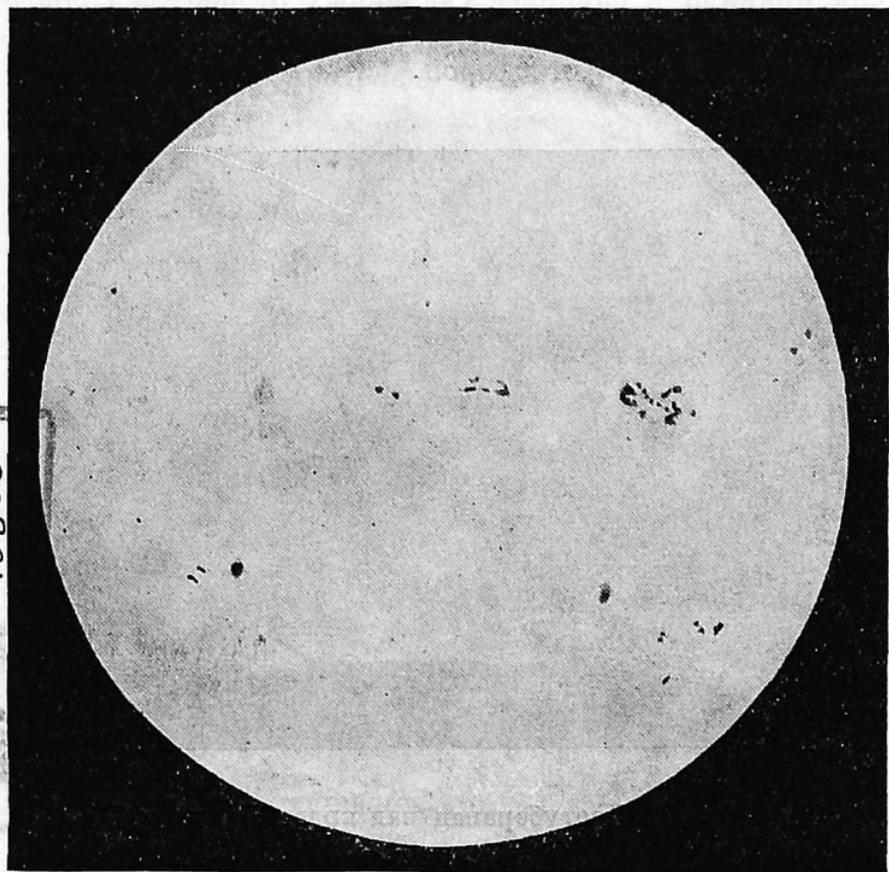
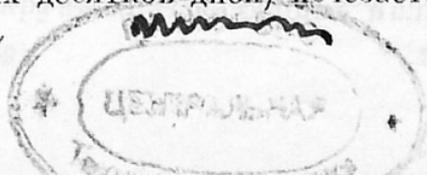


Рис. 6. Общий вид солнечной поверхности с пятнами и потемнением к краю

ратуру только 4500° , почему они и кажутся темными на общем фоне. Размеры пятен весьма различны и достигают даже 100—200 тыс. км. Пятна, как и гранулы, не являются постоянными образованиями: каждое пятно или группа пятен через некоторое время (в среднем — в течение нескольких десятков дней) исчезает.

2 А. Г. Масляничкина
Гос. науч.-техн. библиотека СССР
ЭКЗЕМПЛЯР
ЧИТАЛЬНОГО ЗАВ.



Количество пятен на Солнце не всегда одинаково. В некоторые годы пятен очень много, а в другие — их почти нет.

Ф а к е л а м и называются наиболее яркие области солнечной поверхности. Обычно они окружают солнечные пятна, но наблюдаются также и отдельно от них, как правило, в наиболее удаленных от центра солнечного диска частях. Факелы — это образования, расположенные над фотосферой.

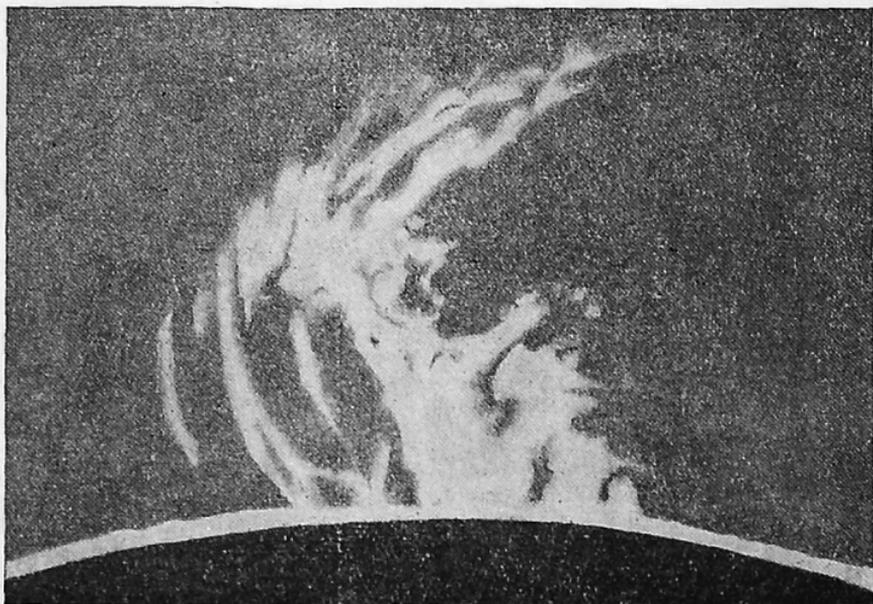


Рис. 7. Протуберанец над краем Солнца

Протуберанцами (рис. 7) называют выступы раскаленной светящейся материи, наблюдаемые над краем Солнца во время полных солнечных затмений, а также вне затмений — при помощи специальных приборов. Как показал ленинградский астроном В. Вязаницын, температура протуберанцев достигает 5000° .

Во время полных солнечных затмений, когда диск Солнца скрыт от нашего глаза Луной, можно наблюдать солнечную корону — жемчужно-серебристое сияние, со всех сторон окружающее Солнце (рис. 8). **К о р о**

на — это наиболее верхняя, очень разреженная часть солнечной атмосферы. Как показали исследования проф. Е. Бугославской, корона состоит из многих лучей. Лучистость короны была ею тщательно изучена. Еще в начале нашего столетия А. Ганский обнаружил, что форма короны при разных затмениях различна: она изменяется в связи с солнечной «деятельностью». Когда на Солнце много пятен и протуберанцев, корона равномерно распределена над Солнцем. В годы, когда

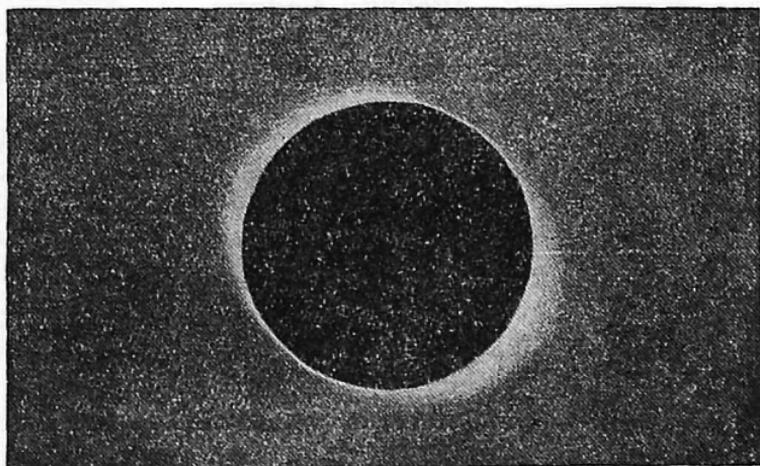


Рис. 8. Снимок солнечной короны, полученный московским астрономом Е. Бугославской во время полного солнечного затмения 21 сентября 1941 г.

пятен и других образований на Солнце мало, корона вытягивается вдоль солнечного экватора, наподобие крыльев. Физическая природа явлений, происходящих в солнечной короне, — одна из наиболее интересных и сложных проблем изучения внешних слоев Солнца, объяснена в основном работами московского астронома И. С. Шкловского.

Изучение влияния солнечной деятельности на различные земные явления (на погоду, условия радиосвязи) имеют не только научное, но и большое народнохозяйственное значение. Вопрос этот еще далеко не разрешен, но исследования в этой области ведутся весьма интенсивно. Такие крупные атмосферные явле-

ния, как вторжение масс арктического воздуха и т. п., по всей видимости, связаны с процессами, происходящими на Солнце.

В Советском Союзе широко поставлена так называемая Служба Солнца, т. е. регулярное наблюдение явлений, происходящих на солнечной поверхности. Особенно ценные работы по изучению проблемы «Земля — Солнце» проведены за последние 10 лет сотрудниками Пулковской обсерватории.

7. Энергия Солнца

Мы знаем, что Солнце сегодня такое же, каким оно было вчера или несколько лет назад, такое же, каким его видели наши деды и прадеды. Правда, человеческая история коротка по сравнению с возрастом Земли. Однако раскопки свидетельствуют о том, что эволюция органического мира протекала без перерыва, по крайней мере, в течение нескольких сотен миллионов лет. Это означает, что в течение этого времени светимость Солнца почти не изменялась. Всякое заметное изменение излучения Солнца должно было бы оборвать развитие органического мира и уничтожить жизнь на Земле. В самом деле, уменьшение солнечного излучения в два раза привело бы к значительному понижению температуры земной поверхности (на много ниже нуля). Увеличение же солнечной активности в четыре раза заставило бы моря и океаны закипеть. Очевидно, что жизнь в таких условиях была бы невозможна.

Но сама Земля, без сомнения, должна быть старше, чем возникшая на ней жизнь. Был период, когда Земля уже существовала, но жизни на ней еще не было.

Изучение пород земной коры позволило геофизикам определить возраст нашей планеты. Известно, что атомы так называемых радиоактивных, наиболее тяжелых, химических элементов: радия, урана, тория — распадаются самопроизвольно и превращаются при этом в атомы других химических элементов. Так, уран после ряда превращений образует радий. Радий, распадаясь, превращается, в конце концов, в свинец. Распад радиоактивных элементов не зависит ни от каких внешних

причин: ни нагревание, ни охлаждение, ни химические воздействия не могут ускорить или замедлить его. Закон распада урана хорошо изучен опытным путем. За единицу времени распадается определенная доля атомов урана. Если в какой-нибудь горной породе содержится уран, то за время существования этой породы часть его атомов распалась и превратилась, в конечном счете, в свинец. Измерив отношение количества свинца к количеству урана, можно определить, сколько времени уже продолжается распад, а так как внешние воздействия не влияют на радиоактивность, то время это и есть возраст данной породы земной коры с момента ее образования.

Многие горные породы и минералы содержат уран и продукты его распада. Определяя отношение количества свинца к количеству еще не распавшегося урана, геофизики установили, что самые древние горные породы земной коры образовались более двух миллиардов лет назад. Таков, очевидно, минимальный возраст Земли.

Но Солнце не может быть моложе Земли, так как Земля сама произошла от Солнца. Следовательно, наше Солнце существует в виде звезды уже, по крайней мере, два миллиарда лет, а скорее всего и гораздо больше. И все это время оно излучает в мировое пространство энергию. О ее размерах мы можем судить по тому, какое количество этой энергии приходится на долю Земли.

Геофизики измеряют солнечную энергию, наблюдая нагревание воды в особых сосудах, выставленных навстречу солнечным лучам. На каждый квадратный сантиметр верхней границы земной атмосферы за одну минуту приходится солнечной энергии столько, что ее достаточно для нагрева почти на 2° (точнее, на 1.94°) одного грамма воды. На первый взгляд это может показаться не так уже много, но на самом деле Земля получает от Солнца громадное количество энергии. Если выразить всю эту энергию в киловаттчасах, то окажется, что всемирное годовое производство энергии за счет сжигания разного вида топлива примерно в миллион раз меньше, чем энергия лучей, посылаемых Солнцем на Землю за это же время.

Но ведь на долю земного шара приходится лишь незначительная часть солнечного излучения. Большая часть энергии Солнца рассеивается в мировом пространстве. Полное излучение Солнца в два с лишним миллиарда раз больше той энергии, которую получает от него Земля. Представить себе такое громадное количество энергии трудно. Если бы можно было обложить Солнце слоем льда толщиной в 19 м, то уже через минуту весь этот лед растаял бы под действием солнечного тепла!

Откуда же берется вся эта энергия? Может быть Солнце горит, и то, что нам кажется солнечным диском, это на самом деле грандиозный пожар или печь, в которой ежесекундно сжигается самое высококачественное топливо?

Эта мысль очень наивна, но тем не менее это первая мысль, которая приходит в голову, когда начинаешь задавать себе вопрос о причине свечения Солнца в течение миллиардов лет. Однако, как только мы поставим следующий вопрос, — что же горит на Солнце, т. е. какое вещество сгорает, — мы сейчас же убеждаемся, что это объяснение явно неудовлетворительно. В самом деле, глыбы угля размером с Землю не хватило бы для поддержания солнечного излучения даже в течение полутора суток. И если бы все Солнце состояло из самого лучшего угля, то оно сгорело бы полностью за несколько тысяч лет. То же самое относится и к другим видам топлива: сгорание любого из них не может поддержать даже стотысячной доли жизни Солнца.

Между прочим, даже самое понятие горения совершенно несовместимо с теми условиями, которые, как мы уже знаем, имеются на Солнце. Как ни противоречиво это звучит, но Солнце слишком горячо, чтобы гореть! В самом деле, что такое горение? Горение — это соединение молекул вещества с молекулами кислорода и образование более сложных молекул с выделением тепла. Однако, с другой стороны, при очень высоких температурах сложные соединения не только не образуются, но, наоборот, разлагаются на простые составляющие, так же, как, например, водяной пар при высокой температуре разлагается на составляющие его кислород и водород. Температура в 6000° на поверх-

ности Солнца настолько велика, что заставляет почти все сложные молекулы распадаться, и солнечное вещество является в основном механической смесью атомов чистых элементов.

Существовало мнение, что энергия Солнца поддерживается падающими на него метеоритами. Предполагали, что при падении на Солнце механическая энергия метеорита превращается в тепловую и поддерживает его излучение. Однако для того, чтобы действительно поддержать излучение Солнца, надо, чтобы на него падало так много метеоритов, что масса Солнца заметно должна была бы увеличиваться, чего в действительности не наблюдается. Кроме того, все данные о природе Солнца показывают, что энергия должна поступать из его центральных частей к поверхности, а нагреть центральные части Солнца падением метеоритов на его поверхность совершенно невозможно.

Существовала также долгое время гипотеза, будто солнечная энергия является следствием сжатия Солнца, уменьшения его размеров. При сжатии газов, как известно, температура их повышается. Сжимаясь под действием силы тяготения, газовый шар нагревается, причем сильнее всего нагреваются его центральные части, так как они сжаты больше всего. Излучение энергии с поверхности нарушает равновесие между силой тяготения и газовым давлением, и сжатие продолжается до тех пор, пока Солнце излучает. При помощи закона тяготения можно легко подсчитать, что для поддержания излучения Солнца сжатием необходимо уменьшение его поперечника приблизительно на 0.003% или на 2 км в 100 лет. Такое незначительное изменение поперечника Солнца могло бы остаться незамеченным в течение многих столетий, так что с точки зрения сравнения с наблюдениями все обстоит благополучно. Однако расчеты показывают, что если Солнце было вначале даже бесконечно велико, то, сжимаясь и излучая так, как оно излучает на самом деле, оно достигло бы своих настоящих размеров за 20 млн. лет.

Во времена возникновения этой гипотезы (так называемой гипотезы сжатия), в прошлом столетии, 20 млн. лет казались весьма приемлемым возрастом

для нашего Солнца. Однако современные знания о возрасте Земли дают нам право утверждать, что такое объяснение солнечного излучения неудовлетворительно.

Сжатие под действием сил тяготения может иметь, и наверное имеет, место и на Солнце и на других звездах, но не оно является главным источником энергии. Источник энергии Солнца должен быть во много раз более мощным.

Таким образом, ни одна из рассмотренных теорий не отвечает на вопрос о причине солнечного излучения. В течение многих лет наука не могла удовлетворительно разрешить эту проблему. И только открытия последних десятилетий, раскрытие новых закономерностей в природе, в частности — достижения атомной физики, позволили ответить и на вопрос об источниках энергии Солнца и звезд.

II. АТОМНОЕ ЯДРО И ЕГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

1. Стрoение атома

Три мельчайшие или, как их часто называют, элементарные частицы входят в состав атома, а из атомов состоят все тела Вселенной. Частички эти — электрон, протон и нейтрон.

Электрон — легчайшая частица, заряженная отрицательно. 10^{27} электронов весят один грамм. Двигаясь в металлических проводниках, электроны создают электрический ток; благодаря движению электронов действуют радиолампы и фотоэлементы, изобретение которых привело к замечательному развитию радио, звукового кино, телемеханики.

Протон — положительно заряженная частичка; масса его больше массы электрона в 1840 раз.

Масса нейтрона близка к массе протона, и уже по названию можно догадаться, что он нейтрален, т. е. не имеет заряда. Из этих трех частиц построены все химические элементы — от наиболее легкого водорода до тяжелого урана.

Каждый атом состоит из центрального ядра и электронов, обращающихся вокруг этого ядра. Атомное ядро заряжено положительно. Чтобы атом был нейтрален, необходимо, чтобы число обращающихся вокруг положительно заряженного ядра электронов соответствовало его заряду. Так, например, ядро атома водорода имеет заряд $+1$ — один электрон обращается вокруг этого ядра. Заряд ядра атома гелия $+2$ — атом гелия имеет два электрона. Атом урана имеет 92 электрона — заряд его ядра соответственно равен 92.

Рис. 9 и 10 дают схематическое представление о строении атома. Конечно, электроны в атоме на самом деле не движутся так, как изображено на схеме. Нарисовать

путь электрона в атоме невозможно. Движение это описывается сложными формулами теоретической физики.

Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре, которое прежде всего характеризуется своими ничтожно малыми размерами. Атом сам по себе — чрезвычайно малая величина. Около 100 млн. атомов можно было бы уложить вдоль одного сантиметра, т. е. примерно вдоль ширины человеческого ногтя. Но даже при таких ничтожных размерах поперечник атома более чем в 10 тысяч раз превосходит поперечник

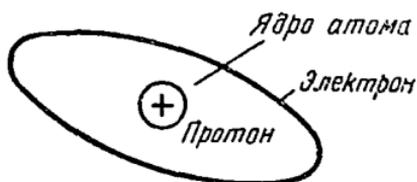


Рис. 9. Схема строения атома водорода.

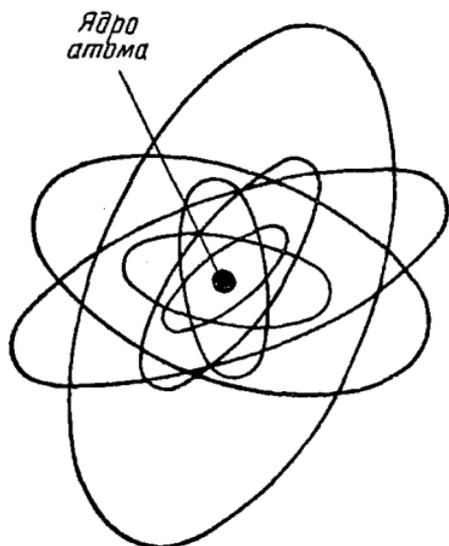


Рис. 10. Схема строения атома со многими электронами.

атомного ядра. И в этом маленьком ядре сосредоточена почти вся масса атома. Для того, чтобы представить себе это более ясно, часто приводят следующий пример. Одним из самых тяжелых известных нам металлов является платина. Один кубический метр платины весит 21.5 тонны. Почти вся эта значительная масса сосредоточена в ядрах атома платины. Все атомные ядра, входящие в этот кубический метр, если их сложить вплотную, заняли бы объем лишь в несколько тысячных долей кубического миллиметра.

Как мы знаем, в солнечной системе объем, занимаемый Солнцем и планетами, также ничтожен по сравнению с объемом, занимаемым всей солнечной системой. Поперечник Солнца примерно в 10 тыс. раз меньше поперечника солнечной системы.

Атомное ядро, в свою очередь, — также составная частица. Оно состоит из протонов и нейтронов. Самое простое ядро у атома водорода: оно состоит из одного протона. У атома гелия ядро состоит уже из двух протонов и двух нейтронов. В атомное ядро урана входят 92 протона и 146 нейтронов.

Число протонов и нейтронов в ядре называют массовым числом A , а число электронов, окружающих ядро, — атомным числом Z , или атомным номером.

У атома водорода $Z=1$, $A=1$; у атома гелия $Z=2$, $A=4$; у атома урана $Z=92$, $A=238$.

В ядерной физике, записывая химическое обозначение элемента, тут же указывают его атомное и массовое числа, например, ${}_1\text{H}^1$, ${}_2\text{He}^4$, ${}_{92}\text{U}^{238}$ и т. д.

Наш великий соотечественник Д. И. Менделеев еще в 1869 г. распределил все известные в его время химические элементы в таблице. Таблица эта известна теперь во всем мире под названием Периодической системы элементов Менделеева. Все элементы в этой таблице расположены в порядке их атомных весов (или массовых чисел). Порядковый номер элементов в таблице — это и есть атомный номер, т. е. число электронов, движущихся вокруг ядра данного элемента.

Электрон в атомной физике обозначается e^- . Минус стоит потому, что существует еще одна элементарная частица, масса которой равна массе электрона, но заряд которой противоположен по знаку — положителен. Частица эта была открыта в 1933 г. и названа позитроном; обозначается она e^+ . Позитрон долго не удавалось обнаружить, так как жизнь его очень недолговечна. В земных условиях он существует лишь миллионную долю секунды, после чего позитрон встречается с электроном, и оба они превращаются в кванты света.

Несмотря на то, что химических элементов всего 96, различных атомов в природе гораздо больше. Если к атомному ядру прибавить один нейтрон, то заряд его от этого не увеличится, и атомный номер останется неизменным. Изменится лишь массовое число: атом станет тяжелее на одну единицу, и его вес теперь будет $A+1$. Но поскольку не изменился заряд, то

постоянным остается и число электронов вокруг ядра, а так как эти электроны определяют химические свойства атома, то свойства элемента сохраняются. Элементы с массовым числом A и с массовым числом $A + 1$ попадут в одну и ту же клеточку таблицы Менделеева, потому что номер клетки определяется Z . Такие элементы называются *изотопами*, т. е. «занимающими одно и то же место».

В настоящее время известно около 600 изотопов, из которых половина получена искусственно в лабораториях и в природе не найдена.

Уран встречается в природе как смесь трех изотопов: 99.3% ${}_{92}\text{U}^{238}$ (146 нейтронов и 92 протона), 0.7% ${}_{92}\text{U}^{235}$ (143 нейтрона и 92 протона) и ничтожного количества ${}_{92}\text{U}^{234}$ (142 нейтрона и 92 протона).

Одним из наиболее интересных изотопов является изотоп водорода — тяжелый водород, или дейтрон. Ядро обычного водорода состоит из одного протона. Ядро же дейтрона состоит из одного протона и одного нейтрона, т. е. тяжелее в два раза, но химические свойства их одинаковы.

Количество тяжелого изотопа в водороде, встречающемся в природе, очень мало и составляет всего 0.02%.

Вода, в молекулах которой обычный водород заменен тяжелым, называется «тяжелой водой». Она тяжелее обычной воды на 5%. Плавать в такой воде было бы легче. Кроме того, она обладает еще рядом отличительных свойств. Например, температура наибольшей плотности тяжелой воды не 4°C , как у легкой, а 11°C . Температура кипения (при нормальном давлении) не 100° , а 101.2° .

На рис. 11 показано, что входит в состав простейших атомных ядер и их изотопов. Тут же приведены и их символические обозначения.

Что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, впервые (1932) показал наш советский ученый, профессор Д. Д. Иваненко.

В атомном ядре протоны и нейтроны упакованы необычайно тесно, так как ядро имеет очень маленькие размеры (биллионную долю миллиметра). На таких малых расстояниях протоны, входящие в состав ядра,

должны были бы взаимно отталкиваться, потому что они заряжены одноименно. Однако атомные ядра, как правило, не распадаются. Объясняется это тем, что на очень малых расстояниях между протонами и нейтронами, образующими атомное ядро, в том числе и между одноименно заряженными протонами, действуют особые так называемые ядерные силы. Они-то и являются главной причиной устойчивости атомных ядер.

2. Радиоактивность и атомная энергия

Химические свойства всякого элемента определяются электронами, окружающими атомное ядро. Следовательно, индивидуальность атома с химической

Название	Водород		Гелий		Литий		Бериллий
Символ	${}_1\text{H}^1$	${}_1\text{D}^2$	${}_2\text{He}^3$	${}_2\text{He}^4$	${}_3\text{Li}^6$	${}_3\text{Li}^7$	${}_4\text{Be}^9$
Масса	1	2	3	4	6	7	9
Заряд	+		+ +		+ + +		++++

Рис. 11. Схема строения атомных ядер легких элементов и их изотопов

точки зрения может быть полностью установлена, если известен номер его места в периодической системе элементов. Так, например, элемент, находящийся на третьем месте, будет иметь свойства лития независимо от того, равна ли масса его атомов шести или семи (см. рис. 11). Когда происходит какая-нибудь химическая реакция, скажем, два атома водорода объединяются с одним атомом кислорода в молекулу воды, то атомные ядра водорода и кислорода до и после реакции остаются неизменными. Можно сказать, что химики всегда имеют дело лишь с внешним слоем атома, с его электронной оболочкой и никогда не добираются до атомного ядра.

Но, наряду с химическими реакциями, в природе существуют еще и другие, так называемые ядерные

реакции. При ядерных реакциях перестраиваются сами ядра атомов, образуется другое ядро, с иными свойствами. Таким превращением одного вещества в другое в природе является радиоактивный распад.

В 1896 г. француз Анри Беккерель открыл радиоактивность урана. Оказалось, что соли урана испускают лучи, способные проникать сквозь черную бумагу и вызывать почернение фотографической пластинки, а также сообщать воздуху электропроводность.

В 1898 г. супруги Мария и Пьер Кюри открыли новый, в те времена еще неизвестный, элемент — радий, который оказался во много раз более активным, чем уран.

Распад этих элементов не зависит ни от каких внешних воздействий.

Исследование излучения радиоактивных элементов показало, что оно состоит из трех частей: одна часть излучения отклоняется сильным магнитом в одну сторону, другая — в противоположную, третья — не меняет своего пути. Они были названы альфа-, бета- и гамма-лучами. Альфа-частицы — положительно заряженные ядра гелия (этим объясняется присутствие гелия в минералах, где содержится торий или уран: он попросту выделился из них). Бета-лучи оказались очень быстрыми электронами: их скорость и скорость света — величины одного порядка. Гамма-лучи — очень коротковолновое, жесткое электромагнитное излучение.

Радиоактивные превращения составляют длинные ряды. Радий превращается в радон, радон — в радий А и т. д. У радия целая цепь предков и потомков. Сам радий происходит от урана; говоря точнее, атом урана, испытав ряд изменений, превращается в атом радия. Постепенно выбрасывая электроны, или альфа-частицы, радиоактивные элементы переходят друг в друга, пока не получится устойчивое вещество — свинец.

Известны три радиоактивных ряда: один ведет начало от урана, второй — от тория, третий — от элемента актиния.

Изучение радиоактивности показало, что атомы таят в себе огромные запасы энергии; при каждом радиоактивном распаде выделяется некоторое количество

энергии в виде быстро движущихся альфа-, бета- или гамма-лучей. Откуда берется эта энергия?

В основе правильного научного мировоззрения лежит закон, утверждающий вечность материи; материя не появляется из ничего и не переходит в ничто, — она только меняет свою форму и свое состояние. Всякое изменение состояния материи, переход материи из одной формы в другую, неминуемо связаны с энергией.

Великий русский ученый М. В. Ломоносов первым сформулировал великий закон природы — закон сохранения, более общий, чем закон сохранения энергии и закон сохранения вещества, объединяющий оба эти закона.

С особой простотой и ясностью необходимость связи между массой и энергией обнаружилась в факте светового давления, открытого и измеренного профессором Московского университета П. Н. Лебедевым. Опытным путем П. Н. Лебедев доказал, что свет, падая на встречные тела, оказывает на них давление. Из механики хорошо известно, что всякое давление равно произведению массы давящего тела на изменение его скорости в процессе давления. Следовательно, сам факт давления света заставляет нас видеть в свете, т. е. в лучистой энергии, наличие некоторой массы.

Таким образом из опытов П. Н. Лебедева вытекала определенная связь между энергией света и его массой. Следовательно, есть основание составить равенство: энергия света = массе света \times скорость света в квадрате. Но свет — это только частный вид энергии. Позднее был установлен общий принцип эквивалентности массы и энергии, который выражается уравнением: $E = mc^2$, где E — энергия, m — масса, c — скорость света.

Так как скорость света чрезвычайно велика, то из этого соотношения видно, что превращение даже незначительной доли массы может дать большое количество энергии. Так, превращение в энергию 1 кг массы (все равно какого вещества, будь то уголь или масло) эквивалентно энергии в 25 млрд. квт/час, тогда как сжигание 1 кг каменного угля в обычной печи даст только 8.5 квт/час. Разница весьма ощутительная — в три миллиарда раз!

Кусочка угля величиной с наперсток, если его це-

ликом превратить в энергию, хватило бы для огромного океанского парохода на кругосветное путешествие!

При радиоактивном распаде происходит превращение совсем ничтожной доли массы ядра в энергию. Измерив эту энергию, можно подсчитать, насколько меняется масса атома при ядерной реакции.

Однако выделение энергии радиоактивными элементами в нормальных условиях протекает чрезвычайно медленно. Запас энергии радиоактивного ядра можно сравнить с озером, находящимся высоко в горах, из которого вода просачивается через узкое отверстие со скоростью, скажем, одной капли в неделю. Естественно, что никому не придет в голову ставить водяную турбину для использования этого «потока». Мысли энергетиков будут направлены к тому, как бы расширить отверстие, создать мощный водопад и воспользоваться, таким образом, энергией, заложенной в этом высокогорном озере.

Так было и с атомной энергией. Физики, изучающие атомное ядро, старались найти способ освободить энергию, заложенную в ядре, расширить ей путь для выхода.

Атомное ядро оказалось грандиозным резервуаром внутриатомной энергии, и весь вопрос заключался в том, как научиться извлекать эту энергию, хотя бы и не полностью.

3. Как искусственно разрушаются атомы

Открытие радиоактивности показало, что мечты средневековых алхимиков, стремившихся искусственно превратить одни простые вещества в другие (медь — в золото, свинец — в серебро), не совсем лишены основания. Золота, правда, не получается, но преобразование наиболее тяжелых элементов — радия, урана, тория — наблюдается в природе. Поскольку такое преобразование в принципе возможно, усилия физиков были направлены на получение ядерных преобразований и у более легких, нерадиоактивных элементов с помощью внешних воздействий.

Теперь мы понимаем, что алхимики не могли добиться успеха в своих опытах, хотя и затрачивали на

них больше деньги и много усилий. Ведь средства внешнего воздействия на элементы, которыми они располагали, исчерпывались обычными химическими и тепловыми реакциями. Но энергия связи в атомных ядрах превышает обычную химическую энергию связи в миллионы раз; естественно, что все попытки освободить ее были тщетны. Это равносильно стремлению пробить железобетонную стену, бросая в нее грецкие орехи.

Современные физики действуют более разумно. Они «атакуют» непосредственно ядро атома. Чтобы освободить хотя бы часть энергии, заключенной в атомном ядре, надо, очевидно, создать искусственно ядерную реакцию, преодолеть силы сцепления элементарных частиц в ядре. Только новейшие достижения атомной физики позволили добиться успеха в этой области.

Ядерная реакция может начаться, если ввести в атомное ядро каким-нибудь способом лишнюю частицу — протон, нейтрон или некоторую их комбинацию. Допустим, что мы умеем это сделать. Что тогда произойдет? Возникает какое-то сложное ядро, обладающее избытком энергии, — «возбужденное» ядро, как говорят физики. Такое ядро не может существовать в устойчивом состоянии. Оно в течение очень короткого времени стремится «освободиться» от излишней энергии. Для этого ядро может, во-первых, выбросить обратно влетевшую частицу, и строение его при этом не изменится. Но может выброситься и какая-то другая частица — не одинаковая с первой, — это уже будет означать, что произошла ядерная реакция, так как первоначальное и вновь образовавшееся ядра будут не равны. Наконец, ядро может захватить налетевшую частицу целиком, отдав избыток энергии в виде гамма-излучения. И в этом случае строение первоначального ядра изменится — ядерная реакция произошла.

Все дело, следовательно, в том, чтобы посторонняя частица могла проникнуть в ядро. Но в этом как раз и вся сложность проблемы. Мы уже видели, что ядерные силы, которые должны захватить и удержать частицу, действуют только на очень малых расстояниях. Следовательно, чтобы частица попала в ядро, она долж-

на подойти к нему вплотную; а это возможно лишь в том случае, если она обладает достаточной энергией.

В лабораториях мельчайшим частицам — протонам, дейтронам, альфа-частицам — сообщаются большие

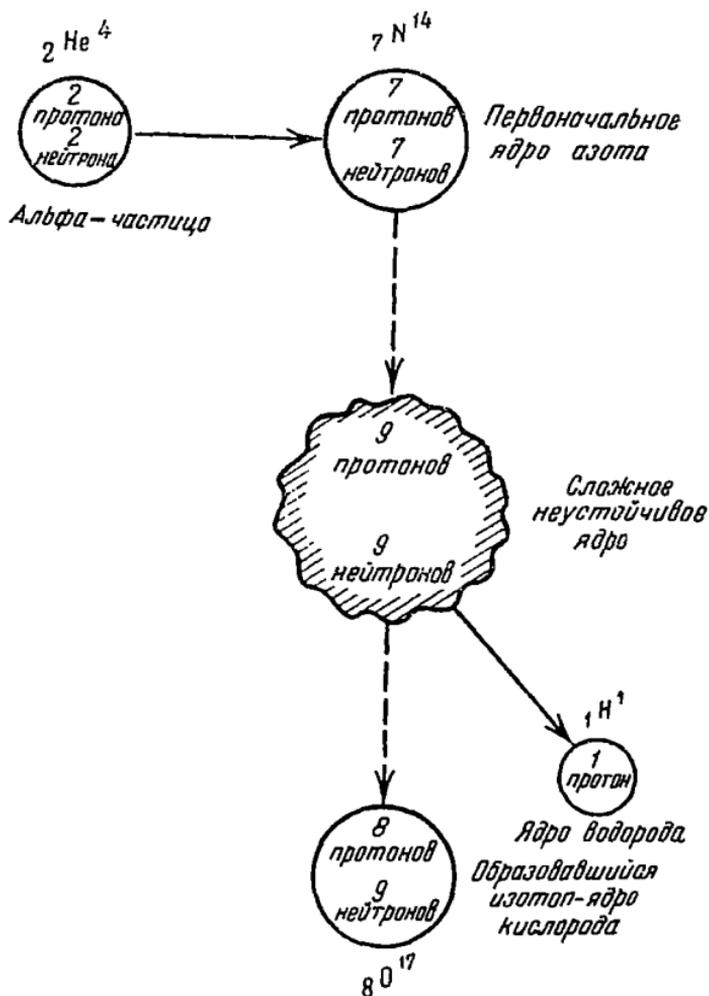


Рис. 12. Схема ядерной реакции азота с альфа-частицами

скорости с помощью специальных приборов. И этими быстрыми частицами обстреливаются атомные ядра других элементов.

Процесс ядерного преобразования может быть представлен схематически, по аналогии с обычной химиче-

ской реакцией между атомами. На рис. 12 приведена одна из ядерных реакций, осуществленных в лаборатории. Ядро гелия (альфа-частица) налетает на ядро азота. Образуется «возбужденное» ядро, которое, выбрасывая протон, превращается в ядро кислорода.

Как часто, однако, «ядерные снаряды» попадают в цель?

Допустим, мы посылаем сквозь вещество, ядра которого мы предполагаем разрушить, залп таких снарядов (протонов или альфа-частиц), сообщая им большое ускорение. Какова вероятность, что та или иная частица действительно попадет в атомное ядро и произведет желаемое действие?

Поперечник атомного ядра примерно в 10 тыс. раз меньше поперечника атома; значит, вероятность попадания в ядро в 100 млн. раз меньше (10 тыс. в квадрате), чем вероятность попадания в атом. Таким образом, наша частица должна пройти, в среднем, сквозь 100 млн. атомов прежде, чем она попадет в ядро. Но, проходя сквозь такое большое число электронных оболочек, частица ослабевает, теряет свою разрушительную силу, вследствие взаимодействия с атомными электронами. Получается, что лишь ничтожная часть посылаемых частиц действительно достигнет цели, т. е. приблизится к ядру и окажется при этом способной к лобовой атаке. Поэтому коэффициент полезного действия бомбардировки атомов быстрыми частицами в обычных условиях, как правило, чрезвычайно мал.

Если бы мы имели дело только со смесью атомных ядер, лишенных внешних электронов, то шансы нашей частицы, конечно, значительно повысились бы (потеря атомами внешних электронов называется ионизацией, и атом, лишенный одного, двух или всех электронов, называется однажды, дважды или полностью ионизованным атомом). Однако между положительно заряженными атомными ядрами, лишенными электронных оболочек, будут действовать настолько значительные силы отталкивания, что понадобится давление в миллиарды атмосфер, чтобы удержать их в определенном объеме.

Таким образом мы приходим к выводу, что для того, чтобы вероятность ядерных реакций, вызываемых за-

ряжёнными частицами, была велика, необходимы несколько необычные условия. Атомы обстреливаемого вещества должны быть ионизованы, т. е. лишены части своих внешних электронов, и вещество должно находиться под большим давлением.

Мы увидим дальше, что как раз эти условия и имеются в недрах звезд.

4. Реакция, которая сама разрастается

Наиболее подходящими снарядами для обстрела атомных ядер являются нейтроны. Они не отталкиваются ни положительно заряженным ядром, ни отрицательно заряженными электронами.

Обстреливая нейтронами ядра различных элементов, установили, что обычно нейтроны поглощаются ядром. При этом чтобы сохранить устойчивость, ядро испускает электрон (что означает превращение нейтрона в протон) и превращается в ядро элемента с атомным номером и массовым числом, на единицу большим первоначального.

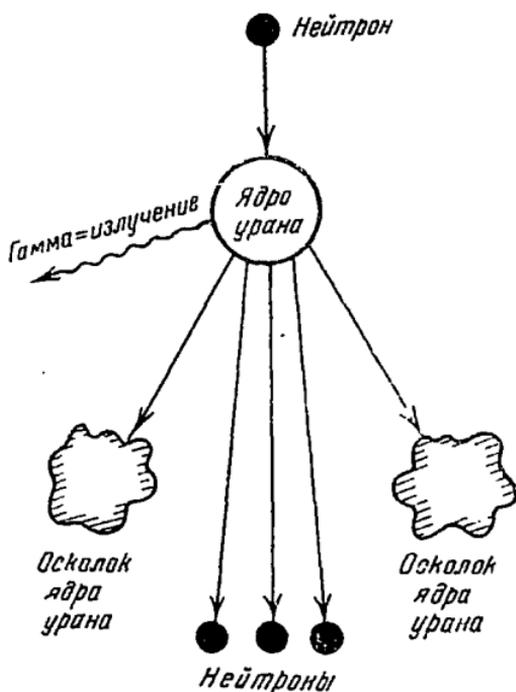


Рис. 13. Расщепление ядра урана при бомбардировке нейтронами

Когда таким же образом обстреливали атомы урана, наиболее тяжелого из известных элементов, то оказалось, что ядро урана, поглощая один медленный нейтрон, разлетается на две неодинаковые части, каждая из которых является ядром нового элемента, например, барием с весом 140 и криптоном с весом 94. При этом

испускается огромное количество энергии и, кроме того, при каждом распаде образуется от одного до трех новых нейтронов (рис. 13). То обстоятельство, что при

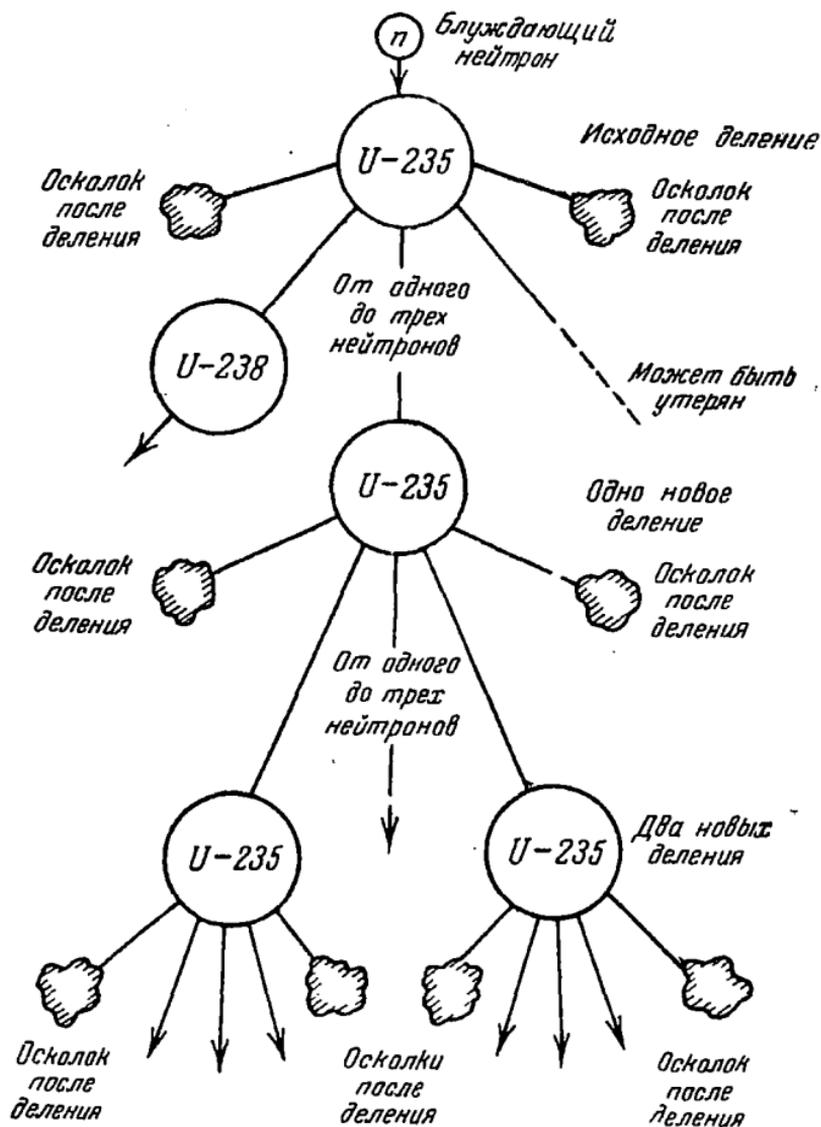


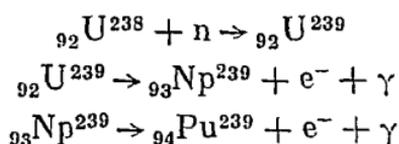
Рис. 14. Цепная реакция в уране

бомбардировке ядра урана одним нейтроном вместе с продуктами распада образуются еще три новых нейтрона, навело на мысль о цепной реакции. Если один

нейтрон порождает три, то три нейтрона создадут девять, а эти девять, в свою очередь, — 27, и реакция будет разрастаться почти мгновенно (рис. 14), выделяя огромную энергию. На этом явлении и основан принцип атомной бомбы.

Чтобы добиться цепной реакции на практике, ученым пришлось преодолеть много трудностей. Основные из этих затруднений следующие: распадается с выделением нейтронов не обычно встречающийся уран — ${}_{92}\text{U}^{238}$, а его редкий изотоп ${}_{92}\text{U}^{235}$. В природе эти изотопы встречаются в соотношении 139 : 1. Поэтому родившиеся при распаде ядра ${}_{92}\text{U}^{235}$ нейтроны могут или разлететься в пространство, не встретив нового ядра ${}_{92}\text{U}^{235}$, или быть захвачены ядром ${}_{92}\text{U}^{238}$ без распада, или, наконец, могут быть поглощены примесями. Встала поэтому задача — разделить урановые изотопы, предотвратить потерю нейтронов и найти материалы, не поглощающие нейтроны. Все эти затруднения были преодолены, и первая цепная ядерная реакция, созданная человеком, была получена в 1942 г.

Когда медленный нейтрон поглощается ядром ${}_{92}\text{U}^{238}$, образуется неустойчивый изотоп ${}_{92}\text{U}^{239}$, который через короткое время превращается в новый элемент — нептуний, с атомным номером 93 и весом 239. Этот новый элемент также неустойчив: половина его распадается в 2—3 дня. Испуская электроны, он превращается в еще один новый элемент — плутоний:



Плутоний медленно превращается обратно в ${}_{92}\text{U}^{235}$, испуская альфа-частицу. Процесс его полураспада длится 24 года.

В последнее время таблица Менделеева пополнилась еще двумя новыми элементами: америцием — ${}_{95}\text{Am}$ и кюрием — ${}_{96}\text{Cm}$. Таким образом теперь число известных нам элементов увеличилось с 92 до 96.

Плутоний имеет большое значение в современной ядерной физике, так как он так же раскалывается

на две части, как и уран ${}_{92}\text{U}^{235}$. С другой стороны, он образуется из гораздо чаще встречающегося урана ${}_{92}\text{U}^{238}$, и его легче отделить от последнего.

В капиталистических странах атомная энергия начала применяться впервые как разрушающее средство. Однако возможности, которые открывает перед человечеством применение атомной энергии для мирных целей, поистине необозримы. В руках прогрессивного человечества атомная энергия позволит преобразовать поверхность Земли. Пустыни, где нет ни воды, ни топлива, смогут быть превращены в цветущие области с многочисленным населением. Использование атомной энергии во много раз сократит затраты человеческого труда. Огромные возможности открываются перед медицинской наукой: радиоактивные продукты распада являются ценными препаратами для излечения злокачественных опухолей и для изучения человеческого организма.

Конечно, для использования этого практически удобного и экономически выгодного нового мощного источника энергии необходимо проделать очень большую работу. Физикам и химикам придется еще немало поработать над изучением этих ничтожно малых «кирпичей мироздания», в которых скрыты такие большие возможности. Но использование атомной энергии из мечты уже превратилось в реальную действительность.

III. ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ СОЛНЦЕ

1. Спектры

Солнце и звезды излучают во все стороны свет. По существу, луч света — это единственное послание, которое доходит до нас от далеких звездных миров. Но это не так уже мало.

Все, что астрономы узнали в течение тысячелетий о Вселенной и о месте, которое Земля занимает в ней, — все это основано на одном — на рассказе луча света.

Луч света, если с ним умело обращаться, может рассказать много интересного о поверхности пославшей его звезды — о ее температуре, о химическом составе, о скорости движения звезды в пространстве и о многом другом.

Скорость, с которой движутся световые волны, как мы уже упоминали, очень велика — 300 000 км/сек. 8.5 минуты бежит к нам световой луч от Солнца, 5 часов от самой далекой планеты Плутон, 4 года и 3 месяца от ближайшей звезды α Центавра и около 500 млн. лет от наиболее удаленных из известных нам галактик. Планеты и Луна не имеют собственного света, они лишь отражают солнечные лучи, падающие на их поверхность, как береговые стены отражают морские волны прибоя.

Расстояние между двумя соседними гребнями или впадинами волн называют д л и н о й в о л н ы. Какова же длина волны светового луча? Прежде чем ответить на этот вопрос, надо знать, о каком луче идет речь.

Свет, испускаемый раскаленными телами, состоит из большого количества лучей разной длины волны. Можно сравнить его со звуком, который мы услышим, если одновременно ударим по всем клавишам рояля. Точно так же, как наш слух различает звуковые волны

различной длины по их высоте, наш глаз способен различать световые волны по их цвету.

Цвет — это физиологическое ощущение; это способность глаза различать световые волны различной длины волны. Наибольшей длиной среди видимых волн обладают волны красного цвета, затем оранжевого, желтого, зеленого, синего и, наконец, наиболее короткие — это световые волны, создающие ощущение фиолетового цвета. Видимый диапазон световых волн или, как говорят, видимый спектр, можно сравнить с октавой.

На рис. 15 схематически изображены наиболее длинные, красные, и наиболее короткие, фиолетовые, световые волны видимого спектра. Так как скорость всякого света в вакууме одна и та же, то волны должны двигаться от А к Б одновременно. Следовательно, фиолетовые лучи, как имеющие более короткую длину волны, имеют большее число гребней на этом расстоянии, чем красные, т. е. испытывают большее число колебаний. Число таких колебаний в секунду называется частотой. Чем больше частота световой волны, тем меньше длина волны. Поэтому, когда говорят о высокочастотном излучении, то под этим понимают коротковолновые лучи.

Длина волны света измеряется в ангстремах. Ангстрем — это одна десятиллионная доля миллиметра. В этих единицах наш глаз воспринимает световые волны от 7600 ангстрем (темнокрасный цвет) до 3800 (фиолетовый).

По обе стороны от этого видимого участка спектра существует большая область световых волн, которые не оказывают воздействия на наше зрение. За красным концом идут тепловые или инфракрасные волны, пе-

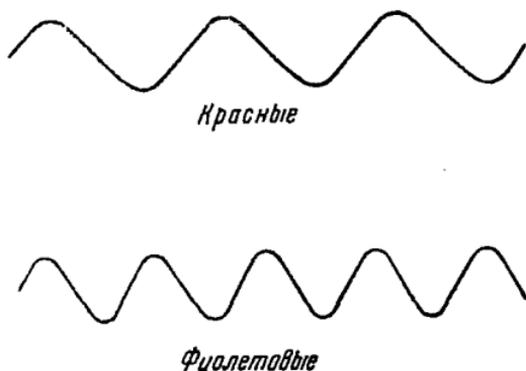


Рис. 15. Сравнительные длины волн красного и фиолетового луча света

реходящие дальше в область радиоволн, простирающихся до длины в сотни и тысячи метров, а за фиолетовым концом идет коротковолновое ультрафиолетовое излучение, затем рентгеновские или X-лучи и гаммалучи, испускаемые радиоактивными атомами (рис. 16).

Раскаленное добела твердое или жидкое тело испускает свет всех длин волн. Белый свет — это по существу комбинация всех оттенков видимого спектра; его можно разложить на световые лучи разных цветов при помощи специального прибора — спектроскопа. Спектроскоп представляет собой трехгранную призму, на которую падает сквозь узкую щель луч света, и увеличительное приспособление, позволяющее раз-

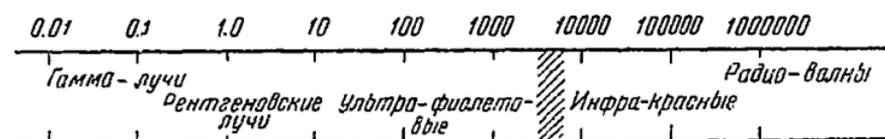


Рис. 16. Спектр излучения. Заштрихованная область соответствует части спектра, видимой человеческим глазом

глядеть получаемую цветную полоску — видимый спектр. Призма преломляет лучи света различной длины волны неодинаково — тем сильнее, чем волна короче. Благодаря этому, проходя сквозь призму, белый луч света разлагается на свои составляющие цвета. Более короткие световые волны (фиолетовый край) сильнее отклоняются от своего первоначального пути, зеленые — меньше, длинные (красные) — еще меньше. Вместо белого пятна мы видим цветную полоску — видимый спектр.

Если вместо глаза за спектроскопом находится обыкновенная фотографическая пластинка, то она воспроизведет большую часть видимого спектра, а, кроме того, еще и ультрафиолетовую часть спектра. Применяя специально чувствительные пластинки, можно получить фотографию и инфракрасного участка спектра.

Фотопластинка, конечно, не может воспроизвести нам цветного спектра, но она даст представление об

относительной яркости различных областей, а также воспроизведет спектральные линии, причину появления которых мы сейчас и выясним.

2. Как читают спектры

Пропуская сквозь призму свет от раскаленного твердого или жидкого тела, мы получаем непрерывную цветную полоску, в которой все цвета, от красного до фиолетового, непрерывно переходят один в другой. Такой спектр называется сплошным или непрерывным спектром.

Раскаленный газ, если он не находится под очень большим давлением или если составляющие его атомы не ионизованы значительно, т. е. не потеряли почти всех своих электронов, не даст нам сплошной цветной полоски. Вместо нее мы получим ряд ярких линий, отличных от линий, даваемых другим газом. Поэтому, разглядывая спектр какого-либо газа, исследователь, как правило, может определить, что это за вещество.

Например, если вместо источника света мы возьмем трубку, наполненную разреженным светящимся газом водородом, то мы увидим четыре яркие цветные линии на темном фоне — красную, зеленую, голубую и фиолетовую, которые распределены согласно вполне определенному закону. Расстояния между линиями последовательно уменьшаются от красного конца спектра к фиолетовому. Фотографическая пластинка, которая воспроизводит и ультрафиолетовую часть спектра, показывает, что эта серия линий продолжается в сторону коротких длин волн, причем линии располагаются все теснее и теснее и кончаются возле 3650 ангстрем.

Гелий, натрий или любой другой элемент в газообразном состоянии дают иные серии линий, отличающиеся одна от другой.

Если между раскаленным твердым телом и спектроскопом поместить какой-либо газ (температура которого ниже температуры твердого тела) и затем посмотреть на спектр, то окажется, что на фоне непрерывного спектра, даваемого твердым телом, появились темные линии — как раз в тех участках спектра, где должны

были бы находиться яркие линии, которые дал бы наш газ в раскаленном состоянии.

Такие спектры, исчерченные темными линиями, дают нам и солнечный луч и лучи света, приходящие от далеких звезд. О чем говорит подобный спектр?

Он указывает на наличие раскаленного тела, твердого, жидкого или состоящего из ионизованного газа или газа при очень большом давлении (сплошной спектр).

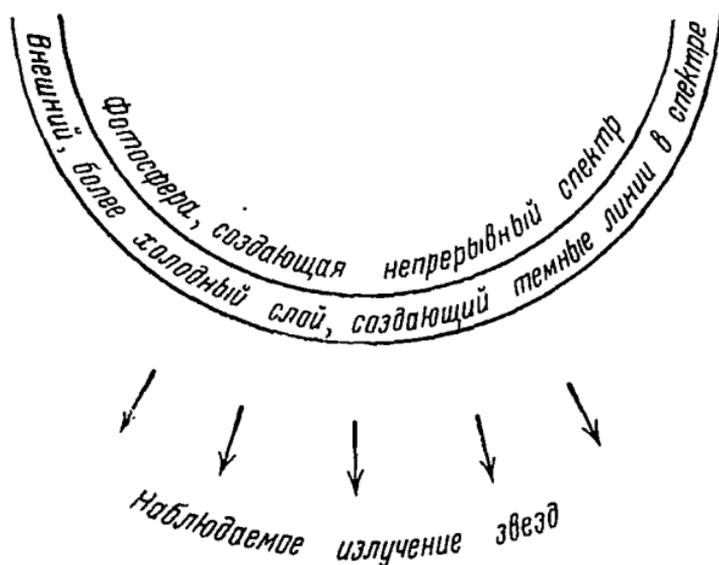


Рис. 17. Как создается спектр поглощения Солнца и звезд

окруженного более холодной газовой атмосферой (темные линии) (рис. 17). Из каких веществ состоит эта атмосфера — можно узнать, изучая темные линии спектра. Таким способом и был определен химический состав атмосферы Солнца и других звезд.

Оказалось, что атмосферы эти состоят из тех же химических элементов, которые мы встречаем на Земле. Водород, железо, углерод, кислород, кальций, натрий и многие другие элементы, входящие в состав Земли, оставили свой след в виде темных линий на спектральной полоске, даваемой солнечным лучом.

В настоящее время на Солнце найдено 64 элемента таблицы Менделеева. То обстоятельство, что остальные

элементы не обнаружены, не означает, что их там нет. Их пока еще не удалось найти.

Спектры некоторых элементов, не найденных на Солнце, еще мало изучены; у других элементов линии находятся в недоступных изучению областях спектра; и, наконец, некоторые элементы присутствуют на Солнце в таких незначительных количествах, что чувствительность современных приборов не позволяет их обнаружить.

Но каждое тщательное изучение солнечного спектра приносит новые открытия. Так, например, в 1942 г. в атмосфере Солнца было обнаружено золото.

Тщательными исследованиями было установлено, что в столбе атмосферы Солнца, расположенном над 1 см^2 поверхности фотосферы, наиболее часто встречаются следующие элементы (по весу):

Водород	1.200	Кремний	0.003
Гелий	1.000	Сера	0.001
Углерод	0.0005	Железо	0.0006
Азот	0.002	Никель	0.0002
Кислород	0.010	Кальций	0.0002
Натрий	0.0001	Цинк	0.00003

Важной особенностью химического состава атмосферы Солнца является преобладание в нем водорода и гелия. За этим исключением, остальные химические элементы на Солнце встречаются почти в том же самом соотношении, как и в земной коре.

То же относится и к другим звездам. Атмосферы звезд не только состоят из тех же самых химических элементов, что и земная кора, но и относительное содержание каждого из них в Земле и в звездах почти одинаково (также за исключением водорода и гелия).

Это открытие имело и имеет не только большое научное, но и мировоззренческое значение, так как оно разрушило старые религиозные взгляды о разделении мира на «земной» и «небесный» и еще раз подтвердило основное положение диалектического материализма о единстве материального мира.

Изучение солнечного спектра позволило физикам обнаружить «новый» элемент на Солнце раньше, чем он был найден на Земле. В 1868 г. в спектре протуберанцев Солнца была обнаружена серия линий, которые

нельзя было отождествить со спектром какого-либо из известных тогда на Земле веществ. Вещество это, после тщетных попыток раскрыть его «личность», было названо солнечным газом — гелием. Об этом веществе можно было лишь сказать, что, очевидно, это очень легкий газ, так как по наблюдениям ученых он поднимался на большую высоту в атмосфере Солнца. В течение 25 лет считалось, что это — особый элемент, встречающийся только в небесных телах. Надо сказать, что верили этому тем охотнее, что мнение, будто бы Солнце и звезды состоят из каких-то особых веществ, всячески поддерживалось и пропагандировалось реакционерами от науки. Философы-идеалисты, утверждая, что человеческое познание ограничено, в качестве одного из доказательств всегда приводили, что человеку «не дано познать, из чего состоят небесные тела». Открытие спектрального анализа и изучение солнечного и звездных спектров опровергло это сомнительное «доказательство». Однако обнаружение солнечного газа, которого на Земле не могли найти, казалось бы, снова усиливало позиции сторонников непознаваемости мира, и они не преминули этим воспользоваться. Но прошло 25 лет, и гелий был обнаружен на Земле. Гелий оказался действительно легким газом, вторым после водорода. Сейчас гелий — равноправный член семьи химических элементов, входящих в таблицу Менделеева. Он используется для различных производственных целей.

3. О чем еще может рассказать луч света?

Вид спектральных линий часто указывает нам на состояние газа, который производит эти линии, на его температуру и давление. Было обнаружено, что ионизованный газ дает другие спектральные линии, чем газ, атомы которого сохранили свою электронную оболочку. Следовательно, изучая спектр звезды, можно установить, ионизованы ли газы, из которых состоит ее атмосфера, или нет.

Какие выводы можно из этого сделать?

Представим себе смесь различных веществ, скажем, смесь водорода, гелия, натрия, кальция, железа, углерода и т. д., при незначительной температуре. Атомы

этих веществ находятся в нормальном состоянии, они не ионизованы. Если мы начнем теперь повышать температуру, то этим мы увеличим скорость движения отдельных частиц атомов данного вещества. Чем больше скорость частиц, тем больше вероятность столкновений частиц друг с другом. Сталкиваясь, атомы взаимно сообщают своим электронам энергию, которая затем либо теряется в форме излучения, либо вырывает наиболее внешние электроны со своих орбит. Атомы начинают ионизоваться, терять внешние электроны.

Не все атомы теряют свои электроны одинаково легко. Атомы металлов — натрия, кальция, железа и др. — ионизируются легче, чем атомы легких газов — водорода, гелия, кислорода. Значит, по мере повышения температуры, в нашей смеси последовательно будут появляться ионизованные атомы металлов, гелия, водорода.

Таким образом, если в спектре одной звезды мы наблюдаем только линии ионизованных металлов и не наблюдаем линии ионизованных легких газов, а в спектре другой звезды наблюдаем и те и другие линии, то отсюда мы можем сделать вывод, что температура поверхности второй звезды выше, чем у первой.

Правда, мы не учли еще одного обстоятельства. Если плотность вещества велика, то ионизованный атом сможет скорее захватить электрон и снова превратиться в нормальный нейтральный атом, — число ионизованных атомов уменьшится. Наоборот, если плотность мала, то при высокой температуре число ионизованных атомов будет больше. Поэтому вид спектров зависит от тех физических условий — температуры и давления, — в которых находится вещество, дающее этот спектр.

И не только от температуры и плотности. Электрические и магнитные поля меняют форму и вид спектральных линий, раздваивают, а иногда и расщепляют их на ряд составляющих.

Одно и то же вещество дает различный тип спектра в зависимости от условий, в которых оно находится, что, конечно, весьма осложняет задачу определения химического состава звездных атмосфер. Но, с другой стороны, это свойство вещества дает исследователю

возможность узнать многое о природе небесных тел. По спектрам можно определить и температуры, и давления, и наличие электрических и магнитных полей и т. д.

Планеты, окруженные атмосферами, отражая солнечный свет, дают уже спектр несколько отличный от солнечного спектра. В нем появляются дополнительные линии, зависящие от состава и физических условий этих атмосфер. Это позволяет изучать химический состав атмосфер планет.

Наблюдение и изучение звезд и работа в лаборатории идут рука об руку, взаимно помогая и дополняя друг друга.

Астрономия дает исследователю возможность изучать вещество в совсем необычных для Земли условиях, при температурах и давлениях, которые значительно превосходят получаемые в наших лабораториях. В таких условиях наружу выступают особые, новые свойства вещества, неизвестные нам в нашей обыденной жизни. Часто эти свойства кажутся настолько поразительными и противоестественными, что физики к результатам исследования астрофизиков относятся недоверчиво до тех пор, пока поставленный в лаборатории опыт не подтвердит их. Бывает и наоборот: физическая теория получает полное признание лишь после того, как ее подтвердят астрономические наблюдения.

История науки знает много подобных примеров. Так, долгое время физики искали на Земле таинственные элементы небулий и короний, обнаруженные астрофизиками: первый — в газовых туманностях, а второй — в солнечной короне. В спектре разреженных масс газа, образующих туманности, наряду с линиями известных химических элементов, имеются характерные зеленые линии. Такие линии не были получены в лаборатории и не принадлежали ни одному из известных элементов. Поэтому вещество, испускающее их, и было названо небулием от латинского слова «небула» — туманность. Все попытки обнаружить небулий на Земле оказались тщетными. Наконец, в 1927 г. было установлено, что небулий — это кислород, каждый атом которого потерял два электрона,

т. е. дважды ионизованный кислород. Часть же линий небулия принадлежит однажды ионизированному азоту и кислороду. Но дважды ионизованный кислород встречается и в земных лабораториях. Почему же не удавалось получить в спектрах кислорода на Земле зеленые линии небулия? Оказывается, что условия на Земле для этого неподходящие. Чтобы в спектре появились линии небулия, кислород должен находиться в очень разреженном состоянии, при котором столкновения отдельных атомов происходят чрезвычайно редко. Плотность такого газа должна быть примерно в триллион раз меньше плотности окружающего нас воздуха. Физики называют такие спектральные линии «запрещенными» (в смысле очень мало вероятные). И вот оказалось, что в мировом пространстве, за пределами нашей Земли, в газовых туманностях имеются условия для того, чтобы в спектре кислорода могли беспрепятственно появляться зеленые линии небулия.

Аналогичным образом была разрешена и загадка корония. Коронием было названо вещество, дававшее о себе знать в виде ряда цветных линий спектра солнечной короны. Такие линии не обнаруживались ни в одном спектре на Земле. Семьдесят два года ученые пытались найти это вещество, и только в 1941 г. удалось его объяснить. Линии корония оказались запрещенными линиями железа, ионизованного десятикратно и четырнадцатикратно, т. е. железа, атомы которого потеряли по 10 и 14 электронов, а также линиями многократно ионизованных никеля, кальция и других элементов.

С разгадкой «секрета» корония не осталось в спектрах небесных тел ни одной незнакомой линии. Никаких «небесных» или звездных элементов не оказалось. Изучение линий небулия и корония помогло ученым узнать много нового о поведении атомов в различных условиях, а также о природе небесных тел.

Но этим еще не исчерпываются возможности спектроскопа. Луч света может рассказать, приближается или удаляется от нас изучаемая звезда, а также, с какой скоростью это приближение или удаление происходит. Если звезда движется к нам, то линии спектра сдвинуты несколько к фиолетовому краю, если удаляется — сдвиг наблюдается в красную сторону.

Представьте себе канавку, в которой вода движется со скоростью 1 м/сек. Если вы каждую секунду спускаете на воду бумажный кораблик, то кораблики будут двигаться друг за другом на расстоянии в 1 м. Теперь, не переставая спускать кораблики, вы стали двигаться вдоль берега против течения со скоростью, скажем, $\frac{1}{2}$ м/сек. Расстояние между корабликами теперь увеличится и составит 1.5 м вместо 1 м. Если вы с той же скоростью стали бы передвигаться вдоль берега по течению, то расстояние между вашими корабликами уменьшилось бы до 0.5 м. Человек, находящийся на некотором расстоянии от вас и знающий, что вы спускаете на воду кораблики каждую секунду, сможет по расстоянию между ними легко определить, стоите ли вы у берега или двигаетесь — по течению или против течения — и с какой скоростью.

Известному промежутку времени между спусками корабликов в нашем примере соответствует известная длина волны той или иной линии в спектре. Если звезда приближается к нам, то за единицу времени к нам доходит большее количество волн и длина волны кажется короче, т. е. спектральная линия сдвигается к фиолетовому краю. Аналогичным образом происходит сдвиг линии к красному краю, если звезда удаляется от нас.

Величина сдвига, как впервые доказал опытным путем крупнейший русский астрофизик академик Белопольский, связана со скоростью источника света соотношением:

$$\frac{\text{Изменение длины волны}}{\text{Нормальная длина волны}} = \frac{\text{Скорость источника}}{\text{Скорость света}}$$

Скорость света составляет 300 000 км/сек. Если, например, источник света удаляется со скоростью 30 км/сек, то линии вблизи 5000 ангстрем (зеленый цвет) сместятся на пол-ангстрема, — т. е. на величину, которую вполне можно измерить.

Для определения величины сдвига, наряду с спектром звезды, воспроизводится спектр сравнения, например железа, и измеряется расстояние между соответствующими линиями.

Скорости удаления и приближения к нам многих тысяч звезд были измерены таким образом, и полученные результаты сыграли большую роль при изучении нашей звездной системы — Галактики.

Подобным же способом можно измерить скорость вращения Солнца или планет, сравнивая спектры,

полученные от противоположных краев солнечного (или соответственно планетного) диска, один из которых при вращении Солнца приближается к нам, а другой удаляется. При этом мы сразу сможем также выяснить, какие из линий в спектре Солнца принадлежат действительно солнечной атмосфере, а какие привносит наша земная атмосфера, когда солнечный луч проходит сквозь нее. В самом деле, сдвиг линий будет наблюдаться только у первых, участвующих во вращении Солнца, а линии земные останутся на своих местах.

Этот же способ позволяет изучать движения газов в солнечной атмосфере, о которых уже была речь в первой главе.

И, наконец, еще одной замечательной разновидностью спектроскопа является спектрогелиоскоп (рис. 18). В принципе это тот же спектроскоп, у которого имеется вторая щель, пропускающая только лучи, соответствующие одной из линий спектра, и загораживающая весь остальной спектр (надо заметить, что темные линии спектра не бывают абсолютно черными: некоторая доля света в них тоже есть). На фотографи-

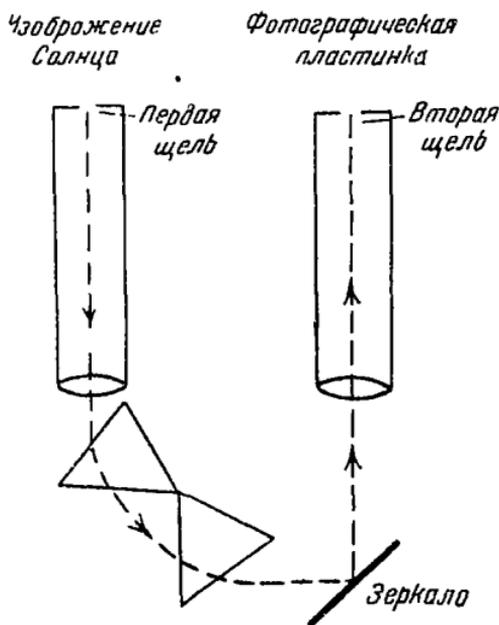


Рис. 18. Схема спектрогелиоскопа

ческую пластинку, находящуюся за этой щелью, падает тогда только свет, испускаемый раскаленными парами, одного какого-либо вещества солнечной атмосферы, например водорода. При работе с прибором изображение Солнца и фотографическая пластинка неподвижны, сам же прибор движется. Свет от последовательных частей изображения Солнца падает на первую щель. Но сквозь вторую щель проходит только узкая полоска света определенного цвета (поворотом зеркала можно вырезать любую часть спектра). Таким путем на фотографии запечатлевается изображение Солнца в тех лучах, которые пропускает вторая щель. Мы получаем полную картину распределения соответствующего газа в атмосфере Солнца.

Выделяя щелью разные линии в спектре, можно изучать распределение над поверхностью Солнца разных газов — водорода, гелия, кальция и других.

Таким образом, луч света, приходящий к нам от звезд, действительно, рассказывает нам много интересного о природе этих далеких миров. При этом неважно, на каком расстоянии от нас находится эта звезда, лишь бы мы получили достаточно света, чтобы можно было ее сфотографировать.

IV. СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

1. Можно ли узнать об устройстве внутренних частей по внешним признакам

Прежде чем ответить на вопрос, что происходит в недрах Солнца, необходимо, в первую очередь, знать, как устроены эти недра, каковы там условия: температура, давление, плотность. И здесь, казалось бы, мы сталкиваемся с непреодолимыми препятствиями. В самом деле, как можно определить температуру и давление внутри Солнца, если нет никакой возможности проникнуть в его глубины. Даже луч света, посланец далеких миров, раскрывший нам столько нового и позволивший разгадать природу звезд, бессилен, когда дело касается внутренних слоев Солнца, не говоря уже о других звездах. Разглядывая поверхность Солнца в телескоп, мы сквозь разреженные и прозрачные солнечные оболочки (корону и хромосферу) проникаем еще на несколько сотен километров в глубь внешней солнечной атмосферы, до тех пор, пока атмосфера эта не становится достаточно непрозрачной. «Сферой света», или фотосферой, называют эту еще видимую нами поверхность Солнца. Из более глубоких слоев свет до нас уже не доходит. Поверхности, ограничивающей видимые размеры Солнца, как мы видели выше, в действительности нет. Когда мы изучаем спектр фотосферы, мы, по существу, изучаем ряд налагающихся друг на друга спектров, соответствующих разным внешним слоям Солнца. Этот сложный спектр указывает на температуру в 6000° . Температуру эту и принимают за температуру солнечной фотосферы, а для краткости часто говорят, что температура поверхности Солнца составляет 6000° .

Наблюдениям доступны только внешние слои Солнца. Что же находится под фотосферой? Как меняются температура и плотность от поверхности вглубь? Что делается в самом центре Солнца?

Мы не можем сделать разрез Солнца и увидеть собственными глазами, что происходит в центре его, но мы можем попытаться представить себе строение Солнца, исходя из изучения его поверхностных слоев и пользуясь хорошо известными законами физики и механики. Такая попытка далеко не так безнадежна, как может показаться на первый взгляд. В самом деле, законы природы, такие как закон тяготения или закон сохранения энергии, едины как на Земле, так и во всей бесконечной Вселенной. Условия в недрах Солнца и звезд, конечно, сильно отличаются от условий в земных лабораториях, но элементарные частицы — электроны, протоны и нейтроны — одни и те же, где бы мы их не встретили — в недрах Солнца или на Земле. И к ним мы можем применять знания, полученные в лабораториях.

К примеру, известно, что тепло всегда движется от более нагретых частей к менее нагретым. Так как поверхность Солнца непрерывно излучает огромное количество тепла и света, то естественно сделать заключение, что тепло это продвигается из центральных частей наружу. Значит, центральные части более нагреты, а следовательно, температура солнечного вещества растет вглубь.

Далее, наблюдения показывают, что Солнце и большинство звезд с течением времени практически не меняются — не расширяются и не сжимаются, т. е. находятся в равновесии. Но из механики известно, что тело находится в равновесии, когда все действующие на него силы уравновешиваются. Следовательно, силы, действующие на Солнце, должны уравновешиваться, и задача о строении Солнца уже приближается к задаче механики о равновесии газового шара.

Конечно, дело здесь обстоит не так просто: равновесие это особого рода и встречаются еще другие осложняющие решение обстоятельства, о чем у нас будет речь впереди, но основной путь намечен верно. Путь этот таков: используя проверенные земными опытами за-

коны физики и механики и опираясь на те данные, которые дают наблюдения внешних слоев Солнца и звезд, проникнуть при помощи теории вглубь Солнца и составить себе представление о его строении.

Изучение внешних слоев играет очень большую роль при выяснении строения звезд, так как позволяет проверить, совпадают ли выводы, сделанные на основании теории, с тем, что мы действительно наблюдаем в природе. Примерно, это означает вот что. Допустим, мы исследуем строение газового шара в равновесии, с заданной массой, радиусом и химическим составом, вычисляем значение температуры и давления в центре такого шара и, наконец, подсчитываем (все пока теоретически), каковы признаки такого шара, например, сколько света и тепла должна излучать его поверхность. После этого мы обращаемся к звездному миру, находим звезду с такой же массой и радиусом и сравниваем ее светимость (т. е. полное количество энергии, излучаемое всей поверхностью звезды) с тем, что получилось из вычислений. Скорее всего получится расхождение между наблюдаемой и вычисленной величиной. Это будет означать, что те или иные предпосылки, из которых мы исходили, когда приступали к решению задачи, были сделаны неверно. Мы их исправим и будем продолжать в том же направлении до тех пор, пока выводы теории не совпадут с действительностью.

Только такая теория, которая всегда проверяет свои выводы на практике, на наблюдаемых данных, заслуживает названия научной теории. Философия марксизма-ленинизма учит нас, что практика является краеугольным камнем истины и что теория без практики беспредметна. Только в случае неуклонного выполнения этого основного требования единства теории и практики наша попытка представить себе строение Солнца будет не беспочвенной фантазией, а научным объяснением, к результатам которого можно относиться с доверием.

Такова принципиальная схема подхода к решению вопроса о строении Солнца и других звезд, к более детальному изложению которого мы теперь и перейдем. Мы постараемся, имея в своем распоряжении данные о наружных частях Солнца и законы физики

и механики, выяснить, каковы плотности, давления и температуры на разных глубинах внутри Солнца, уподобляясь врачу, который узнает о недомогании больного, не вскрывая внутренние органы, а изучая лишь внешние признаки заболевания. В этом последнем случае исследование, как правило, приводит к правильным выводам, хотя, конечно, и здесь ошибки не исключены.

2. Какие силы действуют на Солнце

Наше Солнце существует в устойчивом состоянии, т. е. не сжимаясь и не расширяясь заметно, по меньшей мере сотни миллионов лет. Как устойчивое тело звезда может существовать лишь в том случае, если все действующие на нее силы уравниваются. Какие же силы действуют на наше Солнце?

Хорошо известным свойством любого газа является стремление расшириться и занять любой предоставленный ему объем. Стремление газа расшириться, газовое давление, характеризуется температурой, т. е. скоростью движения отдельных частиц, молекул, из которых состоит этот газ. Чем больше температура, тем больше газовое давление. Так как солнечное вещество — это газ, то и оно обладает этой способностью расширяться; в каждой точке внутри Солнца действует сила давления, которая стремится расширить Солнце, увеличить его размеры. Но в каждой же точке ей противодействует другая сила — сила тяжести, т. е. вес всех вышележащих слоев Солнца. Эта сила стремится сжать Солнце, уменьшить его размеры. Поскольку не происходит ни того, ни другого, т. е. Солнце не расширяется и не сжимается, значит, обе эти силы в любой точке внутри Солнца равны. Следовательно, в каждой точке температура или скорость движения частиц газа должна быть такова, чтобы газовое давление уравновесило давление вышележащих слоев. А так как по мере приближения к центру вес вышележащих слоев становится все больше, то и температура соответственно должна увеличиваться к центру, чтобы уравновесить все увеличивающийся вес. Это находится в хорошем согласии с упомянутым выше законом физи-

ки, согласно которому тепло движется от более нагретого тела к менее нагретому.

Следовательно, температура внутри Солнца возрастает от поверхности вглубь. Температура поверхности, вернее фотосферы, Солнца составляет 6000° , а о температуре в его центре мы расскажем дальше.

Строго говоря, описанная нами картина равновесного состояния Солнца не полна. Необходимо учесть еще один фактор, который также противодействует силе тяжести. В одинаковом направлении с газовым давлением действует еще давление излучения или световое давление. Так как поверхность Солнца непрерывно излучает свет и тепло, то из центральных частей к поверхности, сквозь всю толщу звезды, непрерывно движется поток лучистой энергии, рассеивающейся в мировом пространстве. Эта энергия пополняется в центральных частях источниками энергии (о которых мы будем говорить дальше) и рассеивается. Если бы Солнце было прозрачно, то энергия, даваемая источниками в центре, беспрепятственно проходила бы сквозь всю его толщу за кратчайший срок. Но солнечное вещество, как мы уже знаем, непрозрачно. Поэтому оно задерживает, тормозит прохождение излучения. Световые волны, движущиеся наружу, поглощаются атомами и снова испускаются ими уже в других направлениях, где их опять поглощают атомы, и так далее. Путь такого светового луча внутри Солнца очень сложен и напоминает запутанную зигзагообразную кривую (рис. 19). Несмотря на то, что скорость света очень велика, такой луч может двигаться внутри Солнца сотни и тысячи лет, прежде чем окажется у поверхности, после чего, если ему удастся выскочить, он уже свободно может путешествовать в мировом пространстве до тех пор, пока не попадет, скажем, в астрономическую трубу и не будет разложен в спектр, чтобы сообщить новые данные о пославшей его поверхности Солнца. Такой луч, путешествуя внутри Солнца, претерпевает ряд изменений, его длина волны увеличивается, луч как бы меняет свое лицо — «старееет». Поэтому та энергия, которая испускается поверхностью Солнца, качественно (но не количественно) отлична от энергии в его недрах. С поверхности Солнца излу-

чаются в основном световые и тепловые лучи, тогда как в солнечных недрах мы имеем дело с коротковолновым излучением, так называемыми X-лучами, очень схожими с рентгеновскими лучами, применяемыми для лечебных целей. Длина волны X-лучей в недрах Солнца лишь немного больше длины волны рентгеновских лучей.

Двигаясь таким извилистым путем от центра наружу, световые лучи оказывают давление на внешние слои Солнца, т. е. как бы помогают газовому давлению поддерживать вес вышележащих слоев.

Правда, в Солнце и ему подобных звездах давление излучения составляет лишь очень малую долю газового давления, и его можно почти не учитывать в общем балансе сил. Зато для разреженных звезд большой светимости, какими являются красные гиганты, роль давления излучения уже значительна, и при изучении строения таких звезд эту третью силу также необходимо принимать во внимание.

Таким образом, на Солнце действуют, в основном, две силы: во-первых, сила тяжести, стремящаяся сжать его, и, во-вторых, сила, действующая в обратном направлении, — т. е. стремление солнечного газа расширяться. Равенство этих двух противоположно направленных сил и приводит к устойчивому существованию нашего Солнца и большинства звезд.

Для гигантских звезд необходимо учитывать также и силу светового давления.

3. Температура и плотность в недрах Солнца

Итак, проблема внутреннего строения Солнца свелась теперь к математической задаче нахождения строения газового шара в равновесии, причем известно, какие силы действуют на этот шар. Но так как Солнце не только находится в равновесии, но еще и излучает, то равновесие это будет особого рода. Температура вдоль радиуса звезды должна распределиться таким образом, чтобы в каждый момент времени в любом слое Солнца количество тепла, получаемое от нижележащего слоя, и количество тепла, отдаваемое им вышележащему, были бы одинаковы. Тепловая энергия не должна скад-

ливаться в отдельных областях звезды, так как это повысило бы температуру такого слоя и привело бы к нарушению равновесия. Сколько энергии освобождается в центральных частях звезды, столько же излучается поверхностью; количество остается неизменным, хотя качественно характер излучения (длина

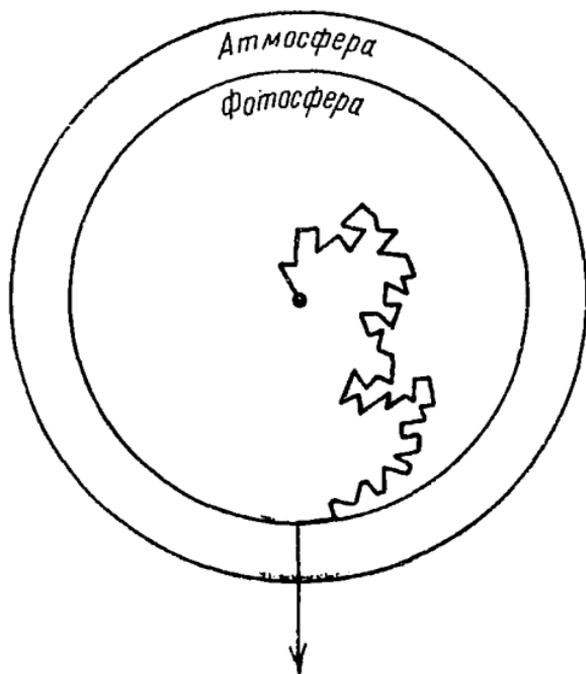


Рис. 19. Путь светового луча из недр Солнца к Земле

волны) меняется. Отсюда следует, что если мы знаем светимость звезды, то мы уже знаем, с какой скоростью в ее недрах освобождается энергия: если звезда устойчива, то скорость излучения энергии с поверхности должна равняться скорости, с которой эта энергия выделяется в глубине. Температура в недрах Солнца, таким образом, не просто должна повышаться от поверхности вглубь, но она должна повышаться непрерывно и устойчиво и характеризоваться плавной кривой без скачков и зигзагов (рис. 20).

Какова же температура в недрах Солнца? Если нам известны масса и радиус Солнца из наблюдений и данные

из физики, достаточно ли этого, чтобы определить температуру?

Оказывается, мало знать только полную массу звезды, необходимо еще и указать, как эта масса распределена вдоль радиуса, т. е. как меняется плотность от точки к точке. В самом деле, при одной и той же массе мы можем иметь и совсем однородный шар, плотность которого одинакова во всех точках, и, наоборот, шар, у которого очень плотная центральная часть и

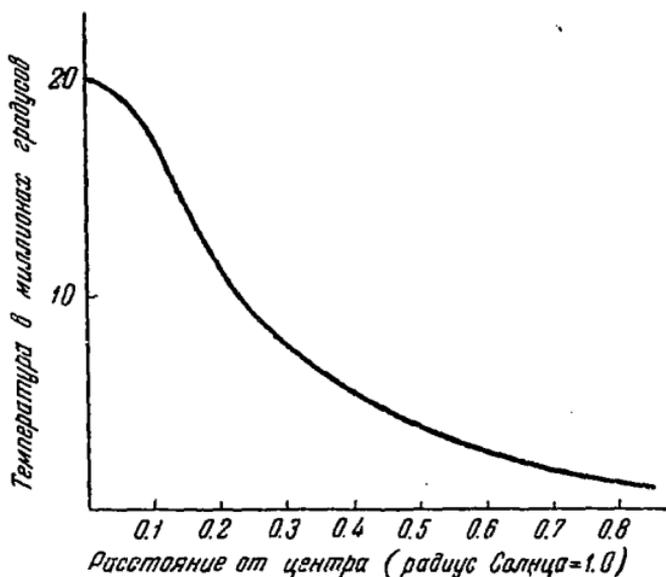


Рис. 20. Возрастание температуры к центру Солнца

совсем разреженные внешние слои. Как обстоит в этом отношении дело у звезд? Истинное изменение плотности в звезде можно изучить на основании исследования некоторых типов двойных звезд, так называемых *з а т м е н н ы х* звезд. Кроме того, вопрос этот можно приближенно решить и теоретически, изучая равновесные газовые шары с различными соотношениями между давлением и плотностью. Таким способом было найдено, что плотность возрастает с глубиной и что центральная плотность может превосходить среднюю плотность примерно в 10—60 раз. Зная хотя бы приблизительно распределение массы внутри звезды, мы

Можем вычислить вес вышележащих слоев для каждой точки по закону тяготения, а следовательно, и давление в этой точке, так как оно уравнивает этот вес. А раз мы знаем давление и плотность в каждой точке, нетрудно найти и температуру. Температура, давление и плотность газа связаны соотношением, которое называется уравнением состояния газа. Зная две из трех величин, входящих в это уравнение, мы всегда можем определить и третью, и найти таким образом значения температуры в каждой точке Солнца, что чрезвычайно важно. В самом деле, если мы знаем температуру в недрах Солнца, пусть даже приближенно, это уже дает нам возможность представить себе ту обстановку, которая господствует в его центральных частях. Для подавляющего большинства звезд, за исключением белых карликов, уравнение состояния, связывающее температуру, плотность и давление, — это хорошо известное уравнение состояния идеального газа — уравнение Клайперона, которому подчиняются все газы в наших земных условиях. Для чрезвычайно плотных звезд — белых карликов, вещество которых находится в несколько необычном состоянии, — уравнение, связывающее давление, плотность и температуру, будет уже иным. Но теоретическая физика позволяет нам написать уравнение состояния и для этих звезд (о белых карликах у нас речь еще впереди).

Температуры в центрах звезд, определенные таким способом, колеблются для звезд разной светимости от 10 до 30 млн. градусов. Зная это чрезвычайно важное обстоятельство, мы уже легко можем представить себе, с чем нам придется считаться при изучении звездных недр.

Прежде всего надо отметить, что десятки миллионов градусов — это, конечно, чрезвычайно высокая температура с точки зрения наших земных понятий. Маленький кусочек вещества, взятый из звездных недр, сжег бы все вокруг себя на расстоянии в сотни метров. Но, с другой стороны, не следует думать, что понятие температуры для десятка миллионов градусов уже теряет смысл. В действительности это далеко не так. Температура характеризует скорость беспорядочного движения частиц вещества, и чем выше температура,

Тем быстрее, очевидно, движутся частицы. При обычной комнатной температуре частички воздуха движутся со средней скоростью порядка 450 м/сек; при температурах порядка 20 000 000° скорость частиц будет около 100 км/сек. Это не такая уж большая скорость. Наша Земля движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/сек, а скорость обращения Солнца вокруг центра Галактики составляет даже 250 км/сек. Тем более скорость в 100 км/сек мала по сравнению со скоростями, с которыми имеют дело физики в лабораториях; достаточно вспомнить, что при радиоактивном распаде альфа-частицы вылетают из ядра со скоростью 100 000 км/сек, а бета-частицы еще в два раза быстрее, так что скорость движения частиц в недрах звезд с точки зрения земного физика — очень заурядное явление.

Тем не менее в недрах звезд происходит много интересных событий, к рассмотрению которых мы сейчас и перейдем.

4. Как ведут себя атомы при высокой температуре

Представим себе на мгновение внутренние слои нашего Солнца. Температура здесь порядка 20 000 000°. Давление вышележащих слоев велико. В одном кубическом сантиметре должны уместиться миллионы миллионов атомов. Частички солнечного вещества движутся беспорядочно во все стороны с большими скоростями. Неминуемы частые столкновения.

Если уже на поверхности Солнца мы встречаем ионизованные атомы, т. е. атомы, потерявшие несколько своих внешних электронов, то в более глубоких частях атомное ядро совсем не в силах удержать вокруг себя свою электронную свиту. Налетая друг на друга, атомы взаимно разрушают свои электронные оболочки. Этому также весьма содействуют световые кванты. Мы уже проследили путь светового луча из недр звезды наружу (см. рис. 19). Сколько электронов «освободит» такой луч на своем пути! Трудно говорить об атомах в обычном понимании, когда мы погружаемся в недра Солнца. Здесь мы имеем дело уже с атомными остатками — с атомными ядрами, либо совсем лишенными

электронных оболочек, либо удержавшими лишь несколько наиболее близких электронов. Электроны, которые еще недавно двигались вокруг своего атомного ядра, теперь носятся между этими атомными остатками. Скорость электронов в сотни раз больше скорости атомных ядер, так как масса электрона составляет всего лишь $1/1840$ массы протона. Правда, атомные ядра пытаются захватить «беглецов» и порой это им и удается, но не надолго. В следующее же мгновение налетевший квант света или новое столкновение с другим ядром снова освобождает захваченный электрон. И так без конца.

Надо сказать, что описанная картина — не плод нашего воображения. Ее довольно просто воссоздать в лаборатории, если взять световые лучи той же длины волны (X-лучи) и электроны, обладающие той же скоростью, как и в недрах Солнца. Чтобы представить себе, как ведут себя мельчайшие частички в недрах Солнца, нам, по существу, не надо выходить за пределы лаборатории.

5. О химическом составе звездных недр

Почти полная ионизация атомов в недрах Солнца и звезд значительно облегчает задачу исследователя строения звезд, и вот почему.

Мы ничего не знаем о химическом составе внутренних частей Солнца. Спектральный анализ позволяет определить, из чего состоят только в н е ш н и е части Солнца и звезд. Поэтому прежде чем говорить о строении внутренних частей Солнца, нам следовало бы знать, из каких элементов они состоят: из тяжелых, например, золота или железа, или из более легких, как гелий, кислород, азот. Вопрос о химическом составе — очень важный вопрос: от него зависит температура в центре звезды и степень прозрачности звездного вещества. Но тут спектроскоп уже бессилён, и солнечный луч ответа на этот вопрос дать не может.

Оказывается, однако, что дело обстоит проще, чем это могло бы показаться на первый взгляд. В обычных условиях, действительно, очень важно знать, из каких химических элементов состоит та или иная газовая

смесь. Средний молекулярный вес смеси, определяемый как полная масса, разделенная на полное число частиц, будет сильно меняться в зависимости от того, какие элементы входят в эту смесь. Так, средний молекулярный вес газа, состоящего из водородных атомов, равняется единице, из атомов натрия—23, из атомов железа—56, а из атомов урана—238.

Но если атомы полностью ионизованы, то полное число частиц увеличивается, в то время как масса остается неизменной. В самом деле, теперь для водорода мы уже получим не единицу, а только $\frac{1}{2}$, так как ионизованный атом водорода с массой в единицу образует две частицы: один протон и один электрон. Атом натрия с массой 23 распадается на атомное ядро и 11 электронов, т. е. 12 частиц, и средний молекулярный вес уже будет $\frac{23}{12} = 1.92$ (вместо 23). У атома железа одно атомное ядро и 26 электронов образуют 27 частиц, что дает для среднего молекулярного веса не 56, а $\frac{56}{27} = 2.07$. И наконец, для урана получим 93 частицы на атом (одно атомное ядро и 92 электрона) и средний молекулярный вес $\frac{238}{93} = 2.56$ (вместо 238 для нейтрального урана).

Таким образом, в недрах Солнца и звезд все химические элементы дают средний молекулярный вес, равный примерно двум. Исключение составляет водород, для которого мы получили не два, а $\frac{1}{2}$, и гелий, для которого средний молекулярный вес равен $\frac{4}{3}$. Чтобы представить себе, каким образом это обстоятельство влияет на задачу строения звезд, возьмем следующий пример.

Представим себе, что Солнце состоит целиком из азота, и рассчитаем температуру в его недрах по способу, изложенному в предыдущем параграфе. Затем сделаем то же для Солнца, состоящего из одного железа.

Масса каждого атома железа в четыре раза больше массы атома азота. Поэтому чтобы масса Солнца осталась неизменной, в «железном» Солнце должно быть атомов в четыре раза меньше, чем в «азотном». При

определенной температуре давление газа, которое поддерживает вес вышележащих слоев, пропорционально числу частиц, содержащихся в единице объема, — чем больше свободных частиц, тем больше давление газа. Но в «железном» Солнце число атомов в четыре раза меньше, чем в «азотном»; следовательно, и давление газа будет меньше в четыре раза, и оно уже не сможет удержать вес вышележащих слоев. «Железное» Солнце начнет сжиматься. Чтобы сохранить равновесие, надо увеличить скорость движения атомов железа так, чтобы повысить температуру в недрах «железного» Солнца в четыре раза по сравнению с «азотным». Таким образом, если мы имеем дело с нейтральными атомами, то изменение химического состава звезды сильно влияет на ее строение, в частности на распределение температуры в ней.

Но рассмотрим теперь тот же пример, предполагая, что атомы полностью ионизованы. Тогда вместо одного атома железа образуется 27 частиц (одно атомное ядро и 26 электронов), а вместо одного атома азота — 8 частиц (одно ядро и семь электронов) и, следовательно, вместо четырех атомов азота — 32 частицы. Переход от «азотного» Солнца к «железному» теперь будет соответствовать переходу от 32 частиц к 27 частицам и потребует для сохранения равновесия увеличения температуры лишь на 16%, а не в четыре раза, как было в случае нейтральных атомов. Это уже сильно упрощает задачу. Можно подсчитать, что если бы Солнце состояло из чистого водорода, то температура в его центре составляла бы около $10\,000\,000^\circ$ (подробное изучение строения Солнца в предположении, что оно целиком состоит из водорода, проведено проф. Н. А. Козыревым в 1947 г.). Чисто гелиевое Солнце имело бы в центре температуру $26\,000\,000^\circ$; а температура в центре Солнца, состоящего только из тяжелых элементов, была бы около $40\,000\,000^\circ$.

В основном, на температуру звездных недр влияет наличие водорода и гелия. Чем больше водорода, тем температура ниже. Иными словами, чтобы узнать, как построено Солнце, нужно знать, сколько в нем водорода и гелия — всего только двух элементов из общего числа 96 таблицы Менделеева.

Для определения химического состава внутренних частей Солнца или других звезд поступают следующим образом. Задаются определенной смесью из водорода, гелия и тяжелых элементов. Пользуясь физическими законами и зная массу звезды из наблюдений, вычисляют ее светимость. Если вычисленная светимость не совпадает со светимостью, даваемой наблюдениями, то берут другой химический состав и решают задачу снова. И так до тех пор, пока вычисленная светимость не совпадет с наблюдаемой. Каждое такое решение представляет собой чрезвычайно трудоемкую задачу. Решая эту задачу для Солнца, определили, что центральные части Солнца состоят примерно на 50% из водорода и на 40% из гелия. На долю тяжелых элементов остается около 10%.

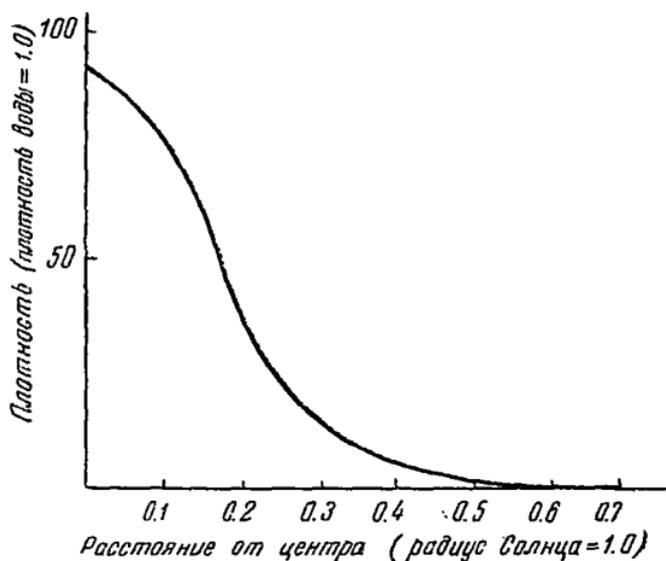
Вычисленный, исходя из теоретических предпосылок, химический состав Солнца хорошо согласуется с данными спектрального анализа о составе солнечной атмосферы. Такое совпадение данных наблюдения и теории говорит о том, что мы правильно представляем себе строение нашего Солнца.

6. Почему солнечное вещество может быть плотнее самого плотного твердого тела и все же оставаться газом

Итак, из теории строения звезд следует, что наше Солнце — газовый шар, состоящий из 50% водорода, 40% гелия и 10% смеси тяжелых элементов, и что температура, плотность и давление непрерывно возрастают к центру этого шара. В центре Солнца температура достигает 20 000 000°, а давление — миллиардов атмосфер. Но при таком давлении любой газ сожмется так, что плотность его будет больше плотности обычной жидкости или даже твердого тела. И действительно, расчеты показывают, что в центре Солнца плотность составляет около 100 г в кубическом сантиметре, т. е. она в 100 раз больше плотности воды. С другой стороны, внешние слои Солнца очень разрежены. Давление в них составляет менее одной тысячной доли давления в земной атмосфере. Плотность солнечного вещества значительно возрастает от поверхности вглубь, как это

изображено на рис. 21. Мы приходим таким образом к выводу, что газ, из которого состоят недра Солнца, сжат до плотности, примерно раза в 4—4.5 большей, чем плотность платины. Но несмотря на такую плотность, это все же газ, а не жидкое или твердое тело. Изучение звезд показывает, что газ существует и при еще больших давлениях.

На первый взгляд, это может показаться парадоксальным, но вспомним, что основное отличие газо-



[Рис. 21. Возрастание плотности к центру Солнца

образного вещества от твердого вовсе не заключается в его плотности, а в стремлении газа полностью занять любое представленное ему пространство. Это стремление или свойство газа называется с ж и м а е м о с т ь ю. Твердое тело, наоборот, практически всегда сохраняет свой объем. В самом деле, если сильно сжать камень и некоторое количество газа, а затем снять давление, то объем камня не изменится, тогда как газ начнет, расширяясь, улетучиваться. Солнечное вещество сохраняет это свойство сжимаемости вплоть до самого центра Солнца. Поэтому, несмотря на то, что плотность его больше плотности самого плотного твердого тела, оно все же остается газом.

Другой вопрос, почему это возможно. Ведь на Земле мы никогда не имеем дело с газами такой большой плотности? Дело здесь в том, что условия внутри звезд не совсем обычные с земной точки зрения. При высокой

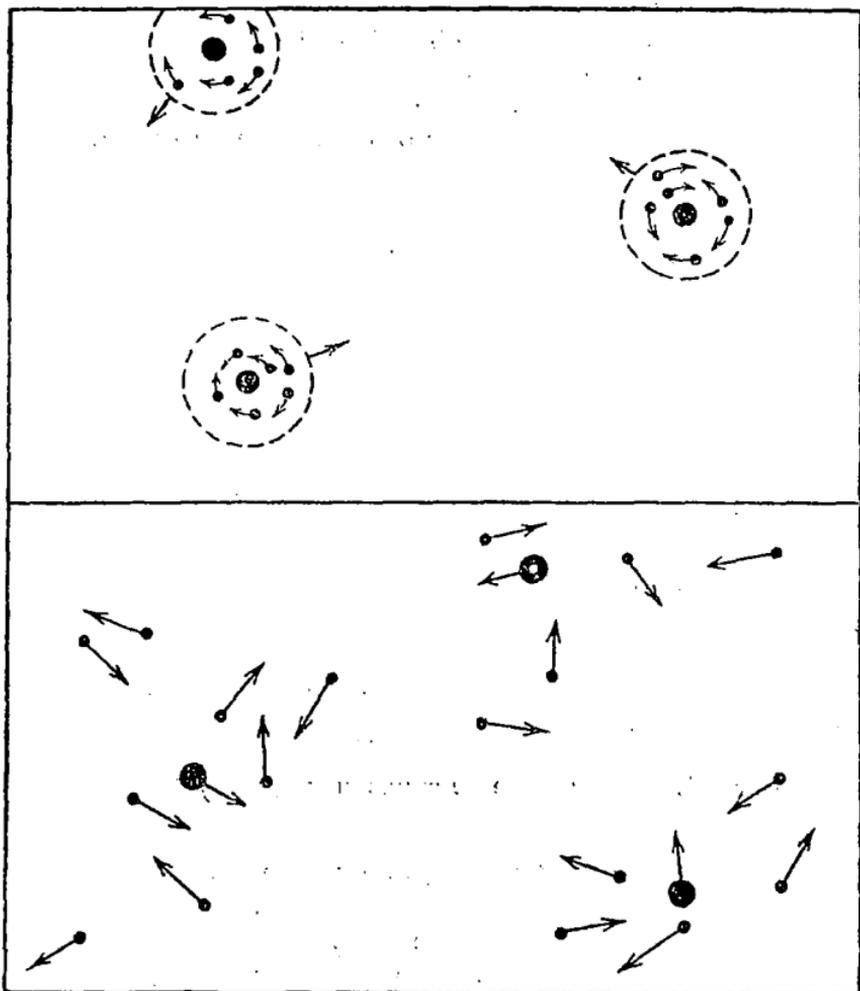


Рис. 22. Как ведут себя атомы в недрах Солнца.
Вверху — газ, состоящий из нейтральных атомов;
внизу — ионизованный газ

температуре в недрах звезд атомы почти полностью ионизованы, и звездный газ состоит не из целых атомов, а из атомных остатков и электронов. Поперечник атомного ядра в десять тысяч раз меньше поперечника всего

атома в целом. Поперечник атомного остатка, потерявшего значительную часть своих электронов, мал по сравнению с нейтральным атомом. А это значит, что в объеме, где раньше умещался лишь десяток нормальных атомов, теперь свободно поместятся сотни и тысячи ионизованных атомов, т. е. атомов, лишенных своего электронного окружения и свободных электронов (рис. 22). Расстояние между отдельными частицами, несмотря на увеличившуюся плотность, будет все еще велико по сравнению с их размерами, и поэтому такое вещество обладает всеми свойствами обычного газа. Такой ионизованный газ, если температура его высока, и при большой плотности сохранит свойство сжимаемости, т. е. будет вести себя как обычный газ. Вот почему вещество в недрах Солнца и большинства других звезд может быть плотнее самого твердого тела и все же оставаться газом.

У. ЧТО ПРОИСХОДИТ В НЕДРАХ СОЛНЦА

1. Может ли радиоактивный распад обеспечить излучение Солнца

Теперь мы вплотную подошли к вопросу об источниках звездной энергии. Первым возможным источником атомной энергии является радиоактивный распад. Может быть Солнце светит оттого, что его недра состоят из радиоактивных элементов, которые, распадаясь, выделяют энергию? Если бы все атомные ядра в одном грамме радия одновременно распались бы, то полученная при этом энергия была бы велика. Но распад не происходит одновременно. Половина данного числа атомных ядер радия распадается за 1600 лет, половина оставшихся ядер еще за 1600 лет и т. д. Поэтому выход энергии в единицу времени при распаде радия мал.

Для других радиоактивных элементов — урана и тория — распад происходит еще гораздо медленнее. Даже если бы Солнце целиком состояло из урана, оно светило бы во много раз слабее, чем настоящее. С другой стороны, чисто «радиевое» Солнце могло бы существовать лишь несколько тысяч лет. Другие естественные радиоактивные элементы также либо слишком кратковременны, либо дают ничтожно малый выход энергии. Более того, оказывается невозможным даже мысленно подобрать такую смесь урана и радия, которая дала бы нужное излучение для Солнца в течение нескольких миллиардов лет.

Таким образом, радиоактивные источники энергии не подходят для объяснения излучения Солнца. Это тем более верно, что наиболее тяжелые радиоактивные элементы встречаются на Солнце в самых ничтожных количествах.

Тем не менее, открытие радиоактивности привлекло внимание исследователей к новому и очень интенсивному источнику энергии. Оно показало, что в самих основах вещества, в незначительных по размерам атомных ядрах заложена громадная энергия. Успехи ядерной физики, изучение внутриатомной энергии и физических условий, необходимых для освобождения ее, позволили астрофизикам решить вопрос об источниках энергии Солнца и других звезд и составить представление о том, что происходит во внутренних частях небесных светил. Этот вопрос был в основном разрешен 10—15 лет назад.

2. Могут ли в недрах Солнца преобразоваться элементы

Успехи физики атомного ядра поставили перед наукой вопрос: не может ли в недрах Солнца и звезд происходить преобразование элементов, в результате чего освобождается атомная энергия?

Мы уже говорили о том, что ядерные реакции, приводящие к преобразованию элементов, обычно сопровождаются освобождением энергии. Энергия эта в миллионы раз превосходит энергию, даваемую обычными химическими реакциями. И если Солнце, состоящее из угля, сгорело бы полностью в течение нескольких тысяч лет, то в случае ядерного источника энергии то же Солнце сможет излучать уже миллиарды лет.

В земных лабораториях искусственные ядерные реакции — уже не редкость. Человек научился сам преобразовывать химические элементы. Для этого ему приходится пользоваться специальными приборами, применять сложнейшую аппаратуру, наделять частицы, которыми обстреливаются атомы, большими скоростями. Но каким образом могут происходить преобразования элементов в звездах?

Мы уже знакомы с условиями в недрах Солнца и звезд. Наиболее характерной их особенностью является высокая температура, достигающая десятков миллионов градусов. При такой температуре атомы почти полностью ионизованы и движутся с большими

скоростями. Правда, энергия движения частиц в центральных частях Солнца скорее даже мала, если сравнивать ее, скажем, с энергией выброса альфа- или бета-частиц при радиоактивном распаде, или с теми энергиями, которые сообщаются в лаборатории частичкам для разрушения атомных ядер. Но, тем не менее, при ряде искусственных преобразований элементов, физики в лабораториях имеют дело с энергиями как раз такого же порядка. К тому же, как мы уже выяснили (см. стр. 35), вероятность попадания частички в атомное ядро при условиях, господствующих в недрах Солнца, гораздо больше, чем в земных условиях.

Вспомним также, что в Солнце очень много водорода, а атомное ядро водорода — это протон. Следовательно, в недрах Солнца много мельчайших частичек — протонов, которые, двигаясь со сравнительно большими скоростями, сталкиваются с атомными ядрами других элементов и могут вызвать разрушение и преобразование этих ядер.

Как показали тщательные расчеты, при температурах порядка десятков миллионов градусов могут преобразовываться атомные ядра легких элементов до азота включительно. Для более тяжелых элементов требуются уже более высокие температуры, т. е. большие энергии налетающих частиц — протонов. Однако не все реакции, протекание которых возможно в подобных условиях, могут быть источником энергии Солнца. Необходимо, чтобы при заданных условиях в недрах Солнца, т. е. при температуре в $20\,000\,000^\circ$ и плотности порядка 100 г/см^3 выделялось бы столько энергии, чтобы можно было объяснить наблюдаемое в действительности излучение Солнца. Кроме того, реакция эта должна продолжаться непрерывно и достаточно долго, чтобы обеспечить излучение Солнца по крайней мере в течение нескольких миллиардов лет.

После того, как было установлено, что в недрах Солнца может происходить преобразование элементов, понадобилось еще целых десять лет, пока такая реакция была найдена.

3. Каким образом ядерные реакции протекают в недрах Солнца

Итак, наше Солнце — своего рода громадная лаборатория, в которой непрерывно происходит преобразование элементов. В результате ядерных реакций между протонами и ядрами легких элементов часть массы этих ядер превращается в энергию. Энергия эта, пройдя сквозь всю толщу Солнца от центра наружу и претерпев при этом ряд преобразований, излучается с поверхности в виде солнечных лучей, приносящих свет и тепло на нашу планету.

Какие же конкретно реакции протекают в недрах Солнца?

Чтобы ответить на этот вопрос, пришлось перероботать все изученные в лаборатории ядерные реакции, рассчитать, какова вероятность их протекания при различных температурах и плотностях (основную роль здесь играет температура, так как образование энергии при ядерных реакциях очень чувствительно к изменению температуры), и выбрать те реакции, которые при условиях, существующих в центре Солнца, могут не только дать необходимый выход энергии, но и обеспечить излучение Солнца в течение срока более 2 млрд. лет. Оказалось, что источником энергии Солнца является не одно ядерное преобразование, а ряд таких преобразований, связанных друг с другом. Основная особенность этой серии реакций — ее замкнутость или цикличность. Сейчас мы увидим, что это означает.

Сталкиваясь с протоном, ядро обычного углерода ${}^6\text{C}^{12}$ превращается в легкий изотоп азота ${}^7\text{N}^{13}$, освобождая при этом часть энергии в виде гамма-луча (рис. 23). Эта реакция хорошо известна в ядерной физике и получалась неоднократно в лабораторных условиях с помощью быстрых протонов. Ядро ${}^7\text{N}^{13}$ неустойчиво. Испуская позитрон, оно превращается в устойчивый изотоп углерода ${}^6\text{C}^{13}$, более тяжелый, чем ${}^6\text{C}^{12}$. Изотоп этот встречается в небольших количествах в обычном угле. В свою очередь, ядро ${}^6\text{C}^{13}$, когда в него попадает протон, превращается в ядро обычного азота ${}^7\text{N}^{14}$, снова испуская при этом гамма-излучение. Если теперь ядро азота столкнется еще

с одним протоном, то возникает неустойчивый изотоп кислорода ${}^8\text{O}^{15}$, который быстро превращается в устойчивый изотоп азота ${}^7\text{N}^{15}$, испустив позитрон. Ядро ${}^7\text{N}^{15}$, захватив протон (уже четвертый), раскалывается

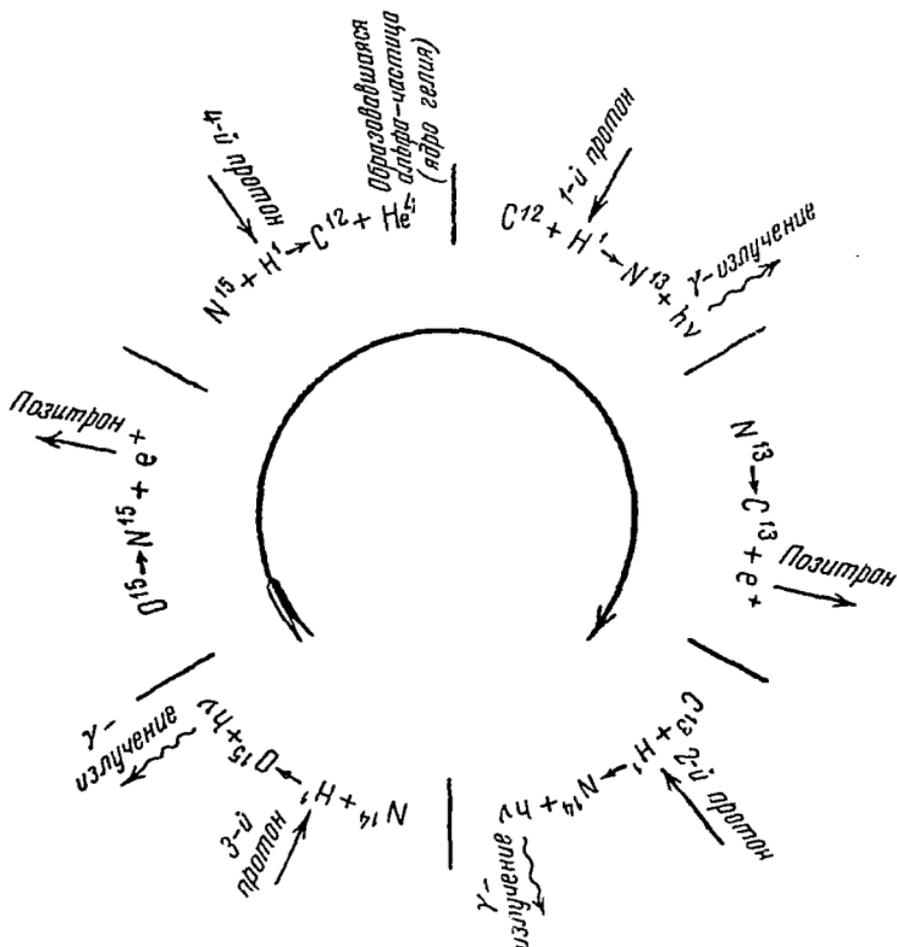


Рис. 23. Углеродная циклическая реакция, протекающая в недрах Солнца

на две неравные части, одной из которых является ядро углерода ${}^6\text{C}^{12}$, т. е. такое же ядро, с какого мы начали реакцию, другой — альфа-частица, или ядро гелия ${}^2\text{He}^4$.

Мы начали с ядра углерода и пришли снова к нему же, поэтому реакция эта и называется циклической.

В результате полного цикла, т. е. всех шести стадий, произошло образование ядра гелия из четырех протонов и освободилось некоторое количество энергии. Масса четырех протонов больше массы ядра гелия. Вот этот избыток массы и превращается в энергию, даваемую рассматриваемой реакцией. Количество углерода в солнечном веществе не убывает. Углерод только помогает четырем протонам превратиться в альфа-частицу. Химики называют вещество, ускоряющее реакцию, но не меняющееся само ни количественно, ни качественно, катализатором. При образовании энергии внутри Солнца и звезд ядра углерода играют роль таких катализаторов.

Так как водорода, как мы знаем, в солнечном веществе содержится много, а водород — основной поставщик протонов, то интенсивность нашей реакции, а следовательно, и общее количество энергии, даваемое ею, будет зависеть от того, сколько углерода в Солнце. Подсчеты показали, что если считать, что углерода в солнечном веществе содержится около 1% (по весу), то циклическая реакция даст при $20\,000\,000^\circ$ как раз то количество энергии, какое требуется, чтобы поверхность Солнца излучала столько света и тепла, сколько она излучает в действительности.

Эта величина, 1%, соответствует наблюдаемому содержанию углерода в атмосфере Солнца.

Таким образом, реакция преобразования водорода в гелий с помощью ядер углерода дает ответ на интересующий нас вопрос. Источник энергии Солнца — это ядерные реакции.

Мы уже знаем, что все ранее предлагаемые гипотезы оказались несостоятельными, так как они или не могли объяснить полного излучения Солнца, или, объясняя излучение, не могли объяснить возраст его. Ядерный источник энергии объясняет и то и другое. Ни одна из других известных реакций не дает положительных результатов. Реакции протонов с более легкими элементами, чем кислород, — с литием, бериллием, бором, — протекают слишком быстро. При этом ядра названных элементов вновь не образуются, т. е. реакции эти не являются циклическими. Весь запас легких элементов в Солнце (а он, кстати, чрезвычайно

мал) «исчерпался» бы в течение 1000 лет. Наоборот, реакции протонов с более тяжелыми элементами (кислород, натрий) протекают слишком медленно и дают мало энергии. Следовательно, ни те, ни другие не могут быть источником энергии Солнца и других звезд.

Существует еще одна реакция, которая также может служить источником энергии звезд. Реакция эта — образование тяжелого водорода — дейтрона.

1-й протон 2-й протон

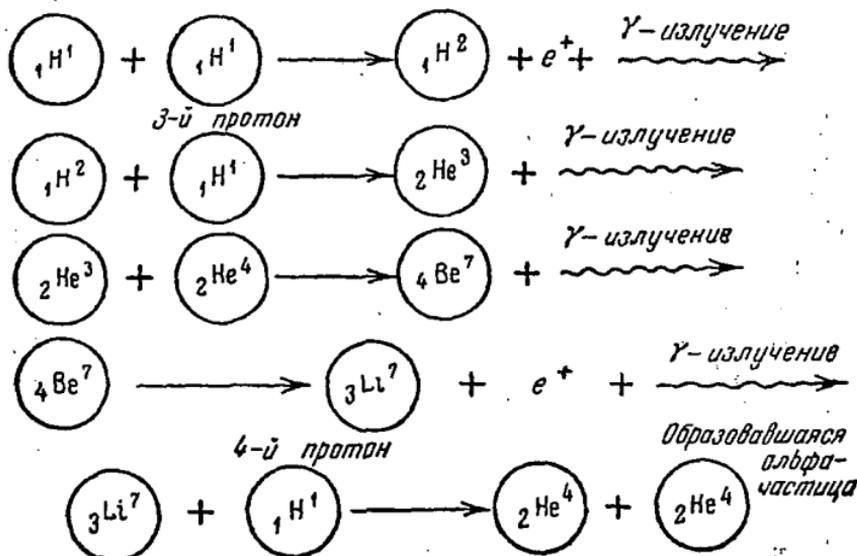


Рис. 24. Реакция образования тяжелого водорода

При столкновении двух протонов один из них превращается в нейтрон и образует с другим ядро тяжелого водорода (рис. 24). При этом испускается позитрон — ${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_1\text{H}^2 + e^+$. Ядро тяжелого водорода почти мгновенно вступает в реакцию с другим протоном, образуя легкий изотоп гелия с испусканием излучения: ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + \gamma$. Легкий изотоп гелия объединяется с ядром гелия в ядро бериллия, также излучая при этом энергию: ${}_2\text{He}^3 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_4\text{Be}^7 + \gamma$. Ядро бериллия неустойчиво и превращается в ядро лития с испусканием позитрона: ${}_4\text{Be}^7 \rightarrow {}_3\text{Li}^7 + e^+ + \gamma$. Это ядро лития, объединяясь еще с одним протоном, дает два ядра гелия ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow 2{}_2\text{He}^4$. Таким образом, в результате

этой реакции тоже четыре протона превращаются в ядра гелия.

Эта реакция не такая мощная, как углеродный цикл. В условиях Солнца она выделяет энергию, во много раз меньшую требуемой, и не может быть источником энергии Солнца. Но реакция образования тяжелого водорода всегда протекает одновременно с углеродной циклической реакцией и вносит, следовательно, свою, хотя и незначительную, долю в общее излучение Солнца.

Так успехи атомной физики помогли астрономам ответить на вопрос, отчего светится Солнце, — на вопрос, который давно волновал умы людей. На протяжении многих лет пытливая человеческая мысль трудилась над этой проблемой, предлагала различные варианты его решения, но все они оказывались безуспешными. Находились «ученые», которые считали вопрос об источниках солнечной энергии непознаваемым, недоступным человеческому уму. Но истинная, материалистическая наука никогда не останавливается ни перед какими трудностями, твердо помня, что «нет в мире непознаваемых вещей, а есть только вещи, еще не познанные, которые будут раскрыты и познаны силами науки и практики»¹.

4. Отчего светятся другие звезды

До сих пор речь шла, в основном, о Солнце, по все сказанное выше в полной мере относится и к звездам, так как Солнце — типичная звезда.

Мы уже видели, как велико разнообразие в мире звезд. На диаграмме «светимость — температура поверхности» (см. рис. 2) встречаются звезды с самыми противоположными внешними характеристиками, начиная от красных гигантов и кончая белыми карликами. Но у звезд много общего: все они состоят из одних и тех же химических элементов и температура в недрах у всех высокая (порядка десятка миллионов градусов). Вещество почти всех звезд находится в та-

¹ И. Сталин. Вопросы ленинизма. Изд. 11-е. М., 1939, стр. 543.

ком же состоянии, как и солнечное вещество, — это высокоионизованный газ. Исключения составляют белые карлики, но о них речь будет идти особо. Температуры центральных частей звезд и их плотности отличны от температуры и плотности Солнца; неодинаковы и светимости звезд. Но источник энергии у всех звезд, по видимому, один. Источник этот — преобразование водорода в гелий, путем ядерных реакций рассмотренного выше типа. Чем больше светимость звезды, т. е. чем больше энергии излучает ее поверхность, тем больше энергии, соответственно, должно освобождаться в ее недрах и тем выше температура в центральных частях звезды, т. е. мощность ядерных реакций в основном зависит от температуры. В частности, источником энергии большинства звезд Главной последовательности, которые ярче Солнца, является, как показал проф. А. Б. Северный, углеродная циклическая реакция.

У горячих массивных звезд в левой части Главной последовательности температура в центре достигает 25—30 млн. градусов. У слабых звезд Главной последовательности, лежащих правее солнца, так называемых красных карликов, светимость мала. Температура в недрах этих звезд — порядка 10 000 000°. Для этих звезд уже одна вторая из рассмотренных ядерных реакций — реакция образования тяжелого водорода — дает достаточно энергии.

Красные гиганты отличаются от других звезд своими большими поперечниками и чрезвычайно малой плотностью. Надо думать, что построены эти звезды несколько иначе, чем Солнце. Согласно работам ленинградского астрофизика проф. В. В. Соболева, красный гигант — это горячая массивная звезда левой части Главной последовательности, окруженная внешней разреженной и сравнительно холодной оболочкой. Существенного отличия во внутреннем устройстве такой звезды нет, поэтому и источник ее энергии такой же, как и у остальных звезд. Различно лишь устройство внешних слоев.

Разнообразие в мире звезд объясняется именно различием в физическом их строении, а не различием в источниках энергии.

5. О белых карликах

Белые карлики — одни из наиболее интересных представителей звездного мира. Астрономы называют белыми карликами горячие звезды малых размеров и чрезвычайно большой плотности. Звезды эти во многих отношениях отличаются от обычных звезд и образуют в звездном мире особый класс. Наиболее известным белым карликом является спутник Сириуса — скромная звездочка, совершенно теряющаяся в лучах своего яркого соседа. На долю этой звезды не раз уже выпадала роль пробного камня новых астрономических и физических методов и теорий. По размерам это скорее планета, чем звезда, но масса ее почти в точности равняется массе Солнца. Следовательно, плотность ее в сотни тысяч раз больше плотности Солнца (плотность — это масса, деленная на объем, а объем шара пропорционален кубу радиуса). Иными словами, небольшой кусочек вещества спутника Сириуса, величиной с лесной орешек, весит... целую тонну! Во времена открытия белых карликов это казалось чудовищным и невероятным. Спутник Сириуса представлялся каким-то уродливым и необъяснимым исключением среди звезд. Развитие атомной физики показало впоследствии, что явление это совсем не такое уж необъяснимое, а открытие других белых карликов лишило его и исключительности. Большие плотности этих звезд, вызывающие столько недоумений, явились реальным подтверждением физической теории вырождения газа.

Как объясняется, с точки зрения ядерной физики, плотное состояние вещества?

Хорошо известно, что ядро и электроны не заполняют всего объема атома полностью. Достаточно вспомнить, что поперечник атома в 10 тыс. раз больше поперечника атомного ядра. В нормальных условиях твердое тело — это такое состояние вещества, когда атомы его наиболее близко расположены один к другому. Когда мы оказываем давление на твердое тело, например, сжимаем его, то нам практически не удастся изменить его объем или его плотность. Силы, действующие между отдельными атомами и между составными

частями каждого атома, препятствуют еще большему сближению атомов, «проникновению» их друг в друга. Мы говорим, что твердое тело «несжимаемо». Но если оказываемое давление превысит некоторое предельное значение (которое, вообще говоря, несколько различается для разных атомов), то атомы «разрушаются».

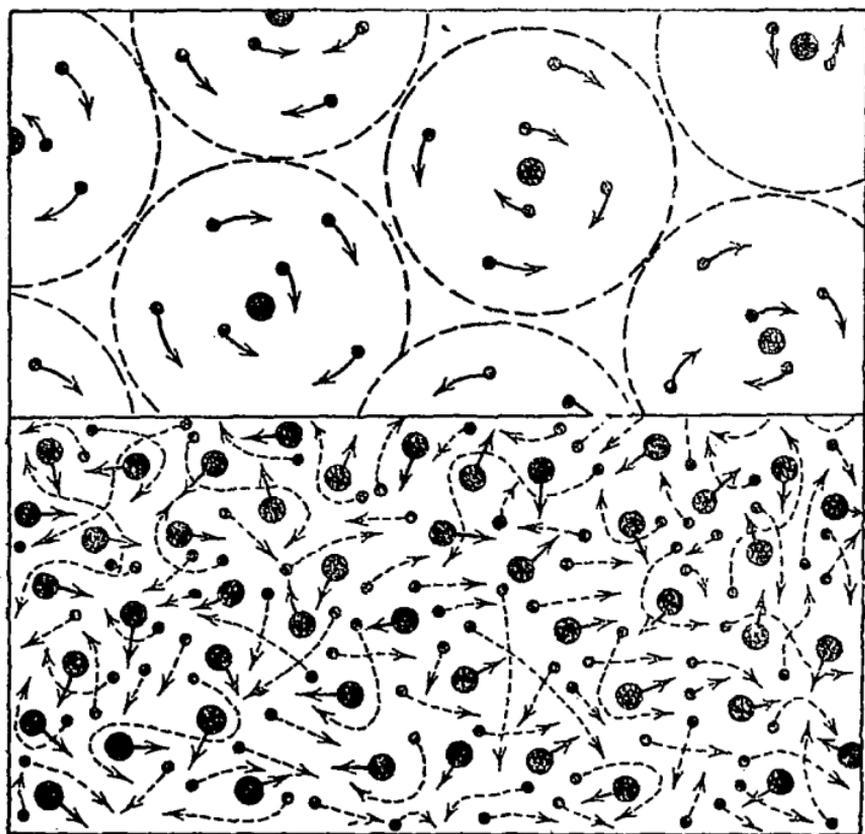


Рис. 25. Вверху — нейтральные атомы в твердом теле; внизу — «разрушенные» атомы в вырожденном газе

Электроны одного атома проникают в объем, занимаемый соседним атомом. Вместо атомных ядер, окруженных электронными оболочками, образуется хаотическая смесь отдельных электронов и ядер, движущихся в самых разнообразных направлениях (рис. 25). Там, где раньше умещалось лишь несколько целых атомов, теперь уместятся сотни и тысячи ядер и элект-

тронов. Наше вещество вновь стало сжимаемым, и при увеличении давления плотность его будет возрастать. Его уже нельзя больше называть твердым телом, так как оно обладает основным свойством газа — свойством сжиматься под давлением. Но это и не совсем обычный газ, с каким нам приходится иметь дело в земных условиях, а так называемый вырожденный газ.

Чем же отличается газ вырожденный от газа обыкновенного?

Вещество, атомы которого разрушены, т. е. все электроны оторваны от ядер, может до известной плотности вести себя как обычный газ, особенно, если температура его велика. Таково, например, состояние вещества в недрах Солнца и некоторых ему подобных звезд (см. рис. 22). Но с увеличением давления, т. е. с возрастанием плотности, этот газ начинает вырождаться. Начало вырождения можно определить точно при помощи специальной физической формулы, в которую входит температура и плотность газа. В обычном газе все составляющие его частицы равноправны. В вырожденном же газе, состоящем из отдельных атомных ядер и электронов (при условиях, господствующих в недрах звезд), главную роль играют электроны. Все свойства такого газа определяются свободными электронами, а атомные ядра как бы выключаются «из игры».

Каждый электрон при определенной температуре обладает некоторой энергией, причем из теоретической физики известно, что не могут существовать два электрона, обладающие совершенно одинаковой энергией. Если в единице объема количество электронов невелико, то электроны, грубо говоря, не мешают друг другу, т. е. каждый электрон обладает определенной энергией и существует еще ряд значений энергий незанятых. Иначе обстоит дело, если плотность электронов велика. В этом случае большинство значений энергии, которыми могут обладать электроны при данной температуре, уже занято. Электронам, образно выражаясь, становится «тесно», они стеснены в движениях. Когда мы приходим в почти пустой зрительный зал, то любое место к нашим услугам, и мы можем менять его сколько угодно, выбирая самое удобное,

но если зал почти заполнен зрителями, то нам придется уже подыскивать оставшееся свободное место; в передние ряды мы не попадем, так как их занимают в первую очередь. Эта, правда, очень схематичная аналогия, поможет нам представить себе разницу в поведении обычного и вырожденного газа.

В результате этих особенностей свойства обычного газа и газа вырожденного различны. Так, например, согласно известному физическому закону, плотность обычного газа при неизменной температуре увеличивается в восемь раз, если давление увеличить в восемь раз. Вырожденный газ этому закону не подчиняется, и для того, чтобы его плотность увеличилась в восемь раз, надо увеличить давление уже в 32 раза.

У вырожденного газа имеется еще одна любопытная особенность. Теоретические расчеты показывают, что звезда, состоящая из вырожденного газа, должна обладать тем меньшим объемом, чем больше ее масса, в то время как для обычных звезд с увеличением массы (количества вещества) объем, естественно, возрастает.

На Земле мы еще не умеем создавать такие колоссальные давления и поэтому не встречаемся с веществом в сверхплотном состоянии. Для подтверждения теории пришлось обратиться опять в мировое пространство. Если существуют звезды, состоящие из вырожденного газа, то они должны выделяться среди обычных звезд своей огромной плотностью в сочетании с малыми размерами. Такие звезды, как мы уже знаем, в природе имеются. Это — белые карлики, маленькие, но очень плотные звезды.

Так еще одна физическая теория, созданная на основе изучения мельчайших частиц — атомов, нашла себе подтверждение при изучении звездного мира.

Как устроены белые карлики?

На этот вопрос астрофизика уже может ответить. Почти вся звезда состоит из вырожденного газа, и только наружная ее часть представляет собой сравнительно тонкую оболочку обычного газа. Чем глубже, тем больше плотность звезды и тем более явно выступают признаки вырождения. Более того, за последние годы было установлено, что и у некоторых других звезд,

например, у субкарликов, центральные части состоят из вырожденного газа.

Изучение белых карликов поставило много увлекательных вопросов перед астрофизиками. Существует ли связь между белыми карликами и другими звездами? Не являются ли белые карлики «состарившимися» звездами, прошедшими уже определенный путь развития? А может быть белые карлики — это результат внезапного изменения некоторых звезд, какими, например, являются новые звезды? Каков будущий путь развития белых карликов?

Каждый из этих вопросов — это целая самостоятельная глава астрофизики, и останавливаться на них здесь мы не имеем возможности. Многие еще неясно, но наши ученые успешно работают над разрешением этих вопросов.

До настоящего времени открыто 80 белых карликов. Их открытие затруднено тем, что это слабые звезды. Все данные звездной астрономии говорят о том, что в нашей и других звездных системах белые карлики составляют далеко не малую долю «звездного населения». Белые карлики, на которых еще несколько десятилетий назад смотрели как на удивительное исключение, теперь уже не считаются «уродами» среди звезд. Они прочно вошли в звездную семью, еще раз доказав, как много нового и интересного таит в себе мировое пространство, как многообразно состояние вещества во Вселенной и как неограничены возможности человеческого ума, стремящегося ко все более полному познанию тайн природы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как мы представляем себе историю нашего Солнца и его будущее

При изучении природы небесных светил ученые прочно опираются на достижения физики, химии, механики. Развитие всей науки показало, что не существует грани между «земным» и «небесным», что законы природы едины в различных частях бесконечной Вселенной, что звезды состоят из тех же химических элементов, которые мы встречаем на Земле. «Действительное единство мира состоит в его материальности, — говорит Энгельс, — а эта последняя доказывается... длинным и трудным развитием философии и естествознания».¹

Основываясь на материальном единстве Вселенной, астрономы строят научные предположения о природе небесных тел, о происхождении и развитии миров. После того как эти предположения и выводы из них окажутся всесторонне проверенными, подтвержденными астрономическими наблюдениями и опытами в лабораториях, они приобретают характер теории. Сила истинной науки заключается в том, что она в своих обобщениях никогда не теряет связи с реальным миром, что в ее основе лежит принцип: практика — критерий истины. Это в полной мере относится и к науке о небесных телах.

Основным вопросом астрономии является вопрос о происхождении и развитии звезд. Как протекает жизнь звезд? Какова история нашего Солнца? Всегда ли оно было таким, каким мы наблюдаем его теперь? Изучение развития жизни на Земле говорит о том,

¹ Ф. Энгельс. Анти-Дюринг. Госполитиздат, 1948, стр. 42.

что по крайней мере в течение последних 500 млн. лет Солнце не изменялось. Нашей Земле, во всяком случае, уже не менее 2 млрд. лет. Что представляло собой Солнце более 2 млрд. лет тому назад? Всегда ли оно было средней рядовой звездой или может быть и в его жизни происходили значительные перемены? Что ждет его в будущем? Сколько еще времени сможет наше дневное светило излучать свет и тепло и обогревать Землю? Как обстоит в этом отношении дело у других звезд? Дать окончательный ответ на все эти вопросы наука в настоящее время еще не в состоянии. Но наши ученые очень интенсивно работают над разрешением этих сложнейших проблем и добились за последнее время чрезвычайно интересных результатов.

Наше Солнце нельзя рассматривать обособленно от других звезд. Мы уже видели, что Солнце — обыкновенная, рядовая звезда. Поэтому говоря об эволюции Солнца, мы неминуемо сталкиваемся с вопросом о жизни звезд вообще.

Как возникают звезды? Исследования президента Армянской Академии Наук В. А. Амбарцумяна показывают, что звезды зарождаются в так называемых звездных ассоциациях, в пределах нашей или других галактик. Вероятнее всего образование звезд происходит группами, а не отдельными звездами. Затем звезды эти постепенно рассеиваются по Галактике; некоторое время они еще выделяются среди других звезд благодаря более или менее заметным признакам, а затем теряют и эти признаки. Такие звездные ассоциации наблюдаются и в настоящее время; следовательно, «рождение» звезд в нашей Галактике и в других галактиках происходит и сейчас.

Большой интерес представляет то обстоятельство, что (как это известно из работ В. А. Амбарцумяна) вновь образуются звезды не одного какого-нибудь типа (скажем, только разреженные звезды-гиганты, как предполагали раньше), а самые разнообразные представители звездного мира: и горячие звезды-гиганты, и звезды-карлики. Среди звезд нашей Галактики в пределах одного и того же класса мы встречаем, таким образом, и «молодые» и «старые» звезды (говоря о возрасте звезд, мы подразумеваем время жизни

звезды, начиная с момента образования ее как звезды, и оставляем в стороне вопрос о той форме, в которой ее вещество существовало в дозвездной стадии). На диаграмме «светимость — температура поверхности» (рис. 2) мы тоже, следовательно, имеем дело со звездами самых разнообразных возрастов.

Возникает естественный вопрос, не могут ли звезды одного типа переходить с течением времени в звезды иного типа? Для ответа на этот вопрос требуется самое тщательное изучение всех звездных характеристик.

Работами московских профессоров П. П. Паренаго и Б. В. Кукаркина по изучению движений звезд и их распределения в пространстве установлен ряд признаков, по которым можно судить, когда возможен эволюционный переход между различными группами звезд и когда он заведомо невозможен.

Результаты эти еще раз подчеркивают, что рассматривать такую общую проблему, как развитие звезд, можно только исходя из тщательного анализа данных различных отраслей астрономии. Нельзя строить теорию звездной эволюции, исходя, например, только из теории внутреннего строения звезд, как это и сейчас еще пытаются делать некоторые зарубежные ученые, игнорирующие достижения звездной астрономии, звездной динамики и космологии. Подобная теория всегда будет страдать односторонностью и не сможет охватить всей совокупности изучаемых явлений.

Так, в современной буржуазной науке неоднократно пропагандируется «теория», что наше Солнце может вспыхнуть подобно новой звезде, и красочно рисовалась картина гибели Земли при подобной катастрофе. Основывается эта «теория» на следующем подсчете. В нашей Галактике ежегодно вспыхивает около 200 новых звезд. Так как Земля существует более 2 млрд. лет, то уже за время существования Земли должно было произойти не менее 400 млрд. вспышек. Однако в нашей Галактике всего около 150 млрд. звезд (по последним подсчетам проф. Паренаго и ленинградского астронома Агекяна). Из этого следует, что только за время существования Земли число вспышек новых звезд не менее числа всех звезд в Галактике. Односторонний подход к этому вопросу приводит к выводу,

что каждая звезда в нашей Галактике (в том числе и Солнце) рано или поздно должна вспыхнуть как новая. А такая теория ожидаемой мировой катастрофы прямо ведет к поповщине. Это — пресловутый «конец света», подкрепляемый «научными» данными. В действительности эта «теория» не выдерживает никакой критики.

В 1933 г. советские астрономы Паренаго и Кукаркин показали, что Солнцу не угрожает опасность вспышки. Новые звезды — это лишь небольшой особый класс звезд в нашей Галактике, которые вспыхивают время от времени. Каждая такая «вспышка» вовсе не означает уничтожение звезды. Через определенный промежуток времени эта же звезда вспыхивает вновь. Поэтому название «новая» для таких звезд весьма неудачно. На самом деле они могут быть и очень старыми звездами, но в нормальном состоянии, благодаря малой светимости, оставаться незамеченными. Лишь только в моменты вспышек, когда светимость такой звезды значительно возрастает, она становится доступной наблюдениям. Как уже указывалось, новые звезды — это особый вид необыкновенных звезд, устойчивость которых нарушается вследствие нарушения баланса энергии и других внутренних причин. Таких звезд в нашей Галактике, вероятно, около миллиона, т. е. менее одной тысячной процента общего числа звезд в Галактике, а большое число вспышек объясняется тем, что каждая из этого миллиона звезд вспыхивает неоднократно. Подавляющее же большинство звезд Галактики, в том числе и наше Солнце, являются устойчивыми образованиями, и никаких «катастроф» с ними не происходит. Так, действительно, всестороннее изучение явления вспышек новых звезд опровергло нелепую теорию «мировой катастрофы».

Из чего возникают звезды в звездных ассоциациях? Этот вопрос до настоящего времени еще окончательно не решен. Ряд ученых придерживается мнения, что звезды возникают из малых круглых туманностей — глобул, которые поглощают свет сильнее, чем обычные туманности, и слабее, чем звезды, и являются как бы промежуточным звеном от туманности к звезде. Однако эта гипотеза пока еще не имеет подтверждения.

Исследования последних лет показали, что масса наиболее крупных горячих звезд непрерывно уменьшается, вследствие излучения не только световых и тепловых лучей, но и частичек вещества — атомов и электронов. Основываясь на этом, академик В. Г. Фесенков предложил эволюционную гипотезу, согласно которой наше Солнце в прошлом тоже было горячей массивной звездой, соответствующей верхней левой части Главной последовательности (см. рис. 2). С его поверхности происходила непрерывная утечка газа, вследствие чего масса Солнца уменьшилась. Одновременно водород, вследствие ядерных реакций, превращался в недрах Солнца в гелий. Сейчас в Солнце около 50% водорода, 40% гелия, а в прошлом, следовательно, было больше водорода и меньше гелия. В процессе эволюции Солнце двигалось вдоль Главной последовательности вниз. Гипотеза В. Г. Фесенкова хорошо согласуется с наблюдательными данными. Расчеты показывают, что изменение Солнца в начале его эволюции по этой теории должно было происходить быстро, а затем все медленнее и медленнее. В частности, в течение последних 3 млрд. лет масса и светимость Солнца должны были оставаться практически неизменными. Точно так же в последующие 10 млрд. лет Солнце останется также почти неизменным. А 3—4 млрд. лет тому назад размеры Солнца могли быть другими. Масса его была больше, оно излучало больше энергии, и водорода в нем было тоже больше.

Каково будущее нашего Солнца? Если Солнце светит вследствие того, что водород в его недрах превращается в гелий путем ядерных реакций, то должно же наступить такое время, когда весь запас водорода в Солнце исчерпается. Когда это произойдет? Не стоим ли мы перед опасностью, что наше Солнце — источник жизни на Земле — вдруг погаснет? На этот вопрос не так уж трудно ответить. Нет, ни мы, ни наши дети, ни наши внуки и правнуки не стоят перед такой опасностью. Солнце сможет за счет своего водородного запаса светить так же, как оно светит сейчас, еще десятки миллиардов лет.

Но что же все-таки произойдет, когда через этот, пусть даже такой огромный промежуток времени, весь

водород Солнца превратится в гелий? Думая об этом, мы можем строить пока лишь догадки. Возможно, что тогда Солнце начнет сжиматься под действием силы тяготения, температура его внутренних частей повысится и начнут действовать другие реакции, например, между альфа-частицами и более тяжелыми элементами, и наше Солнце сможет существовать в своем прежнем виде еще сотни миллиардов лет. Возможно, что новые источники не появятся, тогда Солнце начнет медленно остывать и превратится в более холодную звезду.

Современная наука пока еще не может дать окончательного ответа на этот вопрос. Но это не значит, что ответа этого не существует. Вспомним, что еще 15 лет назад мы не могли удовлетворительно ответить на вопрос, отчего светит Солнце. Теперь происхождение солнечных лучей для нас уже не является загадкой. Передовая, материалистическая наука движется вперед огромными шагами, и возможно, что уже через несколько лет мы получим ответ и на интересующий нас вопрос о далеком будущем нашего Солнца и Земли.

Допустим, что через много, много лет Солнце остынет и перестанет снабжать теплом и светом Землю. Будет ли это означать гибель человечества? Без сомнения, нет. За миллиарды лет наука и техника настолько шагнули вперед, что человек найдет способ компенсировать уменьшение притока солнечной энергии. Использование атомной энергии позволит создать в будущем искусственные «солнца», не уступающие по своим свойствам настоящему. Диалектический материализм учит нас, что мир следует не только объяснять, но и изменять, переделывать природу так, чтобы она служила на благо человечества. Возможности человеческого познания неограничены.

Наша наука не знает преград и наш взор смело устремлен в будущее.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Б. А. Воронцов-Вельяминов. Вселенная, Гостехиздат, М., 1947.
- Б. А. Воронцов-Вельяминов. Лучь света — вестник далеких миров. Всесоюзное об-во по распространению политических и научных знаний, М., 1949 (стенограмма лекции).
- Л. Гольдберг и Л. Аллер. Атомы, звезды и туманности. Гостехиздат, М., 1948.
- А. И. Лебединский. В мире звезд. Гостехиздат, М., 1947.
- А. Г. Масевич. Что происходит в недрах Солнца и звезд. Всесоюзное об-во по распространению политических и научных знаний, М., 1948 (стенограмма лекции).
- В. Мезенцев. Из чего построен мир. Госкультпросветиздат, М., 1948.
- П. П. Паренаго. Строение Вселенной. Госкультпросветиздат, М., 1948.
- В. Г. Фесенков. Космогония солнечной системы. Изд. Академии Наук СССР, М.—Л., 1947.
- В. Г. Фесенков. Современные представления о Вселенной. Изд. АН СССР, 1949.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
--------------------	---

I. Солнце и звезды

1. Далекие миры	5
2. Разнообразие в мире звезд	6
3. Необыкновенные звезды	8
4. Наблюдаемые закономерности в звездном мире	10
5. Солнце — источник жизни	13
6. Что происходит на поверхности Солнца	15
7. Энергия Солнца	20

II. Атомное ядро и его превращения

1. Строение атома	25
2. Радиоактивность и атомная энергия	29
3. Как искусственно разрушаются атомы	32
4. Реакция, которая сама разрастается	36

III. Из чего состоит Солнце

1. Спектры	40
2. Как читают спектры	43
3. О чем еще может рассказать луч света?	46

IV. Строение Солнца

1. Можно ли узнать об устройстве внутренних частей по внешним признакам	53
2. Какие силы действуют на Солнце	56
3. Температура и плотность в недрах Солнца	58
4. Как ведут себя атомы при высокой температуре	62
5. О химическом составе звездных недр	63
6. Почему солнечное вещество может быть плотнее самого плотного твердого тела и все же оставаться газом	66

V. Что происходит в недрах Солнца

1. Может ли радиоактивный распад обеспечить излучение Солнца 70
2. Могут ли в недрах Солнца преобразоваться элементы 71
3. Какие ядерные реакции протекают в недрах Солнца 73
4. Отчего светятся другие звезды 77
5. О белых карликах 79

Заключение

- Как мы представляем себе историю нашего Солнца и его будущее 84

*Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета
Академии Наук СССР*

Редактор издательства *В. А. Мезенцев*
Технический редактор *И. И. Карпов*. Корректор *И. В. Кардо*

РИСО АН СССР № 3982. А-13365. Издат. № 2377. Тип. заказ № 2646.
Подп. к печ. 19/XII 1949 г. Формат бум. 82×108¹/₃₂. Печ. л. 5²/₄.
Уч.-издат. 4,5. Тираж 20000.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР, Москва,
Шубинский пер., д. 10

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
27	18 сн.	l^-	e^-
27	13 сн.	l^+	e^+
45	16 св.	по весу	в весовых долях

А. Г. М а с е в и ч. Источник энергии Солнца и звезд

Цена ~~2 руб. 25 коп.~~



23к

14

14393