

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЧЛЕН ОБЩЕСТВА,
КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

А. Г. МАСЕВИЧ

ЧТО ПРОИСХОДИТ В НЕДРАХ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

Стенограмма публичной лекции,
прочитанной 10 мая 1948 года
в Центральном лектории Общества
в Москве

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРАВДА“

МОСКВА

1948 г.

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИИ

Действительный член Общества,
кандидат физико-математических наук

А. Г. МАСЕВИЧ

ЧТО ПРОИСХОДИТ В НЕДРАХ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

Стенограмма публичной лекции,
прочитанной 10 мая 1948 года
в Центральном лектории Общества
в Москве

ПЛАН ЛЕКЦИИ

	Стр.
Солнце — источник жизни на Земле	3
Разнообразие в мире солнц	4
Что мы знаем о нашем Солнце?	6
Возраст Земли и Солнца	11
Попытки объяснить излучение Солнца	13
Атомное ядро и его превращения	15
Ядерные реакции — источники энергии Солнца и звёзд	23

Редактор — доктор физико-математических наук **П. П. ПАРЕНАГО.**

А 07177.

Тираж — 40.000 экз.

Заказ № 1491.

Типография газеты «Правда» имени Сталина. Москва, улица «Правды», 24.

Солнце — источник жизни на Земле

Чем больше мы изучаем Солнце, тем больше понимаем, как велика его роль в жизни Земли. Без солнечных лучей не было бы жизни на Земле, не двигались бы пароходы и поезда, не летали бы самолёты, не работали бы заводы и фабрики.

Все виды энергии, потребляемые человеком, имеют, по существу, солнечное происхождение. Правда, непосредственно солнечное тепло в таком виде, как мы его получаем от Солнца, используется в весьма небольшом количестве для гражданских нужд — это связано со значительными затруднениями; до сих пор существуют лишь небольшие пробные установки, вроде солнечной бани в Ташкенте да установки для холодильников в Аризонской пустыне. Однако, сжигая любое топливо: дрова, уголь или нефть, — мы также, в сущности, пользуемся солнечной энергией, которая заложена в виде углеродной составляющей в современных лесах или накопилась растениями давно прошедших геологических эпох.

Падая на зелёную листву растений, солнечные лучи преобразуют углекислоту воздуха в углерод и кислород. Кислород вновь отдаётся растениями в атмосферу, а углерод остаётся в растении, готовый при случае снова соединиться с кислородом воздуха при сгорании. Сжигая дерево, мы никогда не можем получить от него больше тепла, чем его растущие листья получили от солнечных лучей. Следовательно, не будь Солнца — не было бы растений ни сейчас, ни в прошлом и, естественно, не было бы ни дров, ни угля, ни нефти.

Хорошо известно, что энергия воды — тоже видоизменённая энергия Солнца. Солнечные лучи испаряют воду с поверхности океанов и морей, перенося её таким образом на более высокие уровни, откуда она стекает в виде рек обратно. То же относится и к силе ветра, вызванной неравномерным нагреванием различных

частей поверхности Земли. Тёплый воздух, как более лёгкий, начинает подниматься вверх, а на его место притекает более холодный — так создаются ветры, переносящие облака из одного места в другое. Метеорологами подсчитано, что за год ветром переносится около 600 миллиардов кубометров (т. е. тонн) воды в виде пара из жарких областей Земли в более холодные. Причиной этому — солнечные лучи. Без солнечных лучей поверхность нашей планеты была бы мертва и неподвижна.

Но отчего же светится Солнце? Почему оно в состоянии излучать непрерывно, в течение многих тысяч лет тепло в пространство, в частности, снабжать им нашу Землю? Сколько времени оно существует и сколько ещё сможет существовать в таком же виде? Что является источником его энергии и может ли этот источник исчерпаться? На все эти вопросы мы постараемся ответить с точки зрения достижений современной науки, поскольку это возможно сделать в коротком популярном изложении. Но для этого нам придётся вначале несколько ближе познакомиться с двумя противоположными (во всяком случае, по размерам) областями Вселенной, с миром звёзд, представителем которого является наше Солнце, и с миром атомного ядра.

На первый взгляд может показаться странным, что общего между звёздами — раскалёнными газовыми шарами огромных размеров — и ничтожно малым ядром атома. В действительности же общего между ними много. Хорошо известно, что все тела состоят из атомов, а кроме того, и это для нас наиболее важно, существует теснейшая связь между громадным количеством энергии, излучаемой Солнцем и звёздами в пространство, и поведением атомных ядер внутри этих звёзд.

Разнообразие в мире солнц

К Солнцу можно подойти с разных точек зрения. И метеорологу, и врачу, и ботанику, и радисту, и поэту, не говоря уже об астрономах, каждому есть что сказать о Солнце. Мы будем рассматривать Солнце с точки зрения астрофизики как ближайшую к нам звезду, т. е. как одного из представителей бесчисленного звёздного мира, часть которого мы в ясный вечер видим невооружённым глазом. Сейчас всем уже хорошо известно, что каждая звезда — это тоже Солнце, т. е. громадный раскалённый газовый шар, излучающий потоки света и тепла. Есть звёзды,

которые во много раз больше и ярче нашего Солнца, есть звёзды меньшие и по размерам и по яркости. Существуют звёзды-гиганты и сверхгиганты, поперечники которых в несколько тысяч раз больше поперечника Солнца. С другой стороны, существуют звёзды-карлики с поперечником в 0,01 солнечного. Это слабые звёзды. Энергия, излучаемая ими, в сотни и тысячи раз меньше энергии, излучаемой нашим Солнцем. Звёзды бывают и разреженные и, наоборот, чрезвычайно плотные. Средняя плотность некоторых холодных гигантских звёзд в десятки миллионов раз меньше плотности воды, а средняя плотность другой разновидности звёзд — так называемых белых карликов, — наоборот, в миллионы раз больше плотности воды.

Внимательно присматриваясь к наиболее ярким звёздам на небе, можно заметить, что не все они имеют одинаковый цвет. По цвету звёзд можно судить о температуре их поверхности. Понятие температуры красного и белого каления имеет вполне определённый смысл, и каждый знает, что железо, раскалённое добела, горячее нагретого докрасна. Так и поверхность звезды, излучающей белый свет, горячее, чем поверхность звезды красноватого цвета. Температуры поверхностей звёзд меняются в пределах от примерно 24 тысяч градусов для белых звёзд до 3 тысяч для красных.

Массы звёзд различаются не столь сильно, как их размеры и яркости, и заключены в пределах от одной десятой доли массы Солнца до нескольких десятков солнечных масс. Масса Солнца в 330 тысяч раз больше массы Земли и составляет $1.985 \cdot 10^{33}$ граммов¹.

Наше Солнце занимает по всем характеристикам почти среднее положение в этом очень разнообразном мире звёзд. Как, может быть, ни обидно нам это сознавать, Солнце — самая обычная и ничем особенно не выделяющаяся звезда.

То, что звёзды кажутся нам слабо светящимися точками на небе, вызвано невероятно большими расстояниями, на которых они находятся от нас. Астрономические наблюдения позволяют определить эти межзвёздные расстояния и сравнить действительную силу света или светимость различных звёзд со светимостью нашего Солнца.

¹ Для краткости мы не пишем нулей после значащих цифр или перед ними. $1.985 \cdot 10^{33}$ изображает число, в котором после цифр 1.985 следует поставить 33 нуля.

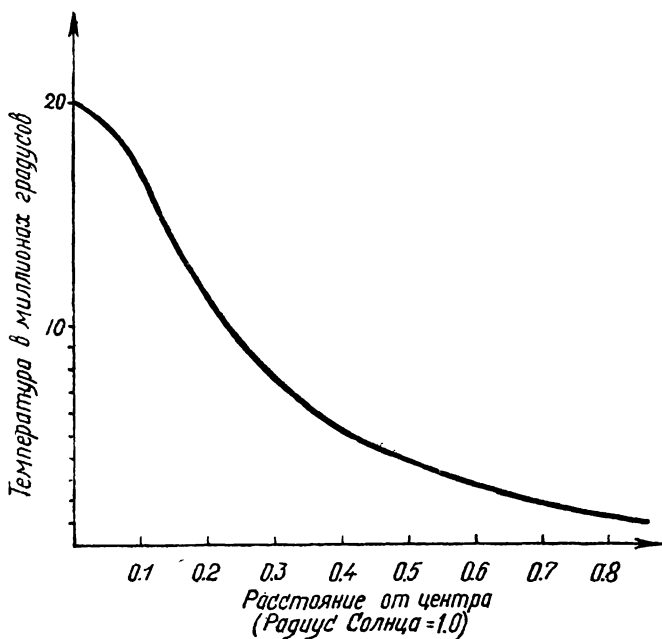
Уяснить величину межзвёздных расстояний поможет нам следующий пример. Радиоволны движутся, как известно, очень быстро. В течение одной секунды радиоволна успевает облететь вокруг земного шара по экватору примерно семь с половиной раз. Радиопередачу с Солнца мы приняли бы на Земле с запозданием в 8 минут. Это время потребовалось бы радиоволне, чтобы пробежать расстояние от Земли до Солнца (150 миллионов километров). А радиоконцерт с ближайшей звезды мы услышали бы только через 4 года и 3 месяца после его начала. Таково расстояние до ближайшей звезды, другие же звёзды находятся ещё гораздо дальше.

Что мы знаем о нашем Солнце?

Нам известна энергия Солнца по той её доле, которая падает на Землю с расстояния в 150 миллионов километров. Геофизики определяют эту энергию прямыми опытами, наблюдая нагревание воды в особых сосудах, выставленных навстречу солнечным лучам. С учётом поглощения в атмосфере на квадратный сантиметр земной поверхности за 1 минуту падает энергия, достаточная, чтобы нагреть на $1,94^{\circ}$ кубический сантиметр воды. Это означает, что на квадратный сантиметр земной поверхности падает каждую секунду 1 350 000 эргов. Если даже эту энергию расценить по ничтожно низкой цене в 2 копейки за квт/час, то за секунду Земля получает энергии от Солнца на миллиард рублей. Полная энергия, посылаемая Солнцем нашей планете в течение года, в миллион раз больше всемирного годового производства энергии за счёт сжигания всякого рода топлива. Это огромная величина, но это — ещё не всё. Ведь на Землю падает лишь незначительная доля солнечного излучения, большая часть которого рассеивается в пространстве. Полное излучение Солнца в 22 миллиарда раз больше солнечной энергии, получаемой Землёй. Величину эту представить себе нельзя, настолько она велика. Несколькo понятнее будет, если мы скажем, что если бы можно было обложить Солнце слоем льда, толщиной в 12 м, то уже через минуту этот слой растаял бы (а поперечник Солнца в 109 раз больше земного).

Какова же должна быть температура Солнца, чтобы оно могло излучать столько тепла? Обычный радиатор центрального отопления при температуре кипения воды излучает около 1 миллиона эргов на квадратный сантиметр поверхности. Соответственно излу-

чение докрасна накали́нной печи (при 500°) составляет 20 миллионов эргов, а раскалённой добела проволоки электрической лампы (2000°) — 2 миллиарда эргов, т. е. $2 \cdot 10^9$ эргов. Излучение раскалённых тел растёт с их температурой пропорционально четвёртой степени температуры. Сравнивая излучение поверхности Солнца с этими излучателями, нашли, что температура поверхности Солнца должна быть близка к 6000° . Температура эта гораздо выше получаемой в лабораторных условиях при помощи специальных электрических печей. Это вполне понятно. Ни одна печь не выдержала бы температуру в 6000° , так как при такой температуре любой материал, из которого была бы сделана печь (даже самый тугоплавкий), не только расплавился, но и испарился бы. Ни одно вещество не может существовать при такой температуре в ином состоянии, кроме как в газообразном. Это и имеет место на поверхности Солнца, где все химические элементы представлены в виде газов. (В настоящее время на Земле получены температуры более высокие, чем температура поверхности Солнца. Сильный электрический ток пропускают через тонкую металлическую про-

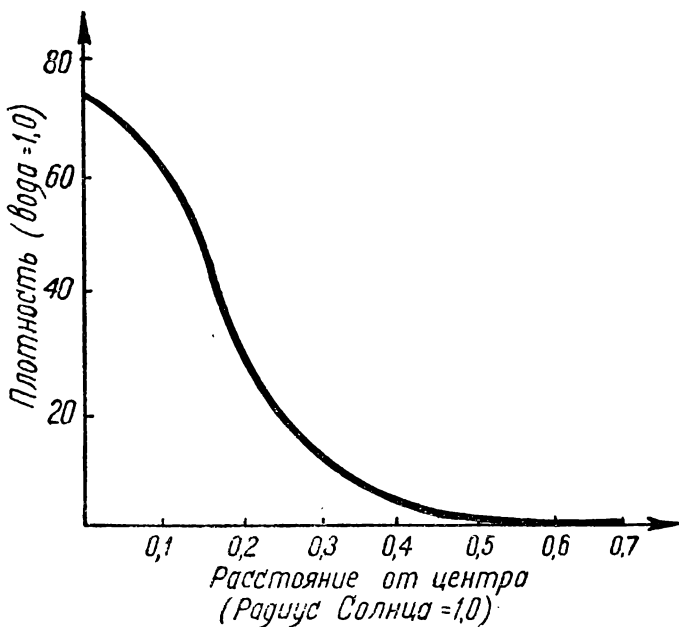


Распределение температуры в недрах Солнца (температура большей части солнечных недр превосходит миллион градусов).

волоку, которая в момент разряда моментально испаряется и на чрезвычайно короткий срок даёт температуру до $20\,000^{\circ}$. По последним данным, при помощи искры в вакууме получены температуры порядка 500.000° .)

Но если всё это имеет место на поверхности Солнца, то оно тем более верно для его внутренних частей, где температура ещё выше, так как необходима разность температур между центральными и наружными частями Солнца, чтобы излучение двигалось от центра к поверхности и наружу. Как известно, тепло перемещается от более нагретых частей к менее нагретым. И, в самом деле, теоретическое изучение внутренних частей Солнца показывает, что температура внутри Солнца достигает величины в $20\,000\,000^{\circ}$. Всё значение такой огромной температуры трудно себе представить. Печь, сделанная из несуществующего металла, который мог бы выдержать такую температуру, нагретая до $20\,000\,000^{\circ}$, сожгла бы своим излучением всё вокруг себя на расстоянии во много сотен километров.

Итак, Солнце является гигантской сферой, состоящей из чрезвычайно горячего газа. Однако неправильно было бы думать, что этот газ находится в разреженном состоянии. В обычных условиях, на Земле, газы, с которыми мы имеем дело, гораздо менее плотны, чем жидкости или твёрдые тела. Во внутренних же частях Солнца давление достигает огромных значений порядка миллиардов атмосфер. При таком давлении любой газ сожмётся так, что плотность его будет больше плотности обычной жидкости или даже твёрдого тела. Это может показаться парадоксальным, но не надо забывать, что разница между газообразным состоянием, с одной стороны, и жидким или твёрдым — с другой, заключается вовсе не в их относительной плотности, а в стремлении газа расширяться и занять весь объём, в который он помещён, а также в большой сжимаемости газа под воздействием внешнего давления. В самом деле, если сильно сжать камень и некоторое количество газа, а затем снять давление, то объём камня практически не изменится, тогда как газ начнёт, расширяясь, улетучиваться. Способность газа сжиматься приводит к тому, что плотность солнечного вещества растёт быстро от поверхности вглубь. В центре Солнца, как показывают расчёты, плотность достигает величины 75 г/см^3 (75 граммов в кубическом сантиметре), т. е. она в 75 раз больше плотности воды. Таким образом, газ, из которого состоят недра Солнца, сжат до плотности, примерно в 6 раз большей,



Распределение плотности в недрах Солнца.

чем плотность обычной ртути, и в 3 раза большей, чем плотность платины, и всё же это газ, а не жидкое или твёрдое тело. Изучение звёзд показывает, что газ существует и при ещё больших давлениях. Отчего же это происходит? Ведь на Земле мы никогда не имеем дела с газами такой большой плотности? На этот вопрос мы ответим, когда дойдём до физики атома.

С другой стороны, внешние слои Солнца чрезвычайно разрежены. Так, например, давление в них составляет одну тысячную долю давления в земной атмосфере.

Вопрос о внутреннем строении Солнца и звёзд чрезвычайно сложный и трудный. Основное затруднение заключается в том, что у нас нет средств проникнуть внутрь звёзд. Наблюдениям доступны только их внешние слои. Поэтому о физических условиях внутри Солнца и звёзд мы можем судить, только исходя из условий на их поверхности и пользуясь законами физики и механики. В частности, например, известно, что Солнце и большинство звёзд с течением времени практически не меняются, следовательно, они находятся в равновесии, и силы, действующие на них, должны уравновешиваться. Какие же эти силы? Это, во-первых, сила тяготения, которая стремится сжать звезду, и, во-вторых, газовое дав-

ление, т. е. стремление газа расширяться. Таким образом, вопрос о строении звёзд сводится к решению математической задачи равновесного состояния газового шара. Задача эта сложная, и решить её не так уж просто, но можно. Решая эту задачу для Солнца, узнали, что температура его в центре порядка $20\,000\,000^\circ$, а плотность в 75 раз больше плотности воды.

Часто приходится слышать, что все наши знания о внутренних частях звёзд и Солнца не заслуживают доверия и проблематичны, так как никто не может их проверить. Но не надо забывать, что все наши знания о внутреннем строении звёзд основаны на законах физики и на данных наблюдений о физическом состоянии наружных слоёв Солнца и звёзд — звёздных атмосфер, а также на полученных опытным путём величинах массы, радиуса и светимости (т. е. полной энергии, излучаемой поверхностью звёзд). Без этих опорных данных теория, конечно, не заслуживала бы доверия. Философия марксизма-ленинизма учит нас, что практика является краеугольным камнем истины и что всякая теория без практики беспредметна. Вот почему для наших астрофизиков-теоретиков, занимающихся внутренним строением звёзд, такое большое значение имеет каждое новое определение массы той или иной звезды, каждое новое исследование химического состава звёздных атмосфер. Всё это позволяет нам ещё и ещё раз проверять теорию на опытных фактах, даёт возможность проникать в глубины звёзд с помощью математического анализа — своего рода теоретической буровой машины — и составлять достоверную картину «анатомии» небесных светил.

Что мы знаем о Солнце с точки зрения его химического состава? Известно, что солнечное вещество — это раскалённый газ, температура и плотность которого возрастают от поверхности вглубь, и что этот газ находится в существенно отличных условиях от условий, в которых находятся обычные газы, которые мы наблюдаем на Земле, например, земная атмосфера, воздух. Отличие это сводится в основном к большой температуре и давлению, т. е. к физическим условиям, в которых солнечное вещество находится.

Из каких же химических элементов состоит это вещество? Для определения химического состава звёздных атмосфер у астрофизика есть мощное средство — спектральный анализ. Разложенные в спектр лучи света рассказывают нам о физическом состоянии звезды, пославшей эти лучи. Звезда может быть при этом сколь

угодно далеко от нас, лишь бы только мы получали от неё достаточно света, чтобы спектр можно было сфотографировать. Спектральным анализом было показано, что химический состав звёзд и Солнца почти одинаков и близок к химическому составу земной коры. Атмосферы звёзд и Солнца не только состоят из тех же химических элементов, что и земная кора, но и относительное содержание каждого из них в Земле и в звёздах почти одинаково. На Солнце найдены только те элементы, которые нам известны на Земле; никаких новых элементов там не обнаружено. В то же время не все элементы таблицы Менделеева найдены на Солнце. Пока их открыто там только 60. Число это с развитием инструментальной техники увеличивается. Так, например, в 1942 г. на Солнце было найдено золото, которого раньше не могли там обнаружить.

Открытие, показавшее, что звёзды состоят из тех же химических элементов, которые мы наблюдаем на Земле, имело огромное идеологическое значение. Оно ещё раз подтвердило одно из основных положений диалектического материализма об единстве материального мира. Интересно вспомнить при этом, что ещё совсем накануне изобретения спектрального анализа (в середине прошлого века) философ-идеалист Огюст Конт утверждал, что человеческое познание ограничено, и как на доказательство указывал на то, что человек никогда не узнает химического состава звёзд.

Развитие науки блестяще опровергло это в корне неверное утверждение Конта. Марксистский философский материализм исходит из того, что мир и его закономерности вполне познаваемы, что «...нет в мире непознаваемых вещей, а есть только вещи, ещё не познанные, которые будут раскрыты и познаны силами науки и практики»¹.

Атмосферы звёзд и Солнца отличаются от Земли по химическому составу главным образом тем, что в них преобладает водород. Теория внутреннего строения звёзд также требует, чтобы водорода в звёздах было не менее 35%. И в этой области полученные теорией выводы для внутренних частей звёзд совпадают с наблюдаемыми условиями в их атмосферах, так как спектральный анализ показывает, что в атмосферах звёзд водорода содержится более 35%.

Возраст Земли и Солнца

Следующим важным вопросом является вопрос о возрасте

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

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, такое же, каким его обоготворяли древние египтяне. Правда, человеческая история коротка по сравнению с возрастом Земли. Однако раскопки свидетельствуют, что эволюция органического мира протекала без перерывов, по крайней мере, в течение нескольких сотен миллионов лет. Это означает, что в течение этого времени светимость Солнца заметно не менялась. 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 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 ещё не было. Изучение пород земной коры позволило геофизикам определить возраст нашей планеты. Известно, что атомы так называемых радиоактивных — наиболее тяжёлых химических элементов: радия, урана, тория — распадаются самопроизвольно и превращаются при этом в атомы других химических элементов. Так, например, уран после ряда превращений образует радий. Радий, распадаясь, превращается 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 путём. За единицу времени распадается определённое количество атомов урана. Если в какой-нибудь горной породе содержится уран, то за время существования этой породы часть его атомов распалась и превратилась в конечном счёте 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 её образования.

Многие горные породы и минералы содержат уран и продукты его распада. Определяя отношение количества свинца к количеству ещё не распавшегося урана, геофизики установили, что самые

древние горные породы земной коры образовались около двух миллиардов лет назад. Таков, очевидно, возраст Земли.

Солнце не может быть моложе Земли. Исследования движений звёзд в нашей Галактике, а также движений различных звёздных систем по отношению друг к другу показывают, что наша звёздная система возникла, вероятно, значительно раньше, чем Земля. Следовательно, возраст Солнца и звёзд, во всяком случае, более двух миллиардов лет.

Попытки объяснить излучение Солнца

Если помножить излучаемую в течение года энергию Солнца, т. е. $12 \cdot 10^{40}$ эргов, на его предполагаемый возраст — более двух миллиардов лет, — то мы придём к выводу, что Солнце за время своей жизни излучило более $24 \cdot 10^{49}$ эргов.

Откуда же берётся такое чудовищное количество энергии? Может быть, Солнце горит, и то, что нам кажется солнечным диском, есть на самом деле грандиозный пожар? Это — наиболее простое и естественное объяснение, которое приходит в голову, когда начинаешь задавать себе вопрос об источниках солнечной энергии. Мысль эта весьма наивна, но тем не менее она долгое время существовала в различных видах. Однако как только мы поставим вопрос, что же горит на Солнце, т. е. какое вещество горит, так мы сейчас же убеждаемся, что полученное объяснение явно неудовлетворительно. Грамм лучшего угля при полном сгорании даёт только $3 \cdot 10^{11}$ эргов. Если бы Солнце состояло из чистого угля, то оно сгорело бы за время немного большее 3 тысяч лет, а ведь Солнце существует более 2 миллиардов лет. То же самое относится к любому виду топлива: сгорание любого из них не может объяснить даже стотысячной доли жизни Солнца.

Между прочим, даже самое понятие горения совершенно несовместимо с условиями, которые, как мы уже знаем, имеют место 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 Солнце настолько велика, что заставляет все сложные молекулы диссоциироваться, и

солнечное вещество является в основном механической смесью атомов чистых элементов.

Что же является источником энергии Солнца? Некогда 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 безнадежно.

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, причём 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 радиуса приблизительно на 0,0003%, или на 2 километра в 100 лет. Такое незначительное изменение радиуса могло бы остаться незамеченным в течение многих столетий, так что с точки зрения сравнения с наблюдениями всё обстоит благополучно. Однако расчёты показывают, что если даже Солнце было вначале бесконечно велико и затем сжималось до настоящих его размеров, то полный выход энергии был бы только 2.10^{47} эргов, т. е. в 1000 раз меньше энергии, действительно излучённой Солнцем. Сжатие под действием сил тяготения может иметь, и наверное имеет, место и на Солнце и на других звёздах, но не оно является главным источником энергии. Источник энергии Солнца должен быть во много раз более мощным.

Одно время выдвигалась гипотеза, что недра Солнца состоят из радиоактивных элементов, таких, как торий, уран, радий¹. Но и здесь имеется существенное возражение. Радий выделяет энергию

¹ Подробно о них см. ниже.

слишком быстро, так что радиовое Солнце существовало бы сравнительно недолго. Уран, наоборот, распадается медленно, но именно поэтому даёт относительно небольшой выход энергии в секунду. Если бы Солнце состояло целиком из урана, то оно светило бы во много раз слабее. Следовательно, радиоактивные источники энергии тоже не подходят, и это тем более, что элементы эти имеются 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 самых основах вещества, в незначительных по размерам атомных ядрах заложена громадная энергия. Энергия эта получила название атомной, или внутриядерной, энергии.

Успехи ядерной физики, изучение внутриатомной энергии и физических условий, необходимых для освобождения её, позволили астрофизикам решить вопрос об источниках энергии Солнца и других звёзд и составить представление о том, что происходит во внутренних частях небесных светил. Но чтобы разобраться в этом, нам придётся, оставив на некоторое время звёзды, заняться физикой атомного ядра.

Атомное ядро и его превращения

Атомы все построены из трёх основных, или, как их часто называют, элементарных частичек, из атомов же построена вся Вселенная. Частички эти — электрон, протон и нейтрон. Электрон — легчайшая частичка, известная нам в природе; $1097 \cdot 10^{24}$ электронов весят один грамм. Размеры электрона настолько малы, что понадобилось бы 500 миллиардов электронов, уложенных в ряд, чтобы составить обычную строчку в книжке. Электрон несёт на себе отрицательный электрический заряд. Протон является положительно заряженной частицей, по объёму он меньше электрона, но масса протона больше массы электрона в 1847 раз. Масса нейтрона близка к массе протона, и уже по названию «нейтрон» можно догадаться, что он не заряжен. Из этих трёх, как их иногда называют «кирпичей мироздания», построены все 92 элемента от наиболее лёгкого водорода до тяжёлого урана.

Атом состоит из центрального ядра и электронов, движущихся вокруг ядра чрезвычайно сложным образом. Атомное ядро построено из нейтронов и протонов, тесно упакованных и составляющих как бы единое целое. Ядро заряжено положительно. Чтобы атом в целом был нейтрален, необходимо, чтобы вокруг положительно заряженного ядра вращалось столько электронов, сколько в ядре

протонов. Так, например, атом водорода состоит из 1 протона и 1 электрона, у атома гелия ядро состоит из 2 протонов и 2 нейтронов. Вокруг этого ядра с зарядом в 2 единицы вращаются 2 электрона, а весь атом нейтрален. Число электронов в атоме называется его атомным числом Z ,

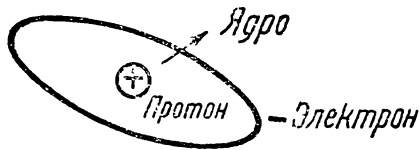


Схема атома водорода (ядро атома водорода — это протон).

число нейтронов и протонов — массовым числом A . У атома водорода $Z=1$ и $A=1$, для гелия $Z=2$, $A=4$. Атом урана состоит из ядра, построенного из 92 про-

тонов, 146 нейтронов и 92 внешних электронов. Следовательно, Z урана = 92, $A=238$. В ядерной физике, записывая химическое обозначение элемента, тут же указывают атомное и массовое число, например, ${}_1\text{H}^1$, ${}_2\text{He}^4$, ${}_{92}\text{U}^{238}$ и т. д. Наш великий соотечественник Менделеев ещё в 1869 г. распределил все известные в его время химические элементы в таблице. Таблица эта известна теперь во всём 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 ещё одна элементарная частица, во всех отношениях подобная электрону, но с положительным зарядом. Частица эта была открыта в 1933 г. и названа позитроном. 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 превращаются в 2 кванта света, 2 фотона.

Несмотря на то, что элементов всего 92, различных атомов в природе гораздо

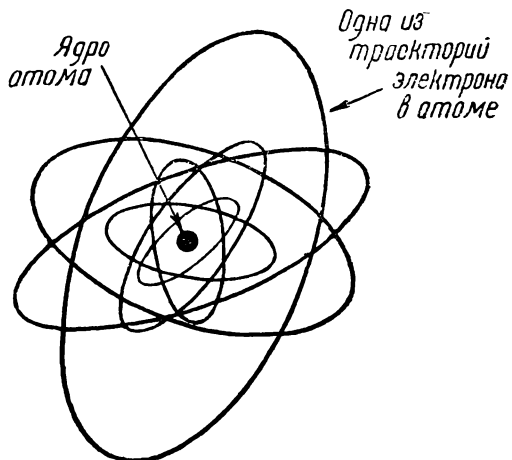


Схема строения атома с несколькими электронами.

больше. Если к атомному ядру прибавить 1 нейтрон, то заряд его от этого не увеличится, и атомный номер Z останется неизменённым. Изменится массовое число A , атом станет тяжелее на 1 единицу, и его вес теперь будет $A + 1$. Но поскольку не изменился заряд, то постоянным осталось и число электронов вокруг ядра, а так как эти внешние электроны определяют химические свойства атома, то эти свойства 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 приготовлена искусственно в лабораториях и в природе не найдена. Уран встречается в природе как смесь трёх 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 ${}_{92}\text{U}^{234}$ (с 142 нейтронами). Одним из наиболее интересных изотопов является изотоп водорода — тяжёлый водород или дейтерий. Ядро обычного водорода состоит из одного протона. Ядро дейтерия состоит из 1 протона и 1 нейтрона, т. е. тяжелее в 2 раза, но химические свойства их одинаковы. Вода, в молекулах которой обычный водород заменён тяжёлым, так называемая «тяжёлая вода», тяжелее обычной воды на 5%. Плавать в такой воде было бы гораздо легче. Тяжёлый водород D_2 играет большую роль в ядерной физике.

Атом сам по себе — чрезвычайно малая величина. Примерно 100 миллионов атомов, уложенных подряд, займут лишь 1 сантиметр. Но даже при таком ничтожном размере поперечник атома приблизительно в 10 тысяч раз больше поперечника атомного ядра. Как мы знаем, в солнечной системе объём, который занимают Солнце и окружающие его планеты, тоже ничтожен по сравнению с объёмом, занимаемым всей солнечной системой. Это, конечно, очень удивительная аналогия, но поперечник Солнца тоже примерно в 10 тысяч раз меньше, чем поперечник всей солнечной системы.

Химические свойства всякого элемента определяются атомными электронами, т. е. электронами, окружающими ядро атома. Можно сказать, что химики всегда имеют дело с внешним слоем атома и никогда не добиваются до его ядра. Так, химическая реакция, выражаемая формулой в виде $2\text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, означает, что 2 атома водорода, соединившись с кислородным атомом, дают в результате молекулу обыкновенной воды.

Но при этом ядра атомов водорода и кислорода, входящие в правую и левую части реакции, одинаковы, и химические свойства их не изменились. При атомных или ядерных реакциях ядра перестраиваются сами и, соединяясь, дают новый атом с совершенно новыми свойствами. Таким превращением одного вещества в другое в природе является радиоактивность.

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

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, вернее, атом урана, испытав ряд превращений, обращается в атом радия. Постепенно выбрасывая электроны, или α -частицы, радиоактивные элементы переходят друг в друга, пока не получится устойчивое вещество — свинец. Известны три радиоактивных ряда: один ведёт начало от урана, второй — от тория, третий — от элемента актиния.

Изучение радиоактивности показало, что атомы таят в себе огромные по сравнению со своей величиной запасы энергии. Энергия при радиоактивном распаде выделяется в виде быстро движущихся α - или β -частиц и γ -лучей. Откуда берётся эта энергия?

Ещё в начале нашего столетия Эйнштейн показал, что энергия неотъемлемо связана с материей и что материя всегда обладает энергией. Всякое тело, обладающее массой m , обладает также энергией, равной произведению его массы на квадрат скорости света: $E = mc^2$ (c — скорость света, равная 300 тысячам километров в секунду). Нельзя мыслить материю без энергии, а энергию без материи. 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 своё состояние. Всякое изменение состояния материи, переход материи из одной формы в другую неминуемо связаны с энер-

гией. Поэтому можно сказать, что энергия есть форма движения материи, где под словом «движение» мы будем понимать всякого рода изменения состояния материи. И из соотношения $E = mc^2$ мы видим, что величина массы тела m — мера количества энергии, связанной с этим телом.

Так как скорость света чрезвычайно велика, то из уравнения Эйнштейна видно, что превращение незначительной доли вещества может дать большое количество энергии. В самом деле, превращение 1 килограмма вещества, всё равно какого, будь то уголь, или масло, или пух, в энергию даст энергию в 25 миллиар-

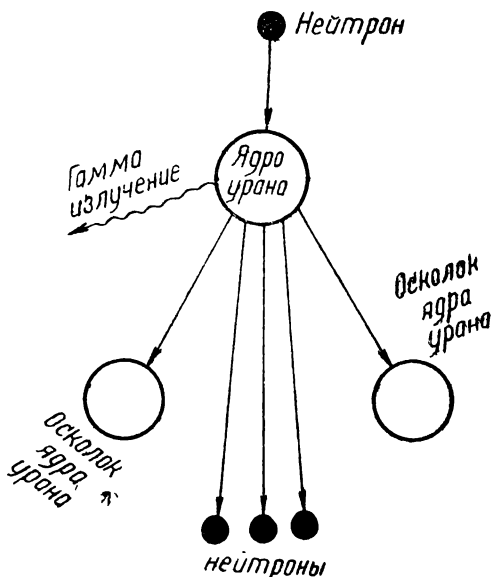


Схема деления ядра урана (${}_{92}\text{U}^{235}$).

дов квт/час, тогда как сжигание этого угля в обычной печи даст только 8,5 квт/час. Разница весьма ощутительная — в 3 миллиарда раз! При обычном сгорании масса угля почти не меняется, лишь преобразуется в дым, золу, пепел, при превращении же в энергию предполагается, что вся масса превращается в энергию. Кусочка угля величиной с напёрсток, если его целиком превратить в энергию, хватило бы для огромного океанского парохода на кругосветное путешествие, а этот напёрсток угля ничто по сравнению с тем громадным количеством топлива, которое понадобилось бы этому пароходу в обычных условиях.

При радиоактивном распаде происходит превращение совсем ничтожной доли массы в энергию (доли миллиграммов). Эта энергия в лаборатории измеряется, и можно подсчитать, насколько меняется масса атома при ядерной реакции.

Однако выделение энергии радиоактивными элементами в нормальных условиях протекает чрезвычайно медленно, и требуются чувствительные приборы, чтобы обнаружить её. Запас энергии радиоактивного ядра можно сравнить с озером, находящимся высоко в горах, из которого вода просачивается через узкое отвер-

стие со скоростью, скажем, одна капля в неделю. Естественно, что никому не придёт 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 и с атомной энергией. Физики, изучающие атомное ядро, старались найти способ освободить энергию, заложенную в ядре, расширить ей путь для выхода. И они добились успехов, одним из таких «водопадов» является атомная бомба, целиком основанная на использовании атомной энергии.

Открытие радиоактивности показало, что мечты средневековых алхимиков, стремившихся превратить искусственно простые элементы в золото, не совсем лишены основания. Золота, правда, не получается, но преобразование наиболее тяжёлых элементов — радия, урана, тория — наблюдается в природе. Раз такое преобразование оказывается в принципе возможным, то усилия физиков были направлены на получение ядерных преобразований и более лёгких элементов, чем радиоактивные, с помощью внешних воздействий. Теперь мы понимаем, что алхимики средних веков и не могли получить положительных результатов своих опытов, хотя и затрачивали на них большие деньги и много усилий. 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 её были тщетны. Это равносильно стремлению пробить железобетонную стену, бросая в неё грецкие орехи. В руках современных физиков имеются мощные средства бомбардировки атомов в виде быстрых нейтронов, протонов, электронов, α -частиц, γ -лучей и более тяжёлых частиц. Попасть в ядро атома заряженной частицей трудно, так как положительно заряженная частица отталкивается положительно заряженным ядром, а отрицательная частица — окружающими ядро отрицательными электронами. Наиболее подходящими снарядами являются нейтроны. Обстреливая нейтронами ядра различных элементов, было установлено, что обычно нейтроны поглощаются ядром. При этом, чтобы сохранить устойчивость, ядро испускает электрон (что означает превращение нейтрона ядра в протон) и превращается в ядро элемента с атомным номером и массовым числом, на единицу большим первоначального. Когда таким же

образом обстреляли ядро урана, наиболее тяжёлого из известных элементов, то оказалось, что ядро урана разлетается на две неодинаковые части, каждая из которых является ядром элемента с некоторым средним атомным весом, например, барием с весом 140 и криптоном — 94. При этом испускается огромное количество энергии и при каждом распаде — от 1 до 3 новых нейтронов. То обстоятельство, что при бомбардировке ядра урана 1 нейтроном вместе с продуктами распада образуются ещё 3 новых нейтрона, навело на мысль о цепной реакции. Если 1 нейтрон порождает 3, то 3 создадут 9, эти 9, в свою очередь, — 27, и реакция будет разрастаться почти мгновенно, выделяя огромную энергию. На этом явлении основан принцип атомной бомбы. Чтобы добиться цепной реакции на практике, учёным пришлось преодолеть много трудностей¹. Основные из этих затруднений следующие: распадается не обычно встречающийся уран U^{238} , а его редкий изотоп U^{235} . В природе эти изотопы встречаются в соотношении 139 : 1. Поэтому родившиеся при распаде ядра U^{235} нейтроны могут или разлететься в пространство, не встретив нового ядра U^{235} , или быть захвачены ядром U^{238} без распада, или быть поглощены примесями. Следовательно, встала задача — разделить урановые изотопы, предотвратить потерю нейтронов и найти материалы, не поглощающие нейтроны. Все эти затруднения были преодолены после больших усилий и затрат, и первая цепная ядерная реакция, созданная человеком, была получена в декабре 1942 года.

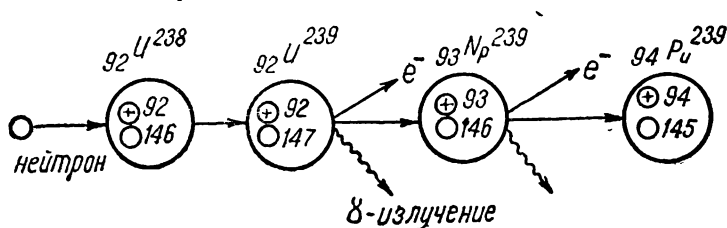
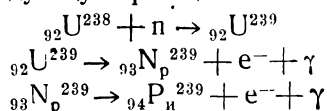


Схема образования новых элементов непутия и плутония (\oplus — протоны, \ominus — нейтроны).

Когда медленный нейтрон поглощается ядром U^{238} , образуется неустойчивый изотоп U^{239} , который через короткое время превращается в новый элемент — нептуний, с атомным номером 93 и весом 239. Этот новый элемент также неустойчив,

¹ Подробно об этом можно прочесть в книге Смита «Атомная энергия для военных целей».

половина его распадается в 2—3 дня. Испуская электроны, он превращается в ещё один новый элемент — плутоний, так что мы можем написать следующую реакцию:



Плутоний медленно превращается обратно в ${}_{92}\text{U}^{235}$, испуская α -частицу. Время полураспада составляет 24 года. В последнее время таблица Менделеева пополнилась ещё двумя новыми элементами — америцием ${}_{93}\text{Am}$ и кюрием ${}_{96}\text{Cm}$. Таким образом, за последние годы число известных нам элементов увеличилось с 92 до 96.

Плутоний имеет большое значение в современной ядерной физике, так как он так же раскалывается на 2 части, как и уран U^{235} . С другой стороны, он образуется из гораздо чаще встречающегося урана U^{238} , и его легче отделить от последнего.

К сожалению, в капиталистических странах ядерная энергия начала применяться впервые как разрушающее средство. Однако возможности, которые открывает перед человечеством применение атомной энергии для мирных целей, поистине необозримы.

Современный большой транспортный самолёт для дальнего перелёта весит 50 тонн в воздухе. Из них вес пустого самолёта составляет 20 тонн, 20 тонн весит горючее и лишь 10 тонн остаётся для полезной нагрузки. Если бы удалось снизить вес горючего до доли килограмма (а атомная энергия позволит это сделать), то грузоподъёмность такого самолёта значительно увеличилась бы. Применение атомной энергии делает реальной мысль о полёте на Луну и на другие планеты. Будущие межпланетные корабли, питаемые энергией атомного ядра, отправятся в межпланетное пространство исследовать новые миры.

В руках прогрессивного человечества атомная энергия позволит преобразовать поверхность Земли, не говоря уж о всём прочем. Пустыни, где нет ни водной энергии, ни топлива и где поэтому нет, по существу, цивилизованной жизни, с помощью использования атомной энергии можно будет превратить в цветущие города с многочисленным населением. Огромные возможности открываются перед медицинской наукой. Радиоактивные продукты распада являются ценными препаратами для излечения злокачественных опухолей и для изучения человеческого организма. Ещё многое осталось сделать; физикам и химикам при-

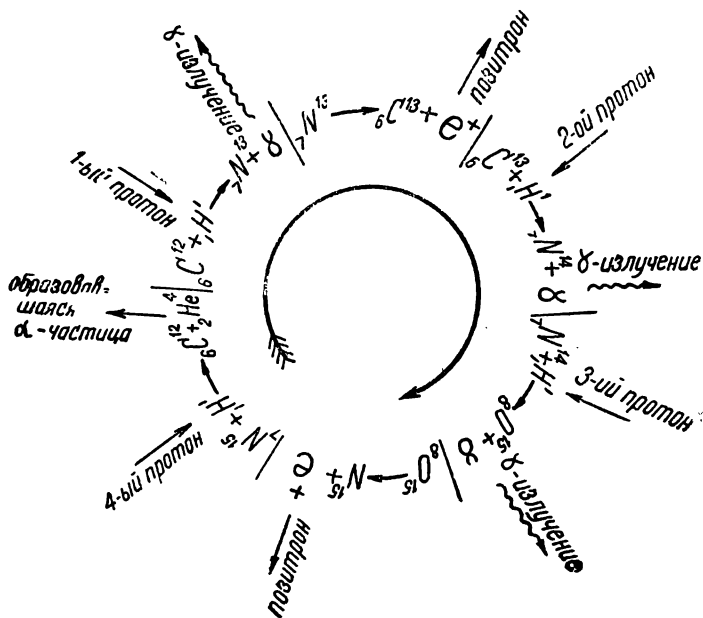
дётся ещё немало поработать, изучая эти ничтожно маленькие «кирпичи мироздания», в которых скрыты такие большие возможности. Но мы уже вступили в новую эру — в век использования атомной энергии.

Ядерные реакции — источник энергии Солнца и звёзд

Если мы вспомним всё, что говорилось вначале о том, что происходит в недрах звёзд и Солнца, и обратим внимание на то, что наиболее поразительной чертой является необычайно высокая температура в этих областях, температура, достичь которой в течение длительного времени в земных условиях невозможно, то само собой возникает вопрос, не могут ли внутри Солнца протекать ядерные реакции, которые и дают излучаемую им энергию. Известно, что почти все обычные химические реакции между молекулами протекают гораздо быстрее при повышении температуры. Если кусок дерева или угля начинает гореть, после того как он нагрелся до нескольких сот градусов в обычной печи, то почему вещество, нагретое до нескольких миллионов градусов внутри Солнца, не может «гореть» в ядерном смысле слова? Ответ на этот вопрос был найден в 1929 году. Было подсчитано, что при температурах порядка $20\,000\,000^\circ$ кинетическая энергия частиц настолько велика, что столкновения между отдельными частицами вещества в глубинах Солнца действуют так же разрушительно на ядра лёгких элементов, как в обычных лабораторных опытах действует бомбардировка этих ядер нейтронами или протонами. Надо ещё иметь в виду, что при таких больших температурах вещество внутри Солнца состоит из смеси во все стороны движущихся ядер и электронов, а не цельных атомов, — ядер, электронная оболочка которых почти полностью оторвана вследствие столкновений. Говорят в таком случае о полной ионизации атомов. В ужасной тесноте (большое давление!) носятся с огромными скоростями ядра, лишённые электронов, и освободившиеся электроны. Если какому-либо ядру и удаётся подхватить пролетающий мимо электрон и водворить его на причитающееся ему место в оболочке ядра, то это не надолго. Следующее же столкновение с другим ядром снова вырывает электрон и снова освобождает его, и так беспрерывно. Мы уже говорили, что поперечник атома в 10 тысяч раз больше поперечника ядра в центре его. Когда атом ионизован и осталось одно ядро, объём атома сильно уменьшился. В объёме,

где при нормальных условиях умещается несколько целых атомов, теперь уместятся тысячи искрошенных. Этим и объясняется, что внутри звёзд вещество имеет плотность бóльшую, чем плотность твёрдого тела, и всё же находится в газообразном состоянии. Так как в солнечном веществе много водорода, а ядро водорода — это протон, то при полной ионизации внутри Солнца имеется много быстрых протонов, которые, сталкиваясь с ядрами других элементов, преобразуют их, причём освобождается энергия. Следовательно, Солнце является огромной лабораторией, в которой при помощи ядерных реакций между протонами и ядрами лёгких элементов (лёгких потому, что для реакций с тяжёлыми элементами нужны ещё более высокие температуры) часть массы этих ядер превращается в энергию. Энергия эта и является причиной излучения Солнца и звёзд. Какие же, конкретно, реакции протекают в Солнце? В 1939 г. Бете рассмотрел все известные ядерные реакции и подсчитал, которые из них могут дать требуемый выход энергии в условиях солнечных недр.

Для этого пришлось перебрать все изученные в лаборатории ядерные реакции, рассчитать, какова вероятность их протекания при различных температурах и плотностях (в основном роль здесь играет температура, так как образование энергии при ядерных реакциях очень чувствительно к изменению температуры), и выбрать те, которые при условиях в центре Солнца могут не только дать необходимый выход энергии, но и обеспечить излучение Солнца в течение срока более 2 миллиардов лет. Оказалось, что источником энергии Солнца является не просто одно ядерное преобразование, а целый ряд таковых, связанных друг с другом. Основной особенностью этой реакции является то, что она замкнутая, или циклическая. Сейчас мы увидим, что это означает. Сталкиваясь с протоном, ядро обычного углерода ${}_{6}\text{C}^{12}$ превращается в лёгкий изотоп азота ${}_{7}\text{N}^{13}$, освобождая при этом часть энергии в виде γ -луча. 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 тяжёлый, 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 γ -излучение. Если теперь ядро ${}_{7}\text{N}^{14}$ столкнётся ещё с одним протоном, то возникнет неустойчивый изотоп кисло-



Углеродно-азотная циклическая реакция, протекающая в недрах Солнца и звёзд (в результате из 4 протонов образуется ядро гелия).

рода ${}_{8}^{15}\text{O}$, который быстро превращается в устойчивый изотоп азота ${}_{7}^{15}\text{N}$, испустив позитрон. Ядро ${}_{7}^{15}\text{N}$, захватив протон (уже четвёртый), раскалывается на две неравные части, одной из которых является ядро углерода ${}_{6}^{12}\text{C}$, т. е. такое же ядро, с которого мы начали реакцию, и на α -частицу, или ядро гелия ${}_{2}^{4}\text{He}$. Мы начали с ядра углерода и пришли снова к нему же. Поэтому реакция эта называется циклической. В результате полного цикла, т. е. всех 6 стадий, произошло образование ядра гелия из 4 протонов и освободилось некоторое количество энергии. Масса 4 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 четырём протонам превратиться в α -частицу. Химики называют вещество, ускоряющее реакцию, но не меняющееся само ни количественно, ни качественно, катализатором. При образовании энергии внутри Солнца и звёзд ядра углерода играют роль таких катализаторов.

Так как водорода 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. Подсчёты показали, что если считать, что углерода содержится в солнечном веществе около 1% (по весу), то циклическая реакция даст при $20\,000\,000^\circ$ (при температуре в центре Солнца) 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. Следовательно, реакция преобразования водорода в гелий с помощью ядер углерода даёт ответ на интересующий нас вопрос, что же является источником энергии Солнца. Источник этот — ядерные реакции, а энергия имеет внутриядерное происхождение. 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 даёт положительных результатов. Реакции протонов с более лёгкими элементами, чем кислород, с литием, бериллием, бором, протекают слишком быстро. При этом ядра этих элементов вновь не образуются, т. е. реакции эти не являются циклическими. Весь запас лёгких элементов в Солнце (а он, кстати, чрезвычайно мал) «исчерпанся» бы в течение 1000 лет. Наоборот, реакции протонов с более тяжёлыми элементами (кислород, натрий) протекают слишком медленно и дают мало энергии. Следовательно, ни те, ни другие не могут быть источником энергии Солнца и других звёзд.

Существует ещё одна реакция, которая также может служить источником энергии звёзд. Реакция эта — образование тяжёлого водорода — дейтерия. При столкновении 2 протонов один из них превращается в нейтрон и образует с другим ядро тяжёлого водорода. При этом испускается позитрон ${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_1\text{H}^2 + e^+$. Ядро тяжёлого водорода почти мгновенно вступает в реакцию с другим протоном, образуя лёгкий изотоп гелия с испусканием излучения ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + \gamma$. Лёгкий 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 ${}_4\text{Be}^7 \rightarrow {}_3\text{Li}^7 + e^+$. Это ядро лития, объединяясь с ещё одним протоном, даёт два ядра гелия ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow 2{}_2\text{He}^4$. (См. схему на стр. 27.) Таким образом,

дом, а горение в том смысле, что одно вещество превращается в другое). Следовательно, за время существования Солнца водород, содержащийся в его веществе, должен уменьшаться так же, как уменьшаются запасы дров, если мы ими топим печь. Что же произойдёт с Солнцем после того, как весь запас водорода в нём исчерпается? Не стоим ли мы перед опасностью, что наше Солнце — источник жизни на Земле — может вдруг погаснуть? На последний вопрос ответить легче, чем на первый. Нет, ни мы, ни наши внуки и пра-пра-правнуки не стоят перед такой опасностью. Излучать энергию Солнце сможет ещё много, много миллиардов лет. Достаточно сказать, что за всё время своего существования, т. е. более 2 миллиардов лет, Солнце израсходовало только 1% своего водородного запаса. Это за время более 2 миллиардов лет. А на сколько сотен миллиардов лет ещё осталось «топлива»!

Но пытливый человеческий ум хочет всё глубже проникать в будущее. Что же всё-таки произойдёт, когда через этот, пусть даже такой огромный, промежуток времени весь водород Солнца превратится в гелий? Думая об этом, пока мы можем строить лишь догадки. Возможно, что тогда Солнце начнёт сжиматься под действием силы тяготения, так что температура его внутренних частей повысится и начнут действовать другие реакции, скажем, между α -частицами и более тяжёлыми элементами, и наше Солнце сможет существовать в своём нормальном виде ещё сотни миллиардов лет. Возможно, что новые источники не появятся, Солнце начнёт медленно остывать и превратится в более холодную звезду. Современная наука пока ещё не может дать окончательного ответа на этот вопрос.

Но это не значит, что ответа этого не существует. Вспомним, что ещё 15 лет назад мы не могли удовлетворительно ответить на вопрос: отчего светится Солнце? Теперь происхождение солнечных лучей для нас уже не является загадкой. Наука движется вперёд огромными шагами, и возможно, что уже через несколько лет мы получим ответ и на интересующий нас вопрос о далёком будущем Солнца и нашей Земли.

Нам не следует бояться того, что через много, много лет погаснет Солнце. Пусть даже Солнце остынет и перестанет снабжать теплом и светом Землю. Будет ли это означать гибель человечества? Без сомнения, нет. Речь идёт ведь о миллиардах лет, а за это время наука и техника настолько шагнут вперёд, что человек найдёт способ компенсировать уменьшение притока солнечной

энергии. Мы видели, что расщепление атомного ядра даёт нам новый, ещё не виданный, чрезвычайно мощный источник энергии. Мы сейчас уже умеем создавать на Земле миниатюрные «солнца» и источники, испускающие лучи, схожие с солнечными. Это кварцевые лампы — «горное солнце», которое служит для лечебных целей и может содействовать росту растений. 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 неограниченны.



ЛИТЕРАТУРА К ЛЕКЦИИ:

1. **Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ.** О чём может рассказать луч света. Московский рабочий. 1946.
2. **В. ПРЯНИШНИКОВ.** Мир, в котором мы живём. Молодая гвардия. Л. 1947.
3. **П. В. ВОЙНИЛОВИЧ.** Солнце — источник жизни. Молодая гвардия. 1946.
4. **Э. Г. АНАНИАШВИЛИ.** Строение вещества. Молодая гвардия. 1946.
5. **Л. ГОЛЬДБЕРГ и Л. АЛЛЕР.** Атомы звёзд и туманности. Гостехиздат. 1948.

**ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ
И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ**

**В 1948 ГОДУ ВЫШЛИ В СВЕТ БРОШЮРЫ
(СТЕНОГРАММЫ ПУБЛИЧНЫХ ЛЕКЦИЙ)
ПО РАЗДЕЛАМ ИСТОРИИ, ФИЛОСОФИИ,
ГОСУДАРСТВА И ПРАВА:**

Кандидат исторических наук С. М. ПЕТРОВ.

Пятый том Сочинений И. В. Сталина.

Профессор Б. М. ВОЛИН.

Шестой том Сочинений И. В. Сталина.

А. К. АЗИЗЯН.

Седьмой том Сочинений И. В. Сталина.

Член-корреспондент Академии наук СССР П. Н. ПОСПЕЛОВ

**Партия Ленина—Сталина — руководящая и направляющая
сила советского общества.**

Член-корреспондент Академии наук СССР Л. А. ЛЕОНТЬЕВ

**Политическая экономия социализма в трудах Ленина и
Сталина.**

Кандидат философских наук А. Я. ЗИСЬ.

О коммунистической морали.

Профессор В. И. ДОКУКИН.

**Мировое значение Великой Октябрьской социалистической
революции.**

Профессор И. Т. ГОЛЯКОВ.

Демократизм советской избирательной системы.

Кандидат юридических наук И. Н. АНАНОВ.

Местные органы государственной власти в СССР.

Генерал-полковник юстиции В. В. УЛЬРИХ.

Общественность советских людей.

Кандидат философских наук А. М. СОВОЛЕВ.

О советском патриотизме.

Профессор М. А. ЛЕОНОВ.

Критика и самокритика — диалектическая закономерность развития советского общества.

А. ЛЕОНТЬЕВ.

«Манифест Коммунистической партии» и его всемирноисторическое значение.

Член-корреспондент Академии наук СССР П. Н. ФЕДОСЕЕВ.

«Манифест Коммунистической партии» Маркса и Энгельса и материалистическое понимание истории.

А. П. КОСУЛЬНИКОВ.

О книге В. И. Ленина «Две тактики социал-демократии в демократической революции».

Кандидат исторических наук М. П. СТЕПАНОВ.

О книге В. И. Ленина «Шаг вперёд, два шага назад».

Доктор философских наук В. М. ПОЗНЕР.

О книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм».

Профессор Г. М. ГАК.

О работе товарища Сталина «О диалектическом и историческом материализме».

Академик М. Б. МИТИН.

О работе И. В. Сталина «Анархизм или социализм?»

А. Г. ГРИГОРЕНКО.

О книге В. И. Ленина «Что делать?»

Кандидат исторических наук С. М. ПЕТРОВ.

Первый съезд РСДРП.

Академик М. Б. МИТИН.

Кризис буржуазной демократии.

Кандидат философских наук А. В. ВОСТРИКОВ.

Ленин и Сталин в борьбе за партийность философии марксизма.

Академик Г. Ф. АЛЕКСАНДРОВ.

Банкротство буржуазной социологии.

Доктор философских наук В. Э. БЫХОВСКИЙ.

Американский персонализм в борьбе против науки и общественного прогресса.

ПО РАЗДЕЛУ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Академик В. Н. ОБРАЗЦОВ.

Тридцать лет советского транспорта.

Доктор экономических наук А. А. ЗВОРЫКИН.

Техническое перевооружение народного хозяйства СССР
за 30 лет.

Профессор Б. М. ТЕПЛОВ.

Советская психологическая наука за 30 лет.

Профессор А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ.

Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935).

Профессор Я. Я. РОГИНСКИЙ.

Новые теории происхождения человека.

Профессор А. Г. ЛОРХ.

Культура картофеля.

Профессор Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ.

Успехи советской астрономии.

Профессор В. А. НЕГОВСКИЙ.

Восстановление жизненных функций организма.

Член-корреспондент Академии наук СССР В. П. ВОЛОГДИН.

Токи высокой частоты и их применение в промышленности.

Доктор физико-математических наук Н. А. КАПЦОВ.

Павел Николаевич Яблочков — слава и гордость русской
электротехники.

Профессор Н. И. ГРАЩЕНКОВ.

Вирусные заболевания нервной системы.

Профессор Б. П. ТОКИН.

Целебные вещества растений (фитонциды).

Профессор В. И. КАЗАНСКИЙ.

Успехи советской онкологии (рак и борьба с ним).

Профессор А. А. НИЧИПОРОВИЧ.

О фотосинтезе растений.

Профессор Г. Ф. ГАУЗЕ.

Проблема антибиотиков в советской медицине (пенициллин,
граммицидин, стрептомицин и другие лекарственные вещества
нового типа).

Профессор П. Г. СЕРГИЕВ.

Новое в предупреждении и лечении малярии.

Академик Н. В. ЦИЦИН.

Пути создания новых культурных растений (отдалённая гибридизация).

Член-корреспондент Академии наук СССР А. Б. ЧЕРНЫШЕВ.

Новые способы переработки твёрдого топлива.

Член-корреспондент Академии наук СССР А. Л. МИНЦ.

Достижения советской радиотехники за 30 лет.

Академик И. И. АРТОВОЛЕВСКИЙ.

Успехи советской теории механизмов и машин.

Академик Л. С. БЕРГ.

Байкал, его природа и значение в народном хозяйстве.

Действительный член Академии медицинских наук Л. А. ЗИЛЬБЕР.

Микробы, токсины и ультравирусы.

Кандидат физико-математических наук В. Н. ВЕРЦНЕР.

Электронный микроскоп и его применение.

Профессор В. А. ГИЛЯРОВСКИЙ.

О взаимоотношении соматического и психического в медицине.

Академик К. М. БЫКОВ.

Современные представления о передаче нервного процесса.

Профессор А. И. НЕСТЕРОВ.

Новое в лечении ревматизма и болезней суставов.

Доктор биологических наук К. С. СУХОВ.

О происхождении вирусов.

Доктор биологических наук, профессор А. Н. СТУДИТСКИЙ.

Современные проблемы регенерации (восстановление утраченных органов и тканей).

Профессор А. А. СМОРОДИНЦЕВ.

Грипп и борьба с ним.

Кандидат биологических наук В. В. САХАРОВ.

Пути создания новых форм растений (полиплоидия в эволюции и селекции).

Профессор Ю. В. РАКИТИН.

Ростовые вещества и их применение в растениеводстве.

Член-корреспондент Академии наук СССР Д. Н. НАСОНОВ.

О природе возбуждения.

Член-корреспондент Академии наук СССР Б. Н. ДЕЛОНЕ.

Математика и её развитие в России.

Профессор Л. А. ЗЕНКЕВИЧ.

Моря СССР и их фауна.

Действительный член Академии наук Армянской ССР

Х. С. КОШТОЯНЦ.

Русская физиологическая школа и её роль в развитии мировой науки.