

С. Глесстон, М.Н. Флерова

Атом, атомное ядро, атомная энергия

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
С11

С. Глесстон

С11 Атом, атомное ядро, атомная энергия / С. Глесстон, М.Н. Флерова – М.: Книга по Требованию, 2024. – 656 с.

ISBN 978-5-458-49895-1

В книге последовательно и подробно в научно-популярной форме описывается развитие наших знаний о строении вещества и атомах, о радиоактивности и свойствах атомного ядра, рассказывается о всех основных научных открытиях атомной физики. Подробно излагаются история открытия атомной энергии и достижения последнего времени в области применения атомной энергии. Описываются мощные экспериментальные методы ядерной физики в области исследования элементарных частиц, в том числе ускорители. Энциклопедический охват огромного материала автор сочетает с простым, наглядным и увлекательным стилем изложения. Книга рассчитана на широкий круг читателей. Ее с интересом прочтут физики, химики, математики, инженеры и биологи разных специальностей; много нового найдут в ней историки естественных наук, преподаватели вузов, техникумов и студенты.

ISBN 978-5-458-49895-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Автор этой книги, американский физико-химик Глесстон поставил своей целью познакомить возможно более широкий круг читателей с основами атомной и ядерной физики, а также с теми новыми направлениями науки, которые возникли в связи с мирным использованием атомной энергии.

Изложение охватывает весь круг важнейших проблем, относящихся к строению атомов и атомных ядер, к свойствам элементарных частиц, законам, управляющим различными видами ядерных реакций и радиоактивных превращений,— включая обзор экспериментальных методов, которые применяются для ускорения заряженных частиц и регистрации ядерных процессов. Большое внимание в книге уделяется атомным реакторам и разнообразным применениям радиоактивных изотопов и ядерных излучений.

Требования, предъявляемые автором книги к уровню физико-математической подготовки читателя, сведены к минимуму. В области математики они не выходят за пределы элементарной алгебры и геометрии, а в области физики и химии предполагаемый минимум знаний даже трудно оценить, так как книга начинается с изложения элементарных сведений об электричестве.

При таком подходе автор оказывается перед крайне трудной задачей — быстро провести неподготовленного читателя по длинной и крутой лестнице современных физико-математических знаний, вплоть до самых последних достижений науки. Естественно, что по этой причине автору часто не удается найти надлежащее объяснение для тех или иных трудных вопросов. Вместе с тем иногда он отводит слишком много места для излишне подробного изложения элементарных сведений из области химии и физики.

Характерной особенностью книги Глесстона, отличающей ее почти от всех популярных книг по атомной энергии, является последовательно проводимый исторический подход к изложению материала. Каждый из важнейших научных результатов приводится в его историческом развитии — от самых истоков до последних связанных с ним исследований.

Так, например, в книге излагается вся история возникновения и развития представлений о строении атома, причем некоторые из сообщаемых исторических фактов, вероятно, неизвестны даже значительной части специалистов-физиков. Поэтому книга может рассматриваться также как своего рода пособие по истории развития современной атомной и ядерной физики.

При переводе книги пришлось внести некоторые добавления и изменения. Добавления, сделанные в виде примечаний, а также внесенные в таблицы, по большей части определялись желанием привести сообщаемые сведения в соответствие с данными, которые появились после выхода в свет американского издания книги. Кроме того, ряд исправлений был внесен непосредственно в текст в тех случаях, когда автором допускались фактические ошибки или же изложение носило небрежный характер. Значительные затруднения возникли при переводе названия книги. Английское название книги «Sourcebook on Atomic Energy» означает «Источник сведений об атомной энергии», что в качестве названия книги в русском издании было бы неудачным и, кроме того, как видно из вышеизложенного, не соответствует ее содержанию. Поэтому название книги было изменено.

Академик Л. Арцимович

ОТ АВТОРА

Я хочу поблагодарить всех тех, чьи имена упомянуты в первом издании этой книги, за помощь, оказанную при подготовке рукописи. В особенности мне хотелось бы выразить большую благодарность покойному Альберто Томпсону, чья предусмотрительность и настойчивость позволили мне выполнить эту работу.

При подготовке пересмотренного издания книги очень полезными оказались предложения и замечания многих моих коллег и корреспондентов. Я хочу выразить особую благодарность Фришу, Гроссе, Сциларду и Юри за интересные исторические данные, Уокерлингу и Браднеру из Лаборатории излучений Калифорнийского университета за предоставление иллюстраций, помощнику директора Службы технической информации Комиссии по атомной энергии Фраю и его сотрудникам, в особенности Оуингсу и Фейнштейну, за сотрудничество и поддержку Холмсу за помощь в работе над рисунками, директору Лос-Аламосской лаборатории Бредбери и его сотрудникам за предоставление в мое распоряжение прекрасных возможностей этой лаборатории.

В заключение я хочу выразить признательность моей жене за непрерывную помощь в течение всей работы.

С. Глестон

Лос-Аламос,
январь 1958 г.

ОСНОВЫ АТОМНОЙ ТЕОРИИ

I. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ АТОМЕ

§ 1. Ранний период истории атома

Общее представление об атомном строении материи, по-видимому, существовало уже за 2500 лет до настоящего времени — у ученых древней Греции и даже ранее — у индийских философов еще более далеких веков. В 5 веке до н. э. Левкипп и его ученик Демокрит, основатели греческой школы атомистов, учили, что все материальные предметы состоят в конечном счете из маленьких неделимых частиц, которые Демокрит называл *atoma* (атомами)¹). Хотя это учение поддерживалось Эпикуром, идеи которого были подробно развиты Лукрецием в его знаменитой латинской поэме *De Rerum Natura* (О природе вещей) в начале 1 века до н. э., однако оно не получило широкого распространения главным образом из-за возражений влиятельного греческого философа Аристотеля (384—322 гг. до н. э.). Таким образом, атомные представления оставались забытыми в течение нескольких столетий, пока они не возродились в активный период развития науки, который последовал за Возрождением в Европе. В 16 и 17 веках философы и ученые, такие как Галилео Галилей в Италии, Рене Декарт во Франции и Фрэнсис Бэкон, Роберт Бойль и Исаак Ньютон в Англии, считали, что материя не непрерывна по своей природе, а состоит из неделимых частиц, или атомов.

§ 2. Дальтон и атомная теория

Однако лишь в 19 веке работы химиков превратили атом из смутной философской идеи в вещественную реальность, тогда как открытия физиков положили начало накоплению сведений о внутренней структуре атома.

Честь создания современной атомной теории обычно приписывается английскому школьному учителю Джону Дальтону, который заинтересовался этим вопросом в результате своих исследований по растворимости газов в воде и других жидкостях. Роль, которую он сыграл в развитии атомной теории, хотя и очень велика, но часто понимается неправильно. Так, говоря о роли Дальтона, немецкий физико-химик Нернст заявил, что «благодаря одному усилию современной науки она [атомная теория] возникла подобно фениксу из пепла древней греческой философии». То, что такое утверждение является неправильным, можно доказать

¹) Термин *атом*, происходящий от двух греческих слов «а» (не) и «темнеин» (резать), означает «неделимый».

с помощью цитаты из «Новой системы химической философии» Дальтона, опубликованной в 1808 г., в которой он подробно изложил свои представления об атоме как о единице химической структуры.

Рассматривая такое вещество, как вода, в газообразном (пар), жидком и твердом (лед) состояниях, Дальтон говорит: «Наблюдения приводят к выводу, который, по-видимому, является общепринятым, что все тела сколько-нибудь заметной величины... состоят из громадного числа чрезвычайно маленьких частиц, или атомов материи, связанных между собой силами притяжения». Слова «который, по-видимому, является общепринятым» многозначительны, так как из них можно заключить, что представление об атомном строении материи уже получило широкое распространение. Можно предположить, что Дальтон был обязан своими идеями Ньютону, труды которого он, вероятно, изучал, так как в своих записках к лекции, прочитанной им в Королевском институте в Лондоне в январе 1810 г., он говорит: «Ньютон ясно показал, что упругая жидкость (т. е. газ) состоит из маленьких частиц, или атомов материи».

Не вызывает также сомнений тот факт, что ирландские химики Брайан Хиггинс (1737—1820 гг.) и его племянник Уильям Хиггинс (1769—1825 гг.) совершенно ясно высказывались по поводу атомных соединений на несколько лет раньше Дальтона. Почему же в таком случае последнего считают основателем атомной теории? Ответ заключается в том, что Дальтон обосновал эту теорию количественно. Показав, как можно определить относительные веса различных атомов, он придал реальность чисто абстрактной идее. В докладе, представленном Литературному и философскому обществу в Манчестере (Англия) в октябре 1803 г., Дальтон пишет: «Исследование относительных весов неделимых частиц [атомов] различных тел — тема, насколько я знаю, совершенно новая. Я недавно провел это исследование со значительным успехом». В большинстве случаев определенные им веса впоследствии оказались ошибочными, но Дальтон посеял семя, которое выросло там, где другие перед этим только взрыхлили почву.

В Лоуэлловских лекциях на тему «Наука в современном мире», прочитанных в Гарвардском университете в 1925 г., англо-американский философ и математик Уайтхед сказал: «Изучая историю развития человеческой мысли, необходимо отличать реальное течение, определяющее целый период, от безрезультатных, случайно возникающих идей. В 18 веке каждый хорошо образованный человек читал Лукреция и увлекался представлениями об атомах. Но Дальтон сделал их полезными развитию науки; атомизм, с точки зрения пользы, явился новой идеей». Атомная теория классических мыслителей носила характер неясной философской идеи, в то время как теория, созданная Дальтоном, была значительно более определенной. Она позволяла объяснить или по крайней мере интерпретировать многие химические данные и, что особенно важно, направляла на путь дальнейших экспериментов и исследований.

Со времен Дальтона атомная гипотеза играла все возрастающую роль в науке, сначала в химии, а позднее и в физике. Правда, некоторые ученые, среди них довольно известные, как, например, немецкий физико-химик Вильгельм Оствальд, сомневались в существовании атомов, но к началу текущего столетия даже эти противники были побеждены. В настоящее время аргументы в пользу атомной структуры материи настолько многочисленны и убедительны, что атомные представления получили всеобщее признание не как теория, а как установленный факт.

II. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

§ 3. Теория четырех элементов

Параллельно с развитием атомной теории человеческие умы из поколения в поколение занимал другой важный принцип, также основанный на греческой философии. Размышляя о строении Вселенной, Эмпедокл в 5 веке до н. э. высказал идею о том, что вся материя состоит из четырех «элементов», а именно из огня, земли, воздуха и воды. Вероятно, в этом отношении так же, как и в представлении об атомах, древние индийские мыслители опередили греков, однако наши современные представления происходят непосредственно от последних. Поддержанная Аристотелем и другими учеными теория четырех элементов была широко принята на протяжении более двух тысяч лет, несмотря на отсутствие четких представлений о ее конкретном смысле.

Некоторые ученые, несомненно, рассматривали эти элементы как обычные землю, воздух, огонь и воду, в то время как другие мыслили их себе скорее в качестве некоторых представителей физических свойств (признаков). Аристотель, например, считал, что вся материя состоит из одного первичного вещества, которое он назвал *hyle* (вещество, материя)¹⁾. Это вещество может приобретать в различных количествах четыре качества, или «принципа», — горячее, холодное, сухое и влажное. Так, воздух — горячий и влажный, вода — холодная и влажная, огонь — горячий и сухой и земля — холодная и сухая. Различие между веществами рассматривалось как следствие изменений в первичных качествах, причем считалось, что основная материя всегда остается неизменной.

По-видимому, именно такая интерпретация теории четырех элементов служила основанием для тщетных попыток древних алхимиков превратить обычные металлы в золото. На протяжении сотен лет все попытки осуществить такое превращение кончались полной неудачей, однако в настоящее время благодаря накопленным знаниям о свойствах атомов превращение одного элемента в другой ежедневно производится во многих лабораториях (гл. 10).

§ 4. Элементы и соединения

Хотя теория Аристотеля была широко распространена еще в 17 веке, тем не менее стали возникать сомнения в способности этой теории объяснить природу различных форм материи. Одно из самых сильных возражений было высказано Робертом Бойлем, ирландцем по происхождению, в книге «Химик-скептик», опубликованной в Лондоне в 1661 г. В этой книге он дал свою собственную интерпретацию элемента. Так, он писал: «Так же как те химики, которые говорят наиболее простым языком, я подразумеваю под элементами некоторые примитивные и простые или совершенно несмешанные тела, которые, поскольку они не состоят ни из каких других тел или одно из другого, являются ингредиентами, из которых... смешанные тела составляются непосредственно и на которые они в конечном счете разделяются... Я не должен смотреть на какое-либо тело, как на... элемент... если оно не совершенно однородно и может

¹⁾ В более поздние годы это название было изменено, по-видимому, Роджером Бэковым в 13 веке на *протил* от *protos* и *hyle*, что означает основная, или первичная, материя.

в дальнейшем разделиться на некоторое, хотя бы и малое, число отдельных элементов».

Высказывалось мнение о том, что данное выше представление об элементе не принадлежит самому Бойлю, и некоторое подтверждение такого мнения можно найти в его собственных словах «так же как те химики, которые говорят наиболее простым языком», стоящих в начале вышеприведенной цитаты. Может быть это и так, но и в данном случае остается фактом то, что Бойль ясно выразил основные идеи, из которых развились современные представления о природе элементов. Однако прошло более ста лет, прежде чем эти идеи оказали сколько-нибудь ощутимое влияние на научную мысль. Только после того, как французский химик Лавуазье в 1774 г. доказал, что воздух является не простым веществом, а смесью по крайней мере двух различных газов, называемых теперь азотом и кислородом, а также после работы Джозефа Пристли и Генри Кэвендиша (1781 г.), в которой было установлено, что вода состоит из водорода и кислорода, теория четырех элементов была окончательно отвергнута. Вместо нее Лавуазье в 1789 г. установил современное понятие элемента следующим образом: «Мы применяем термин элементы... к телам, чтобы выразить наше представление о последнем пределе, которого может достичь анализ». Таким образом, элемент рассматривается как вещество, содержащее, насколько известно, только один род материи, которое нельзя любым известным способом разложить на нечто более простое.

На этой основе Лавуазье заменил четыре элемента греческих философов таблицей 33 элементов, из которых более 20 считаются элементами и в настоящее время. К 1819 г. шведский химик Берцелиус увеличил это число до 50. В настоящее время насчитывается 90 различных элементов, о которых определенно известно, что они имеются на Земле; еще несколько элементов можно получить с помощью методов, о которых говорится в гл. 16. Все материальные тела состоят по крайней мере из одного элемента; если два или более элемента соединяются друг с другом в процессе химической реакции, то получающийся в результате продукт называется *соединением*.

§ 5. Определение элемента

До начала настоящего столетия химический элемент определялся просто как форма материи, которую нельзя разделить на другие формы. Теперь, с открытием явлений радиоактивности, сопровождающихся самопроизвольным превращением одного элемента в другой (гл. 5), и с развитием методов превращения и расщепления многих элементов (гл. 9) такое точное определение дать нелегко. В последующих главах показано, что эти процессы, как самопроизвольные, так и осуществляемые искусственными методами, связаны с очень большими количествами энергии. С другой стороны, в химических реакциях изменения энергии много меньше по порядку величины. Таким образом, элемент можно описать как форму материи, которая не может быть разложена на более простые формы (или получена из них) путем химических реакций, т. е. путем реакций, связанных с относительно малыми количествами энергии. Несмотря на несколько неясный характер этого определения¹⁾, в настоящее время не существует каких-либо сомнений относительно того, является ли данное вещество элементом или соединением. Имеющиеся теперь многочисленные способы

¹⁾ Элемент может быть определен более точно как форма материи, все атомы которой имеют одинаковый заряд ядра (гл. 4).

проверки, основанные на характерных физических свойствах, таких, как оптический спектр, спектр масс и спектр рентгеновских лучей, позволяют различать и идентифицировать элементы.

Атом может быть теперь определен как мельчайшая возможная или первичная частица элемента, причем каждый элемент имеет свои, характерные для него одного атомы. Как будет видно из гл. 4, атом имеет внутреннее строение и может быть расщеплен на внутриатомные частицы. Но эти частицы, большинство из которых имеет электрическую природу, не имеют свойств, характерных для элемента. Если подразумевать, что идентичность элемента должна быть сохранена, то атом можно считать неделимым.

§ 6. Символы и формулы

Чтобы наглядно представить образование соединения из элементов, Дальтон ввел для атомов ряд символов. Так, атом кислорода он обозначил кружком, атом водорода — кружком с точкой в середине, а атом азота — кружком, пересеченным вертикальной чертой. Такой способ записи химических формул был довольно громоздким при рассмотрении соединений, и, кроме того, открытие каждого нового элемента порождало проблему обозначения его подходящим символом. Эта трудность была преодолена Берцелиусом, который придумал метод, давший основу для символического представления элементов и соединений, применяемого в настоящее время.

В своем трактате «О теории химических соотношений» (Париж, 1819 г.) Берцелиус предложил «использовать в качестве химических символов буквы алфавита, так как их легко писать и печатать без искажения текста», и использовать для этой цели «одну или несколько начальных букв латинского названия каждого элемента». Таким образом, кислород (oxygenium) был обозначен символом O, водород (hydrogenium) — H, медь (cuprum) — Cu, золото (aurum) — Au, серебро (argentum) — Ag и т. д.¹⁾ Обозначение соединения, или, как его обычно называют, *формула* соединения, получается как комбинация символов соответствующих элементов с индексами, указывающими число присутствующих в соединении атомов. Так, формулу воды, представляющей собой химическое соединение двух атомов водорода с одним атомом кислорода, записывают в виде H_2O ; серная кислота, содержащая два атома водорода, один атом серы и четыре атома кислорода, имеет формулу H_2SO_4 и т. д.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ВЕСОВ

§ 7. Система атомных весов Дальтона

Как упоминалось выше, пожалуй, наиболее значительным вкладом Дальтона в атомную теорию была его попытка определить относительные массы, или веса²⁾, атомов. Реальные атомы, конечно, слишком малы, чтобы

¹⁾ Некоторые символы, например O и H, были получены от латинизированных наименований французского или какого-либо иного происхождения. Полная таблица современных символов элементов приведена в § 15 настоящей главы.

²⁾ Хотя масса и вес считаются здесь синонимами, однако, строго говоря, между ними необходимо проводить различие. Масса является мерой количества вещества в теле, в то время как вес есть сила, действующая на тело вследствие земного притяжения. На практике принято говорить «атомные веса», хотя точнее было бы говорить «атомные массы».

их можно было непосредственно взвесить, поэтому их веса удобно выражать по отношению к весу какого-нибудь одного атома. Дальтон выбрал для этой цели атом водорода, самый легкий из известных ему атомов и, как оказалось впоследствии, самый легкий из атомов всех элементов. Таким образом, вес атома водорода был принят за единицу, а веса других атомов были выражены в единицах веса атома водорода.

При этом методы получения относительных атомных весов были основаны на определенных постулатах, касающихся природы атомов и способа их соединения. Дальтон в упоминавшейся выше «Новой системе химической философии» приводит следующие соображения.

Важным является вопрос, «одинаковы ли между собой первичные частицы тела, такого как вода, т. е. имеют ли они одинаковую форму, размер, вес и т. д., Из того, что известно, мы не имеем никакого основания предполагать различие в этих свойствах; если это различие существует в воде, то оно должно в равной мере существовать у элементов, составляющих воду, а именно у водорода и кислорода. Однако едва ли можно себе представить, каким образом совокупность неодинаковых частиц может быть повсюду столь однородной... Поэтому мы можем заключить, что первичные частицы всех однородных тел совершенно одинаковы по весу, форме и т. п. Другими словами, каждая [первичная] частица воды подобна любой другой частице воды, каждая [первичная] частица водорода подобна любой другой частице водорода и т. д. ...»

«Химический анализ и синтез не идут дальше отделения частиц одной от другой и их воссоединения. Создание новой материи или ее разрушение лежат вне пределов химических средств... Все изменения, которые мы можем производить, сводятся к отделению частиц, находящихся в связанном состоянии или входящих в состав какого-либо соединения, и к соединению частиц, ранее отделенных друг от друга...»

«Если имеются два вещества А и В, которые могут соединяться одно с другим, то могут иметь место следующие комбинации, начиная с наиболее простой: 1 атом А + 1 атом В [= АВ]..., 1 атом А + 2 атома В [= АВ₂]..., 2 атома А + 1 атом В [= А₂В] и т. д.»

Короче говоря, Дальтон сделал три заключения: первичные частицы данного чистого вещества, как элемента, так и соединения, подобны по размеру, форме и весу; химические реакции не вызывают никаких изменений в природе атомов и проявляются только в их перераспределении; комбинации атомов выражаются в отношениях наиболее простых целых чисел — АВ предпочтительно перед АВ₂ и т. д. Если, как предположил Дальтон, атомы данного элемента все подобны и не меняются при химическом взаимодействии, то относительный атомный вес, полученный из анализа сложного вещества, должен иметь определенное постоянное значение. Хотя при фактическом определении относительных атомных весов используется только третий из приведенных выше постулатов, результаты не имели бы никакого значения без первых двух постулатов.

Способ, использованный Дальтоном, может быть проиллюстрирован на примере определения им атомного веса кислорода. В то время было известно только одно соединение кислорода с водородом — вода. Поэтому Дальтон, в соответствии с принципами, которые он сформулировал, предположил, что оно представляет собой простейшее возможное соединение, а именно соединение одного атома водорода с одним атомом кислорода, т. е. НО. На основе химического анализа он нашел, что вода состоит из одной весовой части водорода и семи (как было показано позднее, восьми) весовых частей кислорода. Отсюда следует, что если атомный вес водорода