

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ



С.М. ФЕЙНБЕРГ

АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

23

1961

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ

Доктор физико-математических наук
лауреат Ленинской премии

С. М. ФЕЙНБЕРГ

Атом и Атомное Ядро

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЗНАНИЕ“
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний

Москва

1962

Брошюра «Атом и атомное ядро» представляет собой теоретическую часть работы о строении атома доктора физико-математических наук, лауреата Ленинской премии С. М. Фейнберга. В брошюре популярно рассказывается о строении атома и атомного ядра, об истории открытия нейтронов, цепной ядерной реакции. Читатель узнает, что служит источником энергии, которую звезды неустанно излучают в космическое пространство в виде тепла и света; получит краткие сведения о применении атомной энергии в различных отраслях науки и техники.

РАСЩЕПЛЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

В течение XIX столетия физика сделала крупные шаги вперед. Был доказан закон сохранения энергии при превращениях вещества, выяснены механизмы передачи и рассеяния тепловой и лучистой энергии.

В конце XIX и начале XX столетий наука вплотную подошла к вопросу, откуда черпают звезды, в частности наше Солнце, энергию, которую они в форме тепла и света неустанно излучают в космическое пространство.

Ключ для решения был найден не в загадочных глубинах вселенной, а в тиши физических лабораторий при изучении строения мельчайших невидимых элементарных частиц материи — атомных ядер.

В конце XIX века трудами многих знаменитых ученых в физике утвердилось атомная теория строения вещества. Все тела состоят из атомов — простейших составляющих материи. На земле встречаются 90 различных видов атомов. Самый легкий — водород и самый тяжелый из них — уран.

В начале XX века было сделано еще одно замечательное открытие: атомы вовсе не простейшие элементарные частицы, а сложные образования, состоящие из электронов и атомных ядер.

Электрон — отрицательно заряженная мельчайшая частица вещества, удерживаемая в атоме электрическими силами притяжения к атомному ядру. Атомное ядро — положительно заряженная частица материи. Заряд ядра равен числу электронов. Следовательно, атом в целом

нейтрален, т. е. отрицательный заряд электронов компенсирован положительным зарядом атомного ядра. Было обнаружено, что почти вся масса атома определяется массой атомного ядра; в простейшем атоме водорода содержится один электрон, масса которого почти в 1840 раз меньше массы ядра атома водорода — простейшего атомного ядра, называемого протоном.

Строение атома напоминает строение солнечной системы: в центре расположено тяжелое положительно заряженное атомное ядро, которое электрическими силами притягивает сравнительно далеко расположенные отрицательно заряженные электроны, вращающиеся вокруг ядра. Размер атома около 10^{-8} см, а размер атомного ядра около 10^{-12} см. Таким образом, атом почти пуст, так же как почти пуста солнечная система.

Для того чтобы оторвать электрон от атома, надо ударить по атому с такой силой, чтобы преодолеть силы притяжения электрона к атомному ядру.

Как же ударить атом? Очень просто: надо столкнуть между собой два атома или же направить пучок электронов на атомы. Соударяясь с атомами мишени, электроны пучка будут вырывать электроны из атомов. Оказывается, что необходима затрата совершенно определенной порции энергии, чтобы вырвать электрон из атома. Согласно закону сохранения энергии, следует назвать эту порцию энергии энергией связи электрона в атоме; эта энергия называется также энергией ионизации атома, потому что, оторвав отрицательный электрон от атома, мы образуем положительно заряженный остаток, называемый ионом. Для каждого электрона каждого атома энергия связи — энергия ионизации — совершенно определенная величина; например, для отрыва электрона от атома водорода нужно затратить 13,54 эв энергии. Когда физики научились отрывать электроны от атомов, они задумались над вопросом: нельзя ли подобным образом, очень сильно ударяя по ядру, разбить его, т. е. проникнуть в тайну его внутренней структуры? И вот в 1919 году знаменитый английский физик Резерфорд направляет поток α -частиц радия на мишень, содержащую атомы азота. Падая на атом, эти мощные частицы расталкивают электроны во внешних частях атома и проникают к самому центру — атомному ядру, нанося последнему сокрушительные удары. При сближении двух

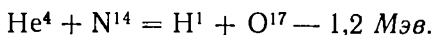
атомных ядер гелия и азота, поскольку оба эти ядра имеют положительный электрический заряд, возникают электрические силы отталкивания, сопротивляющиеся сближению сталкивающихся ядер. Если энергия налетающего ядра гелия достаточно велика, то последнее преодолевает силу сопротивления отталкивания, так называемый потенциальный барьер, и сближается с ядром азота.

Проникнув внутрь ядра азота, ядро гелия вызывает процесс, называемый расщеплением атомного ядра. Сущность этого процесса сводится к ядерному превращению, т. е. вместо двух начальных ядер гелия и азота образуются новые атомные ядра водорода и кислорода.

Итак, в 20-х годах нашего столетия физики реализовали древнюю мечту алхимиков, безуспешно стремившихся найти «философский камень», способный превращать элементы один в другой.

В последующие годы физики научились вызывать аналогичные ядерные превращения у любых атомных ядер; для этого надо лишь подобрать подходящее налетающее ядро и придать ему должную энергию. Описанные ядерные превращения называют ядерными реакциями, аналогично реакциям химическим.

Символическая запись ядерных реакций делается подобно химической формуле превращения. Например, описанная выше реакция гелий + азот запишется так:



He — обозначение атомного ядра гелия, совпадающее с химическим символом элемента.

Соответственно N, H и O обозначают атомные ядра азота, водорода и кислорода.

Цифры 4, 14, 1 и 17 наверху справа символов ядер указывают атомный вес атомного ядра.

Следовательно, атом He^4 вчетверо тяжелее атома водорода H^1 ; атом азота N^{14} в четырнадцать раз тяжелее атома водорода H^1 .

Закон сохранения энергии выражается тем, что число 1,2 Мэв есть разница энергии связи атомных ядер $\text{He}^4 + \text{N}^{14}$ и $\text{H}^1 + \text{O}^{17}$. Эта реакция идет с поглощением энергии, на что указывает знак минус перед числом 1,2 Мэв.

Для химической реакции величина выделившейся или поглощенной энергии измеряется несколькими электрон-

вольтами. В ядерной реакции выделяется или поглощается несколько миллионов электрон-вольт энергии. Это объясняется тем, что энергия связи химических соединений измеряется десятками и сотнями электрон-вольт, а энергия связи атомных ядер — десятками и сотнями миллионов электрон-вольт. Поэтому ядерные превращения ведут к выделению или поглощению в миллионы раз большего количества энергии, чем химические превращения одинакового количества вещества.

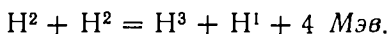
Уже в самом начале изучения атомных ядер было установлено, что для данного химического элемента, например для водорода, в природе существуют атомные ядра, имеющие одинаковые заряды (для водорода $+1$) и разные атомные веса, т. е. разные массы, кратные целым числам; помимо водорода H^1 встречается водород H^2 , атомы которого вдвое тяжелее атомов H^1 . Это хорошо известный ныне тяжелый водород, называемый также дейтерием. Он часто обозначается буквой D .

Разные по массе ядра одного и того же химического элемента, т. е. имеющие одинаковые заряды, получили название изотопов.

Оказалось, что у большинства элементов, хотя далеко не у всех, имеется по два или больше изотопов. К примеру, газ фтор F^{19} одноизотопен, а металл молибден имеет целых 7 изотопов — Mo^{92} , Mo^{94} , Mo^{95} , Mo^{96} , Mo^{97} , Mo^{98} , Mo^{100} .

До сих пор речь шла об устойчивых, т. е. нерадиоактивных изотопах. Впоследствии было обнаружено, что радиоактивные изотопы могут быть получены в результате атомной бомбардировки у любых элементов. Тот же F^{19} , подвергнутый бомбардировке дейтронами, позволяет получить радиоактивный изотоп F^{20} .

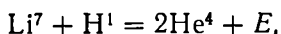
Бомбардируя тяжелый водород атомами того же тяжелого водорода, получаем ядерную реакцию, имеющую большое значение для возможности реализации широко рекламируемой термоядерной реакции:



При этом получаем новый, радиоактивный изотоп водорода H^3 , втрое более тяжелый, нежели обычный водород, и называемый тритием.

Если бы мы произвели очень точные измерения масс изотопов до столкновения и после ядерной реакции, то

обнаружили бы замечательный факт, предсказанный знаменитой теорией относительности Эйнштейна в 1905 году,—эквивалентность массы и энергии. Рассмотрим для примера реакцию $\text{Li}^7 + \text{H}^1$. Баланс этой реакции, ее формулу запишем в виде



где E — энергия, выделяемая в реакции.

Пусть массы изотопов, участвующих в реакции, есть $m(\text{Li}^7)$, $m(\text{H}^1)$, $m(\text{He}^4)$, тогда оказывается, что сумма масс изотопов до реакции, умноженная на квадрат скорости света c^2 , равна сумме масс изотопов после реакции, также умноженной на c^2 , плюс энергия реакции E :

$$[m(\text{Li}^7) + m(\text{H}^1)]c^2 = 2m(\text{He}^4)c^2 + E.$$

Эту формулу можно записать в другом виде:

$$\{[m(\text{Li}^7) + m(\text{H}^1)] - 2m(\text{He}^4)\} c^2 = E.$$

Следовательно, эквивалентность массы и энергии означает, что изменение (убыль) массы при ядерной реакции, умноженное на квадрат скорости света, количественно равно выделившейся энергии. Иными словами, исчезнувшая масса пропала не бесследно, а породила точно определенное количество энергии.

Итак, смысл закона эквивалентности массы — энергии сводится к закону превращения массы в энергию и обратно: при превращении массы m в энергию образуется энергия E , равная mc^2 , и наоборот, при превращении энергии E в массу образуется масса m , равная E/c^2 .

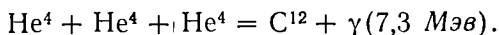
Конечно, превращение массы в энергию или обратно происходит только при определенных условиях, которые не рассматриваются в законе эквивалентности. Но если превращение почему-либо произошло, то всегда точно удовлетворяет знаменитому закону.

В приведенных выше реакциях освобождаемая энергия выделяется в форме кинетической энергии, т. е. продукты реакции разлетаются с большой скоростью.

Во многих других ядерных реакциях энергия превращения выделяется непосредственно в форме излучения.

Например, если три ядра гелия столкнутся одновременно, как это, вероятно, происходит в центре звезд, на-

зываемых красными гигантами, то образуется ядро изотопа углерода-12. Энергия превращения в 7,3 Мэв выделяется в форме гамма-квантов излучения по реакции:



Это излучение обладает громадной проникающей способностью: с его помощью, например, можно «просвечивать» стальные отливки метровой толщины. Проходя через вещество, оно ионизирует последнее, разлагая также химические соединения на их составные части. Попадая на живую ткань в достаточно больших дозах, жесткое излучение вызывает различные нарушения нормальной жизнедеятельности, называемые лучевой болезнью.

ОТКРЫТИЕ НЕЙТРОНА

В 1930 году немецкими физиками Бёте и Беккером было обнаружено, что частицы, испускаемые радиоактивным полонием, падая на бериллий или бор, вызывают сильное проникающее излучение.

Вначале это излучение было истолковано как гамма-излучение, возникающее при ядерной реакции. Ирен Жолио-Кюри показала, что это излучение обладает большей проникающей способностью, чем другие, в то время известные виды гамма-радиоактивности. Супруги Жолио-Кюри обнаружили далее, что это излучение способно выбивать протоны из вещества, содержащего водород. Таково было положение вопроса, когда этим занялся английский физик Чедвик.

Чедвик предположил, что обнаруженный вид излучения представляет собой поток новых для науки нейтральных частиц — нейтронов, не имеющих электрического заряда. Эти частицы теоретически ожидалось еще Резерфордом, но экспериментально не были обнаружены последним.

Вслед за тем Чедвик поставил ряд экспериментов, совершенно определенно показавших, что это проникающее излучение состоит из нейтронов и что масса нейтронов почти такова же, как масса протонов. Более поздние и более точные измерения показали, что масса нейтрона больше массы протона на 0,0014.

Открытие нейтрона имело огромное значение для ядерной физики и повлекло за собой далеко идущие

следствия в области практического использования атомной энергии.

Нейтроны, не имеющие электрического заряда, легко проникают в вещество, поскольку они не взаимодействуют (точнее говоря, очень слабо взаимодействуют) с электрически заряженными электронами и атомными ядрами, образующими вещество.

Для нейтрона, упавшего на атом, последний действительно почти пуст. Только приблизившись почти вплотную к атомному ядру, нейтрон начинает взаимодействовать с последним. Это взаимодействие вызывается не электрическими силами, а силами нового рода, которые называются ядерными силами, силами, действующими между нуклонами.

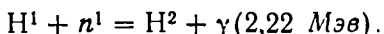
Вследствие сил электрического отталкивания к атомному ядру могут приблизиться только те заряженные частицы, которые имеют энергию в несколько *Мэв*. Наоборот, не встречая электрических сил отталкивания, самые медленные нейтроны свободно подходят вплотную к атомному ядру и легко вступают во взаимодействие, т. е. в ядерную реакцию. Медленные нейтроны вызывают ядерную реакцию почти на всех атомных ядрах.

В 1934 году итальянский ученый Ферми обнаружил, что, помещая вблизи источника нейтронов парафин или воду (вещества, содержащие водород), можно значительно увеличить эффект взаимодействия нейтронов с веществом. Это объясняется замедлением нейтронов. Быстрые нейтроны, сталкиваясь с ядрами водорода, теряют часть своей энергии и после нескольких таких столкновений становятся сравнительно медленными. Вероятность ядерной реакции большинства атомных ядер увеличивается при уменьшении энергии налетающего нейтрона. Напомним читателю еще раз, что вероятность ядерной реакции атомного ядра с медленной заряженной частицей практически равна нулю. Если бы это было не так, то ядерные реакции происходили бы в огромном числе при обычных, окружающих нас условиях существования материи, чего, как мы знаем из нашего повседневного опыта, не бывает.

Приведем хотя бы три примера ядерной реакции, вызываемой нейтронами.

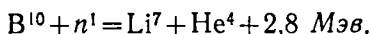
Нейтрон при соударении с протоном—ядром водорода, в большинстве случаев, как мы уже говорили, замедляет-

ся и рассеивается. Но иногда, с определенной, хотя и небольшой, вероятностью, он вступает в ядерное взаимодействие и вызывает ядерную реакцию



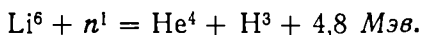
Результатом этой ядерной реакции, как мы видим, является образование ядра тяжелого водорода—дейтерия и гамма-кванта с энергией в 2,22 Мэв.

При соударении медленного нейтрона с изотопом бора-10 возникает ядерная реакция, идущая по формуле



т. е. образуется изотоп лития-7 и ядро гелия (α -частица). Продукты реакции разлетаются с большой скоростью, кинетическая энергия разлета достигает 2,8 миллиона электрон-вольт.

Интересной является ядерная реакция, идущая по формуле



В этой реакции изотоп лития-6, соединившись с нейтроном, образует атомное ядро гелия и атомное ядро сверхтяжелого водорода H^3 , называемого тритием. Разница энергии связи реализуется в форме кинетической энергии разлета продуктов ядерной реакции.

Проникающая способность нейтронов, особенно быстрых, очень велика. Нейтроны, имеющие энергию около 3 Мэв, проникают в заметных количествах через бетонные стены толщиной в 2 м.

Попадая в тело человека или животного, нейтроны вызывают очень сильную биохимическую реакцию, ведущую к распаду тканей.

СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Масса атомного ядра равна сумме масс протонов и нейтронов.

Число протонов в ядре равно положительному заряду атомного ядра: оно совпадает с номером элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

Число нейтронов равно разности между атомным весом (A) и числом протонов (Z): число нейтронов равно нулю в самом легком атомном ядре — ядре водорода H^1 , который состоит из одного протона. По мере возрастания атомного веса в ядре появляются нейтроны, и число их возрастает несколько быстрее, чем число протонов. У легких ядер, начиная с гелия, число нейтронов равно числу протонов. Приблизительно после фосфора число нейтронов в атомных ядрах начинает превышать число протонов. Для атомных ядер элементов из середины таблицы Менделеева число нейтронов на 15—20 больше, чем число протонов. Для элементов из конца таблицы Менделеева избыток числа нейтронов над числом протонов превышает 50.

Соотношение между числом нейтронов и протонов в атомных ядрах определяется условиями устойчивости: если это соотношение изменить, например добавить к атомному ядру несколько новых нейтронов или протонов, то атомное ядро станет неустойчивым — радиоактивным и будет испускать излучение до тех пор, пока не превратится в устойчивое ядро.

Строение атомного ядра долгое время оставалось загадочным. И сейчас многие детали его строения далеко еще не получили полного объяснения. Крупный шаг в понимании основных закономерностей ядра был сделан знаменитым датским физиком Бором в 1936 году.

Бор предложил так называемую капельную модель ядра. Известный советский физик Я. И. Френкель также много сделал для обоснования этой модели.

Представьте себе глубокую тарелку, на дне которой находятся Z черных и N белых шаров одинаковой величины. Черные шары будут изображать собой протоны, а белые — нейтроны. Все шары находятся в непрерывном движении — они сталкиваются между собой и, ударяясь о борта тарелки, возвращаются обратно на ее дно. Борта тарелки имитируют потенциальный барьер, препятствующий нуклонам разлетаться во все стороны. Протоны имеют положительный электрический заряд и отталкиваются друг от друга, находясь даже на больших расстояниях.

Нейтроны электрически нейтральны и взаимодействуют с другими нуклонами только тогда, когда расстояние

между ними мало: эти силы взаимодействия называются ядерными.

Если бы в ядре были только одни протоны, то вследствие электрического отталкивания они все разлетелись бы в разные стороны, потому что ядерных сил притяжения между ними было бы недостаточно. Нейтроны с помощью своих короткодействующих ядерных сил притяжения связывают протоны внутри атомного ядра. Устойчивое состояние возникает тогда, когда число нейтронов как раз достаточно для преодоления отталкивающих электрических сил протонов. Предположим, что ядро находится в стационарном устойчивом состоянии. Это не значит, что внутри ядра нуклоны неподвижны. Наоборот, они находятся в неустанном движении. Но это движение ограничено пределами потенциального барьера — бортами тарелки. Пусть извне на ядро падает ядерная частица, например протон. Если энергия (скорость) протона недостаточно велика, то он не сможет преодолеть (перескочить) потенциальный барьер и отскочит от него, т. е. произойдет рассеяние. Если энергия протона достаточна для преодоления барьера, то он преодолет эту преграду и проникнет внутрь ядра, т. е. окажется на дне тарелки. Возникает новое состояние ядра. Это новое состояние называется возбужденным в отличие от прежнего стационарного. Дело в том, что вновь образованное ядро, содержащее теперь $A+1$ нуклонов, имеет избыток энергии против той, которая соответствует стационарному атомному ядру, содержащему в себе такое же число ($A+1$) таких же нуклонов.

Этот избыток энергии проявляется в том, что нуклоны в возбужденном ядре движутся в среднем несколько быстрее, чем в стационарном. Среди непрерывных столкновений, происходящих между нуклонами, случайно возникают такие ситуации, когда какой-либо нуклон, находящийся вблизи от борта тарелки, приобретает большую скорость, достаточную для того, чтобы преодолеть барьер. Таким образом, возбужденное ядро может перейти в стационарное состояние, испустив один из нуклонов. Другая возможность избавиться от лишней энергии — энергии возбуждения — заключается в испускании гамма-кванта: электрически заряженные протоны взаимодействуют с электромагнитным полем излучения вокруг ядра и способны породить такой гамма-квант.

Еще при первых наблюдениях Ферми взаимодействия нейтронов с ядрами урана было замечено появление большого количества радиоактивных ядер. Однако природа этих ядер оставалась неизвестной. В 1938 году немцам Гану и Штрассману, проводившим трудоемкие и тщательные исследования по радиохимическому разделению получаемых радиоактивных ядер, удалось сделать поразительное открытие: вновь образованные вещества вовсе не близки по заряду ядра к урану, что считалось само собой разумеющимся; наоборот, это элементы, расположенные в середине периодической системы Менделеева. Австрийские физики Фриш и Мейтнер объяснили эти факты как процесс совершенно нового типа — деление ядра.

Вначале теоретики были весьма озадачены, но вскоре сообразили, что эффект деления ядра следовало ожидать на основании той самой капельной модели ядра, которая ими была развита раньше. Уже в 1939 году советский ученый Я. И. Френкель опубликовал теорию деления ядра и почти одновременно Нильс Бор и Уилер также рассмотрели этот вопрос.

При падении нейтрона на тяжелое атомное ядро, лежащее на границе устойчивости, он проникает внутрь ядра мишени, и вновь образованное ядро $A+1$, как мы знаем, приходит в возбужденное состояние. Однако в отличие от возбужденного состояния на ядрах, далеких от границы устойчивости, появляется новая возможность: возбужденное ядро приходит в состояние сильных колебаний формы, в результате которых оно может распасться на две неравные части; осколки относятся по массе примерно как 2 : 3.

В качестве продуктов деления образуются, например, следующие пары: бром-лантан; рубидий-цезий; стронций-ксенон; иттрий-йод; цирконий-теллур; ниобий-сурьма и т. д.

Осколки деления разлетаются с большой скоростью, и их кинетическая энергия достигает 170 Мэв.

В ядрах урана-238 отношение числа нейтронов к числу протонов составляет $146 : 92 = 1,59 : 1$. В стабильных изотопах продуктов распада это отношение значительно меньше, например у рубидия-85 оно равно $48 : 37 =$

= 1,30 : 1. Следовательно, осколки вначале имеют существенный избыток нейтронов по сравнению со стабильными ядрами той же массы. Поэтому неустойчивые, пересыщенные нейтронами ядра испытывают радиоактивный β -распад, т. е. они испускают электроны. При каждом испускании электрона один из нейтронов превращается в протон, и заряд ядра возрастает на единицу. При этом соотношение между числом нейтронов и числом протонов убывает и приближается к значению, соответствующему стабильному состоянию атомного ядра с данной массой. Нетрудно заметить, что для того, чтобы уменьшить соотношение числа нейтронов к числу протонов с 1,59 до 1,30, необходимо, чтобы в каждом осколке около 4 нейтронов превратились бы в 4 протона. Поэтому осколки деления порождают целые цепочки из 4—6 последовательных превращений, прежде чем они перейдут в стабильное состояние.

ОТКРЫТИЕ ЦЕПНОЙ ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

Но, быть может, самым замечательным, с точки зрения возможности практического использования атомной энергии, было открытие испускания быстрых нейтронов в процессе деления ядра.

При начале разлета осколков из них вылетает несколько быстрых нейтронов, имеющих энергию в среднем около 2 Мэв.

Как только в 1939 году стал известен факт существования нейтронов деления и стало известно, что их число больше 2, немедленно многие физики поняли, что существуют условия для развития цепной ядерной реакции деления и высвобождения при ее посредстве огромного резервуара внутриатомной энергии.

Одними из первых высказали эту мысль выдающиеся советские ученые И. В. Курчатов, Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон, опубликовавшие в том же 1939 году статьи, в которых давалось принципиальное обоснование ядерного реактора.

Что такое цепной ядерный процесс?

Представим себе очень большой кусок делящегося изотопа, например сферическое тело, сделанное из урана-235. Допустим, что в нем нет нейтронов, кроме одного единственного. Этот нейтрон войдет во взаимодействие с каким-либо ядром урана-235 и вызовет в нем деление.

Тогда, как мы знаем, образуется V новых нейтронов. С каждым из них может произойти то же, что и с первым. Так как новых нейтронов уже не один, а V , то в третьем поколении образуется уже V^2 нейтронов.

Каждое предыдущее поколение нейтронов будет сменяться последующим, причем число нейтронов в этом следующем поколении будет в V раз больше, чем в предыдущем.

Это лавинообразное, степенное нарастание и называется цепным ядерным процессом.

На самом деле цепной процесс развивается не столь быстро по двум причинам: во-первых, не каждый захват нейтрона сопровождается делением; во-вторых, вследствие ограниченности размеров делящегося тела часть нейтронов вылетает наружу и таким образом теряется для цикла воспроизводства нейтронов.

Как только эти факты стали известными и их практическое значение было оценено, во всех странах всякие публикации и исследовательские работы по ядерным реакторам были тщательно засекречены. Под покровом тайны развернулось напряженное соревнование, подстегиваемое начавшейся второй мировой войной.

В 1942 году вблизи Чикаго знаменитый итальянский физик Ферми «зажег» первую цепную ядерную реакцию.

Вскоре И. В. Курчатов «зажег» первую на континенте Евразии цепную ядерную реакцию. Атомная эпоха началась.

ОТКУДА ЧЕРПАЮТ ЭНЕРГИЮ ЗВЕЗДЫ?

Можем ли мы теперь ответить на вопрос — откуда черпают звезды, в частности наше Солнце, энергию, которую они в форме тепла и света неустанно излучают в космическое пространство?

Известно, что Солнце ежесекундно испускает энергию излучения, равную $0,9 \cdot 10^{23}$ ккал. В земных условиях для получения такой энергии надо сжечь $0,8 \cdot 10^{16}$ т нефти. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{27}$ т. Следовательно, если бы энергия Солнца была химического происхождения, то ее запас был бы истрачен в течение $0,8 \cdot 10^4$ лет. Можно допустить, что энергия Солнца имеет другой источник — гравитационный, т. е. энергию, освобождаемую при сжатии тяготеющих масс.

Запасы гравитационной или химической энергии Солнца обеспечили бы его действие в продолжении менее 10^6 лет. На самом деле Солнце безостановочно «работает» уже несколько миллиардов лет.

То, что верно для Солнца, верно и для бесчисленных миллиардов других солнц — видимых звезд, заполняющих нашу вселенную до границ космоса, которых достигает взор человека, тысячекратно усиленный гигантскими телескопами.

Откуда же черпают звезды эти огромные запасы энергии?

Изучая строение звезд и Солнца, астрономы — точнее говоря астрофизики — установили, что внутри звезд должны существовать огромные температуры и давления, достигающие до десятков миллионов градусов и миллиардов атмосфер.

Вследствие высоких температур атомные ядра во внутренних областях Солнца и звезд двигаются с большими скоростями. Иными словами, они имеют энергию порядка нескольких тысяч электрон-вольт. Хотя эта энергия еще много ниже ядерного барьера, однако с очень малой вероятностью, т. е. очень редко, ядерные превращения возможны уже и при такой энергии. Поскольку благодаря большому давлению и температуре атомы в звездах сталкиваются с колоссальной частотой, эти редкие ядерные реакции приводят к выделению громадной энергии, которую излучают звезды в пространство. Эта энергия в основном получается за счет слияния легких элементов, а именно за счет преобразования водорода в гелий.

При соединении 4 протонов в одно ядро гелия разница масс должна излучиться в форме энергии, равной по закону Эйнштейна $mc^2 = 28 \text{ Мэв}$.

Таким образом, источником энергии большинства звезд является термоядерная реакция синтеза гелия из водорода.

ОСНОВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Применение атомной энергии удивительно многообразно. Стоя на пороге атомного века, мы даже не представляем еще всех возможностей использования энергии атома. В этом направлении сделаны лишь первые робкие шаги. С каждым днем энергия атома все шире проникает в самые разнообразные сферы де-

тельности человека. И всюду она сулит революционные изменения.

Начнем с исследовательских ядерных реакторов. Это ядерные реакторы, используемые как мощные источники излучения нейтронов для целей экспериментального изучения широкого круга вопросов физики ядра, строения твердого тела, радиационной химии, технических задач реакторостроения, биологического действия излучения и для получения искусственных радиоактивных изотопов.

В исследовательских реакторах можно испытывать на длительное облучение целые узлы, содержащие тепловыделяющие элементы ядерных реакторов в условиях, которые по давлению, температуре и виду теплоносителя соответствуют условиям эксплуатации в энергетическом реакторе.

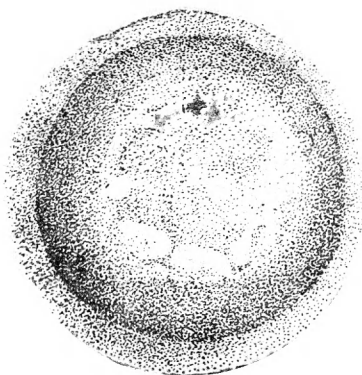
Атомные реакторы являются беспримерно мощными источниками проникающего излучения и радиоактивных изотопов. Последние в качестве меченых атомов приобретают все большее значение как чрезвычайно разностороннее и мощное средство исследования проблем, ранее совершенно недоступных.

Пользуясь химической близостью радиоактивного и нерадиоактивного изотопов данного элемента, можно, почти не изменяя химизма изучаемого процесса, вводить ничтожные по количеству, но легко обнаруживаемые чувствительными счетчиками добавки и исследовать протекание химических или биологических процессов. Таким образом, в Советском Союзе уже получены чрезвычайно интересные результаты, часто опрокидывающие ранее сложившиеся воззрения. Этим способом исследуется кинетика многочисленных химических, диффузионных и технологических процессов. В нашей стране разработаны различные методы скоростного химического анализа технологического процесса, не требующего взятия проб: методы измерения скорости и потока газов и жидкостей, влажности воздуха и многое тому подобное.

Особенно интересна возможность исследования кинетики процессов обмена в живом организме без всякого нарушения его нормальной жизнедеятельности. Поток исследовательских работ такого рода быстро растет. Сюда примыкает диагностика болезней с помощью меченых атомов, например диагностика и лечение болезней щитовидной железы и диагностика опухолей головного мозга

с помощью радиоактивного йода; радиоактивный фосфор позволяет удобно наблюдать процессы, протекающие в крови, в том числе ее циркуляцию, а также найти методы лечения крови; радиоактивный натрий успешно используется для изучения кровообращения и его патологических отклонений.

Радиоактивные изотопы широко применяются для контроля технологических процессов в нашей промышленности.



Гамма-излучение как средство контроля в промышленном производстве. Гамма-снимок чугунной отливки, имеющей раковины; просвечивание гамма-лучами кобальта-60.

Разработаны методы контроля толщин и плотностей материалов, уровней жидкостей в закрытых сосудах, давления; гамма-дефектоскопия скрытых пороков в отливках и поковках, дефектов сварных швов и т. п. приобрела широкое применение в металлургии.

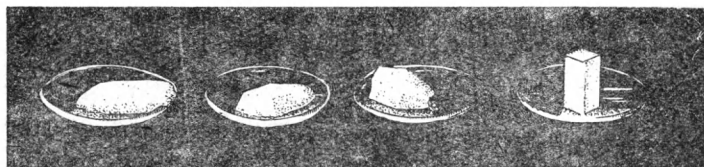
Проникающее излучение, источником которого являются реакторы и радиоизотопы, также имеет все более широкую область применения.

Общезвестно значение и масштабы бурно развивающейся промышленности пластмасс. По-

лучение последней основано на явлении полимеризации, т. е. объединения в длинную прочную цепочку большого числа органических молекул. Воздействие радиации дает новый метод полимеризации. Особенность этого метода — полимеризация без высоких температур и давлений. Кроме того, радиация изменяет свойства уже готового полимера. В одних случаях происходит «сшивание», т. е. укрупнение молекул полимера, а в других случаях «деструкция», т. е. мельчение полимера. Все это дает новые виды полимеров, упрощает технологию получения уже известных и, наконец, улучшает их свойства.

Действие излучения на микроорганизмы, в частности на болезнетворные микробы, приводит к подавлению их жизнедеятельности. На этом основаны методы консерва-

ции продуктов питания путем облучения. Вследствие большой проникающей способности излучения реактора или радиоизотопов продукты питания могут стерилизоваться уже в упаковке и при этом без нагревания или охлаждения. Например, большие потери ценных пищевых продуктов, вызываемые прорастанием картофеля и овощей в овощехранилищах, могут быть предотвращены облучением. При сравнительно небольших дозах облу-



Облучение изменяет свойства полимеров. 4 полиэтиленовых блока после нагревания до 200° в течение одного часа. Блок справа — необлученный. Второй, третий и четвертый блоки облучались. Степени облучения этих блоков относятся как 2 : 7 : 20 соответственно.

чения картофель полностью предохраняется от прорастания. Вопросы консервации продуктов питания облучением еще далеко не решены. При облучении резко усиливаются окислительные процессы, что может вызвать некоторые изменения во вкусе и запахе продуктов. Дальнейшая работа в этом направлении может принести много замечательных открытий.

Другая область применения излучения, которая уже приобрела большое значение в медицине, это лечение различных опухолей, особенно злокачественных. Лечение основано на избирательном биологическом действии излучения на клетки ткани. Больные и здоровые клетки по-разному реагируют на действие излучения. Другой, более тонкий метод, найденный советскими учеными в последнее время, заключается в возбуждении с помощью направленного облучения действия нервных центров, регулирующих процессы обмена в больных органах.

К указанному примыкают методы борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Облучение приводит к подавлению способности размножения у вредителей и убивает их личинки. Открывается широкое поле деятельно-

сти для науки и практики сельского хозяйства, для повышения урожаев. Большое практическое значение имеют культуры микроорганизмов, у которых под действием излучения повышается производительность полезных для человека продуктов. Таким образом получены промышленные культуры микроскопического гриба пенициллиум, образующего в сотни раз больше пенициллина, чем исходная культура, найденная в природе. Получены также культуры других микроорганизмов, производящих ценные органические кислоты. Скажем теперь несколько слов об атомной энергетике и атомном транспорте.

Громадный рост потребления минерального топлива вызывает растущее беспокойство за будущее энергетики.

За столетие с 1850 по 1950 год на всем земном шаре было сожжено около 120 млрд. т топлива. По некоторым оценкам, мировые запасы природного минерального топлива составляют около 5000 млрд. т. Если предположить, что существующие средние темпы роста потребления топлива сохранятся в будущем, то в конце столетия (1950—2050 гг.) возникнет топливный голод. Наконец, уголь, нефть и газ—это ценное сырье для химической промышленности. Сжигать его в топках вряд ли целесообразно.

Атомная энергетика на природном ядерном горючем—уране-235 — довольно дорогостоящая и навряд ли способна удовлетворить нужды большой энергетики.

Поэтому воспроизводство ядерного горючего представляет большой интерес. При работе атомной энергетики на основе реакторов с воспроизводством ядерного горючего из урана-238 и тория-232 задача снабжения энергетическим сырьем, предполагая самые фантастически высокие темпы роста, выглядит легко разрешимой в продолжении многих столетий.

Другое возможное решение энергетики будущего — термоядерная энергия, та самая энергия, которая питает энергетику звезд и нашего Солнца.

Сырьем для термоядерной энергетики является тяжелый водород—дейтерий. Запасы дейтерия, содержащиеся в мировом океане, очень велики и сравнимы по своему энергетическому ресурсу с ураном и торием, содержащимися во всей толще земной коры.

Сейчас во многих лабораториях мира ведутся напряженные поиски методов создания управляемой термо-

ядерной реакции. Под этим понимают достижение температуры порядка 10^7 — 10^8 градусов в плазме — сильно разреженном и ионизованном газе. В такой плазме скорость ядерной реакции слияния между сталкивающимися между собой ядрами дейтерия настолько возрастает, что выделяющаяся ядерная энергия превзойдет энергию, затрачиваемую на нагрев плазмы.

В водородных ядерных бомбах также происходит ядерная реакция синтеза легких ядер в условиях чрезвычайно высоких температур порядка 10^9 градусов и давлений, достигающих 10^9 атм. Понятно, что такие чудовищно высокие давления нельзя удержать никакими стенами и они осуществимы только в краткий миг взрыва, длящийся миллиардные доли секунды.

Для современной техники энергостроительства такое колоссальное разовое выделение энергии кажется неприемлемым. Однако в будущем при громадном росте мощности отдельных электростанций не исключена возможность производства последовательных термоядерных взрывов, каждый из которых имеет сравнительно небольшую мощность, в огромных, диаметром около километра, резервуарах.

Выделившаяся при взрывах энергия будет распространяться взрывной волной в газовой атмосфере резервуара и нагревать последнюю. Этот нагретый газ можно использовать непосредственно в газовых турбинах или для производства пара.

Возможно, что в будущем столетии развернется соревнование между ядерными реакторами и термоядерными системами. Победителем окажется тот метод, который сможет более экономичным образом решить задачу энергетики.

Пока что практически только ядерные реакторы деления могут быть использованы для целей энергетики.

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

На всех работающих или строящихся атомных электростанциях энергию деления преобразуют сперва в тепловую энергию, которая выносится из реактора теплоносителем. Теплоноситель, или рабочее тело, затем, подобно тому, как это делается в обычных энергоустановках, приводит в действие паровые или газовые турбины.

Каждый теплоноситель имеет свои преимущества и недостатки. Вода—наиболее дешевый и доступный теплоноситель. При атмосферном давлении температуру воды нельзя поднять выше 100° . При большей температуре надо поднять давление. При температурах порядка $250\text{—}350^{\circ}$ давление в реакторе должно достигать $100\text{—}200$ атм. Следовательно, энергетический реактор с водяным охлаждением должен быть аппаратом высокого давления.

Применение жидких металлов и их сплавов позволяет работать при умеренных давлениях при получении пара с температурой в $400\text{—}500^{\circ}$ и выше. Однако применение жидких металлов в качестве теплоносителя значительно усложняет устройство ядерного реактора, в частности, например, требуется снабдить весь контур нагревателями для предотвращения затвердевания металла в неработающей установке. Эксплуатация такого реактора также осложняется.

Применение газового теплоносителя, например гелия, углекислого газа и т. п., не накладывает ограничений на температуру пара и не создает тех трудностей в эксплуатации, которые возникают при жидкометаллическом охлаждении, но имеет свои недостатки. При равных условиях требуется значительно больший расход энергии для прокачивания газа через реактор и систему теплообменников, чем для других теплоносителей. Для повышения экономичности работы установки необходимо работать при высоких давлениях в реакторе, но и при этом недостаток газового теплоносителя остается заметным. Громоздкость газового хозяйства является другим недостатком газового охлаждения.

В качестве примера опишем устройство атомной электростанции, строящейся под Воронежем.

Активная зона ядерного реактора состоит из пучков трубчатых тепловыделяющих элементов. Трубки диаметром около 1 см и длиной в 250 см сделаны из циркония толщиной в $0,8$ мм. Они заполнены двуокисью урана, огнеупорным веществом, плавящимся при температуре в 2700° . Уран образован смесью изотопа-238 с $1,5\text{—}2,0\%$ изотопа-235. Последний служит ядерным горючим, а первый тем пассивным ядерным сырьем, в котором при захвате нейтронов производится новое ядерное горючее — плутоний. Впрочем, коэффициент воспроизводства этого

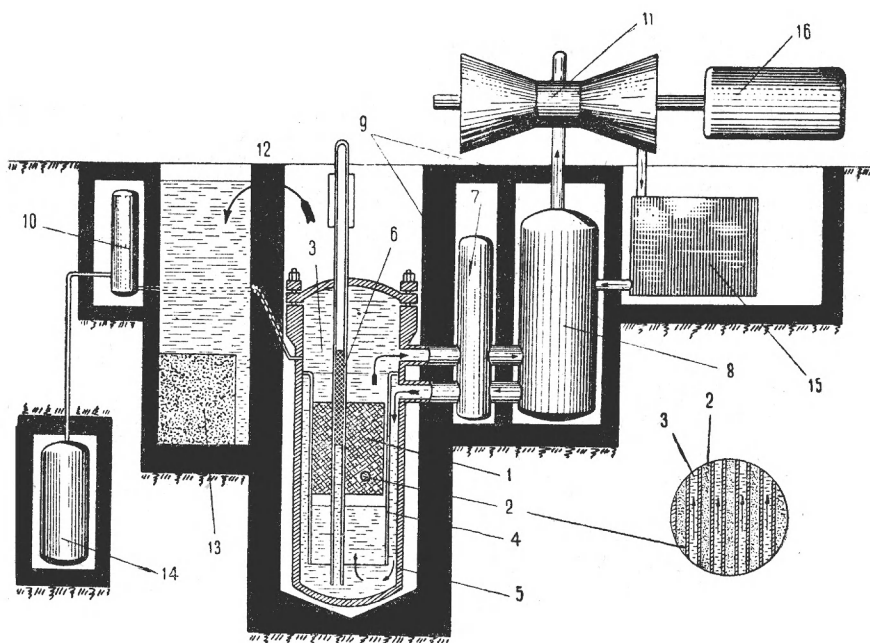


Схема атомной электростанции с тепловым реактором типа
вода — вода:

1 — активная зона; 2 — тепловыделяющий элемент — обогащенный уран в трубке; 3 — замедлитель и теплоноситель — вода; 4 — стальные экраны, служащие также отражателями; 5 — толстостенный стальной корпус, несущий высокое давление; 6 — регулирующий стержень; 7 — насос; 8 — парогенератор; 9 — биологическая защита; 10 — система дезактивации и очистки воды; 11 — паровая турбина; 12 — система перегрузки активной зоны; 13 — хранилище для облученных тепловыделяющих элементов; 14 — хранилище продуктов деления; 15 — конденсатор турбины; 16 — генератор тока.

атомного реактора невелик — около 0,7, потому что реактор «тепловой».

Трубки топливных элементов расположены с небольшим зазором: расстояние между ними около 4 мм. В этих зазорах протекает вода, служащая одновременно замедлителем нейтронов и теплоносителем.

Отражатель образован несколькими слоями стали, разделенными прослойками воды.

Эта активная зона диаметром около 300 см заключена в толстостенный стальной корпус с внешним диаметром около 4 м и высотой около 12 м.

Над этим корпусом еще метров на восемь возвышаются двигатели и трубы стержней управления и защиты, движением которых в активной зоне управляют ядерной реакцией деления.

Вода в активной зоне и корпусе реактора находится под давлением в 100 атм. Поэтому она не испаряется, хотя и нагревается до температуры в 275°.

Перекачиваемая мощными насосами вода входит в активную зону с температурой в 250°. Корпус реактора, трубопроводы полуметрового диаметра, огромные задвижки, мощные электронасосы и парогенераторы образуют первый, радиационно опасный контур.

В парогенераторах вода первого контура охлаждается с 275° до 250°, передавая свое тепло пару, генерируемому в межтрубном пространстве парогенераторов. Получается насыщенный водяной пар при давлении около 30 атм и температуре около 230°. Этот пар приводит во вращение паровые турбины, несколько отличающиеся от обычных, работающих на перегретом паре.

Особенным является оборудование, связанное со сбором, хранением и дезактивацией радиоактивных продуктов, накапливающихся в первом контуре, и устройств для хранения радиационно облученных тепловыделяющих элементов и их перегрузке.

Энергия, получаемая от одного реактора, приводит в движение три турбины общей мощностью в 210 тыс. кв, и термический коэффициент полезного действия достигает около 28%.

Благодаря усложнению установки, вызванному необходимостью тщательной радиационной защиты персонала, применению дорогостоящих нержавеющей сталей, устройств по радиационной дезактивации такая станция

оказывается примерно в полтора-два раза дороже обычной тепловой электростанции равной мощности.

Оценки стоимости получаемой электроэнергии показывают, что последняя будет стоить примерно столько же, сколько стоит в среднем электроэнергия, получаемая на обычных электростанциях.

Однако электростанции, работающие на дешевых углях или на газе, будут производить электроэнергию несколько дешевле. Поэтому пока что описанные атомные электростанции следует строить в районах, удаленных от источников дешевого угля или газа.

Сегодня в мире действует уже полтора десятка атомных электростанций с реакторами на тепловых нейтронах и три десятка строятся.

Кроме атомных электростанций с «тепловыми» реакторами, в экспериментальном порядке строятся несколько установок с реакторами на быстрых нейтронах. Эти реакторы обеспечат расширенное воспроизводство ядерного горючего, что в принципе решает энергетическую проблему будущего. К сожалению, эти установки более сложны, менее изучены и пока еще кажутся более дорогостоящими.

В порядке эксперимента многие ученые работают над созданием атомно-энергетических установок прямого действия. Под этим понимают непосредственное использование энергии, выделяющейся при делении ядерного горючего для получения электрической энергии. Для этого предполагают использовать полупроводниковые и термоионные преобразователи тепловой энергии в электрическую или магнито-гидродинамические устройства. В последних поток раскаленного ионизованного газа, получаемого в атомных реакторах, будет проходить через магнитное поле, создаваемое в электромагнитных катушках. Ионизованный газ является проводником тока, и поэтому, пересекая линии магнитного поля, он будет порождать электрический ток. Возможно, что новые способы преобразования энергии окажутся более экономичными в энергетике будущего.

* * *

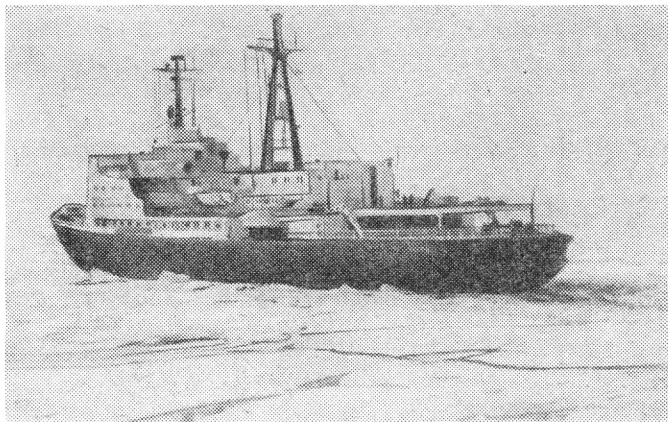
Атомные реакторы как источники энергии имеют также большое будущее на транспорте.

Корабли и самолеты с атомными двигателями могут

совершать практически неограниченные по дальности путешествия без перезаправки горючим.

На флоте Советского Союза атомные двигатели уже получили применение и признание и начали свое триумфальное шествие.

Флагман советского ледокольного флота атомоход «Ленин» свободно движется в тяжелых льдах толщиной



Атомоход «Ленин» ломает льды. Электродвигатель мощностью в 44 тыс. *квт* приводится в действие паровыми турбинами. Парогенераторы получают тепло от водяного теплоносителя, циркулирующего через три ядерных реактора. Каждый из «тепловых» реакторов имеет мощность 90 тыс. *квт*, водяной замедлитель и теплоноситель и при давлении 180 *атм* нагревает воду до 325°.

более двух метров. Главное его преимущество — практическая неограниченность пути плавания — сказывается особенно рельефно, учитывая, что при работе машин на полной мощности скорость движения во льдах составляет всего несколько километров в час.

В авиации атомные реакторы только еще начинают свой путь пока в области экспериментальных исследований. Тяжелая защита от радиации делает возможным применение атомных реакторов только на больших самолетах с общим весом более 300 т. Немало вопросов возникает в связи с обеспечением радиационной безопасности при эксплуатации атомных самолетов.

Наконец, укажем, что применение атомных двигателей для космических кораблей в принципе должно совершить переворот в этой области. Однако трудности технического решения этой задачи только еще вырисовываются во всем своем объеме.

В настоящее время, когда все народы являются свидетелями агрессивной политики военного блока НАТО, советское правительство принимает необходимые меры по укреплению безопасности нашей страны. Так было принято решение о проведении экспериментальных взрывов ядерного оружия. Бомбы и электростанции! Однако каждый советский человек понимает, что первые — это временный вынужденный поворот науки в сторону вооружения, в то время как мирное использование энергии атома — это настоящее и будущее всей энергетики, это неисчерпаемые океаны энергии на мирной службе для блага человечества.

Интересно, полезно знать

НОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Замечательно интересным является факт образования новых элементов, не встречающихся на Земле. При присоединении нейтрона к атомному ядру урана-238, если не происходит деления, возникает обычная ядерная реакция с последующим излучением гамма-кванта. Необычным здесь является возникновение нового элемента — плутония.

Точнее говоря, возникает цепочка радиоактивных превращений: сперва образуется радиоактивный изотоп урана-239 и излучается гамма-квант; далее уран-239 распадается с временем полураспада 23 мин. в элемент нептуний с зарядом $Z=93$; через 2, 3 дня (время полураспада) этот радиоактивный нептуний испускает бета-электрон и превращается в плутоний-239 с зарядом $Z=94$.

Надо заметить, что плутоний-239 также элемент радиоактивный, испускающий α -частицы, с временем полураспада 24000 лет.

Облучая плутоний нейтронами, можно получать все новые элементы, которые оказываются все более и более радиоактивно неустойчивыми. Именно вследствие малого времени своей жизни они не встречаются на Земле в естественных условиях.

СОВЕТУЕМ ПРОЧИТАТЬ

Зисман Г. А. Мир атома. М., Оборонгиз, 1956. 142 стр.

Книга подробно рассказывает о строении атома и атомного ядра, о сложных внутриядерных процессах, позволяет узнать о получении и применении радиоактивных изотопов, о том, как удалось ученым овладеть энергией атомного ядра.

Хозяинов В. Представим себе атомное ядро. «Знание — сила», 1959, № 8, стр. 20—24.

Статья отражает новейшие представления о строении атомного ядра. Отвечая на вопрос, — как представить себе атомное ядро? — автор рассказывает о различных моделях ядра, каждая из которых является этапом в развитии ядерной физики.

Сморodinский Я. А. Пространственная структура атомного ядра. «Природа», 1959, № 6, стр. 3—13.

Статья отвечает на вопрос, имеют ли размеры такие мельчайшие частицы материи, как атомное ядро и элементарные частицы, рассказывает об определении формы атомного ядра, плотности ядерного вещества и других новых исследованиях в этой области.

Комар А. П. Исследования по структуре атомных ядер. «Вестник Академии наук», 1961, № 2, стр. 64—68.

Автор рассказывает о работе Международной конференции по структуре атомных ядер, которая происходила в Канаде осенью 1960 года. На конференции было представлено около 300 работ. Из статьи можно узнать, какие основные вопросы ядерной физики решаются сейчас в лабораториях ученых-атомников.

Блохинцев Д. И. Новые представления об электроны. «Природа», 1959, № 9, стр. 25—29.

Отмечая, что идея неисчерпаемости электрона была выдвинута еще В. И. Лениным в работе «Материализм и эмпириокритицизм», автор знакомит с развитием электронной теории в настоящее время, раскрывает сложную структуру электрона, рассказывает о том, как электронная теория позволяет заглянуть в тайну строения вещества.

Пузиков Л. Д. Новейшие исследования частиц высоких энергий. «Природа», 1960, № 3, стр. 85—87.

Статья рассказывает об основных направлениях, по которым ведутся исследования элементарных частиц в Советском Союзе и других странах в последние годы.

Тамм И. Е. Проблемы элементарных частиц. «Природа», 1960, № 8, стр. 9—16.

Статья дает общие представления о новых исследованиях, ведущихся в области элементарных частиц, о законах, на которых основывается изучение мельчайших частиц материи. Читатель узнает об античастицах и антимирах, о новых теориях, обобщающих данные физики элементарных частиц.

Капырин П. и Сергеев О. В Дубне под Москвой. М., изд-во «Московский рабочий», 1958, 99 стр. с илл.

Знакомя с основами ядерной физики, с ее успехами и перспективами развития, книга раскрывает перед читателем лаборатории Объединенного института ядерных исследований в городе Дубне, где работают ученые стран лагеря социализма. Автор рассказывает о новой ускорительной технике — величайшем в мире синхрофазотроне и других чудесных машинах, с помощью которых становится реальностью давняя мечта поставить свойства атома и его энергию на службу человечеству. Одна из глав книги посвящена радиоактивным изотопам и их использованию в народном хозяйстве.

Асташенков П. Т. Атомная промышленность. М., Оборонгиз, 1956, 236 стр. с илл.

В книге популярно рассказано о важнейших отраслях современной атомной промышленности — переработке атомного сырья, производстве термоядерного горючего, удалении и использовании радиоактивных отходов, защите от радиоактивных излучений. Автор освещает состояние атомной промышленности капиталистических стран, дает представление о перспективах развития атомной энергетики.

Балабанов Е. М. Физика ядерных реакторов. М., изд-во «Знание», 1960, 48 стр.

Ядерный реактор позволяет человеку использовать атомную энергию и получать ценные радиоактивные изотопы. В брошюре рассказано о различных типах реакторов, о процессах, которые в них происходят, о том, как управляют реакторами.

Науменко И. А. Атомные силовые установки. М., Оборонгиз, 1959, 189 стр. с илл.

Осветив в начале книги процессы, лежащие в основе работы ядерных реакторов, автор рассказывает о работе различных типов реакторов. Из книги можно узнать о том, как атомная энергия преобразуется в электрическую, как эта энергия применяется в авиации, на транспорте, для отопления зданий.

Красин А. К. Атомные электростанции. (Развитие ядерной энергетики за пять лет). М., изд-во «Знание», 1959, 24 стр.

Автор освещает опыт эксплуатации первой атомной электростанции, способы использования и преобразования атомной энергии в электрическую в реакторах различных типов. Брошюра рассказывает о том, какие экономические выгоды дает развитие атомной энергетики и дальнейшие перспективы ее развития.

КРАТКИЙ СЛОВАРИК К ТЕКСТУ БРОШЮРЫ

Атомный вес — вес одного атома данного вещества. Выражается в условных единицах, за которые принимается вес $1/16$ атома изотопа кислорода-16.

α -частицы — ядра атомов гелия, выбрасываемые при радиоактивном распаде некоторых веществ, например радия. Они движутся с большой скоростью, их энергия достигает 7—8 млн. эв.

β -распад — один из видов радиоактивного распада атомных ядер, при котором из атомного ядра вылетает электрон.

Бериллий (Be) — легкий металл серебристо-серого цвета.

Бор (B) — первый элемент III группы периодической системы Менделеева.

Гамма-квант (γ) — элементарные частицы —порции электромагнитного излучения.

Гамма-радиоактивность — электромагнитное излучение атомных ядер, имеющее очень короткие длины волн.

Гелий (He) — одноатомный газ, без цвета и запаха, химически недействительный.

Дейтроны — ядра атомов тяжелого водорода.

Литий (Li) — элемент из подгруппы щелочных металлов.

Мэв (10^6 эв) — миллион электрон-вольт.

Нуклоны — протоны и нейтроны, основные составляющие всякого атомного ядра.

Полоний (Po) — радиоактивный химический элемент.

Радиоактивность — способность атомов вещества к самопроизвольным ядерным превращениям.

Ц и р к о н и й (Zr) — металла, внешне похожий на сталь. Благодаря высокой температуре плавления является ценным материалом ядерной энергетики.

Э в — см. электрон-вольт.

Э л е к т р о н - в о л ь т — единица энергии, которой пользуются в атомной и ядерной физике; она равна энергии, которую приобретает электрон, пройдя разность потенциалов в 1 в. Это очень маленькая величина: $1 \text{ эв} = 3,83 \cdot 10^{-23} \text{ ккал}$.

Э л е к т р о с т а т и ч е с к и е с и л ы — силы, действующие в поле, созданном электрическими зарядами.

О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТСЯ В ЭТОЙ КНИЖКЕ

	<i>Стр.</i>
Расщепление атомного ядра. Ядерные реакции	3
Открытие нейтрона	8
Строение атомного ядра	10
Открытие деления ядра	13
Открытие цепной ядерной реакции	14
Откуда черпают энергию звезды?	15
Основные применения атомной энергии	16
Атомная электростанция	21
Приложение: «Интересно, полезно знать»	
Новые элементы	28
Советуем прочитать	28
Краткий словарь к тексту брошюры	30

Автор Савелий Моисеевич Фейнберг

Редактор **А. С. Нехлюдова**

Техн. редактор **А. С. Назарова**

Корректор **М. В. Шубина**

Обложка художника **Р. Г. Алеева**

Сдано в набор 29.VIII 1961 г. Подп. к печ. 17.I 1962 г. Изд. № 231.

Формат бум. 84×108¹/₃₂. Бум. л. 0,5. Печ. л. 1,00. Уч.-изд. л. 1,48.

A 02111.

Цена 6 коп.

Тираж 16 000.

Заказ 2569.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Новая пл., д. 3/4.

6 коп.

