

Ф.В. Астон

Изотопы

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Ф11

Ф11 **Ф.В. Астон**
Изотопы / Ф.В. Астон – М.: Книга по Требованию, 2020. – 172 с.

ISBN 978-5-458-44953-3

Перевод с английского В.А. Стожарова под редакцией А.П.Афанасьева
с портретом автора , 4мя вкладными таблицами и 21 рисунком в тексте

ISBN 978-5-458-44953-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2020

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2020

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 первозданном 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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ГЛАВА I.

ВВЕДЕНИЕ.

§ 1. Введение. В конце прошлого столетия отношение науки к атомной теории коренным образом изменилось. То, что раньше считалось только приемлемой рабочей гипотезой, очень быстро достигло положения обоснованного факта.

В настоящее время этот переворот уже произошел, и в любой хорошо оборудованной лаборатории можно не только наблюдать отдельные атомы, но могут быть обнаружены и даже наблюдаемы невооруженным глазом движения самых быстрых из них.

Причиной, вызвавшей этот замечательный прогресс, несомненно, следует считать открытие радиоактивных явлений, которое представило в наше распоряжение быстро движущиеся атомы, обладающие запасом энергии, достаточным для того, чтобы действия их могли быть наблюдаемы и измерены, таким запасом энергии, который позволяет упорное и непрерывное улучшение техники методов исследования. Можно было ожидать, что в результате этих новых по своей тонкости исследований окажется, что те основные физические теории, которые лежат в основе химии и образуют прочное математическое основание для ее формул, в некоторых случаях окажутся неожиданно не совсем верными. Эти ожидания оправдались прежде всего в области радиоактивных элементов, когда Болтвуд (Boltwood) потерпел неудачу в разделении иония и тория, и, в области неактивных элементов, когда Дж. Дж. Томсон (J. J. Thomson), спустя несколько лет, обнаружил аномальное поведение неона при анализе его положительными лучами. Дальнейшее более глубокое и тщательное исследование этих отклонений от теории обнаружило (что и должно было произойти, если они действительно), что они не разроз-

ненны и случайны, но что мы имеем здесь перед собою определенное, доступное пониманию явление. Разъяснению открытого таким образом явления и посвящена настоящая книга. Может-быть, не будет лишним взглянуть, более чем на столетие назад, на начала теории, заключавшие уже в себе те мысли, о которых мы собираемся говорить.

§ 2. Гипотезы Дальтона и Проута. Обобщения, известные под именем атомной теории и образующие основание современной химии, высказаны в 1803 г. Дальтоном (Dalton) и заключаются в пяти постулатах. Мы должны отдать должное прозорливой мысли этого исследователя: действительно, из этих пяти постулатов, в наше время, ставится под вопросом правильность лишь одного из них. Этот постулат следующий: атомы одного элемента все подобны между собой и обладают одинаковым весом. Он, очевидно, состоит из двух частей,—если мы соединим эти обе части для определения слова „элемент“, то в целом придем к трюизму; этот взгляд на материю будет рассмотрен впоследствии. Пока мы будем понимать слово „элемент“ в том смысле, как его очевидно понимал Дальтон (Dalton) и как его понимают и теперь, именно, это такая субстанция, как хлор или свинец, которая имеет постоянные химические свойства, и которая не может быть разложена на дальнейшие компоненты каким-либо известным химическим процессом. Первая половина постулата, соединенная с остальными четырьмя постулатами, оказывается достаточной для определения слова „элемент“, вторая же является чистой гипотезой.

Лет через десять Проут (Proust) предположил, что атомы всех элементов образованы из атомов водорода. С этой точки зрения веса всех атомов должны быть выражены целыми числами, а если, как постулирует Дальтон (Dalton), атомы отдельных элементов все одинакового веса, то также и атомные веса и отношения весов при соединении элементов должны выражаться целыми числами. Однако, химики вскоре же обнаружили, что для многих элементов это определенным образом не согласуется с опытом; и чем больше ими было получено результатов, тем более невозможным оказывалось выразить атомные веса *всех* элементов целыми числами. Представлялось решить, которая гипотеза Дальтона (Dalton) или Проута (Proust) должна быть принята? Особых сомнений в резуль-

тате выбора не может быть: в дальнейшем теория Прюта (Prout) была отброшена.

Интересно рассмотреть мотивы, решившие выбор, который, как показала дальнейшая история науки, является мудрым в принципе, но ошибочным на деле. Представлялось два взгляда — каждый из элементов образован из атомов одинакового веса, тогда у некоторых элементов веса отдельных атомов должны быть дробными, или же эти элементы так образованы из смеси атомов различных весов, что, хотя индивидуальные веса атомов всегда числа целые, их среднее оказывается дробным. Остается непонятным, как вторая возможность ни разу не пришла в голову философам в то время, пока выбор не пал еще в ту или иную сторону, когда ей было легче возникнуть, чем несколько лет спустя, когда взгляды Дальтона (Dalton) явились общепринятыми. Однако, возражения против нее возникают немедленно и являются серьезными. Мысль, что частицы ведут себя практически одинаковым образом, имея различные веса, не является такой, чтобы напрашиваться самой по себе *a priori* и не может служить рабочей гипотезой для химика, будучи безнадежной и неопределенной, в противоположность другой более простой, ясной и многообещающей возможности. Таким образом нужно сказать, что возражения против дробных весов атома были более философскими, чем практическими; они были связаны с вопросом структуры отдельных атомов и разумно были отложены на время в сторону, до тех пор, пока эти гипотетические вопросы не станут доступными экспериментальному исследованию.

Предположим, что атомы одного и того же элемента все одинакового веса, не может быть проверено химическими методами, так как атомы, по определению, химически тождественны, а численные соотношения, получаемые химическими методами, соответствуют количествам элементов, содержащим бесчисленные мириады атомов. Но, хотя мы видим и полное отсутствие положительных доказательств, поддерживающих возможное возражение, тем не менее часто кажется удивительным, что мы не встречаем публично высказанных сомнений вплоть до конца XIX столетия, высказанных впервые Шутценбергером (Schutzenberger) и затем Круксом (Crookes), и что эти сомнения рассматривались даже в самом недавнем прошлом, как в высшей

степени спекулятивные. Чтобы опровергнуть мысль, что атомы таких элементов, как хлор, могут не все быть одинакового веса, казалось достаточным сослаться на опыты диффузии и на постоянство химических эквивалентов. Лишь в течение последних нескольких лет выяснилась жалкая слабость таких аргументов, и было доказано, что экспериментальное разделение атомов, различающихся на 10 процентов в весе, в действительности является чрезвычайно сложной операцией.

§ 3. **Мета-элементы Крукса.** Вильям Крукс (William Crookes), которому мы обязаны столь многими замечательными научными предсказаниями, был тем химиком, который ранее других обратился к мысли о неодинаковости атомов. Его речь в химической секции Британской Ассоциации в Бирмингеме в 1886 г. ¹⁾ является замечательнейшей попыткой рассуждений, соединенных с воображением, и ее должны прочесть все интересующиеся историей научной мысли. В ней он говорит: „Поэтому я думаю, что когда мы говорим, что атомный вес, напр., кальция равен 40, то в действительности мы выражает тот факт, что в то время, как большинство атомов кальция имеет действительный атомный вес 40, не являются исключенными и небольшое количество атомов с весами 39 или 41, или даже с весами 38 и 42 и т. д. Здесь мы вспоминаем о ньютоновых (Newton) „old worn particles“ (старых поношенных частицах).

„Не является ли возможным или даже осуществимым, в некоторых случаях путем процесса, подобного химическому фракционированию разделить более тяжелые и более легкие атомы? Такое разделение могло бы иметь место в случае конденсации атомной материи из первоначального раскаленного состояния; оно может также происходить и в геологические эпохи при последовательных растворениях и осаждениях различных пород.

„Это может показаться смелой спекуляцией, но я не думаю, что выше сил химии проверить ее осуществимость“.

Позднее ²⁾ он проводит эту идею в связи со своими работами пионера в области редких земель. Кропотливым процессом дробных

¹⁾ Nature, **34**, 423, 1886.

²⁾ Trans. Chem. Soc., **53**, 487, 1888; **55**, 257, 1889.

осаждений он разделил иттрий на некоторое число компонентов, имеющих различные спектры флуоресценции, но близко сходные друг с другом в своих химических свойствах. Указывая на то, что в то время иттрий считался элементом, он говорит: „здесь мы имеем элемент, которого спектр не излучается одинаково всеми его атомами, но одни атомы дают одни, другие—другие из линии и полос сложного спектра элемента. Таким образом атомы этого элемента возможно различаются в весе, и, конечно, во внутренних происходящих в них движениях“. Он называет такие элементы „мета-элементами“ и высказывает мысль, что это может быть распространено на элементы вообще; напр., на семь серий полос спектра поглощения иода,—„некоторые из его молекул могут излучать одни из серий, другие—другие; в смеси же всех этих молекул, в том, что называется „парами иода“, все семь серий являются совместно“.

Поскольку мета-элементы немного различаются в атомном весе, и их смесь образует химический элемент, эти гипотетические мета-элементы можно рассматривать как первое допустимое объяснение дробных атомных весов. Но с применением в химии все более и более точных методов редкие земли поддавались одна за другой анализу, и различные спектры, наблюдаемые Круксом (Crookes), как было показано, были вызваны тем фактом, что он пользовался смесью действительных элементов, каждый из которых имеет свой характерный спектр и определенный атомный вес. Теория мета-элементов была поэтому оставлена, а проблема дробности атомных весов не разрешена.

§ 4. Открытие изотопов. С течением времени числа, выражающие атомные веса, становились более и более точными и согласными. Значащие цифры одна за другой прибавлялись одними исследователями, подтверждались другими и окончательно принимались Международным Комитетом. Поэтому нельзя особенно порицать студента, когда он, изучая внушающую уважение таблицу чисел, называемых Международными Атомными Весами, впадает в очень естественную ошибку, смешивая „атомный вес“ с „весом атома“ и думая, что эти числа действительно представляют относительные веса самих индивидуальных атомов.

Почему столь многие из атомных весов очень близки к целым, когда их выражают по шкале $O = 16$? Этот вопрос очень трудный для ответа, так как вероятность быть тому следствием простого

случая огромна, но таково было положение дела, пока не была открыта радиоактивность, которая дала истинное объяснение этой странной смеси целых и дробных чисел, нашедшее дальнейшее свое общее подтверждение в анализе при помощи положительных лучей. Достойно внимания, что первое экспериментальное доказательство того, что атомы элемента могут быть, лишь приблизительно, одного и того же веса, было дано параболой положительных лучей ¹⁾).

Результаты, данные радиоактивными элементами, породили массу новых взглядов и революционных идей. Одной из них является мысль, что могут существовать элементы химически тождественные, но, однако, различные по их радиоактивным свойствам и даже по атомному весу. Эта мысль возникла в 1910 году, она была серьезным образом высказана и разработана Содди (Soddy). Приблизительно в то же время была сильно двинута вперед техника анализа положительными лучами, и в 1912 г. были получены первые результаты, относившиеся к неону, которые подтверждали эту новую мысль и переносили ее в область нерадиоактивных элементов. Начиная с этого времени, в обеих областях параллельно достигали новых успехов. На съезде Британской Ассоциации в 1913 г. ²⁾ в различных секциях читались доклады, одни по радиоактивным элементам и периодическому закону, другие по неоднородности неона, и те и другие стремились показать, что могут существовать субстанции с одинаковыми или практически одинаковыми химическими и спектроскопическими свойствами, но различными атомными весами.

Потребность в имени для таких субстанций была удовлетворена по почину Содди (Soddy), предложившего назвать их изотопами (*ἴσος*—одинаковый, *τόπος*—место), так как они занимают одно и то же место в периодической системе элементов.

¹⁾ См. стр. 29.

²⁾ Довольно странно, что это был первый, в течение двадцати семи лет, съезд Ассоциации в Бирмингеме после того съезда, на котором Крукс сделал свои пророческие замечания, о которых мы уже говорили выше.

ГЛАВА II.

Радиоактивные изотопы.

§ 5. Химическая тождественность среди радиоактивных элементов. Кроме разобранных выше, чисто спекулятивных рассуждений, теория изотопов берет свое начало и из гигантского потока прогресса человеческого познания, начавшегося после открытия радиоактивности. Предположительно можно думать, что и в том случае, если бы радиоактивных явлений не существовало, изотопы были бы открыты методом положительных лучей. Но в таком случае прогресс был бы чрезвычайно медленным и было бы почти невозможными то объяснение этому явлению, которое дает теория ядра Эрнеста Розерфорда (Ernest Rutherford).

В 1906 г. Болтвуд (Boltwood)¹⁾ открыл новый элемент из группы радиоактивных, который он называл ионием и описал его, как имеющий химические свойства, одинаковые с таковыми тория. Их сходство оказалось столь большим, что, когда соли этих двух элементов были случайно смешаны, Болтвуд не нашел возможным вновь их разделить путем какого-либо химического процесса.

Болтвуд (Boltwood), будучи занят экспериментальным доказательством того, что ионий является веществом, из которого происходит радий, дальнейших исследований в этом направлении не произвел; но эта работа позднее была предпринята Марквальдом и Кетманом²⁾ (Marckwald, Keetman) в Берлине. Благодаря быстрому развитию радиоактивных методов, мы теперь имеем в своем распоряжении способы обнаружения изменений концентрации неслыханной точности сравнительно с теми способами,

¹⁾ Boltwood, Amer. J. Sci, **22**, 537, 1906; **24**, 370, 1907.

²⁾ Keetman, Jahr. Radioactivität, **6**, 269, 1909.

которые находились в распоряжении недавних исследований редких земель, и, несмотря на это, в результате терпеливого и кропотливого труда нескольких лет не было замечено никаких признаков разделения иония и тория. Химическое подобие между этими элементами совершенно иного порядка, чем подобие, наблюдаемое между элементами редких земель, и столь близко подходит к полной тождественности, что даже самая критическая мысль должна ее признать.

Этот результат особенно строго был проверен Ауэром фон Бельсбахом ¹⁾ (Auer v. Welsbach), который мог применить к исследованию вопроса свой большой опыт предыдущих исследований редких земель.

Вскоре Марквальд ²⁾ (Marckwald) и Содди ³⁾ (Soddy) показали, что мезоторий, открытый Ганом (Hahn) в 1907 г., химически неотделим от радия; подобная же химическая идентичность представлялась очень возможной в ряде других случаев радиоактивных элементов. Некоторые закономерности в этих явлениях были отмечены Ганом и Мейтнер ⁴⁾ (Hahn, Meitner). Общие итоги этих наблюдений было превосходно подведены Содди ⁵⁾ (Soddy) в его обзоре радиоактивных явлений в 1910 г., где он говорит:

„Эти закономерности могут быть приняты как начало некоторых новых обобщений, которые прольют свет не только на радиоактивные процессы, но также вообще на элементы и на периодический закон. Правда, очевидность химической тождественности не одинакова во всех предыдущих случаях, однако, полные тождества иония, тория и радиотория, радия и мезотория I, свинца и радия D можно считать вполне доказанными... Факт, что элементы различных атомных весов могут обладать одинаковыми свойствами, может иметь особенно важное значение в области неактивных элементов, где отсутствие второй радиоактивной природы делает невозможным обнаружение подобной химической тождественности. Теперь химическая однородность уже не является гарантией того, что данный элемент не есть смесь нескольких с различными атом-

¹⁾ A. v. Welsbach, Wien, Ber., IIa, **119**, 1011, 1910.

²⁾ Marchwald, Ber. d. Chem. Ges., **40**, 3420, 1910.

³⁾ Soddy, Trans. Chem. Soc., **99**, 72, 1911.

⁴⁾ Hahn und Meitner, Phys. Z. **11**, 493, 1910.

⁵⁾ Soddy, Chem. Soc. Ann. Rep. 285, 1910.

ными весами или что атомный вес не среднее число. Постоянство атомного веса, независимое от источника материала, не может служить полным доказательством его однородности, так как, подобно радиоактивным элементам, генетические зависимости могли привести к начальному постоянству соотношения между числами отдельных индивидуальных атомов, которого не мог нарушить никакой последующий естественный или искусственный химический процесс. Если это действительно имеет место, то отсутствие простых численных соотношений между атомными весами становится менее удивительным“.

§ 6. Спектроскопическое тождество изотопов. Дальнейшее достижение оказалось, пожалуй, еще более революционного характера. Оно заключалось в доказательстве того, что химически неотделимые продукты радиоактивного распада элементов также неразличимы и спектроскопически. Мысль, что элементы, хотя и различных атомных весов, могут иметь одинаковый спектр, развилась в лаборатории Эрнеста Резерфорда (Ernest Rutherford); впервые же выдвинута она как-будто была А. С. Росселом (A. S. Russell). Последний совместно с Росси¹⁾ (Rossi) произвел сравнение спектра чистого тория со спектром смеси тория и иония, радиоактивность которой указывала с несомненностью на большой процент последнего элемента. При этом не было замечено новых линий, которые можно было бы приписать ионию; полученные спектры оказались совершенно тождественными.

После того, как на основании радиоактивных свойств ими было точно выяснено вероятное процентное содержание иония и было показано, что практически невозможно, чтобы оно было слишком малым для появления искомого спектра, авторы говорят следующее:

„Все же имеется два других возможных объяснения отсутствия собственного спектра иония, кроме разобранного выше. Возможно, что

(1) ионий не имеет спектра в исследованной области,

(2) ионий и торий имеют тождественные спектры в исследованной области.

Первая возможность очень маловероятна, так как все твердые тела высокого атомного веса дают спектр в вольтовой дуге и, более того, все редкие земли имеют крайне сложный спектр.

¹⁾ Russell and Rossi, Proc Roy. Soc., 77A, 478, 1912.

Вторая возможность, представляющаяся все-таки спекулятивной по духу, поддерживается некоторыми новейшими работами по химическим свойствам радиоактивных элементов. Сейчас нет указаний, опровергающих ее истинность. Прекрасно известно, что существует не менее четырех групп радиоэлементов с длинной жизнью, члены каждой из которых химически неразделимы. Эти элементы не все принадлежат к группе редких земель, некоторые нерадиоактивные члены которой известны как очень похожие химически. Мезоторий, например, химически неотделимый от радия, принадлежит к группе щелочно-земельной. Затем два неразличимые вещества, испускающие лучи α , которые присутствуют в обычном уране и названы Гейгером и Нотталем (Heiger, Nuttall) ураном I и ураном II, принадлежат к группе хром-молибден-вольфрам. Объяснение этих резких химических подобий, весьма возможно, заключается в том, что два очень похожие вещества в действительности являются различными членами одной и той же группы элементов, только различие в их химических свойствах менее выражено, чем различие между другими членами той же группы, по причине малого различия в атомном весе. *Однако, и ту возможность, что они идентичны во всех физических и химических свойствах и различаются только атомным весом и радиоактивными свойствами, также не следует упускать из виду. Если это последнее положение было бы действительно доказано, то спектры иония и тория должны были бы быть тождественны*¹⁾.

Не удивительно, что эта мысль была предложена с некоторой осторожностью: в то время как мысль о химическом тождестве выдвигалась рядом постепенных шагов, эта мысль была совершенно новой и противоречащей всем предыдущим взглядам на связь между спектром элемента и массой его атома. Новая точка зрения была поддержана Содди¹⁾ (Soddy), однако, она подверглась критике, основывавшейся на недостаточной очевидности. Дальнейшие работы в этой области будут изложены в главе X.

Уже в 1911 г. была формулирована теория „Ядрового атома“ (см. § 88). Она дала первый намек на физический смысл химической и спектроскопической тождественности, указав, что ядра

¹⁾ Soddy, Chem. News., февр. 28, 1913.