



Школьникам об атомной энергетике

Выпуск 3-4
2011

С е р и я : **Хочу все знать!**



Однажды американский физик, блестящий лектор Р.Фейнман, задал студентам гениальный вопрос. Перефразировав, хочу задать его и вам. Представьте, что в результате какой-либо мировой катастрофы оказались бы уничтоженными все научные знания, накопленные человечеством. Вас попросили бы передать людям, которые появятся когда-нибудь, фразу, которая помогла бы сократить им долгий путь познания на тысячи лет и, значит, быстрее стать цивилизованным обществом. Что бы вы передали? Конечно, располагая небольшим запасом знаний, сразу ответить трудно. А Фейнман ответил так: «Все тела состоят из мельчайших частиц, которые хаотически движутся и взаимодействуют». Значит, знание о внутреннем строении вещества дорогого стоит. Я думаю, что мнение великого учёного поможет вам осознать важность предстоящего разговора.

Ядерная энергия. История открытий

Ещё с древних времен люди были озабочены поиском источников энергии, а с развитием цивилизации энергия стала играть всё возрастающую роль. И уже к середине XX столетия были освоены почти все ее природные источники, причем использование их в промышленных масштабах привело к значительному загрязнению окружающей среды, особенно в крупных, промышленно развитых городах.

Надежным же и чистым поставщиком большого количества энергии стал сам атом (энергия, заключённая внутри его ядра). Но для освоения этого вида энергии человечеству суждено было пройти долгий путь поисков, преодолеть множество препятствий, отвергнуть прежние представления о природе вещей, для чего понадобились долгие годы упорной и самоотверженной работы ученых многих поколений из разных стран. Проникновение в природные кладовые тайн строения материи и высвобождение внутренней энергии, содержащейся в атоме, превзошло все ожидания человечества. Новый источник энергии огромной мощности сулил богатейшие неограниченные возможности.

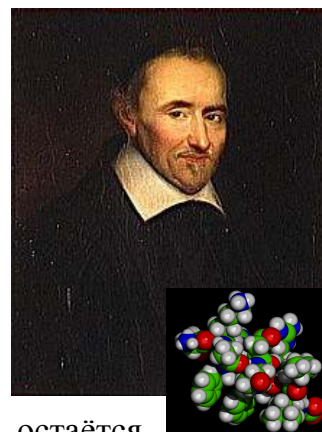
Давайте же проследим этот увлекательный путь от самых истоков.

АТОМ. Все началось 2500 лет назад. Исходной точкой познания строения вещества стали основанные на интуиции идеи древних греков, в частности **Демокрита** и **Эпикура**, о том, что любое тело состоит из специфически соединённых, невидимых и неделимых элементарных частиц — атомов («атом» по-гречески означает «нечто



неделимое»). **Демокрит** писал: «...атомы бесконечны в числе и бесконечно различны по форме». Взгляды Демокрита поддерживали и другие учёные. Но были и такие, которые придерживались иной точки зрения. Так, **Аристотель** утверждал, что «атомов нет, потому что мы их не видим...». Церковь поддерживала учение Аристотеля, атомистические взгляды древних были забыты на долгие годы. Около тысячи лет научное естествознание не развивалось. Науку подменяло богословие. И только в эпоху Возрождения вновь возникли атомистические представления.

В 1647 г. француз **Пьер Гассенди** высказал предположение, что атомы объединяются в небольшие группы, для которых он даже придумал название **молекулы**, производное от латинского *moles* – масса. Слово «молекула» можно перевести, как «небольшая масса», «массочка».



В 1661 г. англичанин **Роберт Бойль** написал о том, что атомы при химических превращениях не изменяются и что когда-нибудь будет найден «сильный и тонкий агент», с помощью которого удастся разбить атомы на составные части. Нам остаётся лишь удивляться предсказаниям мыслителей прошлых веков, которым удалось заглянуть в будущее.

Великий русский учёный **М.В. Ломоносов** в 1756 году написал: «С тех пор, как я прочитал Бойля, мной овладело страстное желание исследовать мельчайшие частицы. О них размышлял 18 лет... будучи уверен, что наука о мельчайших частицах... столь же необходима в физике, как самые эти частицы необходимы для создания тел...». М. В. Ломоносов утверждал, что все вещества состоят из **корпускул – молекул**, которые являются «собраниями» элементов – **атомов**. В своей диссертации «Элементы математической химии» (1741г.; незакончена) учёный дал такое определение: «Элемент есть часть тела, не состоящая, из каких-либо других меньших и отличающихся от него тел... Корпускула есть собрание элементов, образующих одну малую массу». В более поздней работе (1748 г.) он вместо «элемента» употребил слово «атом», а вместо «корпускула» – «партикула» (лат. *particula*) – «частица» или «молекула» (лат. *molecula*). «Элементу» он придал современное значение – в смысле предела делимости тел – последней составной их части. М.В.Ломоносов проделал огромную работу, которая послужила основой для дальнейшего развития физики и химии. В письме к Л. Эйлеру он сформулировал свой «всеобщий естественный закон» (5 июля 1748 г.), повторив его в диссертации «Рассуждение о твердости и жидкости тел» (1760 г.): «... *Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому, так ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте... Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения, ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оные у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает*». Это было открытие основного закона химии – **закона сохранения массы**. Идеи Ломоносова намного опередили научные



представления его современников и только в наше время были оценены по достоинству.

Заглянуть в глубь вещества ученым позволило изобретение микроскопа. Оно открыло перед изумлёнными глазами исследователей мир крохотных живых существ – микробов, бактерий и пр. Заметим, что первое физическое явление, позволившее приоткрыть завесу над тайной строения вещества, было обнаружено с помощью микроскопа в **1827** г. не физиком, а ботаником (к этому времени микроскоп был уже усовершенствован).



Роберт Броун решил рассмотреть крохотную каплю воды с размешанной в ней пылью растений. Взглянув в микроскоп, он был поражён: зёрна пыли двигались в каком-то фантастическом танце! Таинственные перемещения в капле жидкости в дальнейшем получили название **«броуновское движение»**. Многие учёные повторяли опыт Броуна и наблюдали ту же самую картину. Броуновское движение не ослабевало со временем, но зависело от температуры и вязкости среды. Неведомые и непонятные силы заставляли частицы так странно вести себя. Попытки объяснить броуновское движение конвекцией, неравномерным освещением частиц, электрическими или химическими явлениями оказались

несостоятельными. Всё чаще высказывалось обоснованное предположение: обнаруженное Броуном движение вызвано толчками невидимых под микроскопом молекул жидкости. Атакуемые молекулами со всех сторон, частички пыли передвигаются в ту сторону, с которой в это время меньше ударов.

Английский химик, метеоролог и естествоиспытатель **Джон Дальтон** установил в **1803** г. закон кратных отношений, ввел понятие «атомный вес», первым определил атомные веса (массы) ряда элементов. Открыл газовые законы, названные его именем. Первым (1794 г.) описал дефект зрения (болезнь цветовой слепоты), которым страдал сам, позже названный дальтонизмом.

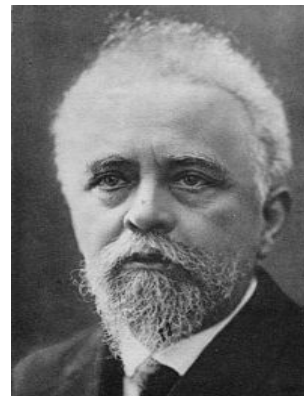
Пять основных положений атомистической теории Дальтона гласят:

- *«Атомы любого элемента отличны от всех других, причем характерной чертой в данном случае является их относительная атомная масса.»*
- *«Все атомы данного элемента идентичны.»*
- *«Атомы различных элементов могут соединяться, образуя химические соединения, причем каждое соединение всегда имеет одинаковое соотношение атомов в своем составе.»*
- *«Атомы нельзя создать заново, разделить на более мелкие частицы, уничтожить путем каких-либо химических превращений. Любая химическая реакция просто изменяет порядок группировки атомов.»*
- *«Химические элементы состоят из маленьких частиц, называемых атомами.»*



XX век стал переломным для науки: коренным образом изменился взгляд на такие важнейшие понятия как «материя и энергия», «время и пространство». На смену классической механике пришли новые представления, развитые М. Планком, А. Эйнштейном, Э. Шредингером, Н. Бором, В.К. Гейзенбергом и другими

выдающимися учеными. В **1905** г. А. Эйнштейн опубликовал свою специальную теорию относительности, в которой вывел получившую всемирную известность формулу эквивалентности массы и энергии $E=mc^2$. В **1905–1906** гг. А. Эйнштейном и М. Смолуховским была создана теория броуновского движения, а в **1908–1909** гг. – она была экспериментально проверена Жаном Перреном. После публикации Альбертом Эйнштейном в 1905 г. теоретической работы об атомарной природе броуновского движения, Перрен поставил эксперимент с целью проверки утверждений Эйнштейна и положил конец столетней дискуссии об атомной теории Джона Дальтона, поскольку расчёты Эйнштейна удивительно точно совпали с результатами эксперимента Перрена. Теперь учёные могли узнать число и массу атомов и молекул, ещё не видя их.



МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АТОМА. Сэр Джозеф Джон Томсон – английский физик,



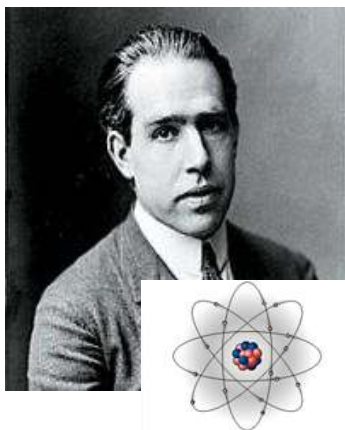
исследовал прохождение электрического тока через разреженные газы и на основании результатов своих опытов сделал вывод о том, что из атома каждого химического элемента могут быть выделены электроны – элементарные частицы, несущие наименьший отрицательный заряд (**1897–1898** гг.). Заслуживает внимания одна из первых **моделей атома**, предложенная Томсоном в **1903** г. Он представил атом положительно заряженным шариком-сферой, в которой «плавают» отрицательно заряженные электроны. Томсон также объяснил непрерывность спектра рентгеновских лучей, выдвинул идею о существовании изотопов и получил ее

экспериментальное подтверждение. За открытие электрона он стал лауреатом Нобелевской премии по физике 1906 года.

В **1911** г. физики всего мира смогли оценить ещё одну, на сей раз убедительно подтверждённую экспериментально, модель строения атома – **планетарную модель**, предложенную английским физиком новозеландского происхождения **Эрнестом Резерфордом**. Он представил атом в виде уменьшенной Солнечной системы с положительно заряженным центральным ядром, в котором собрана практически вся атомная масса, вокруг которой вращаются легкие отрицательно заряженные частицы – электроны (модель Резерфорда не включала нейтроны, так как они были открыты позже – 1932 году). Причем значение суммы электрических зарядов электронов равно, но с противоположным знаком, электрическому заряду ядра, таким образом, атом электрически нейтрален.



В **1913** г. смелым и неизвестным тогда молодым датским физиком **Нильсом Бором**, было выдвинуто сенсационное заключение, которое изменило планетарную модель Резерфорда так, чтобы она согласовалась с экспериментом. Он показал, что несовпадение с экспериментом выводов, основанных на модели Резерфорда, возникло потому, что поведение микрочастиц нельзя описывать теми же законами, что и макроскопических тел. Бор предположил, что величины, характеризующие микромир,

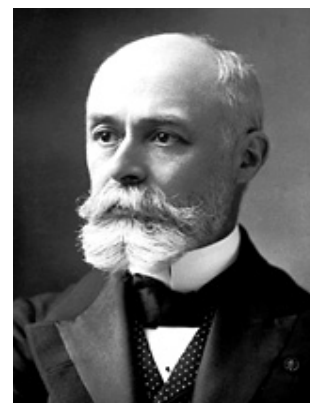


должны квантоваться, т.е. они могут принимать только определенные дискретные значения. Законы микромира – квантовые законы, установленные позже. Бор разработал **квантовую теорию** атома. За основу своей теории он взял планетарную модель строения атома, выдвинутую Э. Резерфордом, согласно которой, электроны в атоме движутся по определенным электронным орбитам вокруг ядра атома. Каждая такая орбита для электрона получила название "уровень энергии". Энергия электронов в атоме может изменяться только скачкообразно. То есть электрон может перескакивать с одной орбиты на другую и обратно (но не может занимать положение между орбитами). Бором было

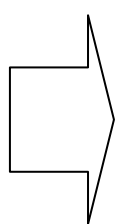
указано, что энергетические состояния электронов в атоме квантованы. Энергия электрона зависит от радиуса его орбиты. Минимальная энергия у электрона, который находится на ближайшей к ядру орбите. При поглощении кванта энергии электрон переходит на орбиту с более высокой энергией (возбужденное состояние). И, наоборот, при переходе с высокого энергетического уровня на более низкий – электрон отдает (излучает) квант энергии.

Кроме того, Бор указал, что разные энергетические уровни содержат разное количество электронов: первый уровень – до 2 электронов; второй уровень – до 8 электронов и т.д.

ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ. Одним из первооткрывателей радиоактивности был французский физик **Анри Беккерель**, который в **1896** г. обнаружил, что урановые соединения испускают глубоко проникающее **излучение**. В отличие от рентгеновского, открытого в **1895** г. Вильгельмом Рёнтгеном, излучение Беккереля было не результатом возбуждения от внешнего источника энергии, например от света, а внутренним свойством самого урана. Он обратил внимание на то, что эти лучи заставляют чернеть фотопластинку даже в том случае, если она заворачивалась в черную бумагу. Беккерель назвал это явление **радиацией**.



Очарованная этим загадочным явлением, Мария Складовская-Кюри решила заняться изучением данного излучения и в **1898** году приступила к исследованиям. Она открыла, что излучение Беккереля представляет собой атомарное свойство элемента урана, а его интенсивность пропорциональна количеству урана, содержащегося в том или ином соединении, и не зависит ни от особенностей химического соединения, ни от внешних условий, например, от освещения или температуры. Мария К. обнаружила, что соединения тория испускают лучи, подобные лучам урана и обладают интенсивностью такого же порядка. Новое свойство вещества, присущее элементам урану и тории, Кюри предложила назвать **радиоактивностью**. С тех пор это название стало общепринятым.



Анри Беккерелю в 1903 году в знак признания выдающихся заслуг, выразившихся в открытии самопроизвольной радиоактивности, присуждена Нобелевская премия по физике, которую с ним разделили супруги Пьер и Мария Кюри за выдающиеся заслуги в совместных исследованиях явлений радиации (подробнее об исследованиях супругов Кюри см. выпуск 1-2 буклета для школьников).

В 1899 году Беккерель и другие учёные показали, что под воздействием магнитного поля часть излучения отклоняется в сторону, тогда как другая – распространяется по прямой линии. Не отклоняющееся в магнитном поле излучение впоследствии получило название **«гамма-лучи»**. Кроме того, было установлено, что отклоняющиеся в магнитном поле лучи делятся на два потока в электрическом поле, т. е. представляют собой положительно и отрицательно заряженное излучение. Природу этого вида излучения изучил Эрнест Резерфорд. Первый вид излучения он назвал **«альфа-лучами»**, а второй – **«бета-лучами»**.



В 1900 г Эрнестом Резерфордом установлено, что бета-лучи – это просто потоки электронов, а в 1906 г. показано, что альфа-лучи – это потоки ядер гелия без электронных оболочек. Необходимо отметить, что к своему открытию Резерфорд пришёл не сразу. Он вместе с английским радиохимиком **Фредериком Содди** изучил явление радиоактивного распада атомов радия, открытое в последние годы XIX в. во Франции, и пришёл к выводу, что альфа-частицы, вылетающие из радия, представляют собой удобные тяжёлые снаряды, которыми следует «обстреливать» атомы других элементов, чтобы попытаться расщепить их на части и узнать, как они устроены (это напоминает способ, каким маленькие дети пытаются узнать, из чего сделаны игрушки). Опыт был очень простым в исполнении. Суть его в следующем. Альфа-лучи, идущие от радиоактивного источника, заключенного в свинцовый контейнер, направлялись на лепестки тончайшей золотой фольги. Рассеянные частицы попадали на полупрозрачный экран, покрытый слоем кристаллов сульфида цинка, способных светиться под ударом быстрых заряженных частиц. В местах попадания α -частиц экран светился точечными вспышками. Вспышки на экране наблюдались глазом с помощью микроскопа. Наблюдение рассеянных α -частиц в опыте Резерфорда можно было проводить под различными углами к первоначальному направлению пучка. Было обнаружено, что большинство α -частиц проходит через тонкий слой металла, практически не испытывая отклонения. Однако небольшая часть частиц отклоняется на значительные углы, превышающие 30° . Очень редкие α -частицы (приблизительно одна из десяти тысяч) испытывали отклонения на углы, близкие к 180° . Столь малое количество отклонившихся частиц привело Резерфорда к мысли, что атом почти пустой, а весь его положительный заряд сконцентрирован в малом объеме – ядре.



В 1902-1907 годах Э. Резерфорд и Ф. Содди показали существование **радиоактивных рядов**, т.е. последовательностей радиоактивных элементов, причём каждый последующий элемент образуется из предыдущего путём распада с испусканием альфа- или бета-частиц. При изучении этих рядов были обнаружены атомы, которые по химическим составам были идентичны известным химическим элементам, но распадались или значительно быстрее, или значительно медленнее их. В 1913 году Ф. Содди назвал атомы, которые находились на одном и том же месте в Периодической таблице элементов, но имели различные радиоактивные свойства, **изотопами** (от греческого словосочетания «одно место»).

Физики стремились установить состав атомного ядра и искали в нем «положительные электроны», но все попытки были тщетны. Наконец, в **1914** году Э. Резерфорд, пытаясь выбить положительный электрический заряд из массы ядер водорода, понял и доказал, что это невозможно. Очевидно, что положительный заряд неразрывно связан с ядром атома водорода. Резерфорд назвал ядра водорода **протонами** (от греческого «первый») и предположил, что ядра остальных элементов также состоят из протонов. Так была создана **протонно-электронная теория строения атома**, которую физики использовали практически без изменений до момента открытия нейтрона (**1932** г.). В **1919** Резерфорд, бомбардируя альфа-частицами ядра азота, впервые в истории смог осознанно изменить состав атомных ядер, превратив ядро азота в ядро кислорода.

Ученик Резерфорда английский физик **Джеймс Чедвик**, работая в исследовательском институте в Кембридже, в **1932** году сделал фундаментальное открытие в области ядерной физики. Он обнаружил доселе неизвестную частицу в ядре атома, которая из-за отсутствия какого-либо электрического заряда получила название **нейтрон**.



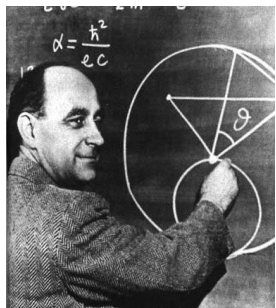
Мысль о существовании этой элементарной частицы пришла в голову Чедвику ещё в годы его ученичества, когда он работал с Резерфордом. Вместе они выяснили, что атом в целом нейтрален, потому, что заряд протонов в ядре совпадает с зарядом электронов. Но это совершенно не объясняло массы ядер, которая значительно превышала массу протонов, которые должны были в нем находиться. Единственным исключением был атом водорода.

В **1921** году Чедвик стал доктором физических наук и получил место в ученом совете Гонвилл-энд-Кайус-колледжа. Всё это время он занимался изучением распада легких ядер, бомбардируя их альфа-частицами. Мысль о нейтральной частице, тем не менее, не оставляла его, он искал способ доказать её существование. А в **1930** году немецкие ученые заметили, что при бомбардировке бериллия альфа-частицами он испускает особое излучение, обладающее повышенной проникающей силой. Чедвик предположил, что это и есть поток нейтральных частиц. Позже рядом опытов он подтвердил свою гипотезу. Открытие нейтрона, нейтральной частицы, которая не отталкивалась от положительного ядра и могла выбивать из него протоны, было первым шагом к расщеплению ядра урана. Таким образом, нейтрон стал «золотым ключиком», открывшим двери в ядерную энергетику. За это важное открытие Чедвику в **1935** году была присуждена Нобелевская премия.



Следующим наиболее выдающимся открытием, совершенным после того, как Чедвик доказал существование нейтрона, было открытие **Ирен и Фредерико Жолио-Кюри** в **1934** г. **искусственной радиоактивности**. Ими был получен искусственный изотоп фосфор-30 (природный фосфор на 100% состоит из фосфора-31) методом бомбардировки ядер алюминия-27 альфа-частицами (подробнее об исследованиях супругов Жолио-Кюри см. выпуски 1-2 буклета для школьников). После открытия искусственной радиоактивности для получения искусственных элементов ученые-исследователи начали активно бомбардировать разные мишени, и нейтрон был

признан лучшей бомбардирующей частицей именно потому, что он электрически нейтрален и, соответственно, не отталкивается в ядре ни электронами, ни протонами.



Вслед за этим в Италии Энрико Ферми делает очередное открытие. Он заметил, что при столкновении нейтрона с легкими ядрами, имеющими малые сечения поглощения, (вода, парафин и др.) скорость движения нейтронов уменьшается и такие «замедленные» нейтроны в большей степени подвергаются захвату окружающими ядрами. Это явление получило название – замедление.

Начиная с **1934** года, Э. Ферми приступил к систематическим бомбардировкам нейтронными источниками всех известных на тот момент элементов. И, наконец, при бомбардировке урана Ферми решил, что получил новый трансурановый элемент, более тяжелый, чем уран.

В январе **1939** года весь мир потрясло известие о возможности деления ядер урана (при бомбардировке их нейтронами) на две почти равные части, причем вследствие процесса деления образуются 2-3 нейтрона (Лиза Мейтнер, Отто Фриш, Отто Хан, Фриц Штрассман). Уже первая информация о теории процесса деления позволила сделать фантастические выводы: новая форма ядерной реакции высвобождает огромное количество энергии и появляется возможность произвести цепную ядерную реакцию. Группа ученых под руководством Фредерико Жолио весной 1939 года подтвердила реальность деления ядер и доказала, что данная реакция сопровождается выделением новых нейтронов. Тогда же (в связи с появлением в процессе деления новых нейтронов) было доказано, что имеет место цепная реакция последовательных делений.

В мае 1939 года Ф. Жолио, Г. фон Гальбон, Л. Коварский и Ф. Перрен подали заявки на три секретных патента с описанием двух концепций применения открытия – создание сверхмощного взрывчатого вещества в условиях цепной реакции с экспоненциальным нарастанием и стабильное производство больших объемов энергии в условиях управляемой цепной реакции деления.

Эти открытия в области ядерной физики создали научную основу и заложили фундамент для развития ядерной энергетики. Но об этом в следующих выпусках.

При подготовке материала были использованы следующие источники:

1. Статья «Разгадка тайн природы, или история развития атомной физики», № 10/2005 журнала "Физика" издательского дома "Первое сентября"
2. Петросянц А. М. Ядерная энергетика. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1981, 272 с., ил.
3. Мир химии: <http://chemistry.narod.ru/himiya/4.html>
4. Электронная библиотека по химии: <http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/regions.html>
5. <http://prosto-o-slognom.ru/chimia/06.html>
6. С. И. Левченков «Краткий очерк истории химии»

Материал подготовлен: Брылева В.А., Зимич Е.Н.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99

тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс: 299-43-55, E-mail: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: valentina.bryliova@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь