

ФИЛОСОФСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

*Б.М.Кедров*

РАЗВИТИЕ  
ПОНЯТИЯ ЭЛЕМЕНТА  
ОТ МЕНДЕЛЕЕВА  
ДО НАШИХ ДНЕЙ

ОГИЗ  
Гостехиздат  
1948

РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ  
— ЭЛЕМЕНТА —

*Б.М.Кедров*

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

---

Б. М. КЕДРОВ

**РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ  
ЭЛЕМЕНТА ОТ МЕНДЕЛЕЕВА  
ДО НАШИХ ДНЕЙ**

ОПЫТ ИСТОРИКО-ЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

ОГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1948 ЛЕНИНГРАД

10=5=4

Редактор *И. В. Кузнецов.*

Техн. редактор *С. Н. Ахламов.*

---

Подписано к печати 26/Х—1948 г. 15,5 печ. л.+1 вклейка. 13,66 уч.-изд. л.  
35 125 тип. зн. в печ. листе А-07566 Тираж 10 000 экз. Цена книги 8 р. 20 коп.  
Переплёт 2 р. Заказ № 1028.

---

3-я тип. «Красный пролетарий» треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при Совете  
Министров СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	4
Введение. Различные подходы к определению элемента.	9
Глава I. Периодический закон Менделеева и понятие элемента . . . . .	29
Глава II. Намеченные Менделеевым перспективы . . . . .	53
Глава III. Принцип ассоциации и понятие элемента . . . . .	72
Глава IV. Основной признак элемента и радиоактивность . . . . .	94
Глава V. Основной признак элемента и рентгеновские спектры . . . . .	121
Глава VI. Электронная оболочка и принцип ассоциации . . . . .	152
Глава VII. Связь между признаками изотопа и элемента.	185
Заключение. Итоги развития менделеевских взглядов на элементы . . . . .	220
Приложения . . . . .	235

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа представляет собой попытку раскрыть связь между современным определением основного понятия химии — понятия химического элемента — и менделеевской периодической системой. Автор стремился применить к анализу данных физики и химии марксистскую диалектическую логику.

Говоря о развитии *понятия* элемента, мы имеем в виду не терминологическую, словесную сторону дела, а исторический процесс теоретического обобщения и резюмирования — в форме научных представлений — результатов современной физики и химии, касающихся в первую очередь строения атомов.

Вместе с тем данная работа должна показать на конкретном примере огромное и ещё не достаточно оценённое значение научного наследства Д. И. Менделеева. Последнее, вопреки мнению некоторых специалистов — химиков и физиков, далеко не утратило и поныне своего принципиального значения, в частности, для разработки современных физических и химических понятий. Автор стремился показать, что разговоры об «устарелости» взглядов Менделеева на химические элементы являются продуктом либо незнания, либо нежелания серьёзно ознакомиться с менделеевскими идеями о связи между понятием элемента и периодической системой, т. е. с теми идеями, под знаком которых развивалась и развивается в XX в. теория строения атома и атомного ядра. По глубине подхода к вопросу об определении элемента Менделеев был на голову выше не только всех своих современников химиков, но и большинства позднейших учёных, пытавшихся определять понятие элемента. Даже сейчас его взгляды по сравнению с воззрениями современных буржуазных учёных оказы-

ваются значительно более прогрессивными. Объясняется это тем, что Менделеев был материалистом и стихийно опирался на диалектическую логику, тогда как современные буржуазные учёные, пытающиеся ставить вопросы о природе научных понятий и о их определении, оказываются в плену у идеализма и формальной логики. В трудах Менделеева устарели, да и не могли не устареть, многие частные положения; общий же его подход к понятию элемента, диалектический метод постановки и решения данного вопроса, применённый Менделеевым, фактически продолжает сохранять своё значение.

В нашей работе мы стремились показать, насколько необоснованно относить взгляды Менделеева исключительно к области истории, насколько важно выяснить их влияние на современную науку о веществе.

Применённый в данной работе историко-логический анализ воззрений Менделеева, учитывающий результаты современной науки, позволяет продемонстрировать величие Менделеева не только с точки зрения *прошлого*, но и для разрешения тех споров, которые ведутся в науке *сейчас*, для преодоления тех трудностей, которые возникают перед учёными *сегодня*. Тем самым осязательнее раскрывается величие нашего соотечественника, а значит, величие нашей русской науки, сумевшей внести такой вклад в науку, который сохранил огромное прогрессивное значение и на сегодня. И если сам Д. И. Менделеев говорил о периодическом законе, что этот закон «очень нов и глубоко проникает в природу химических явлений, и я, как русский, горжусь тем, что участвовал в его установлении», то все советские люди могут гордиться Менделеевым, открытия которого принесли славу русской науке.

Показ значения взглядов Менделеева для *современной* науки позволяет в полной мере раскрыть огромную важность вопроса о приоритете Менделеева, а в его лице и всей русской науки, в открытии периодического закона. Для этого недостаточно просто установить, что Менделеев раньше других химиков нашёл периодическую зависимость в свойствах химических элементов. Необходимо ещё выяснить глубин понимания сделанного открытия

и вытекающих из него следствий, а тем самым и его значения для дальнейшего развития науки. Без этого защита приоритета в данном открытии не достигает в полной мере цели. Тот, кто ограничивает себя чисто хронологическим подходом к вопросам приоритета, неизбежно останавливается лишь на поверхности исторических событий, не будучи в силах углубиться в их существо и раскрыть их подлинное значение.

Напротив, тот, кто стремится доказать важность вопросов приоритета в науке, причём доказать это не на словах, а на деле, должен обратиться к анализу самого существа научного открытия, должен раскрыть содержание научных воззрений автора данного открытия. С точки зрения такого подхода становится абсолютно ясно, что Менделеев был не только первым, кто открыл периодический закон, но он был *единственным в мире химиком, который понял во всей глубине сделанное открытие и вывел из него такие следствия, на которые не осмеливался никто, кроме него.* И если взгляды таких недостойных посягателей на приоритет Менделеева, как немец Лотар Мейер и англичанин Ньюлендс, давно отошли в прошлое, то взгляды Менделеева на химические элементы в своей основе не только не устарели, но вошли в сокровищницу современной науки о веществе и дают ныне химикам ключ к решению вопроса об основном понятии химической науки. Так само развитие естествознания подтверждает бесспорное право Менделеева на приоритет в одном из величайших научных открытий, сделать которое было равнозначно, по словам Энгельса, совершению научного подвига.

В трудах Менделеева, посвящённых химическим элементам и их периодическому закону, заключено огромное богатство мыслей, касающихся важнейших проблем и категорий философии и естествознания. К числу таковых относится проблема материи и движения, вещества и энергии, массы и силы; проблема закона и его обоснования; вопрос о соотношении отдельного и общего, множественного и единого, конечного и бесконечного, конкретного и абстрактного; проблема соотношения качественных и количественных изменений, прерывности и непрерывно-

сти, скачков и постепенности, целостности и раздельности; такие коренные вопросы познания, как вопросы о соотношении теории и практики, о роли теоретического предвидения и его практической проверки, о границах познания и возможности его бесконечного развития, о соотношении абсолютной и относительной истины и другие теоретико-познавательные вопросы.

Названные вопросы Менделеев рассматривает не абстрактно, не в плоскости чисто гносеологической их трактовки, а на конкретном естественно-научном и естественно-историческом материале, связывая их в первую очередь с учением о периодическом законе, с учением о химических элементах, видя в этом учении «философские начала нашей науки».

Всё это вызывает особый интерес к философскому осмысливанию периодического закона элементов и к разбору связанного с этим законом основного понятия химии — понятия химического элемента. С другой стороны, со всей остротой встаёт задача критики враждебной нам буржуазной философской мысли, которая не только не помогает учёным правильно разбираться в их собственной науке и в её основных понятиях, но по всем линиям приводит науку к неразрешимым противоречиям, создавая всякого рода тупики и кризисы в её развитии. Если современным зарубежным учёным удаётся в отдельных областях знания делать выдающиеся открытия, то только вопреки официальному мировоззрению, господствующему в странах капитализма, но никак не благодаря этому мировоззрению.

Бессилие буржуазной философии помочь науке выбраться из трудностей познавательного характера и тот вред, который она приносит науке, сбивая мысль учёных с правильного пути, интересно проследить на каком-нибудь конкретном примере; одновременно на том же примере важно противопоставить беспомощности и явной вредности буржуазного мировоззрения могущество диалектико-материалистического метода как единственно правильного научного метода, позволяющего советским учёным и тем передовым учёным зарубежных стран, которые начинают им пользоваться сознательно, решать коренные вопросы



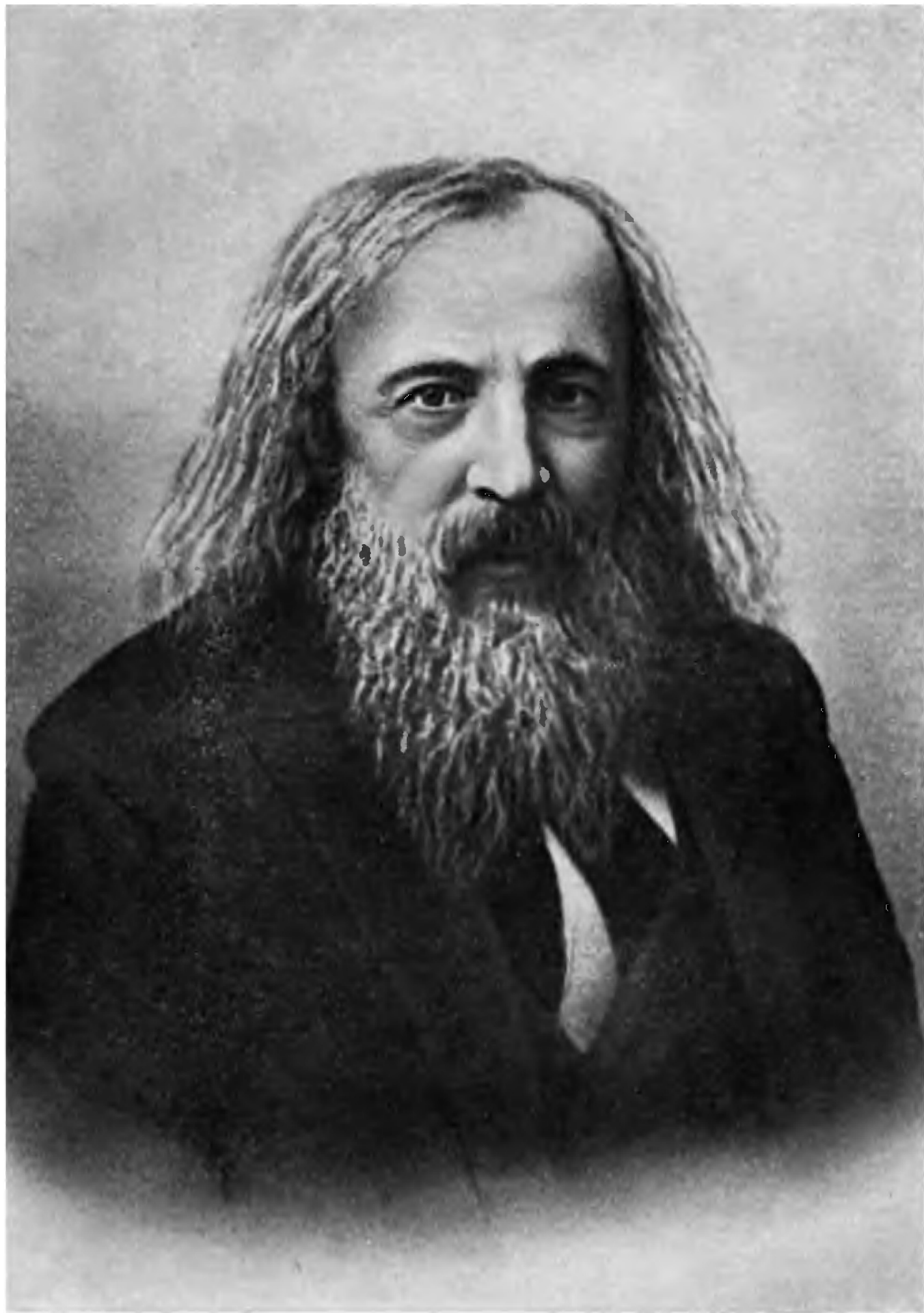
их науки, относящиеся, в частности, к анализу её основных понятий.

Вот почему автор надеется, что его работа, хотя и посвящённая довольно специальному вопросу, может сыграть известную роль в нашей общей борьбе за советскую идеологию против идеологии буржуазной.

Данная работа предназначена для специалистов — химиков, а также для естественников других специальностей, интересующихся вопросами марксистской философии и логики, в частности, вопросом определения научных понятий.

В рукописи эту книгу просмотрел проф. С. А. Щукарев и сделал ряд ценных замечаний, за что автор выражает ему свою признательность.

---



**ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ МЕНДЕЛЕЕВ**



## ВВЕДЕНИЕ

# РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТА

### § 1. Начало спора вокруг определения элемента

Треть века тому назад среди химиков возник спор о том, что считать химическим элементом: те ли вещества, с которыми всегда имели дело химики в своей лабораторной практике, т. е. плеяды изотопов, или же каждый отдельный изотоп?

Точку зрения, согласно которой элементами надо называть обычные *химические элементы*, защищал Панет; он считал, что «элемент есть вещество, которое никаким химическим способом не может быть разложено на простые»<sup>1)</sup>. В 1916 г. те вещества, которые обычно назывались элементами и которые впоследствии оказались смесями изотопов, не могли быть разделены на отдельные компоненты химическим путём. Следовательно, как и раньше, они могли, по Панету, именоваться элементами.

Приведённое выше чисто химическое определение Панет дополнил физическим определением, согласно которому определяющим признаком элемента служит ядерный заряд его атомов. Отсюда в целом определение Панета можно сформулировать так: «химический элемент представляет собой неразложимое химически вещество, все атомы которого характеризуются одинаковым зарядом положительного ядра»<sup>2)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Zeitschrift für physikalische Chemie, т. 91, 1916, стр. 198.

<sup>2)</sup> См. А. Вернер, Новые воззрения в области неорганической химии, ОНТИ-Химтеорет, 1936, стр. 1.

Противоположную точку зрения, согласно которой элементами надо называть *изотопы*, защищал Фаянс; он считал, что «элемент есть вещество, которое никаким физическим или химическим средством не было разложено на простые части и которое не было признано смесью других веществ»<sup>1)</sup>. В 1917 г. под это определение подходил каждый отдельный изотоп. Поэтому Фаянс и рассматривал «изотопы как различные химические элементы»<sup>2)</sup>. Более глубокий физический смысл понятию элемента Фаянс не считал нужным придавать.

Каков же был исход этого спора?

## § 2. Итоги спора об элементе

Критерием правильности обоих определений элемента, как и всегда, явилась практика. Она сначала опровергла определение Фаянса, а затем определение Панета.

После открытия в 1919 г. искусственного разложения азота при помощи бомбардировки  $\alpha$ -частицами азот *перестал удовлетворять определению Фаянса*. Фаянс признал, что «невозможно обосновывать удовлетворительное общее определение элемента на критерии неразложимости или неразложенности, если и дальше считать азот, в чём, конечно, не может быть сомнения, за элемент»<sup>3)</sup>.

Но Фаянс, несмотря на это, всё же пытался сохранить своё определение. Поэтому ему оставалось только одно: игнорировать разложение азота как единичный факт, представляющий исключение. «Впрочем, — добавляет Фаянс, — если отвлечься от азота, то к элементам... лучше всего подходит определение, предложенное автором несколько лет тому назад...»<sup>4)</sup>. Однако когда спустя два года тем же путём были разложены ещё несколько лёгких элементов, среди них бор, фтор, натрий, алюминий и фосфор, то «отвлекаться» от этих фактов стало невозможно.

<sup>1)</sup> Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, т. 14, 1917, стр. 351.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 340.

<sup>3)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность и новейшее развитие учения о химических элементах, ГИЗ, 1922, стр. 93.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 94.

С этого момента определение Фаянса окончательно рухнуло, да и сам Фаянс перестал на нём настаивать.

Таковую же судьбу пережило и противоположное определение Панета. В данном случае положение осложнялось тем, что определение Панета состояло из двух составных частей — химической и физической, которые оказались связанными между собою чисто искусственно и произвольно.

После открытия в 1932 г. химического (электролитического) способа разделения тяжёлой и лёгкой воды и отделения  $H^2$  химическим путём от  $H^1$ , *водород перестал удовлетворять определению Панета* (в его химической части).

Но подобно тому, как Фаянс на первых порах предлагал игнорировать факт разложения азота и рассматривать его как некое случайное исключение из общего правила, так же поступили и сторонники Панета после открытия дейтерия. Так, например, Содди предложил *исключить* из числа изотопов дейтерий и лёгкий водород, поскольку они обнаружили химические различия, и считать их не двумя изотопами, а двумя самостоятельными химическими элементами. Тогда все остальные изотопы можно было бы считать попрежнему химически тождественными, подчиняющимися полностью определению Панета. Поланьи пытался даже обосновать теоретически предложение Содди о переводе  $H^1$  и  $H^2$  из ранга изотопов в ранг химических элементов. Поланьи писал, что «для всех случаев изотопии характерна химическая неотделимость изотопов» и что только «изотопы водорода представляют собой исключение из этого общего правила»<sup>1)</sup>.

Но сторонники Фаянса, учитывая опыт истории, предсказывали, что за водородом должны последовать другие элементы, так же как за азотом в своё время последовало разложение новых элементов. Они писали, что «принципально подобная же химическая неоднородность изотопов должна существовать и у других элементов, и можно высказать предположение, что найдутся новые пути для химического разделения изотопов»<sup>2)</sup>.

1) М. П о л а н ь и, Тяжёлая вода и химия, Москва, 1936, стр. 3.

2) Успехи химии, т. IV, вып. 1, 1935, стр. 20.

И действительно, вскоре за водородом последовали литий, углерод, азот, кислород, у которых, хотя и в меньшей степени, нежели у  $H^1$  и  $H^2$ , обнаружались *химические* различия изотопов. С этих пор определение Панета (в его химической части) утратило силу. Однако ни Панет, ни его сторонники не отказались от этого, ставшего уже неверным определения.

Каково же теперь положение с определением главного объекта химии?

### § 3. Современное состояние вопроса

Тот, кто придерживается в настоящее время определения Панета, неизбежно приходит к вопиющему логическому противоречию. Так, например, с точки зрения химической части панетовского определения,  $H^1$  и  $H^2$  должны считаться *разными* элементами, ибо они химически разделимы; напротив, с точки зрения физической части того же самого определения те же самые  $H^1$  и  $H^2$  должны считаться *одинаковым* элементом, ибо их атомы несут одинаковый ядерный заряд, равный 1. Никакого выхода из этого тупика Панет не указал. Можно было бы отбросить химическую часть его определения и оставить одну его физическую часть, как это сделал, например, Б. В. Некрасов в своём учебнике <sup>1)</sup>. Однако такое определение, не опирающееся на собственно химический эксперимент, считается самим Панетом недостаточным. В своё время Панет *вывел* то положение, что тождество заряда ядра есть определяющий признак элемента, из факта химического тождества изотопов. Как же он мог согласиться с тем, чтобы сохранить следствие, когда отвергнуто основание? Иного же вывода ни Панет, ни другие химики не дали. Поэтому волей-неволей им приходилось связывать сохранившее своё значение следствие с потерявшим своё значение основанием. Отсюда происходит невероятная путаница понятий. Одни авторы продолжают настаивать, что элементы, это — вещества, которые нельзя разложить химическим путём. Согласно

<sup>1)</sup> См. Б. В. Некрасов, Курс общей химии, т. II, ГОНТИ, 1939, стр. 892.

другой точке зрения, элементы — это вещества, которые нельзя разложить вообще. Есть мнение, что к этим определениям надо добавить равенство атомного порядкового числа. Иногда делаются попытки ввести какие-то новые определения, отличные от перечисленных, но все они полны новых логических противоречий и ещё больше запутывают вопрос <sup>1)</sup>. Были даже предложения считать химическими элементами протоны и электроны (Михайленко). Никакого единства во взглядах в современной химии по вопросу о важнейшем для неё понятии нет. Не будет большой ошибкой, если сказать, что сколько существует авторов химических учебников, столько теперь существует и различных определений элемента. Каждое из этих определений противоречит всем остальным, причём никто не может объяснить, откуда взялась эта путаница понятий, и указать, каким образом её можно устранить. Некоторые химики, не будучи в силах разобраться в создавшейся ситуации, предлагают попросту выбросить понятие элемента из химии во имя пресловутого махистского принципа «экономии мышления» и заменить его каким-либо другим, таким, как атом, ион, радикал и т. д. (Рамну и Мартинэ).

Положение осложняется ещё и тем, что часто прибегают к различным расплывчатым и даже двусмысленным терминам. Например, говорят о каких-то «обычных» способах разложения, «обычных» условиях и т. д., или «химических» способах и свойствах, противопоставленных физическим. Всё это усиливает неопределённость, неясность даваемых определений и нередко приводит к логическому кругу. Необходимо тщательно разобраться во всём этом, найти какую-то *основу*, на которой можно было бы последо-

---

<sup>1)</sup> В. И. Спицын и Н. И. Флеров дают, например, такое определение: «химическим элементом называется совокупность атомных ядер, находящихся в той или иной степени и форме электронизации и обладающих при равных физико-химических условиях одинаковыми химическими или радиоактивными свойствами» (Успехи химии, т. VI, 1937, стр. 1730). Согласно такому определению не только  $H^1$  и  $H^2$  суть разные элементы, но и два радиоизомера, например, у  $Bg^{80}$ , должны считаться двумя разными химическими элементами, поскольку у них различны радиоактивные свойства.



вательно и непротиворечиво построить современное понятие химического элемента. Отказываться же от этого понятия только на том основании, что в нём стало трудно разобраться, значит, выплёскивать из ванны вместе с водой и ребёнка.

#### § 4. Источники трудностей в определении понятия элемента

Для того чтобы указать выход из создавшегося положения, необходимо вскрыть познавательную, логическую причину, породившую путаницу в вопросе о химическом элементе.

Современное естествознание достигло того уровня развития, когда старые, формально-логические его категории, имеющие метафизический характер, стали абсолютно недостаточными, а учёные, несмотря на это, продолжают настаивать на этих категориях. Содержание непрерывно множась открытий всё настойчивее опровергает всякую метафизику, всё яснее показывает недостаточность формальной логики, всё убедительнее подтверждает диалектический характер природы. Это требует перехода к новому методу познания, адекватному самой природе. Таким методом является материалистическая диалектика. Между тем, в течение последних десятилетий химики всячески стремились втиснуть понятие элемента в тесные рамки *формально-логических категорий*, несмотря на то, что оно давно уже переросло эти рамки и не может в них уместиться без прямого искажения. Понятие элемента, равно как и другие основные естественно-научные понятия, предназначены для обобщения результатов современного естествознания. Новые физические и химические открытия, которые должны резюмироваться в этом понятии, говоря словами Энгельса, не умецаются больше в старом метафизическом прокрустовом ложе. Они ломают рамки старых, традиционных понятий и их определений; заставляют *изменить* прежние понятия, отказываться от укрепившихся традиционных взглядов, устанавливать новые понятия, способные включить в себя содержание новых открытий и отразить более полно и правильно объективную реальность. К сожалению, этот про-

цесс далеко не всегда приводит учёных к осознанию *несостоятельности самого метода познания*, которым они пользовались раньше, а отсюда — к необходимости применять единственно правильный метод марксистской диалектики. В результате, отказываясь, под напором новых открытий, от одного формального определения элемента, учёные, как правило, стремятся заменить его другим, столь же формальным определением. Дело сводится к замене одного признака элемента другим *при сохранении неизменным общего подхода к самому понятию*. Однако ход познания природы требует вовсе не этого, а отказа от ограниченных определений вообще. Речь должна идти о *принципиально новом построении самого понятия элемента*, которое было бы освобождено в самой своей основе от старого, ограниченного, формально-логического и метафизического подхода.

Этого можно достичь только с помощью марксистской диалектической логики.

Другая причина создавшегося положения вытекает из первой. Она заключается в том, что недостаточно учитывается менделеевское научное наследство и, прежде всего, менделеевское учение о периодическом законе и элементах, которое составляет *основу* современных взглядов на элементы. Как это ни парадоксально, но именно эту основу обычно игнорируют многие из тех, кто пытается в настоящее время определять понятие элемента, не понимая существа того принципиально нового взгляда на элементы, который был заложен Менделеевым. К сожалению, такое непонимание приходится констатировать не только у зарубежных учёных, но и у некоторых советских химиков.

В поисках нового формального признака элемента, который можно было бы поставить на место прежнего, ставшего уже неточным, нередко забывается необходимость исторического подхода к решению задачи определения научных понятий. С того момента, когда признак атомного веса перестал однозначно определять элемент и его место в периодической системе, многие учёные решили, что менделеевские взгляды на элементы вообще устарели с точки зрения современной науки. Между тем, взгляды Менделеева на элементы вовсе не сводились *только* к признанию атомного веса в качестве определяющего признака элемента. То

действительно *новое*, что было внесено Менделеевым в понятие элемента, заключается в установлении глубокой органической связи между этим понятием и периодическим законом. Именно идея об этой связи и составила *фундамент нового, по существу диалектического понятия элемента*.

Исторический подход, составляющий неотъемлемую часть общего подхода марксистской диалектической логики к любому вопросу, требует того, чтобы мы установили определённую связь и преемственность между современными взглядами на элементы и той основой, на которой они исторически строились и выросли.

С другой стороны, поскольку в периодической системе Менделеева воплотилась диалектика отношений между элементами <sup>1)</sup>, постольку без неё невозможно конкретное применение нового, более правильного подхода к понятию элемента. Эту мысль выразил сам Менделеев, будучи бессознательным диалектиком. Он писал о том, что если существует периодическая зависимость между свойствами элементов, «то множество понятий, более или менее укрепившихся в химии, должно претерпеть изменение, развиваться и обрабатываться в смысле этого вывода...» <sup>2)</sup>.

В первую очередь это касалось понятия элемента, ибо периодический закон относится прежде всего именно к элементам. В соответствии с этим Менделеев рассматривал открытый им закон в качестве «ключа к разрешению вопросов, относящихся к элементам» <sup>3)</sup>. Говоря о новых исследованиях в области элементов, Менделеев подчёркивал, что для них «путеводную нить даёт периодический закон» <sup>4)</sup>. Видя в периодическом законе *основу* нового взгляда на элементы, Менделеев предупреждал, что «все сближения и сравнения элементов будут ныне очень шатки, если они не основаны на соотношениях» <sup>5)</sup>, выражаемых этим законом.

<sup>1)</sup> См. об этом в трудах классиков марксизма-ленинизма: Ф. Э н г е л ь с, Диалектика природы, 1946, стр. 44—45; И. В. С т а л и н, Анархизм или социализм? Соч., т. 1, стр. 301.

<sup>2)</sup> Д. И. М е н д е л е е в, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 269.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 239.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 197.

<sup>5)</sup> Там же, стр. 134.

Позднее передовые учёные не раз высказывали такую же оценку периодического закона. Ф. Содди писал, например: «Периодическая классификация... является для химика тем же, чем морская карта и компас для мореплавателя»<sup>1)</sup>. То же писали Л. А. Чугаев, В. Рамзай, А. Е. Ферсман.

Спрашивается: что случилось бы с моряком, если бы он, находясь в плавании, избегал пользоваться компасом и картой? Он запутался бы в море и может быть потерпел кораблекрушение. Нечто похожее случилось с теми, кто, игнорируя основу понятия элемента — периодическую систему Менделеева, — пытался всё же строить новые формальные определения. Они запутались в противоречиях и потерпели крушение.

### § 5. Путь к решению вопроса

Трудности в определении понятия элемента возникли не потому, что химики умышленно решили не пользоваться системой Менделеева, как теоретическим компасом, а потому, что применительно к анализу *понятий* они не смогли ею воспользоваться, не знали, как это сделать. Периодическая система, которая много раз помогала химикам в конкретном химическом исследовании вещества, в данном случае оказалась «не у дел», ибо характер её применения в области анализа понятий существенно отличается от того, как она применяется в области анализа вещества. Здесь требуется определённый логический приём, наличие логических навыков, ибо, по словам Энгельса, «искусство оперировать понятиями не есть что-либо врождённое и не даётся вместе с обыденным, повседневным сознанием, а требует действительного мышления, которое тоже имеет за собой долгую эмпирическую историю, столь же длительную, как и история эмпирического естествознания»<sup>2)</sup>.

Энгельс предупреждал, что этого не следует забывать. Однако те, кто до сих пор пытался решать вопрос об определении элемента — основного понятия химии, — об этом

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Материя и энергия, Изд. «Печатник», стр. 55.

<sup>2)</sup> Ф. Энгельс, Анти-Дюринг 1945, стр. 14.

как раз и забыли, точнее, этого не знали, об этом не думали. Поэтому они не смогли правильно воспользоваться менделеевской системой как компасом, как путеводной нитью, как ключом, хотя и держали её в своих руках и для целей специально химических исследований вещества вполне овладели ею.

Для того чтобы найти путь к правильному решению вопроса об элементе, т. е. разобраться в создавшемся положении и дать действительно научную трактовку этого понятия, необходимо удовлетворить двум условиям:

во-первых, *необходимо отказаться от формально-логического подхода к анализу понятия элемента* (ибо этот подход может быть применён лишь в качестве первого необходимого, но далеко не достаточного подхода к вопросу) и, *напротив, воспользоваться единственно применимым в данном случае подходом марксистской диалектической логики;*

во-вторых, *необходимо отказаться от игнорирования периодической системы Менделеева* (когда речь идёт об определении элемента) и, *напротив, строить свое определение целиком на основе этой системы и в неразрывной связи с нею* (поскольку диалектика химических элементов отражена в этой системе).

Сказанным определяется содержание и направление нашего исследования, которое сводится к попытке показать, как надо связывать с помощью марксистской диалектической логики понятие элемента с периодическим законом Д. И. Менделеева.

## § 6. Два основных подхода к определению научных понятий

Прежде чем приступить к детальному разбору понятия элемента, попробуем сформулировать в общем виде различие и связь двух подходов к определению научных понятий — формальной логики и марксистской диалектической логики.

*Формальная логика* исходит из того, что в определении того или иного предмета должны указываться только такие признаки, совместное наличие которых необходимо и доста-

точно для того, чтобы мысленно *отделить* определяемый предмет от всех остальных.

С формально-логической точки зрения исключаются признаки, раскрывающие взаимосвязь определяемого предмета с другими, благодаря чему закрывается путь к познанию более глубокой сущности предмета. Вот почему Ленин писал: «Логика формальная... берёт формальные определения, руководясь тем, что наиболее обычно или что чаще всего бросается в глаза, и ограничивается этим»<sup>1)</sup>.

Диалектическая логика, напротив, исходит из того, что в определение должны быть включены существенные признаки предмета, которые достаточны не только для того, чтобы мысленно отделить данный предмет от остальных, но и необходимы для того, чтобы возможно полнее отразить все основные связи и отношения между определяемым предметом и всеми остальными, с которыми он органически связан. Диалектическая логика не отменяет формальной дефиниции, а берёт её в качестве своей предпосылки. Она исходит из того, что прежде чем раскрывать и отражать связи и развитие предмета, необходимо установить — чем данный предмет является и чем он не является, т. е. необходимо дать его формальную дефиницию. Такую дефиницию диалектическая логика рассматривает как нечто необходимое, но не достаточное, ибо она является лишь первой ступенью, первым подходом к правильному, подлинно научному определению.

Это означает, что диалектическая логика идёт *дальше* формальной.

Сравнивая оба логических подхода к определению, Ленин подчёркивал: «Логика диалектическая требует того, чтобы мы шли дальше. Чтобы действительно знать предмет, надо охватить, изучить все его стороны, все связи и «опосредствования». «Определения, не дефиниции»<sup>2)</sup>, — констатировал Ленин.

Однако для обыденного употребления такие краткие дефиниции, по мнению Энгельса, весьма удобны, а часто

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Соч., т. XXVI, стр. 134.

<sup>2)</sup> В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 236.

и просто необходимы. Повредить же они не могут, если помнить о их недостаточности.

Отмеченные два подхода к определению мы проследим далее на примере различных определений химического элемента.

## § 7. Требования, соответствующие разным логическим подходам

В соответствии с формально-логическим и диалектико-логическим подходом к определению, можно выдвинуть две группы требований, предъявляемых ко всякому научному определению: требования по форме и требования по существу.

*Формальными* мы называем следующие шесть требований, которым должно прежде всего удовлетворять определение всякого понятия:

1) требование адекватности (соразмерности) по объёму понятия; 2) требование нетавтологичности (нетожесловности) по содержанию; 3) требование отсутствия логического круга; 4) требование формальной позитивности (определение не должно быть отрицательным, негативным по форме); 5) требование формально-логической непротиворечивости; 6) требование ясности, чёткости, недвусмысленности.

Формальная логика ограничивается этими требованиями. Диалектическая логика идёт дальше, считая их обязательными для каждого научного определения, но совершенно не достаточными. Она дополнительно выдвигает ещё «требования по существу».

Требованиями *по существу* мы называем такие, которые касаются не формы определения, а конкретного содержания определяющих признаков, их характера, их связи с окружающим миром. В основном таких требований, по Ленину <sup>1)</sup>, можно назвать четыре: 1) требование *всесторонности*. Мы никогда не достигнем полного охвата всех сторон и связей изучаемого предмета, но, как отмечает Ленин, «требование всесторонности предостережёт нас от ошибок и от омертвления»; 2) требование *брать предмет в его развитии*.

<sup>1)</sup> См. В. И. Ленин, Соч., т. XXVI, стр. 134—135.

«...Диалектическая логика требует, — пишет Ленин, — чтобы брать предмет в его развитии, «самодвижении» ..., изменении...»; 3) требование *учёта практики*. «...Вся человеческая практика должна войти в полное «определение» предмета и как критерий истины и как практический определитель связи предмета с тем, что нужно человеку»; 4) требование *конкретности*. «...Диалектическая логика учит, — говорит Ленин, — что «абстрактной истины нет, истина всегда конкретна» ...».

Чтобы подойти к вопросу об определении элемента не абстрактно, а конкретно, мы должны прежде всего применить *исторический* подход. Только в этом случае мы можем избежать формализма и эклектики в разборе поставленного нами вопроса. Мы должны, говоря словами Ленина, «...самостоятельно, со своей точки зрения, проанализировать как всю историю данного спора (марксизм, *то-есть* диалектическая логика, требует этого безусловно), так и весь подход к вопросу, всю постановку — или, если хотите, всё направление постановки — вопроса в данное время, при данных конкретных обстоятельствах».

В другом месте Ленин разъяснял, что подойти к вопросу научно — означает «не забывать основной исторической связи, сместить на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своём развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь»<sup>1)</sup>.

## § 8. Различные виды определений элемента

Существует несколько видов определений химического элемента; они различаются между собой по содержанию и характеру определяющих признаков, по их обоснованию и по способу их вывода. В дальнейшем мы разберём чистые типы определений, помимо которых, как и всегда, существует много переходных, смешанных форм.

Прежде всего все определения элемента можно разделить на две группы: химико-эмпирические и физико-

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Соч., т. XXIV, стр. 364.



теоретические определения. К числу *химико-эмпирических* (чисто описательных) относятся такие определения, которые строятся на основе признаков, устанавливаемых непосредственно экспериментальным путём. Они не содержат в себе никаких теоретических представлений о строении материи и её свойствах, для установления которых требовалось бы привлечение определённой физической теории. Таковы, например, приведённые выше определения Фаянса и Панета (в их химической части). *Физико-теоретические* определения строятся также на экспериментальной основе, но опытно установленные данные входят в них не в форме результатов непосредственного наблюдения, а в теоретически обобщённом виде, в форме следствий, вытекающих из определённых физических теорий. Такова, например, физическая часть определения Панета.

С другой стороны, все определения элемента можно разделить на другие две группы — аналитические и синтетические. К числу *аналитических* относятся такие определения, в основу которых положен признак, устанавливаемый только одним аналитическим путём; в простейшем случае аналитический признак устанавливается с помощью обычных приёмов препаративного химического анализа, направленных к тому, чтобы разделять вещества между собой и выделять их в изолированном виде. В более отвлечённом смысле аналитический признак предполагает применение определённого познавательного приёма в целях мысленного расчленения целого на его отдельные части или стороны и выражения их в абстрактно-изолированном виде. Таково определение Фаянса и (в химической части) определение Панета.

К числу *синтетических* относятся такие определения, в основу которых положен признак, выражающий определяемый предмет со всеми его сторонами и свойствами как нечто целое, внутренне единое, но не как расчленённое на части. Синтетическое определение не отвергает анализа, но предполагает его как свою предпосылку, ибо синтезированию подлежит то, что было предварительно расчленено. Всякий признак, предполагающий мысленное воссоздание целого из его расчленённых моментов, мы будем называть

синтетическим. Такова фактически, как увидим далее, физическая часть определения Панета.

Наконец, все определения элемента можно разделить ещё на две группы: на определения единичности и определения всеобщности. К числу определений *единичности* относятся такие, согласно которым в качестве определяющих признаков элемента служат признаки отдельного элемента, взятого только как нечто единичное, вне его связи с другими элементами, и главное, вне его связи с каким-либо общим законом, охватывающим все элементы вообще. Таковы определения Фаянса и Панета (в их химической части). К числу определений *всеобщности* относятся такие, согласно которым в качестве определяющих признаков элемента служат признаки отдельного элемента, но взятого не как нечто изолированное от других элементов, а в неразрывном единстве с ними; это достигается указанием на связь между понятием элемента с каким-либо общим законом, охватывающим все элементы вообще.

Таким общим законом служит периодический закон Менделеева, с которым по существу связана физическая часть определения Панета, хотя сам Панет этой связи не обнаружил.

Таким образом, каждое определение может быть отнесено к одному из следующих типов: эмпирико-аналитическое, теоретико-синтетическое, теоретико-аналитическое и т. д.

В дальнейшем мы рассмотрим важнейшие из этих типов определений.

## § 9. Типичные определения элемента

Типичными мы будем называть два определения: эмпирико-аналитическое и теоретико-синтетическое.

*Эмпирико-аналитическое* определение является вместе с тем определением *единичности*. Оно устанавливает наиболее простые, поверхностные, непосредственно обнаруживаемые признаки вещества, считаемого элементарным, и не идёт дальше этого. Тем самым такое определение

в силу своей поверхностности и ограниченности обнаруживает себя как чисто *формально-логическое*.

Типичное такое определение дано в книге Вернера: «Элемент — это понятие чисто экспериментальное и совершенно независимое от философских спекуляций относительно строения материи»<sup>1)</sup>. Другой химик — Реми — указывает на «аналитическое разложение как решающий способ проверки» для определения сложного характера вещества<sup>2)</sup>.

Таким образом, эмпирический и аналитический характер определения сочетаются друг с другом и дополняют друг друга. Определяющим признаком элемента в таком определении служит эмпирически устанавливаемая неразложимость вещества вообще или данным способом.

Другими словами, таким признаком служит эмпирически достигаемый предел аналитического расчленения вещества. Но так как в ходе такого расчленения элементарные вещества изолируются друг от друга, то в каждом отдельном случае предел анализа устанавливается совершенно независимо, как нечто присущее данному единичному виду материи вне всякой связи его с её другими видами.

*Теоретико-синтетическое* определение, напротив, есть вместе с тем определение *всеобщности*. Оно не ограничивается тем, что даёт непосредственная эмпирическая констатация фактов, но идёт дальше поверхности явлений, проникает в их сущность и опирается на тот общий закон, которому подчиняется определяемый объект. Таким образом, общая экспериментальная основа определения выступает здесь в её теоретически обобщённом виде. Тем самым такое определение в силу своей содержательности, конкретности и полноты приближается к *диалектико-логическому* определению. Определяющим признаком элемента в таком определении служит признак, который указывает на связь между единичным (элементом) и общим (периодическим законом). А так как периодический закон Менделеева представляет собой огромного масштаба позна-

<sup>1)</sup> A. Werner-P. Pfeiffer, Neuere Anschauungen auf dem gebiete der anorganische Chemie, Braunschweig, 1923, стр. 4.

<sup>2)</sup> Die Naturwissenschaften, 1918, стр. 529.

вательный, теоретический синтез, то всякое определение элемента, которое установит связь понятия элемента с этим законом, будет по необходимости обладать теоретико-синтетическим характером. Не случайно Менделеев указывал, что открытый им закон есть свод химических фактов «в одно более или менее систематическое, цельное выражение»<sup>1)</sup>.

Следовательно, теоретико-синтетическое определение не только не отгорожено от опыта, но напротив, включает в себя весь опыт, резюмирует результаты всего опытного исследования как эмпирическую основу соответствующего закона.

В дальнейшем главное внимание мы будем обращать на этот второй тип определений элемента, видя в нём здоровую основу, на которой только и можно построить современное научное определение понятия элемента.

## § 10. Основной признак элемента в теоретико-синтетическом определении

В эмпирико-аналитическом определении элемента основной определяющий признак указывает на границу, резко *отделяющую* вещества, считаемые элементарными, друг от друга и от всех остальных веществ. Напротив, в теоретико-синтетическом определении основной определяющий признак указывает не только на границы между элементами, но и на те *связи и отношения*, посредством которых данный элемент *включается* в общую совокупную систему всех элементов и, более того, всех химических веществ вообще. Таким образом, в противоположность аналитическому подходу, который ищет признаки, позволяющие только *выделять* элементы из их естественной связи, синтетический подход ищет также и такие признаки, которые позволяли бы *связывать* элементы друг с другом, восстанавливая между ними прерванные связи. И если основным аналитическим признаком элемента служит *неразложимость* (или неразложимость) вещества, то ос-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 351.

новным синтетическим признаком элемента служит *место элемента в периодической системе Менделеева*. Признак *места* элемента в системе меньше всего носит графический или геометрический характер. Место в системе выражает собой все важнейшие связи и отношения определяемого элемента со всеми своими «соседями» по системе Менделеева, образующими вокруг него «звезду» (по выражению акад. А. Е. Ферсмана). Место элемента в системе выражает собой отношения в свойствах, закономерно изменяющихся во всех направлениях: в горизонтальном направлении, в пределах периода и ряда (нарастание общего числа электронов и числа валентных электронов или валентности, нарастание атомного веса и заряда ядра); в вертикальном направлении, в пределах группы и подгруппы (связи между полными и неполными аналогами, обусловленные общностью конфигурации электронной оболочки); в диагональном направлении (соотношения радиусов ионов, сходство геохимической характеристики).

«...Сходство каждого элемента выражается его местом в горизонтальных и вертикальных рядах»<sup>1)</sup>, — писал в 1871 г. Менделеев.

Таким образом, понятие «место» в данном случае означает указание на ту роль, которую играет единичное во всеобщем, индивидуальное во множественном, отдельное в общем.

Менделеев со всей глубиной вскрыл тот факт, что именно периодический закон позволил правильно определить *место* индивидуального (химического элемента), подчинённого общему закону. «Химия нашла ответы на вопросы о причине множества, — писал Менделеев, — и она, держась понятия о многих элементах, подчинённых дисциплине общего закона, указывает выход из индийского исчезания во всеобщем, даёт своё место индивидуальному. Это место индивидуальности притом столь ограниченно охватывающим, всецельным — всеобщим, что составляет не более, как точку опоры для того, чтобы понять множество в единстве»<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 154.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 357.

## § 11. Диалектический характер признака, указывающего место отдельного в общей системе

Энгельс неоднократно подчёркивал важность указания места отдельного объекта (вещества, предмета, науки) в общей системе вещей или знаний. Он прямо указывает, что *познание* предмета, следовательно, и его определение тождественно с нахождением *места* этого предмета в общей системе природы. Между двумя до крайности различными вещами (Энгельс в качестве примера берёт какой-нибудь метеорит и какого-нибудь человека) «имеется бесконечный ряд других вещей и процессов природы, позволяющих нам заполнить ряд от метеорита до человека и указать каждому члену ряда своё место в системе природы и таким образом *познать их*»<sup>1)</sup>.

Здесь ясно обнаруживается, что с точки зрения диалектической логики познание предмета (следовательно, и его определение) предполагает указание его *места* в общей системе, откуда следует, что его место должно играть роль определяющего признака.

Разумеется, возможность определить «место» предмета в общем ряду вещей предполагает предварительное изучение данного предмета в его отдельности, ибо анализ всегда является необходимой предпосылкой синтеза.

В применении к химии Энгельс конкретизировал ту же самую мысль следующим образом: «В органической химии значение какого-нибудь тела, а, следовательно, также и название его, не зависит уже просто от его состава, а обусловлено скорее его положением в том *ряду*, к которому оно принадлежит»<sup>2)</sup>.

Таким образом, формальное определение индивидуального органического соединения с точки зрения его единичных признаков (его состава) считается Энгельсом недостаточным; Энгельс требует указания *места* каждого соединения в общем ряду (гомологическом, гетерологическом или изологическом), к которому принадлежит данное соединение.

<sup>1)</sup> Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 187.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 239.

Сказанное целиком может быть применено к определению элемента через указание места элемента в периодической системе Менделеева. Как увидим далее, такое определение является конкретизацией известного положения Ленина о диалектике взаимоотношения общего и отдельного.

После этих вводных замечаний перейдём к историческому и логическому анализу определений элемента, выдвигавшихся на различных этапах развития химии.

Следует заметить, что не все приводимые ниже определения элемента были сформулированы авторами новых воззрений на элементы в том именно виде, как это приведено в нашей книге. Некоторые определения вообще никем не были высказаны до сегодняшнего дня, хотя они в своё время и вытекали логически в порядке теоретических обобщений физических и химических открытий. Мы считаем всё же возможным *условно* говорить о таких ранее не сформулированных в явной форме определениях, поскольку они отражают процесс последовательного углубления и расширения взглядов на атомы и элементы. Мы исходим из того, что в понятии элемента всегда резюмировались основные достижения физики и химии в той их части, которая касается атомов и элементов. При этом нас интересует в первую очередь не формальная сторона дела—было или не было текстуально высказано данное определение когда-либо раньше,— а существо дела, заключающееся в содержании сделанного открытия. В том случае, когда соответствующее определение, полностью вытекающее из данного открытия, не было словесно высказано кем-либо из физиков или химиков, мы условно восполняем этот пробел, формулируя задним числом соответствующее определение; такое условное определение мы называем по имени того учёного, чьё открытие легло в основание данного определения, оговаривая в каждом случае, что речь идёт лишь об условном определении.

---

## ГЛАВА I

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЕЕВА И ПОНЯТИЕ ЭЛЕМЕНТА

### § 12. Старое понятие элемента и его определения

Под старым понятием элемента мы будем понимать то, которое сложилось до открытия периодического закона. Это понятие получило два взаимно дополняющих друг друга определения.

Исторически первым возникло *эмпирико-аналитическое* определение. Оно резюмировало собой данные химии примерно с середины XVII в. до конца XVIII в. В то время химия была по преимуществу чисто экспериментальной и вместе с тем чисто аналитической наукой. В ней сначала господствовал качественный химический анализ (до середины XVIII в.), а затем — количественный анализ (вторая половина XVIII в.). Соответственно содержанию самой химии того времени понятие элемента, отражающее её объект и резюмирующее её главнейшие результаты, не могло не носить эмпирико-аналитического характера. Классическую формулировку такого определения элемента дал Лавуазье в 1789 г. Его определение гласило: «...Если названием элементов обозначать простые и неделимые молекулы, составляющие тела, то, вероятно, мы их не знаем; если же, напротив, мы свяжем с названием элементов или начал тел представление о последнем пределе, достигаемом анализом, то все вещества, которые мы ещё не смогли никаким способом разложить, являются для нас элементами; но не потому, что мы могли бы утверждать, что эти тела, рассматриваемые нами как простые, не состоят из двух или даже большего числа начал, но так



как эти начала никак друг от друга не отделяются или, вернее, потому, что мы не имеем никаких средств их разделить, эти тела ведут себя, с нашей точки зрения, как простые, и мы не должны считать их сложными до тех пор, пока опыт или наблюдения не докажут нам этого»<sup>1)</sup>.

Основным признаком в определении Лавуазье служил практически достигнутый предел разложения вещества. Само определение было сугубо эмпирическим и не содержало никаких ссылок на строение вещества. Элемент определялся только как некоторый вид материи.

Вторым возникло *теоретико-аналитическое определение*.

Определение Лавуазье констатировало некоторый эмпирически наблюдаемый факт — неразложенность вещества. Но оно не заключало в себе *объяснения* этого факта. Потребность в таком объяснении логически возникала у химиков. Было естественно, что для этой цели они прибегли к старой философской идее о неделимых атомах. Так возникло определение элемента, вытекающее из атомной теории. Подготовку такого определения мы находим у Ломоносова в середине XVIII в. Однако из-за отсутствия более конкретного представления об атомном весе Ломоносов не мог ещё дать теоретического определения элемента в строгом смысле слова<sup>2)</sup>. Косвенно такое определение дал Дальтон в 1808—1810 гг. Его определение гласило: «Все *атомы одного рода*... должны обязательно рассматриваться как одинаковые между собой по форме, весу и всем другим особенностям... Все атомы *одного рода* одинаковы по весу, объёму... Атомы различных родов не одинаковы по весу и т. д.»<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> L. A. L a v o i s i e r, *Traité élémentaire de chimie*, т. I, Paris, 1789 (цит. по переводу в Успехах химии, т. XII, вып. 5, 1944, стр. 362).

<sup>2)</sup> Мы не можем останавливаться здесь подробно на истории подготовки и развития старого менделеевского, по сути дела метафизического, взгляда на атомы и элементы, поскольку наша книга посвящена новым, менделеевским, воззрениям, связанным с периодическим законом. Поэтому мы даём лишь самый беглый обзор состояния вопроса на рубеже XVIII и XIX вв. Интересующихся мы отсылаем к другим нашим работам, где этот вопрос рассмотрен подробнее.

<sup>3)</sup> Дж. Д а л ь т о н, *Сборник избранных работ по атомистике*, Госхимиздат, 1940, стр. 93, 144.

Согласно определению Дальтона элемент есть *вид* (или род) атомов, характеризуемый постоянным значением атомного веса. Число элементов равно числу различных видов атомов. Следовательно, определение построено на раскрытии соотношения между *видом* (элементом) и *индивидом* (атомом). В этом смысле оно является развитием определения Лавуазье, в котором фигурировала только одна первая часть этого соотношения.

Определение Дальтона было теоретическим, вместе с тем оно является вполне аналитическим. Атом выступает в нём как двойной предел расчленения вещества: как предел *химического разложения* вещества на составные части и как предел *механического разделения* самого элемента на мельчайшие частицы. Другими словами, к аналитическому признаку качественной *неразложимости* вещества Дальтон добавляет аналитический же признак количественной *неделимости* частицы. Вследствие своего аналитического характера определение Дальтона было вместе с тем определением единичности в указанном выше смысле, ибо каждый вид атомов определялся совершенно независимо от остальных, как нечто единичное с присущим ему специфическим атомным весом.

Важно отметить, что у Дальтона имеется полное *единство* между эмпирическим и теоретическим определениями элемента, поскольку Дальтон полностью воспринял определение Лавуазье в качестве эмпирической основы для своего определения. При этом Дальтон перенёс на отдельные атомы те представления, которые Лавуазье установил для химического элемента в целом. Обратное, неразложимость элементов объяснялась тем, что элементы состоят из неделимых и неразложимых атомов.

Эту связь определения Дальтона с определением Лавуазье ясно видели химики. Её видят и современные учёные, анализирующие определение Дальтона с исторической точки зрения. Примером может служить оценка Астона. Приведя положение Дальтона о том, что «атомы одного и того же элемента все одинаковы и равны по весу», Астон замечает: «Само собой разумеется, если принимать это, как определение слова «элемент», то приходим к трюизму; но для нас важно, что *Дальтон* называл элементом... такое

вещество..., которое обладает определёнными химическими свойствами и которое никаким из известных нам химических способов не может быть разложено на более простые составные части»<sup>1</sup>.

### § 13. Метафизический характер старого понятия элемента

Понятие элемента, определённое по Дальтону, мы будем называть *старым* понятием.

Главной его чертой было признание *абсолютной неизменности* атомов и элементов. «Единственные изменения, которые мы можем произвести, — писал Дальтон, — состоят в отделении друг от друга частиц, находящихся в состоянии сцепления или соединения, и в присоединении друг к другу частиц, находящихся на расстоянии»<sup>2</sup>).

Эта черта придавала старому понятию элемента резко выраженный метафизический характер.

Другой характерной чертой старого понятия являлось признание абстрактного, *абсолютного тождества* всех атомов каждого элемента. «Первичные частицы всех однородных тел совершенно одинаковы по весу, форме и т. п., — подчёркивал Дальтон. — Другими словами, ... каждая частица водорода подобна любой частице водорода и т. д.»<sup>3</sup>).

Это значит, что старое понятие элемента, будучи формально-логическим, рассматривалось как свободное от всяких противоречий вообще. Атомы элемента не могли быть одновременно *и тождественны и различны* между собой. Их тождество *исключало* всякую мысль о их различии. Иными словами, понятию *разновидности* не было места в старых представлениях об атомах и элементах.

Наконец, существенной чертой старого понятия было рассмотрение элементов *вне их общей взаимной связи*. Поскольку элементы выступали только как разобщённые между собой виды материи, общее их число казалось чисто случайной величиной. «До периодического закона простые

<sup>1</sup>) А с т о н, Ш т а р к, К о с с е л ь, Природа сил химического средства, 1925, стр. 28.

<sup>2</sup>) Дж. Д а л ь т о н, Сб. работ по атомистике, 1940, стр. 91.

<sup>3</sup>) Там же, стр. 43.

тела представляли лишь отрывочные, случайные явления природы, — писал Менделеев, — ...Веса атомов элементов, до периодического закона, представляли числа чисто эмпирического свойства...»<sup>1)</sup>.

В совокупности эти три черты характеризуют старое понятие элемента как формально-логическое и метафизическое. До открытия периодического закона оно почти безраздельно господствовало в химии. После названного открытия оно начало рушиться и подтачиваться в самом своём фундаменте.

## § 14. Последствия открытия периодического закона Менделеевым

С философской стороны суть открытия периодического закона Менделеевым состояла в том, что впервые была вскрыта *взаимная связь* между всеми элементами, равно как и между всеми их свойствами, благодаря чему был нанесён первый серьёзный удар по старым представлениям об атомах и элементах. Отмеченная выше третья черта этих представлений впервые была разрушена. «Периодический закон... обнял взаимные отношения элементов и выразил их сходство...»<sup>2)</sup>, — писал Менделеев. «... Взаимная связь элементов разных групп стала более очевидною, чем была когда-либо»<sup>3)</sup>. Отныне химические элементы перестали рассматриваться как некие самостоятельные, независимые виды материи, а стали рассматриваться в той общей связи, которую выражал периодический закон. Менделеев писал: «... Обычное представление о химических элементах состоит в том, что атомы их так самостоятельны и самобытны, что они оказывают своё самостоятельное влияние, *природою* атомов определяемое. Вместо этого понятия о природе элементов, должно теперь поставить понятие о *их массе*, и следовательно, необходимо рассматривать не влияние элемента, самого по себе взятого, а его влияние сравнивать, с одной стороны, с влиянием элементов, близких по массе, и, с

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 359 и 360.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 400.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 361.

другой стороны, с элементами, относящимися к той же группе, но к другому периоду» <sup>1)</sup>.

Открытие периодического закона Менделеевым нанесло также первый удар признанию абсолютной неизменности атомов и элементов, являющемуся главной чертой старого понятия элемента. Периодический закон не давал прямых доводов в пользу доказательства сложности и изменчивости элементов и общности их происхождения. Косвенным же доводом в пользу такого взгляда на элементы периодический закон, несомненно, являлся, как это утверждали многие учёные (Крукс, Столетов, Берто и другие). Дальнейший прогресс в физике состоял как раз в экспериментальном подтверждении такого глубоко революционного взгляда на элементы. Однако пока прямых доказательств изменчивости и превращаемости элементов не было установлено, главная черта старого понятия элемента не могла быть разрушена, а тем самым не могло быть опровергнуто и само это понятие. В последней трети XIX в. шла лишь подготовка к его крушению.

## § 15. Теоретико-синтетическое определение Менделеева

Первое теоретико-синтетическое определение элемента было косвенно дано Менделеевым в 1871 г. Оно строилось на основе периодического закона элементов. Определяющим признаком в нём служило *место* элемента в периодической системе, следовательно, отдельное (элемент) определялось здесь через общее (через общий закон и вытекающую из него систему). Назовём это определение элемента *менделеевским*. Оно гласило: «Положение элемента  $R$  в системе даёт рядом и группою, к которым принадлежит элемент  $R$ , т. е. соседними элементами  $X$  и  $Y$ , стоящими в том же ряду, и двумя элементами из той же группы с ближайшим меньшим ( $R'$ ) и ближайшим бóльшим ( $R''$ ) атомным весом. Свойства  $R$  можно определить из известных свойств  $X, Y, R', R'' \dots$ » <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 330—331.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 182.

Чтобы это положение могло рассматриваться как подлинное определение элемента, необходимо было установить две вещи: во-первых, что каждому элементу отвечает *одно* определённое место в системе Менделеева; во-вторых, что на каждое место в системе приходится только *один* определённый элемент. Если оба условия соблюдены, то место в системе действительно может рассматриваться в качестве признака, однозначно определяющего понятие элемента. Устанавливая первое условие, Менделеев пишет: «Каждый элемент по периодической системе имеет место, определяемое группой (означаем римской цифрой) и рядом (цифра арабская), в которых находится. Они указывают величину атомного веса, аналогию, свойства и форму высшего окисла, водородного и др. соединений, словом — главные количественные и качественные признаки элемента...» <sup>1)</sup>.

Устанавливая второе условие, Менделеев указывает, что «на основании всего, что известно до сих пор, на данном месте системы может стоять только один элемент...» <sup>2)</sup>.

Таким образом, Менделеев установил, что каждому элементу соответствует определённое место, и на каждое место приходится только один элемент. Значит, между элементом и признаком его места в системе существует однозначная, определяющая связь.

Очевидно, что если место в системе позволяет определить все главнейшие признаки элемента (включая и атомный вес), то, следовательно, оно есть определяющий признак элемента и на его основе должно строиться самое определение элемента. Отсюда менделеевское определение может быть коротко сформулировано так: *элемент есть вид атомов, которому соответствует определённое место в периодической системе Менделеева.*

## § 16. Диалектический характер менделеевского определения

В определении Менделеева *отдельное* (элемент) определено через *общее* (периодическую систему). Поэтому, характеризуя это определение с логической, познаватель-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 327.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 186.

ной стороны, мы можем применить к нему известное положение Ленина о диалектическом соотношении между отдельным и общим <sup>1)</sup>.

Определить элемент через место, которое он занимает в периодической системе, равносильно признанию, что «отдельное не существует иначе, как в той связи, которая ведёт к общему» (Ленин). Другими словами, *элементов, выпадающих из их общей связи, не существует*; понятие отдельное (элемент) абстрактно, как только отдельное, игнорируя общую связь (периодический закон), невозможно. По сути дела именно эту мысль Менделеев выразил в следующей формуле: «...Ныне не должно и не возможно делать какие-либо точные соображения об элементах, минуя закон периодичности, как, обсуждая сложные тела, нельзя уже обойти законы частиц, замещений и пределов» <sup>2)</sup>. В другом месте Менделеев писал: «элементарные же вещества ныне немислимы без подчинения их периодической законности» <sup>3)</sup>. Это положение лежало в основе оценки Менделеевым открытия аргона и других инертных газов.

Далее, периодический закон (общее) не представляет голый, формально-логической абстракции; он не оторван от отдельных элементов и не противопоставлен им, как существующий где-то вне реальных химических элементов. Напротив, он рассматривается как выражающий *их* взаимную связь, *существующую в них самих*. Можно сказать, что вся периодическая система существует постольку, поскольку отдельные элементы «занимают» в ней отдельные «места». Это показывает, что «общее существует лишь в отдельном, через отдельное» (Ленин).

Вместе с тем любое отдельное свойство отдельного элемента, будучи сопоставлено с аналогичными свойствами остальных элементов, *обнаруживает в себе момент общей периодической зависимости*: оно может быть отнесено либо к свойствам, меняющимся монотонно при переходе от элемента к элементу по системе Менделеева, либо к свойствам, меняющимся периодически. Это означает, что «всякое отдельное есть (так или иначе) общее» (Ленин). Это положение

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 329.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 247.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 485.

Менделеев подтвердил тем, что перечислил зависимость самых различных химических и физических свойств элементов и даже их биологического действия от места элемента в системе. Например, он указывал на «зависимость разлагаемости гидратов от положения элементов в периодической системе»; на «связь между атомным весом или местом металлов в периодической системе и их способностью служить посредниками при передаче галондов углеводородам»<sup>1)</sup>; на зависимость физических свойств от «периодического распределения» элементов, в том числе на «зависимость магнитных свойств простых тел от места, занимаемого ими в периодической системе»<sup>2)</sup>; на обнаруженное «соответствие между физиологическим действием на организм солей и других препаратов и местом элементов, в них содержащихся, — по периодической системе»<sup>3)</sup>.

Определение Менделеева показывает далее, что причину, почему определяющим признаком элемента может служить место элемента в системе, надо искать в *сущности самих элементов*, в их внутренней связи, выражением которой является периодический закон. Последний, по словам Менделеева, «не только отвечает известной действительности, но и позволяет проникать, хотя понемногу, в неизвестную сущность химических элементов»<sup>4)</sup>. Этим подтверждается, что «всякое общее есть (частичка или сторона, или сущность) отдельного» (Ленин).

Однако определение Менделеева, ограничиваясь учётом общей связи между элементами, отнюдь *не исчерпывает собою характеристики каждого отдельного элемента*. Развивая своё определение, Менделеев говорит, что, кроме главных признаков элементов, которые указываются местом элемента в системе, «остаётся ещё целый ряд подробностей или индивидуальных особенностей, причину которых, быть может, должно искать в небольших разностях атомного веса»<sup>5)</sup>.

1) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 331.

2) Там же, стр. 332.

3) Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, 1932, стр. 65.

4) Там же, стр. 63.

5) Там же, стр. 62.



В другом месте он подчёркивает, что, кроме «основных свойств, которые определяют сходство и положение элементов в системе, последние обладают ещё и особыми индивидуальными свойствами»<sup>1)</sup>. В этих индивидуальных, неохватываемых периодическим законом свойствах Менделеев видит источник «нарушения в правильности изменений величин атомных весов»<sup>2)</sup>. Это означает, «что всякое общее лишь приблизительно охватывает все отдельные предметы. Всякое отдельное неполно входит в общее» (Ленин).

Наконец, периодическая система наглядно показывает наиболее существенные соотношения и переходы не только между самими элементами, но и между соединениями различных элементов. Такие переходы имеют место потому, что периодическому закону, как подчёркивает Менделеев, подчиняются не только свойства простых тел, но «также формы и свойства соединений элементов»<sup>3)</sup>. Менделеев перечисляет далее такие соединения, как высшие солеобразные окислы, водородные и металлоорганические соединения. Кроме того, он указывает, что не только определённые соединения, но и сплавы (так называемые неопределённые соединения) в известной мере подпадают под периодический закон<sup>4)</sup>. Тем самым оказывается, что каждый отдельный элемент в конечном счёте связан не только с каждым другим элементом, но и с каждым химически-сложным веществом определённого и неопределённого состава. Тем самым подтверждается, что «всякое отдельное тысячами переходов связано с другого рода отдельными вещами, явлениями, предметами» (Ленин).

Таким образом, в целом определение Менделеева покоится на диалектическом положении, что противоположности едины: отдельное едино с общим. «Противоположности (отдельное противоположно общему) тождественны» (Ленин).

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 185.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 204.

<sup>3)</sup> Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, 1932, стр. 61.

<sup>4)</sup> См. там же, стр. 67.

## § 17. Практическая проверка менделеевского определения

Вопрос об утверждении закона (отсюда — и построеного на его основе определения элемента) Менделеев связывал с возможностью опытной проверки следствий, вытекающих из него. «Законы природы исключений не терпят, — писал Менделеев. — ... Утверждение закона возможно только при помощи вывода из него следствий, без него невозможных и неожиданных, и оправдания тех следствий в опытной проверке. Поэтому-то, увидев периодический закон, я с своей стороны (1869—1871) вывел из него такие логические следствия, которые могли показать — верен он или нет»<sup>1)</sup>. К числу их Менделеев относил исправление атомных весов мало исследованных элементов и предсказание свойств некоторых элементов.

До открытия Менделеева атомные веса элементов определялись чисто эмпирически, причём значение валентности во многих случаях было установлено неверно. В связи с этим и атомный вес получался больше или меньше истинного, а потому требовал *исправления*. Так, например, исходя из формулы  $U_2O_3$ , атомный вес урана считался равным 120; исходя из формулы  $InO$ , атомный вес индия принимался равным 75,6; по тем же причинам неправильные значения атомного веса получались и для некоторых других элементов. Периодический закон требовал, чтоб каждый элемент занимал своё определённое *место* в системе Менделеева. Но если валентность и атомный вес элемента были определены неправильно, то это требование, сформулированное в определении Менделеева, не могло быть выполнено: элемент, с неверно установленным атомным весом, приходился либо на уже занятое место, либо на такое место, которое не отвечало свойствам и отношениям данного элемента. Так, например, если принять  $U = 120$ , то «при этих условиях для урана нет места в системе ни по атомному весу (так как в седьмом ряду от  $Ag = 108$  до  $J = 127$  нет свободного места), ни по свойствам»<sup>2)</sup>. Выход из этого противоречия Менделеев видел в необходимости испра-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 509.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 186.

вить эмпирически установленный атомный вес в соответствии с требованиями периодического закона. Общий путь для такого исправления мыслился следующий: «Если эквивалент  $E$ , полученный для высшего окисла элемента..., умножить на 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, то получаются величины возможных атомных весов. Одно из этих чисел и притом  $E^n$ , отвечающее свободному месту в системе и одновременно атоманалогичным отношениям элемента, соответствует действительному атомному весу»<sup>1)</sup>. Исправив таким способом атомный вес урана, Менделеев получил  $U = 240$  (по формуле  $UO_3$ ). В этом случае для урана нашлось *место* в системе. Ведущая, направляющая роль менделеевского определения элемента здесь выступила вполне отчётливо.

Таким же путём Менделеев исправил атомный вес индия на  $In = 113$ , поскольку все соответствующие места, кроме одного, оказывались либо заняты, либо были не подходящими для индия. Так же были исправлены атомные веса других элементов. Во всех этих случаях руководящую роль давало менделеевское определение элемента. Поэтому, когда впоследствии подтвердилась правильность сделанных Менделеевым исправлений, то тем самым практически оправдалось и менделеевское определение. Раммельсберг и Циммерман, подтвердив необходимость удвоения атомного веса урана, тем самым способствовали утверждению в химии нового менделеевского определения химического элемента.

В ещё большей степени менделеевское определение было укреплено благодаря *открытию новых элементов*, предсказанных Менделеевым. В данном случае в буквальном смысле шла речь о подтверждении того, что *место* в периодической системе есть определяющий признак элемента. По сути дела Менделеев в своих предсказаниях описывал свободные *места* в системе, исходя из предположения, что они должны быть заняты неизвестными элементами. Но так как фактически описывалось именно свободное *место* в системе, то тем самым единственным исходным пунктом и основой для предсказания служило Менделееву его определение. В предыдущем случае, кроме того, налицо был

<sup>2)</sup> Д. М. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 183.

сам элемент и эмпирически, хотя и неверно, определённые значения валентности и атомного веса. В данном же случае всего этого не было; не было ничего вещественного, единичного. Налицо было только одно отвлечённое «общее», из которого Менделеев с гениальной смелостью отважился мысленно вывести предполагаемое «единичное», чтобы дать возможность этот вывод проверить затем на практике путём открытия вещественного единичного (см. табл. 1 в конце книги). «Решаюсь это сделать ради того, — писал Менделеев, — чтобы хотя со временем, когда будет открыто одно из этих предсказываемых мною тел, иметь возможность окончательно увериться самому и уверить других химиков в справедливости тех предположений, которые лежат в основании предлагаемой мною системы»<sup>1)</sup>.

В своих предсказаниях Менделеев исходил из того, что не только каждый элемент занимает определённое место в системе, но и на каждое место должен обязательно приходиться какой-нибудь элемент. Это значит, что Менделеев полностью исходил из своего определения элемента.

Спустя несколько лет после сделанных Менделеевым предсказаний был открыт галлий, соответствующий менделеевскому экаалюминию (1875); скандий, соответствующий предсказанному экабору (1880) и германий, соответствующий экакремнию Менделеева (1886). Эти открытия явились решающей проверкой периодического закона и связанного с ним менделеевского определения химического элемента. Вместе с тем они блестяще подтвердили приоритет Менделеева в открытии периодического закона, показав тщетность попыток некоторых иностранных учёных оспорить у Менделеева право на этот приоритет. Как и во всех случаях, когда речь идет об установлении истины, так и здесь, решающее слово было за практикой, как критерием истины. Впоследствии Менделеев писал: «Признавая путь опыта единственно верным, я сам проверял, что мог, и дал в руки всем возможность проверять или отвергать закон и не думал, как Л. Мейер (Lieb. Ann. 1870. Том VII, стр. 364), писавший о периодическом законе, что... «было бы поспешно изменять до-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр соч., т. II, 1934, стр. 155.

ныне принятые атомные веса на основании столь непрочного исходного пункта»... Ни de Chancourtois, которому французы приписывают право на открытие периодического закона, ни Newlands, которого выставляют англичане, ни L. Meyer, которого цитировали иные, как основателя периодического закона — не рисковали предугадывать свойства неоткрытых элементов, изменять «принятые веса атомов» и вообще считать периодический закон новым, строго поставленным законом природы, могущим охватывать ещё доселе необобщённые факты, как это сделано мною с самого начала (1869»<sup>1</sup>).

Совершенно ясно, что приоритет в научном открытии не может принадлежать тому, кто сам не верит в истинность сделанного открытия и боится выводить из него необходимые следствия. Приоритет в открытии периодического закона по праву принадлежит только Менделееву и это его право доказано самой историей науки.

## § 18. Новое испытание определения Менделеева

В конце XIX в. периодический закон и определение Менделеева подверглись ещё одному серьёзному испытанию, казалось, грозившему сначала им гибелью, а затем блестяще подтвердившему их.

Трудности начались с того, что открытый в 1895 г. новый элемент аргон ( $A = 40$ ) не находил себе места в системе Менделеева ни по атомному весу, ни по своим свойствам; это был химически недействительный газ, аналога которому не было среди всех известных тогда элементов, вошедших в периодическую систему.

Для Менделеева встал вопрос: либо аргон не есть элемент, и тогда для него не может быть и места в системе; либо он всё же есть элемент, и тогда рушится периодический закон, тогда нарушается общность его определения элемента, поскольку признаётся, в качестве исключения, что существует элемент, не находящий себе места в системе. Открытие аргона Менделеев рассматривал прежде всего в отношении к своему определению элемента.

<sup>1</sup>) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 509—510.

Когда в том же 1895 г. Рамзай открыл гелий ( $He = 4$ ), то трудность положения одновременно и возросла и приблизилась к разрешению. «...Можно думать, — писал Менделеев, — что в том первом ряде, где ныне известен лишь водород, будут открыты свои элементы, так же как в VIII группе между F и Na... Быть может, недавно (1895) открытые гелий и аргон (Релей и Рамзай) отвечают указанным местам...»<sup>1)</sup>. Таким образом вопрос стоял перед Менделеевым так, что поскольку для A и He доказана их элементарность, постольку, в целях сохранения общности периодического закона, требуется найти для каждого из них место в системе. Иначе говоря, задача состояла в том, чтобы получить возможность распространить на вновь открытые элементы то же самое общее менделеевское определение. Последнее, как и в предыдущих случаях, оставалось в центре внимания Менделеева. Но если раньше шла речь лишь о его подтверждении, то теперь стоял вопрос о его спасении от грозившей гибели.

Выход был вскоре найден. Было предложено установить в периодической системе новую группу инертных газов (лишённых способности образовывать химические соединения, т. е. обладавших нулевой валентностью). Эта группа была названа нулевой; тем самым её место в системе было определено *перед* группой щелочных металлов, но после галлоидов (см. табл. 2 в конце книги). Немедленно вслед за тем открылся путь не только к спасению, но к ещё большему укреплению менделеевского определения. Во-первых, атомный вес гелия действительно оказался меньше атомного веса лития, но больше, чем  $H = 1$ ; в случае же аргона  $A = 40$  он был больше, чем  $Cl = 35,5$  и лишь немногим больше, чем  $K = 39$ . Поэтому можно считать, что открытые ранее инертные газы нашли, наконец, своё место в системе. Во-вторых, обнаружилось ещё по меньшей мере три свободных места в системе, одно — между He и A — и два ниже аргона.

Тем самым открывался путь к новой проверке менделеевского определения, испытанный уже раньше самим Менделеевым. «По аналогии, — говорил Рамзай, — можно предсказать, что между гелием и аргоном существует эле-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 426.

мент с атомным весом 20, недеятельный, как эти два газа: новый элемент должен иметь характерный спектр и менее легко сгущаться, чем аргон. Можно было бы так же предсказать существование двух аналогичных газообразных элементов, имеющих атомные веса 82 и 129»<sup>1)</sup>. Такое предсказание Рамзай сделал в прочитанном осенью 1897 г. докладе на тему «Не открытый газ»<sup>2)</sup>. Как признаёт сам Рамзай, он действовал «по образцу нашего великого учителя Менделеева»<sup>3)</sup>. Речь шла о том, чтобы на основании свободного места между гелием и аргоном наперёд описать свойства неоткрытого ещё элемента. Когда спустя год (1898) неон был открыт, то это событие явилось новым, ещё более сильным укреплением периодического закона и менделеевского определения элемента. Более сильным потому, что прежде речь шла о подтверждении следствий, заранее выведенных из периодического закона и согласованных с ним; теперь же вопрос стоял о том, чтобы угрозу периодическому закону превратить в поддержку его, противника его — в его союзника. Открытие неона и последовавшее затем открытие ксенона и криптона превратили серьёзнейшую трудность и опасность, с которыми столкнулось менделеевское определение, в его величайший триумф. Вот почему Менделеев писал: «В такой же мере я считаю Рамзая утвердителем справедливости периодического закона, так как он открыл He, Ne, Ar, Kr и Xe, определил их атомные веса, и эти числа вполне подходят к требованиям периодической системы элементов»<sup>4)</sup>.

## § 19. Недостатки менделеевского определения

При всех своих достоинствах и, несомненно, прогрессивной методологической основе определение Менделеева не было свободно от существенных недостатков, обусловленных слабым уровнем развития атомной физики в последней трети XIX в.

<sup>1)</sup> Успехи химии, Одесса, 1912, стр. 60.

<sup>2)</sup> См. Рамсей-Оствальд, Из истории химии, 1909, стр. 29.

<sup>3)</sup> В. Рамзай, Благородные и радиоактивные газы, 1909, стр. 19.

<sup>4)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 510.

Первым и наиболее существенным недостатком определения Менделеева было то, что определяющий признак элемента — его «место» в системе — выступал как чисто отвлечённое понятие. С понятием «места» в периодической системе в XIX в. не ассоциировалось и не могло быть ассоциировано никаких других представлений, кроме как о «клетке» в таблице Менделеева. Не было ещё известно таких физических или химических свойств у атомов, которые бы могли заменить собой или конкретизировать графические признаки «клетки», т.е. таких, которые своим численным значением указывали бы на определённое место в системе, соответствующее именно данному элементу. Атомный вес мог выполнять такую роль лишь с большой натяжкой вследствие своего дробного характера, а главное, вследствие неравномерности и даже некоторой неправильности своего нарастания.

Таким образом, у отдельных «мест» в системе отсутствовал в XIX в. какой-либо *однозначный количественно измеримый признак*. Признаком места служили две координаты менделеевской «короткой» таблицы: абсциссой служил номер группы (обозначался римской цифрой), ординатой — номер ряда (обозначался арабской цифрой). В соответствии с этим Менделеев обозначает отдельные места в своей системе, подобно тому, как обозначаются точки в прямоугольной декартовой системе координат. Например, он говорит: «место III-6, место VI-9, места II-5 и II-6, III-10, VI-8, VI-11, VI-13, V-12, VII-12 и т. д.<sup>1)</sup>». Более того, нередко он отдельный элемент называет не по имени, а по координатам его места в системе. Например, он называет «окись металла III-4»<sup>2)</sup>, «элемент IV-5»<sup>3)</sup> и т. д. Иногда же он применяет оба обозначения сразу (символическое и координатное), ставя между ними знак равенства, например, экаалюминий  $El = III-5$ ;  $II-5 = Zn$ ,  $II-6 = Sr$ , и т. д.<sup>4)</sup>. Но что представляли собой *физически* обе координаты?

<sup>1)</sup> См. Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 158, 162, 268, 309—310, 460 и т. д.

<sup>2)</sup> См. там же, стр. 157.

<sup>3)</sup> См. там же, стр. 268.

<sup>4)</sup> См. там же, стр. 268, 329.



Первая имела известное физическое значение: она выражала собой максимальную валентность элемента по кислороду; вторая же такого вообще не имела. Поэтому дать непосредственно физическое истолкование обеим координатам, а значит, и самому признаку «места» в системе было невозможно. В конечном счёте единственным определением «места» служила сама периодическая система в её графическом изображении (в виде менделеевской таблицы).

Короче говоря, менделеевское определение, вскрывая момент всеобщего (связь с периодическим законом), оставляло без достаточной конкретизации момент единичного (характеристику отдельного элемента с точки зрения присущих ему физических признаков). Объяснялось это тем, что сам периодический закон не был ещё в то время объяснён физически.

## § 20. Отношение Менделеева к старому понятию элемента

Своё новое определение элемента Менделеев открыто не противопоставлял старым определениям Лавуазье и Дальтона. Оба последних Менделеев принимал целиком; он всегда и всюду ссылался на них, когда речь заходила о формальном определении элемента. Где же причины положительного отношения Менделеева к старому понятию элемента, которому он же сам нанёс первый серьёзный удар открытием периодического закона? Эти причины коренились в следующих обстоятельствах.

К концу XIX в. оказались разрушенными не все три, а только *одна* черта старого метафизического понятия элемента. Остальные две его черты экспериментально не только не были ещё опровергнуты, но, напротив, казалось, подтверждались всеми опытными данными. Особенно прочно держался центральный пункт старого понятия — признание абсолютной неизменности (неразложимости, непревращаемости) элементов. Пока же этот пункт не был опровергнут опытным путём, говорить о замене старого понятия элемента новым было очень трудно, а в такой сугубо эмпирической науке, как химия, даже невозможно. «...Пока что говорить о превращении одних элементов в другие просто-

напросто нет никакого повода...»<sup>1)</sup>, — писал Менделеев в 1898 г. Даже в последнем издании «Основ химии» (1906) Менделеев сохранил свои прежние формулировки, гласящие, что элементы «неспособны превращаться друг в друга, по крайней мере до сих пор не замечено ни одного случая подобного превращения» и «до сих пор, несмотря на массу усилий, не отыскалось ни одного факта, который бы сколько-нибудь оправдывал мысль о сложности» элементов. «Следовательно, простые тела по понятию о них неспособны к реакциям разложения»<sup>2)</sup>).

Ещё меньше можно было в XIX в. говорить об опытном доказательстве не полной тождественности атомов одного и того же элемента. Такие взгляды могли высказываться лишь в виде гипотез (Бутлеров, Крукс), подобно тому как в XIX в. идея сложности и разложимости элементов могла высказываться только гипотетически (Праут, Столетов, Бертоло и другие).

В силу отсутствия опытных данных Менделеев не считал себя вправе отказываться от остальных двух черт старого метафизического понятия элемента.

Вторая причина состояла в том, что в XIX в. определение Менделеева, в противоположность старому конкретному и физически наглядному определению Дальтона, казалось предельно абстрактным и физически неконкретным. В конкретности и наглядности старого определения было его громадное преимущество. Сравним два определения: водород есть вид атомов с атомным весом 1,008; это звучит вполне конкретно и даёт непосредственное представление о свойстве элемента, выбранном в качестве определяющего признака. Другое определение звучит совершенно иначе: водород есть вид атомов, приходящийся на первое место в менделеевской системе; это кажется слишком отвлечённым. Ни один из химиков, привыкших иметь дело с чувственно осязаемым веществом, в том числе и сам Менделеев, никогда не удовлетворился бы столь абстрактным определением.

Наконец, в пользу старого понятия элемента говорило то, что оно строилось на полном *единстве теоретического*

1) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 440.

2) Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, 1931, стр. 12.

и практического моментов в познании атомов, соответственно представленных определениями Дальтона и Лавуазье. Никакого иного эмпирического определения, кроме определения Лавуазье, в XIX в. не существовало, да и не могло возникнуть. Поэтому всякий, кто стремился сочетать теоретические взгляды на элементы с признаками элементов, установленными непосредственно опытным путём, должен был неизбежно искать согласованности своего определения с определением Лавуазье. Так поступил в своё время Дальтон, так вынужден был поступить позднее Менделеев, считавший вслед за Дальтоном атомный вес определяющим признаком элемента.

## § 21. Столкновение двух определений у Менделеева

Таким образом, у Менделеева было фактически два несовместимых и взаимоисключающих определения элемента — старое и новое. Согласно старому, определяющим признаком элемента считался атомный вес, согласно новому — место элемента в периодической системе. Старое определение Менделеев выдвигал осознанно, явно; новое — неосознанно, скрыто. В большинстве случаев оба определения как будто удовлетворяли друг другу, по крайней мере явно не противоречили одно другому. Но довольно часто между ними возникала коллизия. Во всех таких случаях Менделеев отдавал предпочтение своему новому определению, хотя и не формулировал это как отказ от старого определения в пользу нового. Но по существу дело сводилось именно к такому отказу, ибо признак атомного веса Менделеев трактовал как зависимый и производный от признака места элемента в периодической системе. Тем самым Менделеев на деле отказывался от определения Дальтона и пользовался — как единственно верным — своим определением. Сошлёмся на некоторые известные факты.

Исходя из того обстоятельства, что принятые в 60-х гг. XIX в. атомные веса противоречили месту в периодической системе, на которое должны были приходиться некоторые элементы, Менделеев исправил ранее найденные эмпирические значения атомных весов в соответствии с местом элементов в системе. Так были исправлены

атомные веса, кроме урана и индия, бериллия, тория, церия, лантана и других элементов. Этого не могло бы произойти, если бы Менделеев на деле не отказался от старого определения Дальтона, т. е. от мысли, что атомный вес есть определяющий признак элемента, и если бы он не прижал вместо него своего нового определения, согласно которому определяющим признаком служит место элемента в системе, атомный же вес, как и все остальные свойства элемента, является производным, зависящим от этого места. В некоторых случаях столкновение между старым и новым определениями элемента приобретало достаточно острые формы. Так было в случае бериллия. «...При атомном весе  $Be = 13,5$ , — писал Менделеев позднее, — металл этот не находил места в системе. Недоразумение длилось несколько лет. Не раз мне приходилось слышать о том, что вопрос об атомном весе бериллия грозит поколебать общность периодического закона...»<sup>1)</sup>. Сущность коллизии заключалась, таким образом, в том, что единичное ( $Be$ ) определение, согласно Дальтону, выпадало из общего (для него не было места в общей системе) и тем самым подрывало это общее в смысле его общности. Исходя из своего определения, т. е. отказавшись от определения Дальтона и подчинив единичное (атомный вес  $Be$ ) общему (требованиям периодического закона), Менделеев решил эту трудность, а экспериментальное исследование впоследствии подтвердило правильность взгляда Менделеева. Менделеевское определение элемента, которое по сути дела защищал в данном случае сам Менделеев, одержало блестящую победу над определением Дальтона.

Известно также, что, исследуя незанятые места в периодической системе, Менделеев не только предсказал новые, ещё неизвестные элементы, но и *заранее определил* с весьма большой точностью их предполагаемые свойства, в том числе их атомные веса. Так были предсказаны свойства  $Ga$ ,  $Sc$  и  $Ge$ . Позднее Менделеев писал, что «для этих неизвестных элементов, судя по их месту в системе, должно было ждать... определённых атомных весов...»<sup>2)</sup>. Здесь, так же как и в предыдущем случае, Менделеев

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 361.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 425.

достиг успеха только потому, что он на деле отказался от определения Дальтона в пользу своего собственного определения. Если бы он этого не сделал, то вычисление свойств единичных веществ, рассмотренных только с точки зрения единичности, а не в той связи, которая ведёт к всеобщему, никогда не дали бы возможности строить какие-либо предположения относительно атомных весов неизвестных элементов.

Наконец, известно, что по крайней мере в трёх случаях Менделеев поставил более лёгкие элементы перед более тяжёлыми, нарушив тем самым *последовательность* возрастания атомных весов по периодической системе. Особенно много хлопот причинил Менделееву иод и теллур. Менделеев ожидал, что здесь нарушение последовательности объяснится ошибками опыта, что более точные измерения приведут атомные веса этих элементов в соответствие с требованиями периодического закона. Эти ожидания не оправдались. Менделееву предстояло сделать одно из двух: либо принять атомный вес за определяющий признак элемента, в соответствии с чем надо было бы поменять местами J и Te, Co и Ni, K и A, что вызвало бы полное искажение периодического закона по существу (например, щелочной металл попал бы в группу инертных газов, а теллур — в группу галоидов); либо принять место в системе за определяющий признак элемента, и тогда все элементы остались бы на своих местах согласно своему естественному расположению по периодической системе; при этом пришлось бы отказаться от требования строго придерживаться принципа возрастания атомных весов и допустить исключения из этого правила. Менделеев встал на второй путь, фактически допустив возможность отступлений от принципа возрастания атомных весов, но не допуская ни малейшего сомнения в том, что иод должен стоять в VII, а теллур в VI группе, точно так же как и аргон — в 0, а калий — в I группе периодической системы. Тем самым и в данном случае возможность сохранения периодической системы и лежащего в её основе периодического закона была достигнута путём отказа от признания атомного веса в качестве определяющего признака элемента и признания за таковой места элемента в системе Менделеева.

## § 22. Попытка химиков удержать старое определение элемента

Несмотря на то, что уже в 70-х гг. XIX в. старое определение элемента было подорвано благодаря открытию периодического закона, химики продолжали настаивать на нём. Можно сказать, что сознание химиков резко отставало от содержания их собственных открытий. Здесь подтверждается известное положение марксистской диалектики о том, что в ходе исторического развития форма отстаёт от содержания. Доказательство этого мы увидим на многочисленных примерах отношения к понятию элемента со стороны физиков и химиков в XX в. Сейчас же приведём один пример, не связанный с революцией в физике, начавшейся на рубеже XIX и XX вв.

Во второй половине XIX в. большое развитие получило исследование спектров элементов, проводимое с аналитическими целями. Спектральный анализ, открытый в 1860 г., дал в руки химиков надёжное средство обнаруживать даже ничтожные следы вещества, идентифицировать различные порции одного и того же вещества, устанавливать их чистоту, открывать новые элементы, словом, на практике *определять* элементы. С помощью спектрального анализа был открыт ряд новых элементов (Cs, Rb, In, Tl, He, Ga и другие) раньше, чем они были выделены в чистом виде. Решающую помощь спектральный анализ оказал при идентификации и различении элементов нулевой группы. В работах Лекок де Буабодрана, Демарсэ и де Грамона был развит более сложный способ искровых спектров. Всё это заставило химиков придать большое значение спектральным свойствам, реально используемым в качестве определяющего признака элементов. В соответствии с этим возникла мысль включить этот признак и в самое определение элемента.

Как указывает Урбен, «по предложению А. де Грамона международный конгресс по химии, состоявшийся в 1900 г. в Париже, постановил, что для определения каждого химического элемента должен служить его атомный вес и оптический спектр»<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ж. У р б е н, Химический элемент и атом, 1929, стр. 30—31

Назовём это определение грамоновским.

Очевидно, что в основе определения Грамона лежит старое определение Дальтона, дополненное новым признаком (спектром)<sup>1)</sup>. Основные черты определения Дальтона сохранены полностью, поскольку элемент рассматривается попрежнему как нечто единичное, наделённое только единичными признаками атомного веса и спектра.

Но в одном отношении определение Грамона представляет интерес: не связывая своего определения с периодическим законом, Грамон в двух единичных признаках элемента указал именно те свойства, которые отразили собой обе стороны периодической зависимости. Свойства, меняющиеся монотонно и фигурирующие у Менделеева в качестве аргумента, в определении Грамона представлены атомным весом. Свойства, меняющиеся периодически и фигурирующие у Менделеева в качестве функций, представлены у Грамона оптическим спектром. Следует подчеркнуть, что ещё в 1889 г. Менделеев указывал, что «в спектрах простых тел можно заметить явную периодичность»<sup>2)</sup> и что в известных случаях существующая между спектрами элементов степень сходства отвечает «той степени сближения этих элементов, которая указывается периодическим законом»<sup>3)</sup>.

Таким образом, определение Грамона отразило в признаках элемента обе стороны, включённые в периодический закон, но отразило их в их оторванности друг от друга и единичности. Тем самым это определение, будучи некоторым шагом вперёд по сравнению с определением Дальтона, являлось существенным шагом назад по отношению к определению Менделеева.

---

<sup>1)</sup> Критика этого дополнения была дана Фаянсом (см. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*, т. 14, 1917, стр. 318).

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 363.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 363.

---

## ГЛАВА II

### НАМЕЧЕННЫЕ МЕНДЕЛЕЕВЫМ ПЕРСПЕКТИВЫ

#### § 23. Вопрос о соотношении динамизма и атомизма у Менделеева

Историки химии и физики до сих пор ещё не поставили и систематически не исследовали вопроса о тех перспективах, которые намечал сам Менделеев в отношении будущего развития как периодического закона, так и связанного с этим законом понятия элемента. Между тем выяснение этого вопроса помогло бы разобраться в происшедших в XX в. коренных сдвигах в понятии элемента и глубже уяснить их принципиальный, познавательный характер.

Для общего понимания взглядов Менделеева на элементы и, особенно, для понимания намеченных им перспектив научного развития большое значение имеет выяснение того, как он относился к двум крайним концепциям вещества — атомистической и динамической <sup>1)</sup>, — которые на рубеже XVIII и XIX вв. вели ожесточённую борьбу между собой.

Первая, *атомистическая*, признавала дискретность вещества, расчленённость его на неделимые атомы. При этом источник активности атомов, источник их движения переносится вовне. Таким источником оказывался либо толчок, сообщаемый атому при соударении, либо, как у Дальтона, теплородные оболочки, окружающие твёрдые, инертные атомы. Атомная концепция в основном выражала собою материалистическую тенденцию в естествознании и в то же время механистические взгляды на вещество и движение.

<sup>1)</sup> Под динамической концепцией здесь имеется в виду динамизм Канта. Известны концепции, сочетавшие оба вышеуказанных крайних взгляда (Боскович).



Вторая, *динамическая*, концепция, представленная Кантом, отрицала дискретное строение материи, утверждая, что материя делима до бесконечности и что она носит характер непрерывного образования. По мнению динамистов, сторонников Канта, эта непрерывность обусловлена тем, что основу материи составляют чистые «силы» и что сама материя имеет динамическое происхождение. Вследствие этого источник активности материи, источник её движения оказывался не вне материи, а внутри её. Динамическая концепция в основном выражала собою идеалистическую тенденцию в естествознании, поскольку она сводила материю к чистому движению, приписывая «силам» примат над веществом. Вместе с тем эта концепция иногда приближалась к диалектическому взгляду, поскольку она исходила из идеи единства противоположных форм движения. Как отмечал Энгельс, уже Кант рассматривал материю как единство притяжения и отталкивания.

Наряду с обеими крайними точками зрения уже сравнительно давно возникла мысль о необходимости дать синтез динамического и атомистического взгляда на вещество путём преодоления механической односторонности атомизма и идеалистических тенденций чистого динамизма. К числу сторонников такой идеи относился и Менделеев. Он считал, что развитие учения о веществе должно пойти по линии преодоления, с одной стороны, представления о механической ограниченности атомизма и его недостатков (таких, как признание абсолютной неделимости атомов, отсутствие у них внутренней активности), а, с другой стороны, идеалистических тенденций динамизма, например, таких, согласно которым движется чистое «ничто».

Но преодоление механической ограниченности атомизма означает признание делимости атомов и наличия у них внутренней активности. Это возможно лишь при условии, что атомизм включит в себя то положительное, что содержалось в динамизме. С другой стороны, преодоление основной идеалистической посылки динамизма означает признание, что движется не «ничто», а движутся материальные частицы, что «чистого» нематериального движения в природе не существует. Это в свою очередь предполагает, что динамизм включит в себя то ценное, что содержалось в атомизме.

Короче говоря, преодоление недостатков односторонних точек зрения на материю и движение состоит в приближении к диалектико-материалистическому взгляду, в котором сочетаются в единстве ранее разобщённые и противопоставленные один другому моменты: вещество и энергия, а также прерывность и непрерывность. «...Для нас ныне без самобытного движения немислима ни одна малейшая доля вещества, — писал Менделеев, — всякая снабжена живою силою, энергией в той или другой мере. Таким образом, движение стало понятием, неразрывно связанным с понятием материи, и подготовилась почва к новому возбуждению динамической гипотезы о строении вещества»<sup>1)</sup>. Но в противоположность чистым динамистам такое возрождение динамической гипотезы по Менделееву должно было произойти не на идеалистической, а на материалистической основе. Отсюда у Менделеева следует общий вывод: «Современное же учение о веществе всего проще становится понятным, если взглянуть на него как на попытку примирить и согласовать динамизм с атомизмом»<sup>2)</sup>.

## § 24. Трактовка Менделеевым свойств атомов

То, что основу периодического закона составляет атомистическая концепция — это обстоятельство очевидно для всех. Об этом говорит сама зависимость свойств элементов от их *атомного* веса. Об этом же говорит кратность отношений между значениями максимальной валентности по кислороду ( $R_2O$ ,  $R_2O_2$  и т. д.). Эта кратность связывает у Менделеева *различные* элементы в один ряд так же, как кратность отношений связала у Дальтона в один ряд соединения *одного и того же* элемента при проявлении у него различной валентности. Это положение Менделеев выразил словами, что периодический закон связал «понятие о химических элементах новыми узами с Дальтоновым учением о кратном или атомном составе тел...»<sup>3)</sup>.

Но если, по Менделееву, современный атомизм должен быть согласован с динамизмом, освобождённым от его иде-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, 1931, стр. 334.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 367.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 354.

алистических поползновений, то подобное согласование должно отразиться и на трактовке основных свойств атомов, связанных периодической зависимостью, и прежде всего валентности и атомного веса.

Динамическую трактовку *валентности* Менделеев строил, перенося на область атомного мира те соотношения, которые наблюдаются у мировых космических форм. Он писал: «Сравнивается частица с солнечной системой, ... солнце с многоатомным элементом, связующим всю совокупность тел, атом с отдельным небесным светилом, спутником, планетой, солнцем» <sup>1)</sup>).

Позднее Менделеев писал об идее единства макро- и микрокосмоса, которая составляла основу атомистического учения: «...Узнанное из успехов астрономии для всего мироздания строение вселенной из уединённых солнц и планет, разделённых в пространстве, но соединённых взаимодействием сил, прямо, и не без явного успеха в ясности понимания вещей и явлений, перенесено на сложение вещества из атомов» <sup>2)</sup>).

Далее Менделеев указывал: «В самом атомном учении стала утверждаться всё с большою силою та обобщающая мысль, по которой мир атомов устроен так же, как мир небесных светил, со своими солнцами, планетами и спутниками, одушевлёнными всегдашнею живою силою движения, образующими молекулы, как небесные тела образуют системы, подобные солнечной, и неделимыми лишь относительно, как неделимы планеты солнечной системы, и устойчивыми и прочными, как прочна система мира» <sup>3)</sup>).

Отсюда прямо вытекал динамический характер валентности. «Но невидимый мир химических изменений, — говорил Менделеев, — совершенно сходен с видимым миром небесных тел, потому что наши атомы такие же индивидуумы невидимого мира, как планеты, спутники и кометы астрономов, а наши частицы сходны с такими системами, как солнечная или как система двойных звёзд. Аммиак ( $\text{NH}^3$ ) представляется проще всего содержащим своё сдерживающее солнце азота и свои планеты водорода, а

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 111.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, 1931, стр. 332.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 334.

поваренная соль (NaCl), как двойная звезда из натрия и хлора»<sup>1)</sup>. В связи с этим Менделеев видит недостаток общепринятой структурной теории в том, что она толкует связи между атомами, а следовательно, и валентность статически, а не динамически. В этой теории дело идёт, по словам Менделеева, «о статическом положении атомов в частице, а не о динамическом их отношении»<sup>2)</sup>.

Таким образом, соединение двух одновалентных атомов Менделеев трактует как их движение друг относительно друга, по типу двойной звезды, а соединение многовалентного атома с одновалентными — как движение этих последних вокруг первого, подобно движению планет вокруг солнца.

Динамическое истолкование Менделеевым природы массы или веса было тесно связано с критикой гипотезы Праута, допускавшего возникновение всех элементов из единой материи. «Положим вес атома этой материи равным единице, — писал Менделеев в 1872 г., — веса всех атомов должны выражаться целыми числами  $m$ , относительно к этой единице, ... т. е. атомные веса всех элементов были бы соизмеримыми»<sup>3)</sup>. Но это не подтверждено фактами. Следует ли из этого, что атомы более сложных элементов не могли возникнуть из более простых? Да, следует, если стоять на точке зрения механического сложения частиц и не учитывать возможности динамического истолкования самого веса. Нет, не следует, если стоять на точке зрения сочетания динамизма с атомизмом, ибо тогда при уплотнении простых частиц в сложную можно допустить частичный переход вещества в излучение, т. е. одной формы материального движения в другую форму. «Даже если допустить, — писал Менделеев, — что материя элементов совершенно однородна, нет никаких оснований предполагать, что  $n$  весовых частей одного элемента или  $n$  атомов при превращении в один атом другого элемента дадут те же  $n$  весовых частей или что атом второго элемента будет в  $n$  раз тяжелее, чем первого. Закон сохранения веса можно рассматривать как

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Два Лондонских чтения, изд. 2, 1895, стр. 17.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 22.

<sup>3)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 68.

частный случай закона сохранения силы или движения. Естественно, что вес вызывается особым видом движения материи и нет оснований отрицать возможность при образовании атомов элементов перехода этого движения в химическую энергию или иную форму движения... Если бы известный нам элемент разложился или образовался новый, то это явление сопровождалось бы потерей или приращением веса. Этим я до известной степени считаю возможным объяснить различие химической энергии различных элементов. Если эти мысли я здесь высказываю, то хочу этим только сказать, что есть некоторая возможность согласовать принятое по безмолвному соглашению химиками мнение о сложности природы элементов с непринятием гипотезы Праута»<sup>1)</sup>).

В связи с этим Менделеев неоднократно подчёркивал, что в основе периодического закона лежит начало, признающее «соответствие, превращаемость и эквивалентность всяких сил природы, сохранение живой силы или движения...»<sup>2)</sup>, и что «в периодическом законе должно видеть прежде всего применение закона единства сил природы»<sup>3)</sup>.

## § 25. Противоречивость взглядов Менделеева на элементы

Взгляды Менделеева на элементы не были последовательными. Новые воззрения уживались со старыми только в личном сознании Менделеева, а на деле приходили с ними в резкое столкновение. Попытки Менделеева каким-либо образом согласовать новые открытия со старыми понятиями не могли не вести к непримиримым противоречиям в учении об элементах, преодолеть которые Менделееву не удалось. Причины, породившие такое явление, носили естественно-научный и обще-философский характер.

Лично Менделеев стремился удержать старые *естественно-научные* взгляды на элементы и атомы. Он не был согласен с теми новыми взглядами, которые в конце XIX в. готовились, а в начале XX в. оформились под влиянием ве-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 203.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 268.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 311.

личайших открытий в науке, в том числе под влиянием открытия периодического закона. Эти новые взгляды состояли прежде всего в признании сложности и разложимости элементов. Против этого центрального тезиса новых революционных воззрений Менделеев решительно возражал. В конце XIX в. он выдвигал довод, что нет никаких опытных данных, доказывающих превращение элементов. В начале XX в., когда такие данные были установлены при изучении радиоактивности, он отрицал толкование радиоактивности как распада элементов. «...Я во все не склонен... признавать даже гипотетическую превращаемость элементов друг в друга и не вижу никакой возможности происхождения аргоновых или радиоактивных веществ из урана...»<sup>1)</sup>. Так писал Менделеев уже *после* того, как были сделаны открытия, доказавшие, что радиоактивность есть спонтанное превращение элементов.

Где же источник обнаружившегося в данном случае у Менделеева научного консерватизма?

В молодости Менделеев был решительным противником электрохимической теории Берцелиуса. С тех пор он всегда враждебно относился к попыткам связать область электрических явлений с областью химических явлений, видя в этих попытках простой возврат к давно уже отвергнутой метафизической теории Берцелиуса. Ничего нового, прогрессивного в современных ему электрохимических воззрениях Менделеев вообще не видел. Поэтому в равной степени он отвергал с порога и теорию электролитической диссоциации, и электронную теорию, и теорию радиоактивного распада. В знаменательный для физики год (1903), когда была раскрыта сущность радиоактивности, Менделеев писал в предисловии к предпоследнему (7-му) изданию «Основ химии»: «...Я желал, чтобы в моей книге остались следы того, как убеждённый последователь Жерара глядит на основные задачи учения о химических элементах в начале XX века... Чем более мне приходилось думать о природе химических элементов, тем сильнее я отклонялся как от классического понятия первичной материи, так и от надежды достичь желаемого изучением электрических и световых явлений...

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, 1932, стр. 456.

Возврат к электрохимизму, столь явный у последователей гипотезы об «электролитической диссоциации», и признание распада атомов на «электроны» — на мой взгляд — только усложняют, и ничуть не выясняют дело . . . »<sup>1)</sup>.

В связи с этим Менделеев защищает взгляд, сводящийся «к признанию элементарных весомых и неизменяющихся атомов простых тел».

Но была более общая и существенная причина того, почему у Менделеева возникали глубокие противоречия в учении об элементах, когда, с одной стороны, он выступал против новых взглядов на элементы и защищал старое понятие элемента с его неизменностью, а, с другой стороны, на деле своими открытиями наносил сокрушительные удары по этому старому понятию, подрывал его устои и сам же от него отказывался каждый раз, когда оно приходило в столкновение с новым понятием, отражённым в его собственном определении элемента. Эта более общая причина носила философский характер. Противоречия, встретившиеся в учении Менделеева, были только частным случаем основного противоречия всего естествознания XIX в. Оно состояло в том, как это показал Энгельс, что естествоиспытатели *продолжали мыслить метафизически* в то самое время, как их открытия разбивали в корне всякую метафизику и *вскрывали объективную диалектику природы*; «... так как и до сих пор, — писал Энгельс, — можно по пальцам перечест естествоиспытателей, научившихся мыслить диалектически, то этот конфликт между достигнутыми результатами и укоренившимся способом мышления вполне объясняет ту безграничную путаницу, которая господствует теперь в теоретическом естествознании ...»<sup>2)</sup>.

Менделеев был стихийным, бессознательным диалектиком. Он мыслил часто старыми метафизическими категориями, в то время как его открытия вскрывали диалектику физико-химических отношений вещества. В противоречии между старым метафизическим понятием элемента и новым, по существу диалектическим, понятием (выражен-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 447.

<sup>2)</sup> Ф. Энгельс, Анти-Дюринг, 1945, стр. 23.

ным в менделеевском определении) проявилось у Менделеева отмеченное Энгельсом основное противоречие, свойственное всему естествознанию XIX в. и почти всем без исключения его великим людям <sup>1)</sup>).

## § 26. Перспективы развития понятия элемента, намеченные Менделеевым

Высказываясь в разное время и по разному поводу о химических элементах, Менделеев (иногда сам того не подозревая) сделал ряд замечательных предположений и прямых предвидений, которые подтвердились современной физикой. Эти высказывания не сведены самим Менделеевым воедино, а разбросаны по его трудам, причём сделаны они нередко в очень осторожной форме, в порядке намёка или возможной постановки вопроса. Если систематизировать теперь все эти высказывания Менделеева, подтвердившиеся в той или иной степени в настоящее время, то можно обнаружить, что из трудов Менделеева вытекают определённые *перспективы* развития учения об элементах, понятия элемента и его определений. Эти перспективы в основном сводились к следующему.

Как уже было сказано в § 5, Менделеев исходил из того, что после открытия периодического закона понятие элемента, так же как и «множество понятий, более или менее укрепившихся в химии, должны претерпеть изменение, развиться и обработаться в смысле этого вывода» <sup>2)</sup>).

Но самый периодический закон, по Менделееву, не есть нечто законченное, застывшее, не способное к дальнейшей эволюции. Напротив, Менделеев предвидит, что будущее и новые силы «постараются дать столь успешным началам периодического закона новый философский облик, оперев его на устои, подкреплённые новыми опытами, которые придадут ещё большую стойкость начатому эданию» <sup>3)</sup>. В другом месте он указывает, что периоди-

---

<sup>1)</sup> Подробнее по этому поводу см. Б. М. Кедров «Энгельс и естествознание», 1947, раздел I.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 269.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 280.



ческий закон «сам требует дальнейшего развития»<sup>1)</sup>. Свое фарадсеевское чтение он заканчивает словами, что «периодический закон ждёт не только новых приложений, но и усовершенствований, подробной разработки и свежих сил»<sup>2)</sup>. Перед самой смертью он снова указывает, что дальнейшее развитие периодического закона «ждёт ещё много новых деятелей»<sup>3)</sup>.

Вместе с тем Менделеев предвидит, что *основа периодического закона сохранится неизменной*, ибо в этом законе отражена объективная закономерность самой природы, а не что-то субъективное, произвольное, а потому временное и преходящее. «Периодическому закону будущее не грозит разрушением, а только надстройки и развитие обещаются», — писал Менделеев в своих черновых набросках. В 1879 г. он прямо указывал: «Возможно изменение выражения закона; можно найти более точное выражение этой зависимости; по моему убеждению, несомненно сохранится основной смысл, который дан периодическим законом...»<sup>4)</sup>.

Дальнейшая разработка периодического закона, по Менделееву, должна быть направлена к тому, чтобы *объяснить основные свойства*, связанные взаимной (функциональной) зависимостью: массу и валентность. «Объяснить и выразить периодический закон, — писал Менделеев, — значит объяснить и выразить причину закона кратных отношений, различия элементов и изменения их атомности и в то же время понять, что такое масса и тяготение»<sup>5)</sup>.

Здесь речь идёт о причине кратности значений валентности, т. е. их целочисленности и их изменении всегда на единицу или кратное ей число. «... Эквивалентность или атомность прямо перескакивает с 1 на 2, на 3 и т. д. — без переходов. И, по моему мнению, эти-то свойства и суть важнейшие, их периодичность и составляет сущность периодического закона»<sup>6)</sup>.

1) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 185.

2) Там же, стр. 366.

3) Там же, стр. 504.

4) Там же, стр. 279.

5) Там же, стр. 324.

6) Там же, стр. 324.

Раскрытие причины периодической зависимости элементов Менделеев связывает не с привычными для тогдашней химии статическими представлениями, а с представлениями *динамическими*, в основе которых лежит понятие движения, а не абстрактного равновесия, покоя. Ещё в 1-м издании «Основ химии» Менделеев указывал, что объяснение периодического закона «возможно только в смысле динамического представления, могущего и долженствующего прежде всего разъяснить самое понятие о весе»<sup>1)</sup>.

Но Менделеев не только связывал возможность понять, что такое вес, на основе динамических представлений, но и обратно, он считал, что раскрытие глубокого физического смысла периодического закона в свою очередь будет способствовать развитию динамических воззрений в химии. Он писал, что когда периодическую зависимость «можно будет подчинить точным законам, тогда мы приблизимся ещё более к постижению самой сущности различия элементов между собою, и тогда, конечно, химия будет уже в состоянии оставить гипотетическое поле статических представлений, господствующих в ней ныне, и тогда явится возможность подчинить её динамическому направлению...»<sup>2)</sup>.

Свою трактовку атомного веса Менделеев применяет к выяснению условий равновесия и устойчивости образующихся систем. Он указывает на особенность природы химических замещений, состоящую в том, что смена лёгкого атома тяжёлым может не повлечь за собою перемены первоначального равновесия. «Периодический закон, в дополнение к этому, показывает, до каких пор прибыль веса атома влияет, изменяя возможные равновесия...»<sup>3)</sup>. Хотя здесь Менделеев имеет в виду равновесие атомов внутри молекулы, но ход его рассуждений таков, что его можно в перспективе распространить и на устойчивость структуры самих атомов, находящуюся в зависимости от их веса. В связи с этим исключительно большой интерес приобретают замечания Менделеева о наиболее тяжёлых эле-

1) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 111.

2) Там же, стр. 163.

3) Д. И. Менделеев, Два Лондонских чтения, 1895, стр. 37.

ментах, стоящих в конце периодической системы, особенно об уране.

Динамическая трактовка веса даёт возможность Менделееву предвидеть, что может обнаружиться прямая обусловленность химизма атомов от их массы. «Нельзя же думать, что химические силы не зависят от массы»<sup>1)</sup>, — писал он. «Очевидно, что химическая энергия есть функция не только атомных расстояний, но и весов, и притом довольно сложная, природу которой можно будет знать только тогда, когда найдутся средства мерить величину химической энергии»<sup>2)</sup>.

Менделеев не соглашался с тем, что химические свойства обусловлены только валентностью элементов. «Сторонники учения о валентности могут возразить, — писал он, — что химическое притяжение зависит не от массы, но только от валентности элемента. Однако периодический закон указывает на строгую зависимость между валентностью и массой элемента, и потому... оправдывается признание, что химическое притяжение, как и всякое иное, отчасти обусловлено массой»<sup>3)</sup>.

Это положение можно рассматривать так же, как известное предвидение Менделеевым путей разработки периодического закона.

Динамическое истолкование валентности Менделеев связывал с переносом на область микромира законов и форм движения небесных тел. Он прямо указывал, что простые законы в невидимом мире химических сочетаний суть «такого же порядка, какой указан Коперником и Кеплером в видимом планетном мире»<sup>4)</sup>. Отсюда, в перспективе, трактовка химических эволюций вещества, выраженных в периодическом законе, кажется Менделееву возможной «лишь под тем знаменем ньютоновой динамики, которое давно развевается над областями механики, астрономии и физики»<sup>5)</sup>. Подобное единство законов макро- и микромира Менделеев видит не только в планетарной

1) Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 268.

2) Там же, стр. 106.

3) Там же, стр. 209.

4) Д. И. Менделеев, Два Лондонских чтения, 1895, стр. 18.

5) Там же, стр. 38.

модели молекул, но и в динамическом истолковании внутренней природы самих атомов. По поводу причины периодической изменяемости элементов и их соединений Менделеев прямо указывает, что «по всей вероятности, она кроется в основных началах внутренней механики атомов и частиц»<sup>1)</sup>.

Динамический подход к периодическому закону обнаруживается у Менделеева в том, что, несмотря на свою неприязнь к идее превращения элементов, он всё же в принципе допускает мысль, что сами элементы в конечном счёте окажутся не абсолютно неизменными, а способными к разрушению и изменению. Если бы соответствующие факты были обнаружены, то открылся бы, по мнению Менделеева, путь к разгадке причины периодического закона. Не будучи ограниченным метафизиком, а будучи стихийным диалектиком, Менделеев не исключал, таким образом, заранее возможности того, что когда-нибудь элементы будут разложены и превращены друг в друга; но на практике он считал эту мысль утопической, нереальной. Вместе с тем он признавал, что если докажется превращаемость и разложимость элементов, то «выиграется быть может возможность понять закономерность, примеченную в элементах ... Таким образом мне лично, как участнику в открытии закона периодичности химических элементов, было бы весьма интересно присутствовать при установке данных для доказательства превращения элементов друг в друга, потому что я тогда мог бы надеяться на то, что причина периодической законности будет открыта и понята»<sup>2)</sup>.

Существенным моментом для будущего объяснения периодического закона является, по Менделееву, следующий: закон должен получить выражение не в каких-то непрерывно изменяющихся величинах и отношениях, а в величинах, меняющихся скачками, прерывисто и, что особенно важно, меняющихся так, чтобы их отношения могли быть выражены целыми числами, или, как сказал бы современный физик, так, чтобы они могли *квантоваться*. В связи с этим Менделеев категорически возражал против

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 325.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 440.

применения непрерывных геометрических кривых для изображения периодического закона: «...Соединять вершины ординат, выражающих одно из таких (связанных периодической зависимостью. — *Б. К.*) свойств, сплошной кривою значило бы отрицать Дальтонов закон кратных отношений... Только в «теории чисел» есть задачи, напоминающие здесь предстоящую»<sup>1)</sup>. Смысл закона Дальтона Менделеев видит именно в установлении «целых кратных отношений в числе атомов»<sup>2)</sup>. В соответствии с этим он указывает на значение тех функций для выражения периодического закона, где переменные «изменяются как *целые числа...*»<sup>3)</sup>.

В связи с этим Менделеев предвидит, что «более всего обещают успеха попытки выразить» периодическую зависимость элементов путём подстановки в общую формулу «ряда целых чисел, так как тогда получаем разрывность или скачки, отвечающие природе элементов»<sup>4)</sup>. Эту мысль Менделеев фактически распространяет и на энергию самих атомов, которая должна меняться скачками так же, как происходит переход от  $RX$  к  $RX^2$  «и так далее до  $RX^8$ , где истощается энергия связующих сил и откуда опять начинается вновь  $RX$ ,  $RX^2$  и т. д.»<sup>5)</sup>.

Тем самым Менделеев поставил ту самую задачу, которая позднее была решена квантовой теорией. Ибо, если вся периодическая система должна быть выражена, по мнению Менделеева, как система последовательно изменяющихся целых чисел, то каждое место в этой системе вместе с приходящимся на данное место элементом, должно характеризоваться некоторым целым числом или некоторой комбинацией целых чисел. В связи с этим следует напомнить, однако, что Менделеев был противником гипотезы Праута, хотя эта гипотеза, казалось бы, была дальнейшим развитием того самого закона кратных отношений, с которым тесными узами был связан и весь периодический закон. Гипотезу Праута Менделеев отвергал потому, что,

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 353.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 432.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 354.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 508.

<sup>5)</sup> Там же, стр. 354.

во-первых, она слишком упрощала отношения между атомами, представляла их в духе механического сложения (роста и увеличения) частиц; во-вторых, потому, что она допускала мысль о сложности, разложимости и превращаемости элементов, которую не разделял Менделеев. Но самую идею выразить отношения между атомными весами в виде отношения целых чисел, причём более сложного, чем праутовское сложение, Менделеев не только не отвергал, но прямо приветствовал. По поводу одной такой попытки он писал: « . . . Это интересно и тем хорошо, что между атомными весами очевидны скачки, как между целыми числами » <sup>1)</sup>).

Наконец, будучи объяснён и понят, периодический закон « может послужить к объяснению природы химических элементов... » <sup>2)</sup>. Это означает, вместе с тем, что когда будет выяснена ближайшая причина периодической зависимости элементов, то настанет черёд решения всех связанных с нею вопросов, и тогда « можно ожидать и теоретического определения самих простых тел; подобно тому, как мы теоретически определяем уже сложные тела... » <sup>3)</sup>.

Следовательно, будущее *определение элемента* должно было, по Менделееву, целиком вытекать из периодического закона и быть органически связанным с истолкованием глубоких основ этого закона.

Такова была перспектива, фактически намеченная Менделеевым в части развития понятия элемента и его определения. В дальнейшем мы увидим, как замечательно полно подтвердились эти предвидения великого химика.

## § 27. Источник силы предвидений Менделеева

Источником силы научного предвидения у Менделеева было то, что в своём учении о периодическом законе и об элементах он стоял не только на материалистической, но — стихийно, бессознательно — и на диалектической позиции. Энгельс отмечал это обстоятельство, давая философскую

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 507.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 423.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 134.

характеристику предсказаний Менделеевым неизвестных элементов и описания их свойств.

Та же диалектика явилась источником силы, давшей Менделееву возможность наметить до известной степени перспективы дальнейшей разработки периодического закона. Рассмотрим диалектику в воззрениях Менделеева с точки зрения характеристики диалектического метода, данной в работе И. В. Сталина «О диалектическом и историческом материализме».

Прежде всего, в основе этих перспектив у Менделеева фактически лежала идея *единства* мироздания в большом и малом, внутренней закономерной *связи*, которая охватывает собою все явления природы в одно единое целое. Менделеев прямо исходил из того, что периодический закон «указывает на связь внешних сил с внутренними»<sup>1)</sup>. Он опирался на мысль о единстве сил природы, действующих при сложении и небесных систем и химических частиц.

Не менее существенной чертой той основы, исходя из которой фактически Менделеев намечал перспективы развития своего периодического закона, было признание, что атомы и элементы представляют собой не какие-то неподвижные, окостенелые объекты, но находятся в *непрестанном движении*. Эта идея пронизала собой все те предположения Менделеева, которые связывались у него с динамическим подходом к атомам, к элементам, к понятию массы и веса. Та же идея отразилась и в отношении к самому периодическому закону, который рассматривался Менделеевым не как абсолютная истина в последней инстанции, но как относительная истина, способная к дальнейшему развитию и совершенствованию.

С особенной силой выступает у Менделеева то обстоятельство, что изменения и переходы элементов и их свойств Менделеев толкует не как простой рост и увеличение, а фактически как *переходы количественных изменений в качественные*, следовательно, как переходы скачкообразные, представляющие собой перерывы постепенности. Такой подход был вполне оправдан, ибо сама периодическая система представляет собой конкретное выражение диалек-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 311.

тического закона о переходе количественных изменений в качественные. На это обстоятельство указывал И. В. Сталин в 1906 г.: «Менделеевская «периодическая система элементов» ясно показывает, какое большое значение в истории природы имеет возникновение качественных изменений из изменений количественных»<sup>1)</sup>.

По поводу качественной и количественной сторон химических превращений Менделеев писал: «Связь этих двух сторон, по моему мнению, составит нить, долженствующую вывести химиков из лабиринта современного, уже значительного, но отчасти одностороннего запаса данных. Такую связь я сам старался разыскать; она лежит в основе... *периодической системы элементов...*»<sup>2)</sup>.

Именно этот по существу глубоко диалектический взгляд на периодический закон и элементы позволил Менделееву наметить некоторые черты будущей картины периодического закона. «Периоды элементов, — писал он, — носят таким образом иной характер, чем привычные периоды, геометрами столь просто выражаемые. Это — точки, числа, это — скачки массы, а не её непрерывные эволюции»<sup>3)</sup>. Поэтому он ищет везде, «при связующем общем — свои скачки, разрывы сплошности, точки, исчезающие от анализа бесконечно малых, отсутствие промежутков»<sup>4)</sup>.

Эта идея наводит Менделеева на мысль, что даже атомные веса элементов можно попытаться представить в виде функции целых чисел. Если бы это удалось сделать, то скачкообразный характер переходов между элементами, выраженный при помощи целочисленных функций и отношений, обнаружился бы особенно резко. Но такая целочисленность и кратность мыслится Менделеевым не механической, не односторонне-количественной (как это получалось по Прауту), но находящейся во взаимной связи с качественными изменениями. Поэтому следует ожидать возникновения не простых арифметических отношений, а более сложных отношений, целочисленность которых выра-

<sup>1)</sup> И. В. Сталин, Соч., т. I, стр. 301.

<sup>2)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 295.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 353.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 357.



жается более сложными показательными или тригонометрическими функциями.

Наконец, существенным моментом, характеризующим основу предсказанных Менделеевым перспектив дальнейшего развития его учения, было фактическое признание *единства противоположных сторон* и свойств вещества, равно как и тенденций его изменения. Идея такого единства ярко выражена в требовании Менделеева сочетать динамические воззрения с атомистическими, причём сочетать не эклектически, но так, чтобы на основе единства обоих воззрений преодолеть односторонность обеих прежних концепций, разработанных в их обособленности и противопоставлении одна другой. Та же идея легла у Менделеева в основу самого периодического закона, в котором отражены в единстве два рода противоположных свойств: свойства, меняющиеся монотонно, подобно атомным весам, и меняющиеся периодически, подобно валентности. Идея единства противоположностей фактически руководила Менделеевым, когда он, признавая изменчивость своего закона, отнюдь не скатывался к релятивизму, но считал, что проверенная практикой *основа* периодического закона безусловно сохранится, хотя и получит дальнейшее развитие. В этом отношении сказалось стихийное приближение Менделеева к правильному решению вопроса о соотношении объективной, абсолютной и относительной истины.

Можно показать, что перечисленные выше предположения Менделеева, касающиеся перспектив разработки периодического закона, были прямым следствием его стихийно-диалектического подхода к веществу и энергии, к атомам и элементам, к их основному закону, равно как и к понятию об этом законе. В свою очередь каждое его предположение фактически служило конкретизацией той или иной черты диалектического метода.

Глубоко понимая периодический закон, Менделеев сумел извлечь из него такие далеко идущие следствия, которых не заметил менее глубокий ум большинства его современников — химиков и физиков. Вот почему, несмотря на своё отрицательное отношение к мысли о связи химизма и электричества, к идее строения атома из электрически заряженных частиц, т. е. к тем положениям, под знаком

которых началась и развернулась революция в физике XX в., Менделеев всё же сумел частично предугадать некоторые пути дальнейшего развития учения о периодическом законе, об атомах и элементах.

При этом он исходил из допущения, что материя в своей основе имеет не электромагнитный, а механический характер и что в силу этого надо искать объяснения периодической зависимости в раскрытии более глубокой связи между химизмом и природой массы (тяготения), в приписывании «мировому эфиру» химико-механических свойств, в создании атомно-механических моделей по образу систем небесной механики и т. д. Всё это выражало односторонний взгляд на материю и в значительной мере было заблуждением. Однако предположения Менделеева, изложенные выше, можно не только отделить от их неверной основы (от идеи связи химизма только с массой), но привести в связь с другой основой, которую отвергал сам Менделеев, которая, однако, подтвердилась всем ходом развития физики первой четверти XX в. В таком случае предположения Менделеева будут выглядеть как прямые предвидения. Не надо только забывать о том, что при этом мы умышленно отобрали только то, что подтвердилось впоследствии, и обошли молчанием то, что было неправильного во взглядах Менделеева. Если мы это будем помнить, то не допустим никакого преувеличения и прикрашивания того, что было высказано Менделеевым.

---

## ГЛАВА III

# ПРИНЦИП АССОЦИАЦИИ И ПОНЯТИЕ ЭЛЕМЕНТА

### § 28. Сущность революции в физике и химии начала XX в.

На рубеже XIX и XX вв. в физике и химии началась подлинная революция, вызвавшая коренную перестройку всех научных представлений о веществе, в частности о химических элементах. В центре этой революции стояли два величайших открытия эпохи — открытие радиоактивности и электрона. На основе их теоретического обобщения вырастали новые понятия об атомах и элементах. Обоим открытиям Ленин дал высокую оценку в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм».

Открытие *радиоактивности* стало играть особенно революционную роль в науке после того, как в начале XX в. Резерфорд и Содди доказали, опираясь на точно проверенный экспериментальный материал, что радиоактивность есть спонтанный распад атомов, есть превращение одних элементов в другие. Тем самым был нанесён решающий удар по старому понятию элемента, ибо была в корне разрушена его главная черта, остававшаяся до той поры неприкосновенной, — идея абсолютной неизменности химических элементов. Отмечая, что атомы вели себя как неизменные и неразрушимые, пока наши средства были бессильны их изменить, Резерфорд подчёркивал в 1936 г.: «Идее неизменности атомов был нанесён сильный удар, когда в 1902 г. было обнаружено, что атомы двух хорошо известных элементов, урана и тория, претерпевают подлинный процесс спонтанного превращения...»<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Успехи физических наук, т. XIX, вып. 1, 1938, стр. 19.

О последовавшем после этого крушении старого понятия элемента Стьюарт писал: «Первой пала идея о неизменяемости атома, которая не могла сохраниться перед лицом факта распада радиоэлементов»<sup>1)</sup>.

Ленин приводит высказывания тех учёных, которые видели в открытии радиоактивности величайший революционный переворот, ломающий коренным образом прежние взгляды на элементы. «Неразрушимые и неразложимые элементы химии... оказываются разрушаемыми и разложимыми. Элемент радий удалось превратить в элемент гелий»<sup>2)</sup>, — так передаёт Ленин мысль Динэ-Дэниса. Далее Ленин ссылается на Рамсэя (Рамзая), который, рассказав о превращении радия в гелий, писал: «По крайней мере, один так называемый элемент не может уже теперь быть рассматриваем, как последняя материя; сам он превращается в более простую форму материи»<sup>3)</sup>. В связи с этим становится понятным, почему Ленин привёл также слова А. Пуанкаре: «великий революционер — радий».

Для Ленина открытие радиоактивности имело исключительно большое философское значение потому, что оно разрушало старый метафизический взгляд на вещество и его элементы и утверждало новый, по существу диалектический, взгляд. «Разрушимость атома, неисчерпаемость его, изменчивость всех форм материи и её движения всегда были опорой диалектического материализма»<sup>4)</sup>, — писал Ленин.

Открытие *электрона* в качестве более простой, чем атом, более элементарной частицы материи, входящей в состав атома, имело также исключительно большое значение. Оно также подрывало центральный пункт старых взглядов на атомы и элементы. Оно так же, как и открытие радиоактивности, доказывало разложимость атома, его неисчерпаемость, сложный характер его внутреннего строения. Позднее Дж. Дж. Томсон (один из главных участников открытия электрона) писал, каким образом произошёл отказ от представления о том, что атом является неделимым, сплош-

<sup>1)</sup> А. Ст ю а р т, Новые идеи в физической и неорганической химии, 1931, стр. 8.

<sup>2)</sup> В. И. Л е н и н, Соч., т. XIII, 3 изд. стр. 205.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 256.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 230.

ным и однородным, и как в противовес этим устарелым взглядам утвердилось мнение, что атомы обладают сложным внутренним строением. «Открытие электрона в 1897 году было первым доказательством такой структуры. Было доказано, что электроны происходят из атомов всех родов, ... что неизменяющийся электрон является постоянной составной частью всех атомов»<sup>1)</sup>.

Таковы два важнейших открытия, с которыми была связана коренная ломка старого понятия элемента в начале XX в. Оба они разрушали ту черту старого понятия, которая возводила в абсолют относительную устойчивость и неизменность атомов, элементов.

Идеалисты не преминули использовать физические открытия в своих партийных интересах, в целях «опровержения» материализма и «доказательства», будто «материя исчезла». Ленин беспощадно разоблачил все эти фокусы идеалистов и доказал, что открытие новых свойств и превращений материи, новых её видов и форм движения только лишней раз подтверждает правоту диалектического материализма.

В позднейших своих трудах Ленин полностью сохранял оценку обоим открытиям, данную в «Материализме и эмпириокритицизме». Так, в 1914 г. Ленин констатирует: «Новейшие открытия естествознания — радий, электроны, превращение элементов — замечательно подтвердили диалектический материализм Маркса...»<sup>2)</sup>. В этих оценках Ленин связывает революцию современного естествознания, свидетельствующую о правоте диалектического материализма, с открытиями радия и электрона, поскольку именно из них следовало признание сложности, разрушимости, изменчивости и превращаемости элементов.

## § 29. Две стороны структуры атома

Возникшие на основе названных открытий новые взгляды на атомы и элементы касались двух сторон строения атома в их взаимоотношении между собой: ядра и оболочки.

<sup>1)</sup> Дж. Дж. Томсон, Электрон в химии, 1927, стр. 2.

<sup>2)</sup> В. И. Ленин, Соч., т. XVI, стр. 350.

Всё дальнейшее развитие атомной теории было направлено к тому, чтобы раскрыть и познать каждую из названных сторон сначала в отдельности, сбосбленно одну от другой, а затем в их взаимной связи. В физическом отношении обе стороны атома характеризуются прямо противоположными признаками.

В *атомном ядре*, которое было открыто Резерфордом в 1911 г., были сосредоточены почти еся масса атома и весь положительный заряд электричества. Ядро оказалось носителем таких свойств атома, которые менялись *монотонно* от элемента к элементу, если их располагать согласно периодическому закону. Это были те свойства, которые играли роль аргумента в функциональном выражении последнего. С ядром было связано явление радиоактивности.

*Электронная оболочка*, первоначальное понятие о которой было разработано Дж. Дж. Томсоном в 1904 г., состояла, напротив, из лёгких, чрезвычайно подвижных электронов, несущих отрицательные электрические заряды. Оболочка, особенно самый наружный её слой, оказывалась изменчивой частью атома. От неё зависела, в частности, валентность элемента и другие его химические свойства. В силу этого оболочка оказалась носителем таких свойств атома, которые менялись *периодически* от элемента к элементу, играя роль функции в алгебраическом выражении периодического закона. С оболочкой целиком было связано явление ионизации, приведшее, наряду с другими фактами, к открытию электрона. Большое значение в связи с этим имели более ранние работы выдающегося русского физика А. Г. Столетова.

Особенность развития физики XX в. состояла в том, что сначала обе стороны внутренней структуры атома исследовались порознь (первое десятилетие XX в.), затем начала раскрываться пока ещё лишь внешняя связь между ними после того, как дополнительно к понятию оболочки в 1911 г. было введено понятие ядра. Однако в течение следующих двух десятилетий разработка теории продолжала фактически идти по двум разным руслам: по линии разработки теории строения атома из ядра и электронов (атомная физика) и по линии подготовки теории строения ядра из элементарных структурных частиц (ядерная физика). В силу

этого теоретические представления об атомах и элементах развивались так, что более простой и доступный для познания вопрос о строении атома был решён (10-е и 20-е гг. XX в.) прежде, чем можно было вплотную приступить к решению проблемы ядра (30-е и 40-е гг. XX в.). Рубежом здесь послужило открытие новой структурной частицы ядра — нейтрона (1932). Соответственно с этим развивалось и понятие элемента.

### § 30. Исходный материал для разработки модели атома в начале XX в.

Прежде чем могла возникнуть конкретная модель строения атома, следовало установить характер электрических зарядов, играющих решающую роль в строении атомной системы. В первую очередь речь шла о пространственной характеристике положительного и отрицательного зарядов, участвующих в образовании атома.

Пространственная характеристика *положительного заряда* долгое время оставалась неопределённой. Было неясно, сосредоточен ли этот заряд в центре, в сердцевине атома, или распределён равномерно по некоторой сферической поверхности, внутри которой находятся электроны, или же имеет какую-то иную пространственную характеристику. «В каком виде положительное электричество пребывает в атоме, — это вопрос, относительно которого мы в настоящее время осведомлены весьма мало,» <sup>1)</sup> — писал Томсон в 1907 г.

Но при всех обстоятельствах положительный заряд, несмотря на свой дискретный характер, должен был мыслиться компактным, внутренне связанным и неспособным в силу этого свободно отделять ту или иную свою часть или присоединять к себе новые части положительного электричества. Поэтому положительный заряд в атоме вёл себя как неизменный, по крайней мере до тех пор, пока не происходило превращение элемента.

Напротив, *отрицательный заряд* обладал дискретностью не только в смысле целочисленности своего значения,

<sup>1)</sup> Д ж. Д ж. Т о м с о н, Корпускулярная теория вещества, 1910, стр. 98.

но и в смысле способности легко отдавать и приобретать свои части в виде дискретных порций, как это наблюдается при ионизации. Вследствие этого можно было представить, что порции отрицательного заряда продолжают существовать и внутри атома обособленно друг от друга в виде «корпускул», или электронов, в отличие от порций положительного заряда, которые всегда казались слитыми воедино.

Таков в общих чертах был тот сравнительно небольшой фактический материал, на основе которого физикам предстояло начать строить физическую модель атома.

### § 31. Ассоциация строения атома с его местом в периодической системе

Немедленно вслед за тем, как было установлено, что в атомах содержатся электроны, возникла задача установить строение атома. Эта задача сводилась к определению относительного расположения электронов внутри атома, т. е. к определению их пространственной группировки, их конфигурации.

*Руководящую идею для решения этой труднейшей задачи дала периодическая система Менделеева. Эта идея заключалась в требовании того, чтобы конфигурация электронов внутри атома удовлетворяла тем отношениям, которые установлены периодическим законом у элементов, в частности тем, которые выражаются в последовательных изменениях их валентности. Тем самым устанавливалась прямая связь между местом элемента в системе (выражающим совокупность его главнейших свойств и отношений с другими элементами) и предполагаемым положением электронов внутри атома.*

В качестве первого, самого важного следствия, вытекающего из установления связи между расположением элементов в системе и расположением электронов в атоме явилась мысль, что внутри атома электроны располагаются определёнными слоями, последовательно налагающимися друг на друга. Идея слоистого строения атома была впервые



выдвинута Дж. Дж. Томсоном<sup>1)</sup>. Первоначально Томсон применил эту идею к выяснению связи между постепенным изменением значения валентности у элементов одного и того же периода и нарастанием общего числа электронов внутри атома. Так, например, он рассматривает девять моделей атома, состоящих каждая из пяти колец с числом электронов от 59 до 67; Томсон показывает, что способность таких моделей отдавать и приобретать электроны соответствует значению и характеру валентности у элементов обоих коротких периодов менделеевской системы. «Это последовательное изменение валентности (у модели.— *Б. К.*) весьма похоже на последовательность, которую мы встречаем в свойствах атомов элементов»<sup>2)</sup>, — заключает Томсон.

В данном случае важны не детали, не то, с какой точностью делал расчёты Томсон, а важна сама идея, сам принцип, связывающий свойства электронной модели атома с его положением в системе Менделеева.

В связи с этим можно было высказать следующее положение: *между характером конфигурации электронов в атоме и положением элемента в системе Менделеева существует вполне определённое соответствие, в котором выражено соответствие между строением атомов и «строением» самой периодической системы в целом.*

Будучи сформулировано в общем виде, это положение гласит: *между строением и поведением атома, с одной*

---

<sup>1)</sup> Томсон не мог найти аналитического решения задачи для случая объёмного (пространственного) размещения электронов, а потому вынужден был ограничиться исследованием частного случая, когда электроны находятся в одной плоскости. Соответственно этому вместо расположения электронов слоями Томсон рассматривает расположение их *кольцами*. При этом Томсон в первую очередь старается объяснить главные черты периодической системы. С этой целью он помещает электрон в различных кольцах, расположенных концентрически вокруг центра атома. Он показывает, что устойчивость подобного рода моделей меняется *периодически* по мере увеличения числа электронов в атоме. Бóльшего при тех скудных сведениях ожидать было невозможно. Было заложено *начало* и разработан *общий принцип*, а это уже одно являлось решающее значение.

<sup>2)</sup> Дж. Дж. Томсон, Корпускулярная теория вещества, 1910, стр. 112.

стороны, и местом данного элемента в системе Менделеева, с другой, имеется соответствие.

Назовём для краткости это общее положение «принципом ассоциации». В данном случае этот принцип предполагает сопоставление и связывание (ассоциирование) места элемента в системе с электронной структурой соответствующего атома, точнее сказать, связывание периодической системы со слоистым строением всех атомов вообще.

Принцип ассоциации выражал непосредственно ту мысль, что *периодическое расположение элементов в системе должно иметь своей причиной периодическую повторяемость конфигураций электронов в атоме*. Обратное, слоистое расположение электронов и повторяемость их конфигурации в атомах должны проявляться в виде периодического расположения элементов в системе. Отсюда напрашивается связь между представлением о периоде элементов в системе Менделеева и представлением об электронных слоях в атоме. Так возникло одно из основных положений теории атома, утверждающее слоистый характер группировки электронов в оболочке атома.

Томсон развил идею пространственной конфигурации электронов, согласно которой электроны располагаются в атоме слоями. Пока мы двигаемся от элемента к элементу внутри одного и того же периода, число электронов возрастает, причём электроны вступают в один слой.

Когда же период закончен, то закончен и соответствующий электронный слой (отсюда проистекает устойчивость электронной конфигурации у элементов нулевой группы, объясняющая их химическую инертность). С началом нового периода у атомов образуется новый слой, следующий за тем, который только что закончился. Значит, распределение электронов внутри атома по слоям, последовательно расположенным друг за другом, по Томсону, отвечает разделению элементов по отдельным последовательно сменяющимся друг друга периодам менделеевской системы. «Таким образом, — заключает Томсон, — если мы расположим элементы в порядке возрастания числа электронов в атоме, т. е. в том же порядке, как и по атомным весам, то заметим периодичность в числе электронов в наружном слое... Иначе говоря, поскольку дело идёт о свойствах, зависящих

от наружного слоя, элементы обнаруживают периодичность, как это и показывает периодический закон Менделеева..., так что схема строения атома даёт объяснение периодическому закону»<sup>1)</sup>).

### § 32. Общая оценка принципа ассоциации

Принцип ассоциации, выдвинутый Томсоном, следует оценивать в свете той перспективы, которая была намечена в своё время Менделеевым. Менделеев считал, что причину периодического закона надо искать во внутренней механике атомов, в фактах изменчивости атомов (если, конечно, таковые удастся установить), вместе с тем, он считал, что нахождение причины периодического закона позволит проникнуть в сущность самих атомов и понять, что такое элемент.

Томсоновский принцип ассоциации как раз и представляет собой первый и решающий шаг в этом направлении.

Принцип ассоциации впервые дал исходную теоретическую позицию для того, чтобы начать каким-то определённым образом, хотя бы в порядке первого грубого приближения к действительности, группировать электроны в атоме, т. е. *начать строить первую модель атома*, проникая тем самым в сущность элементов. Если бы менделеевская система не была сразу же принята за руководящее начало, то невозможно было бы даже в первом приближении проникнуть во внутреннюю «механику» атома. Тогда сложилось бы такое же положение, как у Дальтона после открытия химической атомистики: атомы были уже открыты, но было ещё неизвестно, как они связаны между собой, какова последовательность их расположения в сложной частице. Поэтому Дальтону оставалось принять, что атомы просто свалены в общую кучу, как шары в ящик (роль такого ящика играли у Дальтона теплородные оболочки). Потребовалась полувековая работа химиков, создавших новую отрасль науки о веществе — органическую химию, для того, чтобы решить вопрос о расположении атомов в частице. У физиков XIX в. было то преимущество,

<sup>1)</sup> Дж. Дж. Томсон, *Электрон в химии*, 1927, стр. 10—11.

что с первых же шагов они могли руководствоваться периодической системой Менделеева и благодаря этому могли сразу прийти к решающему выводу о существовании определённого слоистого распределения электронов внутри атома.

Другой стороной того же познавательного процесса, основывающегося на принципе ассоциации, было уточнение, развитие и обогащение менделеевской трактовки элемента, основанной на признаке его места в периодической системе и выраженной в менделеевском определении. Параллельно разработке электронной модели атома и как раз в меру её разработки конкретизировалось и само представление о месте элемента в системе. Понемногу оно утрачивало свой прежний сугубо абстрактный характер и получало более глубокую физическую интерпретацию благодаря связи с представлением о строении атома.

Таким образом, принцип ассоциации явился формулировкой и вместе с тем принципом решения той основной задачи, которая встала перед физиками после открытия электрона. Задача была двусторонней: 1) требовалось найти причину периодичности изменения свойств элементов и 2) отразить её в построении электронной модели атома. Соответственно этому значение принципа ассоциации состояло в подчёркивании связи между системой Менделеева и моделью атома: с одной стороны, привлекая в качестве отправного пункта признак места в системе, этот принцип позволял строить электронную модель атома; с другой стороны, строя такую модель в неразрывной связи с периодической системой и на её основе, он позволял конкретизировать исходный признак места элемента в системе. Короче говоря, благодаря принципу ассоциации периодическая система использовалась для решения вопроса о строении атома. В свою очередь в этом решении она получала своё собственное объяснение. Так начала реализовываться перспектива, намеченная Менделеевым.

Всё это нашло своё отражение в подготовке нового теоретического определения элемента. Правда, сам Томсон не дал какого-либо особого определения элемента. Но его работы и, особенно, выдвинутый им принцип ассоциации послужили подготовкой к тому, чтобы устано-

вить новое, синтетическое определение элемента. Фактически эта подготовка оказалась настолько серьёзной, что при желании, опираясь на неё, Томсон мог бы дать новое определение элемента, в котором резюмировались бы выдвинутые им новые идеи о связи между местом элемента в системе и строением атома. Такое возможное определение явилось бы дальнейшим развитием менделеевского определения, поскольку оно содержало бы в себе конкретизацию определяющего признака элемента — его места в системе. Таким образом, хотя у самого Томсона мы не находим никакого ясно сформулированного определения элемента, отличного от прежних, тем не менее на основании его открытий можно условно дать такое определение, которое соответствовало бы уровню развития науки первого десятилетия XX в.: «Элемент определяется занимаемым им местом в периодической системе, с которым ассоциируется определённая конфигурация электронов в атоме».

В этом определении менделеевский признак элемента дополнен и развит томсоновским принципом ассоциации. Поэтому это определение можно было бы условно назвать томсоновским.

### § 33. Отношение физиков к томсоновскому принципу ассоциации

Поскольку принцип ассоциации, выдвинутый Томсоном, послужил исходным пунктом в разработке *всех* последующих моделей электронного строения атомов, следует рассмотреть оценки, данные этому принципу самими физиками.

Автор открытия ядерного строения атома — Э. Резерфорд — писал, что Томсону мы обязаны «объяснением (основанным на общих соображениях) изменения химических свойств атома с возрастанием числа электронов в нём»<sup>1)</sup>.

Ещё раньше Резерфорд говорил по поводу томсоновской модели и её теоретического обоснования: «Свойства

<sup>1)</sup> Э. Резерфорд, Периодический закон и его интерпретация (Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 343).

такой модели атома оказываются весьма неожиданными и косвенно позволяют выдвинуть объяснение периодического закона в химии»<sup>1)</sup>).

Автор открытия радиоактивности — Беккерель — писал, что Томсону путём вычисления положения равновесия электронов «удалось объяснить периодическую классификацию элементов, открытую Менделеевым»<sup>2)</sup>).

Творец позднейшей теории строения атома — Н. Бор — высоко оценивал значение работ своего предшественника, в частности его принцип ассоциации: «Со времени знаменитой попытки Дж. Дж. Томсона истолковать периодическую систему на основании исследования устойчивости различных электронных конфигураций, идея о разделении электронов в атоме на группы сделалась исходным пунктом и более новых воззрений. Предположение Томсона о распределении положительного заряда в атоме оказалось несовместимым с опытными результатами, полученными на основании изучения радиоактивных веществ. Тем не менее эта работа содержит много оригинальных мыслей и оказала большое влияние на дальнейшее развитие атомной теории»<sup>3)</sup>).

Популяризаторы боровской теории, указывая, что объяснение периодичности свойств элементов было одним из самых значительных результатов, полученных Бором, добавляли: «Не нова идея о связи групп периодической системы с расположением в правильные группы частиц (электронов. — Б. К.) в атоме, причём характер группы меняется, так сказать, периодически по мере возрастания числа частиц»<sup>4)</sup>. При этом делается ссылка на то, что Томсону удалось установить ряд аналогий своей модели со свойствами элементов в периодической системе.

Чрезвычайно существенное замечание делает А. Зоммерфельд, развивший дальше модель Бора. Говоря о труд-

---

<sup>1)</sup> E. R u t h e r f o r d, Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen (Handbuch der Radiologie, т. II, 1923, стр. 555).

<sup>2)</sup> Успехи химии, вып. 1, Одесса, 1912, стр. 17.

<sup>3)</sup> Н и л ь с Б о р, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 86.

<sup>4)</sup> Г. А. К р а м е р с и Х. Г о л ь с т, Строение атома и теория Бора, стр. 137.

ностях «решить вопрос о том, каким образом электроны атома распределяются по отдельным сферам», он прямо ссылается на систему Менделеева как на одно из положений, дающих ключ к решению этого сложнейшего теоретического вопроса: «Здесь же мы должны обратить внимание на те заключения, которые даёт нам сама периодическая система относительно внешней схемы атома»<sup>1)</sup>).

Вполне прав поэтому последователь Менделеева, крупный русский химик Л. А. Чугаев, когда он приписывает Томсону ту заслугу, что он «своими работами над моделью атома установил ряд основных принципов и расчистил путь для дальнейших исследований»<sup>2)</sup>).

### § 34. Недостатки томсоновских воззрений

При всей своей прогрессивности воззрения Томсона на строение атомов были далеко не полными и в значительной степени односторонними. Эти недостатки были неизбежным следствием слабой разработанности вопроса о строении атома в первом десятилетии XX в. К их числу можно отнести следующие.

Вплоть до 1911 г. оставался неясным вопрос о распределении *положительного электричества в атоме*. Пока этот вопрос не был решён, невозможно было создание более или менее удовлетворительной модели атома, учитывающей расположение не только электронов, но и положительного заряда. Ссылаясь на неясность, существующую в вопросе о строении атома, Ленин охарактеризовал переходное состояние науки того времени формулой, что физики от атома уже отошли, а до электрона ещё не дошли. «Это время, — писал Ленин, — и сейчас в значительной степени продолжается: одна гипотеза сменяется другой; о положительном электроне (имеется в виду положительный заряд. — Б. К.) совсем ничего не знают; всего три месяца тому назад (22-го июня 1908 г.) Жан Беккерель доложил

<sup>1)</sup> А. Зоммерфельд, Строение атома и спектры, 1926, стр. 123.

<sup>2)</sup> Л. А. Чугаев, Природа и происхождение химических элементов, 1923, стр. 56.

французской академии наук, что ему удалось найти эту «новую составную часть материи»...»<sup>1)</sup>.

Эта ленинская характеристика относится и к последующим двум годам. Тот же Беккерель говорил в своём докладе «Новейшие идеи о строении материи» (10 апреля 1910 г.): «Что бы ни представлял собой положительный электрон, мы должны знать его столь же хорошо, как и отрицательный электрон, и лишь после того можно будет помышлять о разгадке структуры материального атома»<sup>2)</sup>.

Вторым недостатком томсоновской модели была её *статичность*. Томсон представлял дело так, что электроны внутри сферы атома находятся в состоянии равновесия, будучи закреплены в определённом положении благодаря совместному действию двух противоположных сил: притяжения к центру положительного заряда и отталкивания от всех остальных электронов. Томсон отвергал динамические представления, считая, что в этом случае было бы невозможно вывести устойчивость всей системы атома в целом. Статичность томсоновской модели была связана с неправильным решением Томсоном вопроса о распределении положительного заряда. «За отсутствием определённых сведений о том, в каком виде положительное электричество находится в атоме, — писал Томсон, — мы рассмотрим такое распределение положительного электричества, которое представляет собой случай, наиболее доступный для математического вычисления, именно, когда это электричество представляет собой шар постоянной плотности, в котором распределены корпускулы. Это положительное электричество притягивает корпускулы (электроны. — *Б. К.*) к центру сферы, между тем как взаимное отталкивание стремится удалить их от этого центра; в случае равновесия корпускулы расположатся таким образом, что притяжение, обусловливаемое положительным зарядом, уравновесится отталкиванием прочих корпускул»<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Соч., т. XIII, стр. 233.

<sup>2)</sup> Успехи химии, вып. 1, Одесса, 1912, стр. 16.

<sup>3)</sup> Дж. Дж. Томсон, Корпускулярная теория вещества, 1910, стр. 98.



Такая статическая картина внутриатомного строения находилась в резком противоречии с указанием Менделеева, что объяснение периодического закона надо искать в *динамических*, но не статических представлениях. Однако в первые годы XX в. динамическая, в частности планетарная, модель атома приводила к серьёзным затруднениям. Всего за год до открытия нуклеарного строения атома Беккерель предупреждал, что не следует увлекаться заманчивой идеей об аналогии между миром бесконечно малых и миром бесконечно больших; Беккерель отвергал гипотезу, что электроны вращаются вокруг положительного заряда, расположенного в центре атома. «Мне кажется, — писал он, — что группа электронов совершенно несравнима с материальным миром»<sup>1)</sup>. Этот вывод также находился в противоречии с предположением Менделеева, что развитие науки пойдёт по линии поисков сходства между «малейшим» и «громаднейшим». И хотя Менделеев отвергал предположение, что материя имеет в своей основе электрический характер, но всё же он был ближе к истине, чем некоторые «электронщики», когда он утверждал, что молекулу и атом надо мыслить подобными микроскопически малой солнечной системе.

Эта идея единства «плана» макро- и микрокосмоса сыграла в действительности определённую положительную роль в развитии атомной физики, особенно в первую четверть XX в. Позже, как известно, образ микромира был значительно усложнён в квантовой механике. Но сама квантовая механика исторически выросла из первоначальной планетарной модели атома.

Одним из недостатков воззрений Томсона было отсутствие также точных числовых данных, которые могли бы служить *количественной* характеристикой места элемента в системе. Томсон уже пришёл к мысли, что число электронов при переходе от элемента к элементу в системе Менделеева должно расти. Однако *общее число* электронов в атоме ему не было известно. Ещё не открылась возможность использовать менделеевскую систему в качестве

<sup>1)</sup> Успехи химии, вып. 1, Одесса, 1912, стр. 16.

ключа к определению общего числа электронов в атоме, поэтому Томсон брал некоторый произвольный ряд чисел электронов, строил из каждого такого числа отдельную модель и сравнивал результат с тем, что показывала периодическая система. Так, например, для моделей, построенных из электронов от 59 до 67, получилась аналогия с короткими периодами менделеевской системы: модель из 59 электронов вела себя как инертный газ, из 60 — как щелочной металл, из 61 — как щёлочно-земельный металл и т. д. Следовательно, лишь в пределах отдельного периода получалось искомое выражение общей закономерности, состоящей в том, что введение одного нового электрона в уже построенную модель соответствует переходу к соседнему элементу по системе Менделеева. В целом же Томсон не был в состоянии объяснить всю периодическую систему, исходя из допущения, что общее число электронов в атоме растёт каждый раз на единицу при переходе к следующему элементу.

Вследствие этого в представлениях Томсона сохранялся один из наиболее существенных недостатков первоначального менделеевского определения — отсутствие однозначной количественной характеристики места элемента в системе.

Наконец, к числу недостатков первой модели атома следует отнести то, что в ней ещё не были намечены даже в самом грубом приближении «координаты» отдельных электронов. Модель атома ассоциировалась в целом с периодической системой; слоистое расположение электронов ассоциировалось с разбивкой системы на периоды; но прямая связь между положением отдельного элемента в системе и характеристикой отдельного электрона в атоме не была ещё нащупана даже приблизительно. Для этого принцип ассоциации в первом десятилетии XX в. был ещё недостаточно детально разработан.

Дальнейший прогресс физики привёл к преодолению перечисленных недостатков первоначальной электронной модели. Благодаря этому был не только полностью сохранён, но и развит дальше исходный пункт томсоновского (условного) определения — принцип ассоциации, а тем самым и менделеевское определение.

### § 35. Открытие атомного ядра и подготовка нового определения элемента

В 1911 г. Э. Резерфорд, исследуя рассеяние  $\alpha$ -частиц, пришёл к выводу, что атом должен обладать массивным, сильно заряженным и небольшим по размеру ядром, благодаря столкновению с которым  $\alpha$ -частица испытывает значительное отклонение от своего первоначального пути <sup>1)</sup>. Это открытие легло в основу новой динамической, планетарной, модели атома: в центре атома находится тяжёлое, положительное ядро, вокруг которого, как планеты вокруг солнца, вращается рой электронов. С этого момента статическая модель Томсона была оставлена, и подтвердился прогноз Менделеева: решение задачи действительно оказалось лежащим не в плоскости статических, а в плоскости динамических представлений.

С открытием атомного ядра и его заряда взгляд на определяющий признак атома уточнился. В менделеевском определении таким признаком служило место элемента в системе. В условном определении Томсона таким признаком служило то же самое место, но уже ассоциированное с общей конфигурацией электронов в атоме. Теперь же был сделан следующий шаг вперёд: в качестве определяющего признака стал рассматриваться заряд ядра, поскольку он определяет собой характер распределения электронов, их конфигурацию, которая в свою очередь ассоциируется с признаком места элемента в системе. Позднее Резерфорд писал: «С точки зрения нуклеарной теории ясно, что физические и химические свойства обыкновенных элементов должны зависеть главным образом от заряда ядра, ибо последний определяет число и распределение внешних электронов, от которых эти свойства главным образом и зависят».

На основании этого вывода можно было бы построить новое определение элемента. Хотя сам Резерфорд этого не сделал, но общий вывод из его рассуждений можно сформулировать так: «Элемент характеризуется значением заряда атомного ядра, которым определяется конфигурация элект-

---

<sup>1)</sup> Э. Резерфорд, Строение атома и искусственное разложение элементов, 1923, стр. 13.

тронной оболочки, ассоциирующаяся с местом элемента в системе Менделеева».

Назовём условно такое определение Резерфордским, поскольку оно резюмирует собой то новое, что внёс Резерфорд по сравнению с предыдущим томсоновским определением. Сопоставляя в ряд три определения — Менделеева, Томсона и Резерфорда, — мы видим, что в них последовательно уточняется признак места элемента в системе: определение Томсона вводит ассоциацию этого места с электронной конфигурацией; определение Резерфорда устанавливает зависимость этой конфигурации от заряда ядра. Но в основе двух новых определений — Томсона и Резерфорда — лежало, в качестве отправного, определение Менделеева; они служили лишь его развитием и конкретизацией, поскольку это позволяла сделать достигнутая ступень в познании электронной оболочки и ядра атома.

### § 36. Недостатки Резерфордской модели атома

Основные недостатки Резерфордской модели атома состояли в следующем.

До сих пор мы говорили о таких открытиях в области атомной физики, которые касались скорее качественной, нежели количественной стороны вопроса. Было установлено, что атом состоит из ядра и оболочки и что в оболочке электроны располагаются слоями; но вопрос об общем числе электронов в нейтральном атоме, или, что то же самое, о точной величине заряда ядра, оставался невыясненным. Вследствие этого аналитическая разработка модели атома была затруднена <sup>1)</sup>.

Другой, ещё более существенный недостаток Резерфордской модели заключался в том, что система электронов,

---

<sup>1)</sup> Следует отметить, что в том же 1911 г. Баркла (Phil. Mag. т. 21, 1911, стр. 648) показал, что число электронов в атоме должно быть близко к половине атомного веса. Этот вывод следовал из теории рассеяния Дж. Дж. Томсона, согласно которой каждый электрон в оболочке атома ведёт себя как самостоятельная рассеивающая единица. С другой стороны, Резерфорд, наблюдая рассеяние  $\alpha$ -частиц веществом, также пришёл к выводу, что заряд ядра должен быть равен приблизительно половине атомного веса. Однако точных данных до 1913 г. установлено ещё не было.

вращающихся вокруг центрального ядра, оказывалась *неустойчивой*. Согласно классической электродинамике движущийся заряд должен был непрерывно излучать энергию и в конце концов упасть на ядро. Однако опыт обнаруживал поразительную устойчивость атома. Резерфорд не мог разрешить это противоречие его модели с опытными данными. Столь же существенное противоречие резерфордской модели с опытом сказалось в коренном различии характера спектра этой модели и спектра, фактически испускаемого реальным атомом.

По этим причинам определение Резерфорда не могло бы служить в качестве окончательного определения элемента.

Дальнейший прогресс состоял в преодолении этих неувязок резерфордской модели: первая была устранена благодаря открытию Мозели, вторая и третья благодаря открытию Н. Бора.

### § 37. Эмпирически наблюдаемые взаимоотношения между радиоактивными элементами

Параллельно исследованию электронной оболочки шло изучение радиоактивных процессов, которые уже рассматривались как распад и превращение атомов. В течение первого десятилетия XX в. было найдено много новых продуктов радиораспада. Было установлено много новых генетических связей между начальными, промежуточными и конечными ступенями этого распада. Были открыты и некоторые новые, совершенно неожиданные отношения между различными радиоактивными элементами. Ограничимся кратким указанием на изучение генетических связей между радиоактивными элементами и на открытие химического сходства между некоторыми из них.

В течение первого десятилетия XX в. в центре внимания радиологов стояло изучение *генетических* отношений и связей у радиоактивных элементов. Так, например, большой интерес представлял вопрос о непосредственном родоначальнике радия. В 1906 г. Болтвуд открыл, что радий получается путём  $\alpha$ -распада из особого элемента, который он назвал ионием (с атомным весом 230). Ионий оказался промежуточным продуктом, стоящим между ураном и

радием; он связывал их в один генетический радиоактивный ряд. Всего было открыто три таких ряда, получивших наименования от своих начальных членов: ряд урана, ряд тория, ряд актиния. В последнем случае не было известно, является ли актиний действительно первым членом третьего ряда, или же он в свою очередь имеет какого-то родоначальника <sup>1)</sup>. В 1906 г. Резерфорд выдвинул гипотезу, что ряд актиния является ответвлением ряда урана; мыслилось это так, что один из членов ряда урана испытывает двойное  $\alpha$ -превращение. (Похожее раздвоение было обнаружено в 1911 г. Фаянсом у радия С.) В 1911 г. Г. Антонов нашёл новый элемент — уран Y, который с этих пор стал рассматриваться в качестве предшественника актиния. Считалось, что в свою очередь уран Y возникает из  $U_I$  или  $U_{II}$ , чем и объясняется совместное присутствие урана и актиния в природных минералах.

Однако чисто эмпирическое наблюдение не давало возможности исчерпывающе проследить все генетические звенья в каждом ряду. Не было уверенности в том, что обнаружена действительно вся цепь последовательных превращений элементов. Теоретически предвидеть и обосновать необходимость присутствия какого-либо отдельного, недостающего ещё звена в том или ином месте ряда было невозможно, так как не было общей теории, на основании которой можно было бы это сделать. Места в ряду устанавливались чисто эмпирически, случайно, по мере открытия новых членов ряда, но без какого-либо объяснения, почему тот или иной член ряда попадает именно на данное место.

Поскольку все продукты радиоактивного распада получались из *элементов* как исходных веществ, то все они в свою очередь рассматривались в качестве веществ элементарной природы, а потому в качестве самостоятельных *радиоактивных элементов*. Таким образом, число вновь открываемых элементов регулировалось в данном случае уже не числом свободных мест в периодической системе, но лишь числом открытых звеньев в цепи каждого из трёх радиоактивных рядов. А так как это число устанавливалось чисто эмпи-

<sup>1)</sup> По вопросу о тогдашних взглядах на происхождение актиния см. у Содди «Радий и его разгадка», 1915, стр. 200—202.

рическим путём, то оно ничем не могло быть обосновано, кроме как одним лишь наблюдением. Поэтому оно выступало как нечто случайное, подобно тому как до периодического закона случайным казалось общее число химических элементов.

Отношения между членами различных рядов первое время почти совсем не исследовались, поскольку между ними не было обнаружено никаких генетических связей, которыми только и интересовались сначала радиологи. Более или менее случайным образом были всё же замечены некоторые, странные на первый взгляд соотношения, которым впоследствии суждено было сыграть выдающуюся роль в развитии понятия элемента. Речь идёт о чисто эмпирическом наблюдении близкого химического сходства, доходящего до тождества, между различными радиоактивными элементами. Ещё в 1906 г. Болтвуд показал, что открытый им ионий химически одинаков с торием. Химическое тождество обоих элементов было настолько велико, что Болтвуд не смог их разделить химическим путём, когда они случайно были смешаны друг с другом. Но так как Болтвуда интересовало лишь выяснение генетических связей между радием и ионием, то он и не исследовал далее сделанного им чисто эмпирическим путём открытия. Другие исследователи, пытавшиеся позднее разделить смесь обоих элементов средствами химического анализа, не смогли обнаружить никаких следов такого разделения. «Химическое подобие между этими элементами, — писал Астон, — совершенно иного порядка, чем подобие, наблюдаемое между элементами редких земель, и столь близко подходит к полной тождественности, что даже самая критическая мысль должна её признать»<sup>1)</sup>.

В 1910 г. Марквальд и Содди обнаружили, что открытый в 1907 г. Ганом мезоторий химически не отделим от радия. Явление химической тождественности радиоактивных элементов было обнаружено и для членов одного и того же радиоактивного ряда (радий D и свинец). Однако, не будучи теоретически как-либо освещено и понято, это явление казалось только любопытным фактом и даже, как выразился однажды Содди, курьёзом.

<sup>1)</sup> Ф. В. Астон, Изотопы, 1923, стр. 8.

Всё это было сырым эмпирическим материалом, который требовал своего обобщения и теоретического синтеза. Такой синтез был осуществлён в 1913 г. благодаря уточнению понятия заряда ядра и установлению способов его количественного определения. Развитие физики шло при этом по двум основным направлениям: во-первых, по линии теоретического обобщения данных науки о радиоактивности (путь Содди), и, во-вторых, по линии анализа рентгеновских спектров элементов (путь Мозели).

Оба пути сошлись и привели к обоснованию одного и того же общего понятия заряда ядра, которое было положено Бором в основу новой модели атома.

В такой исторической и вместе с тем логической последовательности ведётся нами дальнейшее изложение вопроса.

---



## ГЛАВА IV

# ОСНОВНОЙ ПРИЗНАК ЭЛЕМЕНТА И РАДИОАКТИВНОСТЬ

### § 38. Первое ассоциирование атомного распада с периодическим законом

До 1913 г. три радиоактивных ряда (урана, тория и актиния) рассматривались как совершенно самостоятельные и независимые.

Пока в науку о радиоактивности не было введено понятие «места» элемента в системе Менделеева, невозможно было, во-первых, установить общей связи между отдельными членами различных радиоактивных рядов; во-вторых, понять связи между двумя основными типами радиопревращений —  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадом; в-третьих, раскрыть во всей глубине связь между различными членами внутри каждого отдельного ряда. Последняя долгое время рассматривалась только с чисто описательной стороны. Каждый радиоактивный элемент рассматривался только с точки зрения того *особого* ряда радиоактивных превращений, к которому он относился. Соответственно с этим он получал своё название (как «потомок» того или иного «колена») от исходного прародителя (родоначальника данного ряда). Так, например, составлялся ряд: АсА, АсВ, АсС, АсD; при обнаружении новых промежуточных ступеней вводилась штриховка символов; например, АсС, АсС', АсС''.

Между тем, уже сравнительно давно было замечено, что во всех трёх радиоактивных рядах обнаруживаются сходные в химическом отношении звенья: например, все три ряда имели сходные ступени в виде так называемой эмана-

ции (RaEm, AcEm, ThEm); затем все три ряда заканчивались свинцом. Это сходство между отдельными членами трёх рядов наводило на мысль, что существует какой-то один общий ряд, вариациями которого являются отдельные радиоактивные ряды. Таким общим рядом могла оказаться менделеевская система. В 1911 г. (за два года до открытия закона «сдвига») Содди уже нащупывал связь между радиоактивным распадом и системой Менделеева. В 1912 г. он указывал, что щёлочно-земельный элемент радий превращается путём  $\alpha$ -распада в инертный газ эманацию. «Но разве в конце концов не следовало этого ожидать? — спрашивал Содди. — Если мы распределим элементы в порядке их атомных весов — а такое именно распределение и привело к открытию того, что известно под именем закона периодичности элементов, — то самые неожиданные и удивительные различия окажутся именно между соседними элементами. Хлор, калий и аргон оказываются тремя соседними элементами в таком расположении, и между ними нет решительно никакого сходства»<sup>1)</sup>.

Здесь связь с периодической системой только смутно намечается; аналогия заключается в том, что последовательные ступени радиоактивных превращений представлены столь же несходными элементами, как и последовательные места в системе Менделеева. Отсюда естественно напрашивался вывод, что генетическая последовательность радиоактивных элементов может совпасть с последовательностью мест элементов в системе Менделеева. Как только такое совпадение было бы обнаружено, так немедленно радиоактивный распад обрёл бы для себя уже вполне готовый общий закон в виде менделеевской периодической системы.

С другой стороны, было замечено, что в ходе радиоактивных превращений химическая характеристика членов иногда периодически повторяется. Например, радиоторий напоминает торий, торий X — мезоторий I, радий D — свинец и т. д.

«Было также замечено, — писал позднее Содди, — что правильность пути изменяющегося элемента через периоди-

<sup>1)</sup> Ф. С о д д и, Радий и его разгадка, Одесса, 1915, стр. 110—111.

ческую таблицу часто нарушается — продукты часто напоминают по своей химической природе более ранних своих предков»<sup>1)</sup>. Содди охарактеризовал это явление как «любопытный атавизм».

Но для того чтобы принцип ассоциации мог быть применён в данном случае, необходимо было выполнение по меньшей мере следующих условий.

Прежде всего необходимо было установить какой-то *количественный* признак, судя по которому можно было ставить тот или иной член радиоактивного ряда на данное место в системе Менделеева.

Далее необходимо было выяснить, в какой связи между собою и в каком отношении к периодической системе стоят основные типы радиоактивного распада — распад с  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучением.

Кроме того, необходимы были предпосылки познавательного характера, о которых говорится ниже.

### § 39. Что препятствовало применению принципа ассоциации?

Применению периодической системы к радиоактивным рядам препятствовали обстоятельства познавательного характера.

Прежде всего отметим одно обстоятельство психологического характера: казалось, что поскольку Менделеев строил свою систему, исходя из идеи неизменного элемента, то и приспособлена эта система к отражению исключительно тех отношений между элементами, при которых сами элементы рассматриваются как устойчивые, относительно неизменные образования материи. Этой цели, казалось бы, отвечает и сама табличная форма этой системы с её резко очерченными и отграниченными друг от друга клетками. Каким же образом в эти клетки можно включить такой текучий процесс, как радиоактивный распад? Ведь это, казалось бы, требует отказа от разграничения элементов по жёстким клеткам, а тем самым и от краеугольного камня, на котором строилась вся менделеевская система.

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и строение атома, Одесса, 1923, стр. 180.

Правда, уже в XIX в. Крукс, Бергло и некоторые другие учёные пытались истолковать периодическую систему как отражение в статической форме результата развития элементов. Но для того чтобы представить эту систему динамически, с точки зрения идеи развития, Крукс, например, вообще отказался от табличной формы её изображения, а вместо неё ввёл представление об изменяющейся амплитуде колебания маятника, вдоль которой последовательно располагаются отдельные элементы. Таким образом, если бы в принципе и было признано, что периодическая система может выразить каким-то образом закономерность радиоактивного распада, то во всяком случае предполагалось, что такое выражение потребует коренной перестройки её формы, с тем, чтобы приспособить её не к статическим отношениям элементов, а к их генетическим связям.

Применение периодической системы к радиоактивным рядам было сопряжено, как увидим далее, с необходимостью отказа от признания атомного веса в качестве однозначного и определяющего признака элемента. Такой отказ казался равносильным отказу от одного из самых основных положений, на котором строилась вся система Менделеева и связанное с нею (как полагали химики) определение Дальтона. Если включение радиоактивных рядов в эту систему повлечёт за собой признание, что атомный вес не есть аргумент в функциональном выражении периодического закона, то, спрашивалось, чем же может быть заменён атомный вес в качестве такого аргумента? И не будет ли означать такая замена полного крушения всего менделеевского взгляда на элементы и на самый периодический закон?

Наконец, самое существенное возражение против применения принципа ассоциации к объяснению процесса радиоактивного распада состояло в следующем: после открытия эманаций актиния и полония на рубеже XIX и XX вв. оставалось лишь три свободных места в конце периодической системы: 1) между U и Th, 2) между Ra и Em, 3) между Em и Po. Все остальные места были заняты ранее открытыми элементами. Между тем, общее число радиоактивных элементов, различавшихся по своим атомным весам и радиоактивным свойствам, достигало к концу пер-

вого десятилетия XX в. 30. При этом, как уже отмечалось, любой член каждого из трёх радиоактивных рядов рассматривался как самостоятельный элемент и, следовательно, требовал для себя, согласно определению Менделеева, отдельного места в периодической системе. Всякая попытка включить каким-то образом три радиоактивных ряда в систему Менделеева немедленно влекла за собой необходимость ставить на одно место в системе по нескольку элементов, не считаясь с тем, свободно это место или занято. Иным путём разместить 30 радиоактивных элементов на последних 12 местах менделеевской системы было явно невозможно. Таким образом, принцип ассоциации должен был бы неизбежно привести в данном случае к отказу от мысли, что на одно место в системе Менделеева может приходиться только один строго определённый род атомов, характеризуемый определённым значением атомного веса. Это казалось абсолютно несовместимым с исходным положением Менделеева, которое лежало в основе всей периодической системы и вытекающего из неё менделеевского определения элемента. Это положение гласило, что на одно место в системе может и должен приходиться только один элемент. Помещение на одно место нескольких элементов на первый взгляд в корне подрывало принцип однозначной связи между отдельным элементом и признаком места в системе, а тем самым полностью разрушало всё менделеевское определение.

Таким образом, выходило, что применение принципа ассоциации к объяснению и обобщению радиоактивных превращений неизбежно влечёт за собой разрушение существа и формы периодической системы и построенного на её основе менделеевского определения элемента. Раз так, то разрушается и сам принцип ассоциации, поскольку исчезает та система, с которой надлежало бы ассоциировать радиоактивные ряды. Образно говоря, если даже допустить, что теоретическая разгадка этих рядов заключалась в менделеевской системе, то воспользоваться этой последней в качестве ключа всё равно было невозможно, поскольку она сама разрушалась в своей основе, будучи приведена в соприкосновение с фактами радиоактивности. И хотя Менделеев предсказывал, что периодическому закону бу-

дущее не грозит разрушением, однако в данном случае угроза разрушения казалась вполне реальной.

Итак: судьба периодического закона зависела от разгадки радиоактивных рядов; обратно, ключом к такой разгадке мог служить только периодический закон. В такой категорической и весьма своеобразной форме встал перед химиками вопрос о необходимости каким-то путём уточнить и развить принцип ассоциации, ибо речь шла именно о существовании обоюдной зависимости между законом Менделеева и тремя радиоактивными рядами. Надо было найти выход из указанных выше затруднений, но такой выход, который сохранял бы в силе периодическую систему Менделеева после приведения её в связь с радиоактивными рядами. В результате двух замечательных открытий закона сдвига и явления изотопии — указанные трудности были полностью преодолены.

#### § 40. Открытие закона «сдвига»

В 1913 г. исключительно с помощью принципа ассоциации было установлено, что радиоактивные превращения элементов действительно являются не чем иным, как «сдвигом» элемента с одного места на другое в периодической системе. Количественная характеристика процесса сдвига заключалась в том, что при  $\alpha$ -излучении происходит сдвиг на *два места налево* (например, от радия — элемента II группы — к эманации — элементу 0 группы). На это обстоятельство Содди обратил внимание ещё в 1911 г. Позднее он писал, что уже тогда ему стало ясно, что химические свойства продукта  $\alpha$ -распада «соответствуют свойствам элемента по периодической таблице с групповым номером на два меньше номера производителя»<sup>1)</sup>.

С другой стороны, было установлено, что при  $\beta$ -излучении происходит сдвиг на *одно место направо*. Отсюда, зная, какое место занимает родоначальник радиоактивного ряда в системе Менделеева, можно было указать места всех его «потомков», если знать в результате каких именно превращений они получились из исходного элемента.

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и строение атома, Одесса, 1923, стр. 179.

Так была восполнена, во-первых, недостававшая количественная характеристика процесса смещения элементов по системе Менделеева, а во-вторых, установлена связь между обоими типами радиораспада. В связи с этим Содди писал о том, что «полное обобщение... было предложено в 1913 г... независимо друг от друга А. С. Рёсселем, К. Фаянсом и автором» и что последние двенадцать мест периодической таблицы выражают собой «переход элементов в урановом, ториевом и актиниевом ряду от места к месту, по мере альфа- и бета-превращений...»<sup>1)</sup>.

Со своей стороны Фаянс писал по поводу установления связи между радиоактивными рядами и периодической системой, что после того как Содди сделал «весьма важную попытку выяснения встречающихся здесь закономерностей, это соотношение было формулировано со всей общностью автором (в 1913 году) и вскоре после него Soddy»<sup>2)</sup>.

Но особенно замечательно то, что ни Фаянсу, ни Содди, ни Рёсселю не пришлось придумывать никакой новой формы для периодической системы, вроде круковских амплитуд качания маятника. Более того, вряд ли радиологам так легко и быстро удалось бы решить задачу, если бы в их руках была какая-либо иная форма периодической системы. В самом деле: суть открытия закона сдвига состояла именно в том, что соседнее место справа от исходного элемента принадлежит группе, номер которой (римская цифра) на единицу больше, чем номер группы, к которой принадлежит исходный элемент; только это обстоятельство и надлежало связать с  $\beta$ -распадом. Точно так же суть открытия закона сдвига состояла в том, чтобы подчеркнуть и связать с  $\alpha$ -распадом то обстоятельство, что номер группы уменьшается на две единицы, когда мы переходим через одно место налево от исходного элемента. Нумерация же групп со всей чёткостью выражена именно в короткой, восьмиклеточной таблице Менделеева. Поэтому именно эта таблица помогла радиологам обратить внимание и подчеркнуть те количественные изменения в номерах групп, которые вызываются радиоактивными превраще-

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и стронций атома, Одесса, 1923, стр. 181.

<sup>2)</sup> К. Фаянс, Радиоактивность, 1922, стр. 43—44.

ниями. Таким образом, менделеевская таблица с её обособленными клетками оказалась как бы специально приспособленной выразить не только статические, но и генетические отношения между элементами.

Совершенно верно отмечал С. А. Щукарев, что закон сдвига связывает «все радиоактивные элементы с определёнными клетками Менделеевской системы»<sup>1)</sup>.

Можно смело сказать, что клеточная форма менделеевской системы не только не помешала, но исключительно сильно *помогла* полностью включить все три радиоактивных ряда в единую систему. Клеточная таблица Менделеева помогла сделать это вполне конкретно, точно, до последней детали, а не ограничилась тем, что дала только самую общую идею, указывающую лишь общее направление для мысли. Если бы Содди и Фаянс пользовались, например, хотя и наглядным, но весьма расплывчатым представлением о «качании маятника», а не таблицей Менделеева, то вряд ли их открытие протекало так быстро и успешно.

## § 41. Закон сдвига и принцип ассоциации

Закон сдвига представляет собою такое открытие, которое одновременно обогатило и периодический закон Менделеева, показав его новое содержание, и представление о радиоактивном распаде, раскрыв лежащий в его основе общий закон. Достигнуто это было единственно путём установления взаимной связи между системой Менделеева и тремя радиоактивными рядами, иначе говоря, при помощи принципа ассоциации. По существу сам закон сдвига есть не что иное, как конкретное выражение этого принципа в его приложении к радиоактивным процессам.

Рассмотрим принципиально новый взгляд на систему Менделеева и радиоактивный распад, который связан с установлением закона сдвига, другими словами, с применением к этой области явлений принципа ассоциации.

Периодический закон выступил теперь как закон *развития элементов*, а периодическая система — как выражение генетических связей элементов. В том же 1913 г.

<sup>1)</sup> Новые идеи в химии, Сборник № 9, Изотопы, 1924, стр. 63.



ван-ден-Брук <sup>1)</sup> высказал идею, что вся система элементов может рассматриваться, как своего рода родословная лестница, построенная на основании законов радиоактивного распада. С этой точки зрения отдельное место в системе Менделеева являлось звеном в цепи развития всех элементов, ступенькой на генетической лестнице их общего происхождения и взаимных превращений. Это подтвердило мысль Л. А. Чугаева, высказанную ещё в 1911 г. о том, что в периодическом законе заключено «выражение того плана, по которому совершалась эволюция существующих элементов, выражение тех сложных и многочисленных факторов, которые оказывали влияние на ход этой эволюции» <sup>2)</sup>.

Так подтвердилось предвидение Менделеева, что с открытием фактов превращения элементов может уясниться смысл периодического закона.

В свою очередь радиоактивные ряды утратили свой прежний чисто эмпирический, описательный характер. При помощи периодического закона они были теоретически поняты и включены в систему Менделеева.

Переход от описательного, эмпирического взгляда на радиоактивные ряды к новому теоретически обоснованному взгляду, связывающему их с системой Менделеева, нашёл своё отражение и в области терминологии. Это можно показать на примере истории термина «эманация». Он был введён Резерфордом в то время, когда радиоактивные ряды рассматривались ещё вне связи с периодической системой. Затем эманация стала рассматриваться как родовое понятие. В качестве видового признака было введено название элемента, дающего эманацию данного вида. Когда всем этим эманациям было найдено место в 0 группе менделеевской системы, Рамзай предложил дать им другое название. В 1912 г. Рамзай писал: «Эманация радия» — тяжеловесное название, не дающее никакого указания на положение этого элемента в периодической таблице... И для того, чтобы указать на его отношение к газам группы аргона, необходимо дать ему сходное с ними имя...

<sup>1)</sup> См. *Physikalische Zeitschrift*, т. 14, 1913, стр. 32.

<sup>2)</sup> Л. А. Чугаев, *Природа и происхождение химических элементов*, 1923, стр. 102.

Название «нитон» — ... казалось нам наиболее подходящим»<sup>1)</sup>).

Однако пока закон сдвига не был открыт, довод, выдвинутый Рамзаем в пользу нового наименования, казался недостаточно убедительным; многие физики и химики считали, что указание на генетическую связь (эманация радия, происшедшая из радия) важнее указания на химическую аналогию (нитон аналог аргона). Даже Содди в 1912 г. (за год до своего открытия) склонялся к тому, чтобы удержать термин «эманация», «так как аналогичные новые газы или эманации даются» не только радием, но «и двумя другими радиоактивными элементами — торием и актинием»<sup>2)</sup>).

После того как закон сдвига позволил взглянуть на периодическую систему с новой точки зрения и разглядеть генетические связи элементов в той последовательности, в какой они располагаются в этой системе, возражения против предложения Рамзая в конце концов отпали. Ибо указание, что эманация находится в 0 группе системы Менделеева, с точки зрения закона сдвига имело несравненно более общее и более существенное значение, нежели эмпирическое указание на её происхождение из Ra, Ac или Th. Вследствие этого термин Рамзая в конце концов вытеснил первоначальный термин Резерфорда.

Здесь блестяще подтвердилось одно из замечаний Энгельса, касающееся значения *названий*; «...если мы находим, что какое-нибудь тело принадлежит к какому-нибудь подобному ряду, то его старое название становится препятствием для понимания и должно быть заменено *названием, указывающим этот ряд...*»<sup>3)</sup>).

Именно потому, что старое эмпирико-генетическое название «эманация» стало препятствием для понимания вновь установленной связи между периодической системой и радиоактивными превращениями, оно должно было вытесниться и вытеснилось другим названием, указывающим место данного элемента в более общем ряду, нежели отдельный радиоактивный ряд, а именно, в ряду Менделеева.

<sup>1)</sup> Новые идеи в химии, Сборник № 4, 1914, стр. 124.

<sup>2)</sup> Ф. Содди, Радий и его разгадка, 1915, стр. 81.

<sup>3)</sup> Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 239.

## § 42. Подготовка открытия изотопии

Важнейшие следствия, вытекающие из закона сдвига, вели непосредственно к открытию изотопии. Этими следствиями было помещение на одно место системы нескольких различных радиоактивных элементов и обнаружение при этом их химического тождества.

Мы отмечали, что существенное препятствие для открытия закона сдвига, т. е. для открытия связи между системой Менделеева и радиоактивным распадом, состояло в том, что такое открытие логически требовало помещения на одном месте в системе Менделеева *нескольких* элементов сразу. Тем самым, казалось бы, закон сдвига должен вызвать крушение менделеевского определения элемента, ибо последнее предполагает однозначную связь между местом в системе и отдельным элементом. Пользуясь законом сдвига, радиохимики выяснили, что действительно на одном месте в системе Менделеева могут стоять сразу несколько элементов. Излагая соответствующие взгляды Содди, Астон писал: «...Радиоактивный элемент, выделяя одну  $\alpha$ -частицу, переходит на два места *назад* в периодической системе элементов. Когда он выделяет одну  $\beta$ -частицу, он перемещается на одно место *вперёд*. Отсюда следует, что при потере одной  $\alpha$ -частицы и последующей потере двух  $\beta$ -частиц атом, несмотря на то, что он весит теперь на четыре единицы меньше, получает прежний заряд ядра и возвращается на своё первоначальное место»<sup>1</sup>). Так, например, RaD (атомный вес 210) через два  $\beta$ -излучения последовательно превращается в RaE и Po<sub>210</sub>, а затем через  $\alpha$ -излучение превращается в Pb<sub>206</sub> и возвращается на то же место, на котором стоял RaD. Словом, как указывал позднее сам Содди, «если в каком угодно порядке испускается одна альфа-частица и две бета-частицы, то продукт по своей химической природе сходен со своим производителем, и, таким образом, курьёзный атавизм, о котором говорилось выше, становится понятным»<sup>2</sup>).

<sup>1</sup>) Успехи химии, т. IV, 1935, вып. 6, стр. 961.

<sup>2</sup>) Ф. Содди, Радий и строение атома, 1923, стр. 181.

Первоначально Содди и Фаянс включили в систему Менделеева по отдельности каждый из трёх радиоактивных рядов. При этом для целей большей наглядности и во избежание того, чтобы один ряд не наложился на другой, Содди подразделил каждую клетку системы Менделеева ещё на несколько клеток, характеризующихся различным значением атомного веса. Для того чтобы вплотную подойти к открытию изотопии, оставалось сделать только одно, а именно, *слить* полностью все три ряда воедино так, чтобы отдельные их члены попадали на одно и то же неподразделённое место, в *одну* и ту же клетку системы Менделеева.

Одновременно с тем, как ходом развития самой науки Содди, Рёссель и Фаянс, а за ними и другие учёные, вынуждены были пойти на то, чтобы ставить по несколько радиоактивных элементов (членов радиоактивных рядов) на одно место в системе Менделеева, выяснилось, что каждый раз на одно место попадают только *химически сходные* элементы, причём их сходство оказывается так близко, что, по словам того же Содди, «нет никакой возможности разделить их при помощи химического анализа»<sup>1)</sup>.

Ещё до открытия закона сдвига, Ган и Мейтнер в 1910 г. пытались установить эмпирические правила для этих явлений. Тогда же Содди писал по этому поводу: «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. . . Факт, что элементы различных атомных весов могут обладать одинаковыми свойствами. . . Теперь химическая однородность уже не является гарантией того, что данный элемент не есть смесь нескольких с различными атомными весами. . . »<sup>2)</sup>.

Следовательно, уже тогда Содди предполагал, что выяснение причины химической *тождественности* элементов, различающихся по атомным весам, прольёт свет одновременно и на сущность радиоактивных превращений и на периодический закон, или, употребляя наше выражение,

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и строение атома, 1923, стр. 181.

<sup>2)</sup> Цит. по Астону, Изотопы, 1923, стр. 8—9.

даст толчок применению и дальнейшей разработке принципа ассоциации. Закон сдвига полностью подтвердил это предположение Содди.

Наконец, в 1912 г. было открыто различие по атомному весу у атомов нерадиоактивного элемента (неона). Когда на фотографии Дж. Дж. Томсон впервые наблюдал наряду с резкой линией неона, соответствующей атомному весу 20, ещё и другую слабую линию, соответствующую атомному весу 22, то он не знал, чему приписать эту вторую линию. У него возникло то же сомнение, какое было высказано и в области радиологии: «... Если мы примем Менделеевский периодический закон, то в нём нет места для нового элемента с таким атомным весом»<sup>1)</sup>.

Чтобы примирить это открытие с законом Менделеева, Томсон допускал даже, что вблизи атомного веса неона может существовать целая группа элементов со сходными свойствами (подобная VIII группе). Тогда для элемента с атомным весом 22 нашлось бы особое место наряду с обычным неоном. Было высказано и другое предположение, что здесь мы имеем дело с соединением  $\text{NeH}_2$ ; но это предположение отпало после исследований Астона и Уатсона. «Единственным выходом, — писал Астон, — представляется новая и революционная мысль, именно, что неон может существовать в двух формах и что связь между ними точно такая же, как та, которая согласно незадолго до того высказанному мнению Содди существует между химически неразделимыми радиоэлементами»<sup>2)</sup>.

### § 43. Что ещё мешало применению принципа ассоциации?

Почему Астон назвал мысль, что неон может существовать в двух различных формах, новой и революционной? Почему Томсон, высказывая предположения о происхождении линии, соответствующей атомному весу 22, не упомянул о возможности, что эта линия вызвана разновидностью неона?

<sup>1)</sup> Ф. Астон, Изотопы, 1923, стр. 36.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 37.

Ответ на эти вопросы можно дать такой: потому, что в сознании учёных ещё крепко сидела мысль о том, что все атомы любого элемента должны быть абсолютно тождественными между собою. В этом состояла последняя, ещё неразрушенная черта, сохранившаяся от старого понятия элемента. Разрушить её значило разрушить окончательно старое понятие элемента, а это с полным правом можно было назвать подлинно революционным актом в науке.

Насколько прочно держалась в сознании учёных метафизическая идея абсолютного тождества атомов, свидетельствует Стьюарт: «Крукс был единственным, кто осмелился критиковать это учение о полной тождественности частиц элементарного вещества; и те, кто в начале века (XX в. — Б. К.) разделял эти идеи Крукса, должны живо вспомнить об улыбке превосходства, с которой смотрел на них каждый средний химик, веровавший в химическую догму»<sup>1)</sup>. Следует подчеркнуть, что Стьюарт неправ, приписывая одному Круксу заслугу критики метафизического взгляда на атомы и элементы. Известно, что аналогичные взгляды высказывал великий русский химик А. М. Бутлеров за несколько лет до Крукса.

Но не только средние химики-эмпирики верили, как в химическую догму, в идею абсолютного тождества атомов любого элемента. В неё верили даже самые передовые учёные, открытия которых как раз способствовали разрушению этой догмы. Именно вера в эту метафизическую идею и тормозила особенно сильно применение принципа ассоциации к объяснению того факта, почему на одном месте в системе Менделеева оказывается несколько химически тождественных сортов атомов, различающихся по своим весам.

В 1908 г. Содди писал по поводу аргумента, выдвинутого Максвеллом в 1873 г.: «Рассмотрим сначала главную основу этого аргумента, именно то, что все атомы любого элемента совершенно подобны друг другу. Наши нынешние данные по этому основному вопросу гораздо полнее и поразительнее, чем они были в 1873 году, и мы твёрже, чем когда-

<sup>1)</sup> А. Стьюарт, Новые идеи в физической и неорганической химии, 1931, стр. 8.

либо, верим в абсолютное сходство всех атомов одного и того же элемента»<sup>1)</sup>.

В связи с этим Содди указывает, что «принято считать одним из величайших философских обобщений физики, что все атомы одного рода, т. е. одного элемента, вполне и в точности одинаковы по своим свойствам»<sup>2)</sup>.

Это положение Содди полностью сохранил в 3-м издании своей книги, предисловие к которому написано в августе 1912 г., т. е. всего за год до сделанного самим Содди открытия изотопии. Это последнее открытие нанесло сокрушительный удар указанной выше химической догме и расчистило путь для беспрепятственного применения принципа ассоциации к области атомных явлений.

#### § 44. Возможный и действительный путь открытия явления изотопии

В 1913 г. Содди открыл явление изотопии. Возможные пути этого открытия можно представить двояко: это открытие могло совершиться индуктивным путём и дедуктивным путём.

В случае *индуктивного пути* дело обстоит бы так: отправным пунктом обобщения служил бы эмпирически наблюдаемый факт химического тождества атомов, различных по своей массе. Эти атомы были бы затем объединены в некоторые группы, рассматриваемые как принадлежащие к одному и тому же химическому типу. Входящие в каждую такую группу отдельные сорта атомов, характеризующиеся одинаковым атомным весом, стали бы рассматриваться как разновидности одного и того же химического типа. В таком случае соответствующие понятия «тип» и «разновидность» были бы установлены независимо от периодической системы и от представления о месте в ней элемента, подобно тому как независимо от неё было установлено старое понятие элемента. Лишь позднее могло быть обнаружено, что каждый химический тип приходится на одно место в системе Менделеева. У нас нет никаких оснований считать, что та-

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и его разгадка, 1915, стр. 166.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 163—164.

кой путь был заранее исключён, принципиально невозможен.

Однако, как мы показали, действительный исторический ход открытия не был таким: явление химического тождества было обнаружено в 1906 г., но ни к какому обобщению, ни к какому созданию *нового* понятия оно само по себе не привело. До 1913 г. оно оставалось на уровне случайных, ничем не связанных между собой единичных фактов.

Второй, *дедуктивный* путь, напротив, вёл от уже известного общего положения (периодического закона) к объяснению дотоле разрозненных и никак не понятых частных фактов (химической тождественности различных атомов). Исходным в этом случае становилось место элемента в системе и факт попадания на него сразу нескольких различных по атомным весам элементов. В первой стадии разработки нового открытия момент тождества у всех таких элементов выражался даже не в совпадении их химических свойств <sup>1)</sup>, а в том, что их место в системе было общим, что они занимали тождественное, одно и то же место в системе Менделеева. Это установленное таким путём тождество элементов вытекало непосредственно из закона сдвига, т. е. из периодического закона, применённого к радиоактивным рядам согласно принципу ассоциации. Химическое тождество тут пока что не играло решающей роли.

Излагая взгляды Содди, Астон писал: «Всякий элемент, являющийся результатом ряда изменений, заключающегося в потере вдвое большего числа частиц  $\beta$ , чем частиц  $\alpha$ , очевидно, должен быть изотопом по отношению к исходному элементу, так как он, после всех преобразований, должен, в силу указанного закона (закона сдвига. — *Б. К.*), неизбежно занять прежнее место в периодической таблице» <sup>2)</sup>.

Когда размещение всех радиоактивных элементов согласно закону сдвига по местам периодической системы было осуществлено, оказалось, что все известные случаи хими-

<sup>1)</sup> Ещё в 1910 г. Содди писал, что «очевидность химической тождественности не одинакова во всех ... случаях» и называл только три случая в качестве вполне доказанных (см. Ф. Астон, Изотопы, 1923, стр. 8).

<sup>2)</sup> Ф. Астон, Изотопы, 1923, стр. 12.



ческого тождества обнаруживаются лишь там, где соответствующие атомы имеют тождественное место. Отсюда, как следующий шаг открытия, вытекало приведение в связь тождества атомов (в смысле наличия у них общего места в системе) с их химическим тождеством. Только после того как такая связь между двумя различного рода тождествами атомов была установлена, мог последовать в порядке обобщения вывод, что все вообще атомы, приходящиеся на одно и то же место в системе, химически тождественны. Такой обобщающий вывод вытекал не в порядке индуктивного обобщения большого числа наблюдённых фактов, а, напротив, в порядке дедуктивного следствия из открытого ранее общего закона, причём вытекал он как теоретический вывод, объясняющий некоторые, дотоле непонятные и весьма ещё немногочисленные факты, которые сами по себе, без привлечения общего закона, не могли служить достаточной основой для какого-либо обобщения.

Таков был реальный путь открытия изотопии. Можно сказать, что это открытие обобщило собой наблюдённые факты, как вытекавшие непосредственно из закона сдвига, так и свидетельствовавшие о совпадении химических свойств атомов, приходящихся на одно и то же место в системе Менделеева. Содди писал позднее, что члены радиоактивных рядов, попадающие независимо от их атомного веса «в одно и то же место в периодической таблице, химически совершенно идентичны и неотделимы друг от друга. Поэтому я и назвал их *изотопами*, или *изотопными элементами*»<sup>1)</sup>.

Из этих слов мы видим, что химическая неотделимость и химическая тождественность изотопов рассматривалась Содди как *следствие* попадания элементов на одно и то же место в системе Менделеева. В свою очередь пребывание различных атомов на одном и том же месте в системе Менделеева рассматривалось с той точки зрения, что оно находит своё эмпирическое выражение в обязательном химическом тождестве атомов. Следовательно, здесь мы сталкиваемся с тем же принципом ассоциации, который, с одной стороны, привлекает периодический закон к раскрытию причин наблю-

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и строение атома, 1923, стр. 181.

даемых явлений (в данном случае — химического тождества различных по массе атомов), а, с другой стороны, связывая новые факты с периодическим законом, способствует дальнейшему развитию и конкретизации самого этого закона.

## § 45. Философское значение открытия изотопии

Открытие изотопии состояло в введении в науку *нового понятия*, разграничивающего тождество атомов как представителей одного и того же элемента и их полное тождество. Подобное разграничение означало, что наряду с прежними двумя понятиями вид и индивид (элемент и атом) вводилось новое, промежуточное между ними понятие *разновидность (изотоп)*. В силу этого старая идея абсолютного тождества всех атомов одного и того же элемента терпела крушение. В *пределах одного элемента (вида) были установлены атомы различных масс, принадлежавшие к различным изотопам (разновидностям)*. В этом и состояла суть открытия изотопии. Вот почему уже в 4-м издании своей книги (1920) Содди по поводу упоминавшегося уже аргумента Максвелла, что все атомы любого элемента совершенно подобны друг другу, писал: «Новейшие открытия в связи с изотопами изменили нашу точку зрения. . . »<sup>1)</sup>.

Описывая крушение старого понятия элемента, Стьюарт отмечал, что за падением идеи неизменности атома «последовало падение учения о полном тождестве атомов данного элемента; оно было сметено экспериментальным доказательством того, что два атома могут иметь тождественные химические свойства и всё же отличаться в других своих свойствах; это в свою очередь повело к полному крушению идеи об однородности элементарного вещества»<sup>2)</sup>.

Позднее указывалось на необходимость укоренять «новое понятие, согласно которому число разновидностей атомов не равно, как думал Дальтон, числу химических элементов, но существенно его превосходит...»<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Ф. Содди, Радий и строение атома, 1923, стр. 126.

<sup>2)</sup> А. Стьюарт, Новые идеи в физической и неорганической химии, 1931, стр. 8.

<sup>3)</sup> Хевеши и Панет, Радиоактивность, 1925, стр. 161.

*Философское значение* открытия изотопии состояло в том, что вместе с понятием изотопии в науку о веществе вошла диалектическая мысль о единстве тождества и различия атомов. Старое представление об *абстрактном тождестве*, которое исключало всякую связь между тождеством и различием, как между непримиримыми противоположностями, заменилось новым представлением о *конкретном тождестве*, которое исходило именно из учёта такой связи между тождеством и различием. Старое воззрение знало только одно, а именно, что атомы каждого элемента тождественны. Новое воззрение утверждало, что внутри элемента атомы не только тождественны, но и различны, причём их различие (по атомным весам и другим свойствам) существует *внутри* их тождества (по месту в системе и по химическим свойствам). Подобное существование различия атомов *внутри* их тождества получало благодаря системе Менделеева непосредственное и вполне реальное, почти осязаемое выражение: оно выглядело буквально как *включение* различных атомов на тождественное место в системе. Тем самым открытие изотопии явилось замечательным подтверждением положения Энгельса, который решительно возражал против старых, метафизических представлений, будто «тождество и различие являются непримиримыми противоположностями, а не односторонними полюсами, которые представляют собой нечто истинное только в своём взаимодействии, во включении различия в тождество»<sup>1)</sup>.

Наконец, философское значение открытия изотопии состояло в том, что оно давало теоретическую, познавательную основу для разработки концепции развития элементов, их эволюции. Знания одного явления радиоактивности для этой цели было ещё не достаточно. Всякое развитие означает изменение, следовательно, отмену полного, неподвижного тождества с самим собой. Такая отмена происходит, когда вещь становится одновременно и равна и неравна самой себе. «Постоянное изменение, т. е. снятие абстрактного тождества с самим собою, имеется также и в так называемой неорганической природе»<sup>2)</sup>, — писал Энгельс. По-

<sup>1)</sup> Ф. Э н г е л ь с, Диалектика природы, 1946, стр. 172.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 171.

добное снимание тождества, по Энгельсу, означает процесс, движение предмета, появление различий внутри его тождества с собою. Отсюда возникает необходимость рассматривать различие как существующее *внутри* тождества, а тождество рассматривать как содержащее в себе различие. Только в этом случае можно понять и отразить в понятиях объективный процесс развития природы. В данном случае речь идёт о диалектическом понимании тождества, а именно, о конкретном тождестве, ибо, как говорит Ленин, «всякая конкретная вещь, всякое конкретное нечто. . . бывает самим собой и другим»<sup>1)</sup>.

То обстоятельство, что идея абсолютной тождественности атомов исключала возможность создания теории их эволюции, правильно отметил ещё Максвелл в 1873 г.: «Для объяснения сходства молекул нельзя построить теории эволюции, так как эволюция необходимо предполагает непрерывное изменение, а молекула неспособна к росту или уничтожению, к воспроизведению или разрушению»<sup>2)</sup>.

Если старая идея абсолютной тождественности атомов исключала возможность строить теорию их эволюции, то новая идея *относительной тождественности* атомов не просто позволяла строить такую теорию, но была в ней заинтересована необходимым образом, ибо это был единственный путь к объяснению того, каким образом появляется различие *внутри* тождества, как происходит «снимание» абстрактного тождества элемента с самим собою. Не случайно поэтому догадку насчёт того, что веса атомов одного элемента могут колебаться в известных пределах, Крукс высказал именно в связи с разработкой эволюционной теории элементов. Ибо если признана изменчивость атомов и элементов, то отсюда неизбежно вытекает мысль о том, что абстрактное тождество к ним вообще неприменимо и что речь должна идти о существовании каких-то различий *внутри* их тождества.

Понятие изотопии способствовало, таким образом, более глубокому проникновению идеи развития вещества в область науки об атомах и элементах.

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 112.

<sup>2)</sup> Цит. по Ф. Содди, Радий и его разгадка, 1915, стр. 164.

## § 46. Приближение к новому динамическому определению элемента

Открытие закона сдвига и явления изотопии позволило обосновать принципиально новый взгляд на атомы и элементы. Атом выступил теперь не как самостоятельный кирпичик вещества, но как звено в общей цепи развития материи. Соответственно с этим и отдельное место в системе Менделеева обнаружило себя не только как статическое понятие, выражающее собой *положение* одного элемента в системе других элементов, но как динамическое понятие, выражающее собой относительно устойчивое состояние, *проходимое* химическим элементом в процессе своего развития и превращения. Этим ещё раз подтвердился общий научный прогноз Менделеева.

Хотя сам Содди не сформулировал нового взгляда на элементы в виде какого-нибудь специального определения, но оба его открытия — закон сдвига и изотопию — можно было бы резюмировать в виде следующего положения: «Элемент определяется местом, которое он занимает в системе Менделеева. Изменение и превращение элемента выражается в его сдвиге на другое место в этой системе. Атомы элемента могут различаться по массе, но должны приходиться всегда на одно и то же место в системе и в этом отношении быть между собою тождественными».

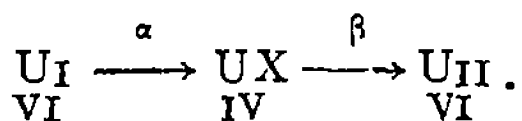
Назовём это положение условно определением Содди. Подобно тому как менделеевское определение было проверено и подтверждено на практике благодаря открытию предсказанных Менделеевым элементов и оправданию предложенных им исправлений атомных весов, так и условное определение Содди прошло через проверку такого же рода.

В 1913 г. Содди, исходя из закона сдвига, следовательно, фактически из вытекающего из него определения элемента, предсказал, что атомный вес свинца из урановых пород должен отличаться от атомного веса свинца из ториевых пород. В 1914 г. это предсказание было подтверждено экспериментально.

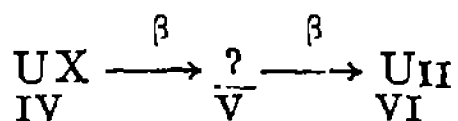
Исходя из открытия закона сдвига и изотопии, т. е. ически из определения Содди, удалось, во-первых,

предсказать неизвестную ещё химическую природу мало изученных радиоактивных элементов, во-вторых, восстановить все промежуточные звенья в каждом радиоактивном ряду. Как указывает Фаянс, все сделанные им предсказания на этот счёт, исходя из новых правил, полностью подтвердились <sup>1)</sup>).

Решающей проверкой определения Содди и лежащих в его основе закона сдвига и понятия изотопии явилось открытие нового элемента, заполнившего свободное место между U и Th. Были открыты два изотопа нового элемента — уран X<sub>2</sub> и протактиний. До закона сдвига превращение U<sub>I</sub> в U<sub>II</sub> мыслилось протекающим по следующей схеме (под символом стоит номер группы в системе Менделеева):



Эта схема противоречила закону сдвига и, следовательно, определению Содди, ибо выходило, что *одно* β-излучение вызывает сдвиг сразу на *два* места вправо. Для устранения противоречия необходимо было допустить, что переход от UX к U<sub>II</sub> совершается в два приёма:

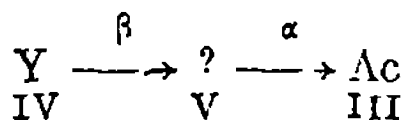


Неизвестный, предполагаемый элемент (обозначен знаком ?) должен был обладать химическими свойствами, сходными с танталом — элементом V группы. Он был назван ураном X<sub>2</sub>. Выделить его удалось химическим путём (из урана X, осаждая вместе с танталовой кислотой) именно благодаря тому, что заранее было определено, согласно закону сдвига, его место в системе Менделеева, т. е. применено условное определение Содди. Если бы этого руководящего указания не было в руках Фаянса, то открытие искомого элемента было бы сильно затруднено, в частности, из-за краткости его жизни (период полураспада немного больше одной минуты).

Аналогичным образом был предсказан второй изотоп того же элемента, названный протактинием (непосредст-

<sup>1)</sup> См. К. Ф а я н с, Радиоактивность, 1922, стр. 41.

венный производитель актиния). Уран Y (открытый в 1911 г.) принадлежал к IV группе, т. е. был изотопом тория; он испускал  $\beta$ -лучи. Следовательно, согласно закону сдвига продуктом его распада должен быть элемент V группы. Поскольку Ac находится в III группе, следовало допустить, что неизвестный элемент V группы будет испускать  $\alpha$ -лучи; тогда цепь превращений можно было бы представить следующей схемой:



Исходя из этого предположения, были предприняты поиски неизвестного элемента, сходного с танталом, в урановых минералах. В 1919 г. действительно был открыт протактиний. «В обоих случаях, — писал через год Содди, — исследование опиралось на широкие, далеко идущие обобщения, на основании которых оказалось возможным предсказать химический характер недостающего производителя и его положение в периодической таблице» <sup>1)</sup>.

Все эти открытия можно рассматривать в качестве практической проверки определения Содди, которое хотя и не было сформулировано в явной форме, но в сущности является итогом обоих основных открытий, сделанных Содди в 1913 г.

#### § 47. Дальнейшие следствия из открытий 1913 г.

Содди не остановился на уровне своих открытий 1913 г., но пошёл еще дальше; он вплотную приблизился к тому, чтобы объяснить и выразить физическую причину закона сдвига и явления изотопии. Помогло ему в этом то обстоятельство, что он обратил внимание на *изменение заряда ядра*, происходящее при  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучении.

В самом деле:  $\alpha$ -частица несёт на себе *двойной положительный* заряд; следовательно, её выделение из данного ядра должно уменьшить его заряд на 2 единицы. Но так

<sup>1)</sup> Ф. С о д д и, Радий и строение атома, 1923, стр. 160. (Заключительным звеном этой цепи открытий можно считать открытие изотопа урана  $U_{235}$  и его выделение в 1940 г.)

как при  $\alpha$ -распаде происходит сдвиг элемента на 2 места влево, то естественно напрашивалась связь между уменьшением заряда ядра на 2 единицы и уменьшением номера группы на те же 2 единицы.

С другой стороны, выделение  $\beta$ -частицы (электрона) из данного ядра должно увеличивать его положительный заряд на единицу; а так как при  $\beta$ -распаде происходит сдвиг на одно место вправо, то обнаруживалась связь между увеличением заряда ядра на единицу и увеличением номера группы на ту же единицу.

Заряд  $\alpha$ -частицы и заряд двух  $\beta$ -частиц образуют в алгебраической сумме 0. Это значит, что если в любом порядке протекают одно  $\alpha$ -излучение и два  $\beta$ -излучения, то заряд ядра в итоге остаётся прежним. Но так как в этом случае образуется изотоп исходного элемента, то логически напрашивается вывод, что явление изотопии обусловлено тем, что атомы различной массы имеют одинаковый ядерный заряд. Этот вывод Содди сформулировал в 1913 г. так: «Та же алгебраическая сумма положительных и отрицательных зарядов в ядрах (т. е. общий заряд ядра. — *Б. К.*), когда их арифметическая сумма отлична, даёт то, что я называю «изотопы» или «изотопические элементы» ввиду того, что они занимают одно и то же место в периодической таблице»<sup>1)</sup>.

Правда, Содди не установил точных значений заряда ядра  $Z$  для каждого элемента, но только указал на относительную разницу в его значении для смежных мест, а именно, что с переходом на следующее место в системе Менделеева заряд ядра возрастает на единицу. В связи с этим Стьюарт писал: «В своей первоначальной схеме 1913 года Содди графически изобразил тот факт, что между последовательными местами в таблице существует разница в заряде ядра, соответствующая разнице на одну единицу; этим он предупредил вывод Мозели, полученный им независимо от Содди по данным рентгеновских спектров»<sup>2)</sup>.

Всё это логически вело к признанию, что каждое место в системе характеризуется определённым значением ядер-

<sup>1)</sup> Цит. по Ф. А ст о н у, Изотопы, 1923, стр. 12.

<sup>2)</sup> А. Стьюарт, Новые идеи в неорганической и физической химии, 1931, стр. 89.



ного заряда  $Z$  и что именно *поэтому* заряд  $Z$  может служить определяющим признаком элемента. Таким образом, в понятии заряда ядра, с одной стороны, теоретически обобщались результаты открытия закона сдвига и явления изотопии, а, с другой стороны, представление о месте элемента в системе получало определённую физическую интерпретацию: тождество места было равносильно одинаковости заряда ядра; перемена места равносильна соответствующему изменению этого заряда.

### § 48. Судьба менделеевского определения и принцип ассоциации

Итак, первоначальные опасения, что попытка применить принцип ассоциации к радиоактивным рядам приведёт к полному крушению менделеевское определение, оказались совершенно необоснованными. Благодаря принципу ассоциации, следовательно, благодаря именно этому определению были сделаны выдающиеся открытия, которые, с одной стороны, уяснили смысл радиоактивных переходов, а с другой стороны, чрезвычайно обогатили периодический закон. Последний блестяще выдержал новое, ещё более трудное испытание, нежели то, которое было связано с аргоном. Как и предвидел Менделеев, периодическому закону в будущем действительно не грозило разрушением, но обещалось лишь усовершенствование и надстройка.

Правда, в результате открытия изотопии атомный вес перестал рассматриваться в качестве однозначного, определяющего признака элемента. В этой роли он был теперь заменён понятием места элемента в системе и понятием заряда ядра в качестве физической индексации этого места. *Однако такая замена отнюдь не подрывала менделеевского определения, а напротив, целиком его подтверждала.* Опровергала же она старое определение Дальтона. В этом отношении условное определение Содди является прямым продолжением и конкретизацией определения Менделеева. Оно содержит в себе это последнее в качестве своей основы и своего исходного пункта. Что же касается коллизии между местом элемента в системе и атомным весом, то,

как мы уже видели, Менделеев всегда отдавал предпочтение первому признаку перед вторым. По этому менделеевскому пути пошла физика XX в., когда перед ней встал выбор, что считать определяющим признаком элемента: место в системе или атомный вес? После некоторых колебаний и сомнений радиологи отказались от мысли считать атомный вес однозначным признаком элемента и за таковой согласились принять его место в системе. Но этим они лишь продемонстрировали преимущество определения Менделеева перед определением Дальтона. В самом деле, когда несколько радиоактивных элементов, обладающих разными атомными весами, попадало на одно место, то единственным признаком для их отождествления (за исключением нескольких фактов химического тождества) служила общность их места в системе Менделеева. Элементом стало считаться то, что занимает одно место в системе. Отсюда вытекла идея, что атомы, стоящие на одном месте, должны быть химически одинаковыми. Такое решение деликом соответствовало общему духу взглядов Менделеева на элементы и на периодический закон, хотя оно и противоречило определению Дальтона, которое разделял сам Менделеев и с которым он связывал конкретную, *частную* формулировку периодического закона (что свойства элементов зависят от их атомного веса). Всё это необычайно укрепило периодический закон и построенное на нём менделеевское определение, но потребовало смены их формы, что и было сделано Содди; это и отражено в условном определении элемента, названном по имени Содди.

Поскольку связь между наукой о радиоактивности и периодическим законом была взаимной, а их успех — обоюдным, мы вправе сказать, что этот успех был результатом применения принципа ассоциации. В итоге определяющий признак элемента — место в системе Менделеева — необычайно обогатился.

Последовательную конкретизацию этого признака, а следовательно, и менделеевского определения, можно представить по этапам следующим образом:

1) В качестве признака элемента, определяющего его место в периодической системе, принят средний атомный вес элемента (Менделеев, 1869—1871).

2) Установлено, что  $\alpha$ -излучение уменьшает заряд ядра на 2 единицы, а  $\beta$ -излучение увеличивает заряд ядра на единицу (Содди, 1913).

3) Установлено, что ранее принимавшийся атомный вес элемента есть некоторое среднее от атомных весов изотопов (Содди, 1913).

4) Установлено, что попадание атомов различной массы на одно место в системе Менделеева означает равенство у них ядерного заряда  $Z$  (Содди, 1913).

Здесь показано, как последовательно уточнялся признак места элемента в системе, с одной стороны, через обнаружение его изменчивости при  $\alpha$ - и  $\beta$ -распаде, что вело к установлению заряда ядра  $Z$  (второй этап), а с другой стороны, через расчленение первоначального единого признака — атомного веса — на несколько различающихся между собой по их численному значению (третий этап); оба этапа резюмированы в определении Содди. На заключительной (четвёртой) стадии образовалось вдвойне обогащённое представление о месте элемента в системе: оно пополнилось новыми признаками заряда ядра  $Z$  и составного, изотопного, характера элемента.

Таково было первое направление, ведущее через изучение радиоактивности к установлению понятия заряда  $Z$  как физического признака места элемента в системе. Второе направление вело к установлению того же понятия  $Z$  через данные рентгеновских спектров.

---

## ГЛАВА V

# ОСНОВНОЙ ПРИЗНАК ЭЛЕМЕНТА И РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРЫ

### § 49. Установление порядкового номера элемента

В 1912 г. Мозели предпринял экспериментальное исследование зависимости длины волны рентгеновских лучей атома от положения его в периодической системе. В 1913 г. он пришёл к следующему открытию: квадратный корень из частот характеристических линий рентгеновских спектров различных элементов есть линейная функция натурального ряда чисел  $N$ <sup>1)</sup>. Физический смысл этого ряда чисел был раскрыт на основании представления о месте элемента в системе. Мозели писал, что « $N$  увеличивается от атома к атому всегда на одну единицу. Таким образом опыты приводят к взгляду, что  $N$  есть то же самое число, равное номеру места, занимаемого элементом в периодической системе. Этот атомный номер или *порядковое число* для H есть 1, для He 2... и т. д.»<sup>2)</sup>.

Следовательно, если перенумеровать в последовательном порядке все места элементов в менделеевской системе, то окажется, что найденная Мозели величина есть линейная функция порядкового числа (или номера) элемента, другими словами, функция номера места элемента в системе. Ряд Мозели полностью совпал, таким образом, с рядом Менделеева.

---

<sup>1)</sup> В дальнейшем будем обозначать коротко порядковый номер буквой  $N$ .

<sup>2)</sup> Phil. Mag., т. 26, 1913, стр. 1031.

Поскольку в значении  $N$  место элемента в системе впервые получило свою количественную характеристику, то этим достигалось значительное уточнение понятия элемента и менделеевского определения (см. табл. 3 в конце книги).

Прежде всего, вместо двух координат, которыми пользовался Менделеев, теперь можно было пользоваться одним числом  $N$ , которое однозначно указывало место элемента в системе. Преимущество этого числа заключалось также в том, что его можно было вывести непосредственно из экспериментальных данных (из анализа рентгеновских спектров соответствующих элементов), тогда как координаты Менделеева носили больше графический, нежели физический характер, причём одна из них (ордината) вообще не имела конкретного физического значения в смысле отражения ею какого-либо измеримого свойства.

Затем благодаря установлению однозначной, количественной характеристики места элемента в системе и самого элемента, можно было проверить, *на свои ли места попадают элементы* в периодической системе. Оказалось, что порядок, установленный Менделеевым, в частности, помещение более тяжёлого кобальта перед более лёгким никелем, соответствует порядковым номерам этих элементов:  $Co=27$ ,  $Ni=28$ .

Тем самым было оправдано отступление Менделеева от расположения элементов строго в порядке возрастания атомных весов. Менделеев, не зная ещё ничего о порядковых номерах элементов, расположил элементы именно в том последовательном порядке, который обнаружил Мозели шесть лет спустя после смерти Менделеева. Иначе не могло бы и быть, поскольку Менделеев фактически исходил при этом из признака места элемента в периодической системе.

Экспериментально измеримый характер числа  $N$  позволял по-новому поставить вопрос об эмпирическом определении элемента, существенно отличном от устарелого эмпирико-аналитического определения Лавуазье. Поскольку число  $N$  было непосредственно связано с основным признаком теоретико-синтетического определения (местом

в системе), постольку построенное на его основе эмпирическое определение элемента носило бы не узко-аналитический, но также синтетический характер.

Всё это придавало исключительное значение открытию Мозели.

### § 50. Понятие ядерного заряда

К 1913 г. понятие о заряде ядра было уже настолько подготовлено радиологией, что нужен был только один последний толчок, чтобы оно окончательно могло оформиться. Таким толчком было открытие Мозели.

Как только было выведено число  $N$  и составлено о нём первое понятие, Мозели, а также ван-дэн-Брук и Бор, в том же 1913 г. стали искать более глубокий физический смысл этого числа. Мозели указывал, что из его открытия с большой вероятностью вытекает, что у каждого элемента имеется фундаментальное физическое свойство, закономерно изменяющееся при переходе от одного элемента к другому в порядке расположения их мест в системе Менделеева. Поиски этого свойства вели к положительному заряду ядра<sup>1)</sup>.

В связи с этим Мозели указывал, что равномерное увеличение числа  $N$  является доказательством «того факта, что в атоме существует некоторая основная величина, которая одинаковыми порциями возрастает при переходе от одного элемента к следующему. Такой величиной может быть только заряд центрального положительного ядра...». Далее Мозели высказывал предположение, что «химические свойства управляются зарядом ядра или атомным номером элемента, в то время как атомный вес сам, по всей вероятности, представляет собой лишь какую-нибудь сложную функцию от атомного номера»<sup>2)</sup>.

Эту мысль поддержал Резерфорд. Он согласился с мнением Мозели, что изменение длины волны характеристических рентгеновских лучей у элементов «можно легко объяснить, предполагая, что заряд ядра возрастает ровно на единицу при переходе от элемента к элементу»<sup>3)</sup>. Позд-

<sup>1)</sup> В дальнейшем мы будем обозначать этот заряд через  $Z$ .

<sup>2)</sup> Phil. Mag., т. 26, 1913, стр. 1024.

<sup>3)</sup> Э. Резерфорд, Строение атома и искусственное разложение элементов, 1923, стр. 25

нее Резерфорд указывал, что значение мозелевского открытия «заключается не только в определении числа возможных элементов и положения неизвестных элементов, но также и в доказательстве того, что свойства атомов определяются числом, которое изменяется на единицу при переходе от атома к атому»<sup>1)</sup>).

Ван-ден-Брук высказал ту же по существу мысль, что число единиц заряда ядра, а следовательно, число электронов в оболочке атома, должно быть равно номеру места, занимаемого элементом в периодической системе. Эту же мысль использовал Бор при построении модели атома.

Таким образом, была найдена искомая количественная характеристика для обеих сторон структуры атома — для числа электронов в оболочке и для величины положительного заряда ядра.

Спустя семь лет, в 1920 г., Чадвик путём прямых экспериментов измерил величину заряда ядра  $Z$  и доказал, что заряд  $Z$  численно равен порядковому номеру  $N$ . Резюмируя своё исследование, Чадвик писал: «Таким образом, при изучении со всех точек зрения области, расположенной на расстоянии от  $3 \cdot 10^{-12}$  см до  $10^{-10}$  см от ядра тяжёлого атома вроде платины, заряд ядра оказывается равным атомному номеру...»<sup>2)</sup>).

В итоге всего этого отвлечённое понятие порядкового номера получило весьма ясную физическую интерпретацию, поскольку было установлено его равенство заряду ядра  $Z$ .

Позднее Бор оценил это открытие как одно из важнейших в физике атома. Положение ван-ден-Брука, — говорил он, — «является программой, к которой должно сводиться объяснение физических и химических свойств элементов, — мы должны исходить из атомной модели, опирающейся на это число, так называемый «атомный номер»<sup>3)</sup>).

<sup>1)</sup> Э. Резерфорд, Строение атома и искусственное разложение элементов, 1923, стр. 85.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 126.

<sup>3)</sup> Нильс Бор, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 31.

## § 51. Дальнейшее расширение принципа ассоциации

В основе открытий величин  $N$  и  $Z$  лежал общий принцип, аналогичный сформулированному выше принципу ассоциации.

Руководящим началом в открытиях Мозели, ван-ден-Брука и Бора служило то же самое понятие места элемента в системе Менделеева, какое лежало в основе условного определения Томсона и томсоновской модели. Отличие состояло только в том, что Томсон учитывал признак места в системе со стороны тех связей и отношений элементов, которые касались периодически изменяющихся свойств атомов, следовательно, наружного слоя атомной оболочки (которые образуют валентные электроны). Напротив, Мозели учитывал признак места системы со стороны тех связей и отношений элементов, которые касались монотонно изменяющихся свойств атомов, следовательно, более глубоких электронных слоёв и самого атомного ядра. Но в обоих случаях речь шла об одном и том же: отправляясь от понятия места в системе, с его помощью отыскивать новые физические отношения и свойства атомов.

Обратно, при помощи открытия новых свойств и отношений атомов конкретизировалось исходное понятие места в системе, а тем самым получал более глубокое объяснение сам периодический закон. Следовательно, в данном случае, как и раньше, наблюдалась требуемая принципом ассоциации обоюдность влияний между периодическим законом и физическими представлениями о строении и свойствах атомов. В связи с этим сошлёмся на общую оценку, данную Резерфордом открытию Мозели: «Это даёт новый метод изучения периодической системы элементов, ибо атомное число или равный ему нуклеарный заряд обладает большей важностью, нежели атомный вес»<sup>1)</sup>. То же самое писал и Бор по поводу гипотезы, что номер  $N$  равен заряду  $Z$ : «Эта гипотеза... открывает возможность простого объяснения периодической системы»<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Э. Резерфорд, Строение атома и искусственное разложение элементов, 1923, стр. 85.

<sup>2)</sup> Н. Бор, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 18.



В самом деле, рассмотренные в предыдущем параграфе открытия являются таким же развитием менделеевского определения элемента, идущим по линии раскрытия свойств ядра, каким по отношению к тому же менделеевскому определению были условные определения Томсона и Резерфорда, идущие по линии раскрытия конфигурации электронной оболочки, или условное определение Содди, идущее по линии раскрытия радиоактивных отношений элементов.

В своей экспериментальной части открытие Мозели состояло в том, что месту элемента в системе был приписан физически измеримый однозначный количественный признак  $N$ . В своей теоретической части открытие Мозели состояло в том, что этому измеримому признаку  $N$  была дана физическая интерпретация. В связи с этим место в системе получило более глубокую характеристику не только через величину  $N$ , но и через величину  $Z$ , равную  $N$ . Наконец, благодаря открытию Чадвика величина  $Z$  перешла из области чисто теоретических представлений в круг непосредственно измеримых величин.

Последующее развитие состояло в том, что признак  $Z$  признается равным числу положительно заряженных нуклонов (протонов) в ядре. Эти представления заложены в работах советских физиков-теоретиков (работы Иваненко и Гапона, 1932 г.) и экспериментаторов (работы А. П. Жданова, 1942—1945 гг.), чьи открытия рассматриваются в последней главе нашей книги.

Резюмируя сказанное, можно представить второе направление в развитии признака места элемента в системе по этапам:

- 1) Введено понятие места в системе (Менделеев, 1869—1871).
- 2) Место обозначено номером  $N$  (Мозели, 1913).
- 3) Номер места приравнен заряду  $Z$ :  $N = Z$  (Ван-ден-Брук, 1913).
- 4) Измерен заряд ядра  $Z$ ; показано, что  $Z = N$  (Чадвик, 1920).
- 5) Теоретически найдено, что  $Z$  равен числу протонов (Иваненко и Гапон, 1932).

6) То же найдено экспериментально (Жданов, 1942).

Это показывает, что принцип ассоциации между физической характеристикой атома и его местом в системе Менделеева в этих открытиях получил дальнейшее расширение.

## § 52. Итоги крушения старого понятия элемента

В связи с рассмотренными выше открытиями подведём первые итоги крушения старого понятия элемента.

Открытия, сделанные за 45 лет (1869—1913) в области науки о веществе привели к полному и коренному изменению во взглядах на атомы и элементы. На месте старых, метафизических воззрений, выраженных в определении Дальтона, начали формироваться новые, по своему существу, диалектические воззрения. Развитие физики и химии в течение этого времени шло под знаком острой борьбы между старым и новым, между метафизикой и диалектикой, причём с каждым новым научным открытием старое вынуждено было отступать, хотя и не без боя, сдавать одну позицию за другой, хотя и не без упорного сопротивления. Победа нового над старым была одержана не сразу, а последовательными этапами. Каждый такой этап состоял в крушении одной из трёх основных черт старого понятия и возникновении на её месте противоположной черты нового, по сути дела диалектического, понятия элемента.

1) 1869 г.: рухнула идея полной независимости элементов как одна из черт их старого понятия. На её место встала противоположная ей идея органической, закономерной связи между всеми элементами, объединяющая их в одно единое целое (периодическую систему).

2) 1903 г.: рухнула идея абсолютной неизменности атомов и элементов как другая черта их старого понятия. На её место встала противоположная ей идея сложного, изменчивого атома, способного к радиоактивному распаду и превращениям.

3) 1913 г.: рухнула идея абсолютного, абстрактного тождества атомов отдельного элемента как последняя черта старого понятия элемента. На её место встала противоположная ей идея единства тождества и различия атомов,

признающая их химическое тождество при различии в атомных весах и радиоактивных свойствах.

Но можно ли считать, что тем самым старый, метафизический подход к атомам и элементам окончательно был вытеснен из науки и заменён новым, диалектическим подходом? Нет, старые взгляды уступили место новым не везде и не целиком, а только там, где новые открытия заставляли учёных стихийно, иногда против воли, признавать объективную диалектику природы. Поскольку процесс вытеснения старого новым, метафизики диалектикой происходил стихийно, он не мог быть достаточно последовательным. Очень часто вместо искоренения метафизики наблюдалось приспособление новых открытий к старым воззрениям; нередко делались прямые попытки истолковать новые, по существу диалектические открытия в духе старой метафизики.

Так, например, тот факт, что скорость и направление радиоактивного распада нельзя было искусственно изменять, начал истолковываться в том смысле, что свойства атомов вечны и неизменны; сама изменчивость элементов была возведена в ранг их абсолютно-неизменных признаков<sup>1)</sup>. Точно так же близкое химическое сходство изотопов было немедленно возведено в ранг их абсолютного химического тождества, внутри которого уже исключались возможности каких-либо различий химического характера. Тем самым делались попытки метафизически ограничить тот революционный переворот во взглядах на атомы и элементы, который с особой силой протекал в течение десятилетия 1903—1913 гг. Переменив немного прицел, метафизика продолжала по существу отстаивать все свои прежние основные положения. Если раньше, в XIX в., она говорила о полной неизменности самих элементов, то теперь она утверждала полную неизменность их свойств, в том числе и радиоактивных. Если в начале XIX в. она заявляла о полной независимости элементов между собой, то теперь она настаивала на том, что независимы между собой не сами элементы, а их разновидности (изотопы). Если даже ещё в начале XX в. она

<sup>1)</sup> См., например, труды II Менделеевского съезда.

отстаивала абсолютное тождество атомов любого *элемента*, то теперь она защищала абсолютное *химическое* тождество атомов любого элемента, и полное тождество атомов (в прежнем смысле) в пределах одного *изотопа*.

Таким образом, метафизика под давлением обстоятельств уступила лишь в части своих прежних взглядов, поскольку они касались самих элементов, но сохранила полностью всю свою аргументацию, перенеся её с элементов как на их свойства, так и на их разновидности. Поэтому крушение старых взглядов на атомы нельзя считать полным и окончательным. Напротив, именно теперь борьба между старым и новым приняла особенно сложные формы и приобрела затяжной, ползучий характер, поскольку старое начало приспособляться к новому и маскироваться под новое. Последовавшие затем научные открытия приводили к тому, что метафизика выбивалась уже из вновь занятых ею позиций. В 1919 г. Резерфордом была свергнута идея абсолютной неизменности радиоактивных свойств элементов и их независимости от внешних воздействий; в 1932 г., благодаря открытию тяжёлого водорода, была свергнута идея абсолютной химической тождественности изотопов; в 1935 г. была свергнута идея полной тождественности атомов любого изотопа благодаря открытию ядерной изомерии советскими физиками (Курчатовым, Мысовским и другими). Но каждый раз, оставляя одну линию обороны в науке, метафизика переходила на заранее подготовленные позиции и занимала новую линию обороны. С необычайной силой эта особенность новых форм борьбы между старым и новым, между метафизикой и диалектикой обнаружилась при попытке дать новое синтетическое определение элемента, в котором были бы обобщены и резюмированы важнейшие открытия физики и химии XX в.

### § 53. Итоги конкретизации признака места элемента в системе Менделеева

В итоге применения принципа ассоциации признак места в системе способствовал установлению новых понятий в области атомной физики и в свою очередь сам обогащался и конкретизировался благодаря тем открытиям,

для которых он служил познавательной, теоретической основой.

В общем виде эту мысль подчеркнул в своей обзорной работе Стьюарт: «...Представление о физической модели атома возникло в тесной связи с химическими изысканиями, приведшими к созданию периодической системы и к открытию взаимоотношений между радиоактивными и простыми элементами»<sup>1)</sup>. Особенности этого поступательного развития науки мы покажем на двух примерах: на характере вновь введённых в науку понятий и на характере признака заряда ядра.

Три выдающихся открытия 1913 г. — закона сдвига, изотопии и порядкового номера — состояли не только в установлении новых фактов, но прежде всего в установлении новых понятий. Факт попадания радиоактивных элементов на одно место системы был уже известен, так же как и факт химического тождества некоторых атомов с различными весами. Открытие же изотопии состояло в том, что, во-первых, эти факты были обобщены, а во-вторых, выражены в новом понятии. В том и другом случаях источником и основой для открытия служила система Менделеева. Говоря об открытии разновидностей у элементов, Астон пишет: «Потребность в имени (точнее в понятии. — *Б. К.*) для таких субстанций была удовлетворена по почину Содди, предложившего назвать их изотопами (*ἰσοζ* — одинаковый, *τόπος* — место), так как они занимают одно и то же место в периодической системе элементов»<sup>2)</sup>.

В понятии изотопов отмечено самое существенное — их одинаковое место в системе, но вовсе не их химическое тождество, поскольку не оно привело к открытию изотопов и не оно составило важнейший признак и существо нового понятия. Химическое тождество само только получило своё разъяснение благодаря представлению об одинаковом месте в системе Менделеева; поэтому оно не могло послужить основой для образования нового понятия и обозначающего его термина. Такой основой послужила менделеевская система. Если мы сопоставим с этой стороны на-

<sup>1)</sup> Альфред В. Стьюарт, Новые идеи в физической и неорганической химии, 1931, стр. 3.

<sup>2)</sup> Ф. Астон, Изотопы, 1923, стр. 6.

званные выше три открытия и рождённые из них три новых понятия, то обнаружим между ними то общее, что их *исходным пунктом* служила именно система Менделеева и признак места в ней элемента. Об этом свидетельствовали сами термины, обозначающие новые понятия: 1) изотоп — *одинаковоместный*; 2) сдвиг — *смещение элемента с места на место*; 3) порядковое число — *номер места* в общем ряду, или порядке, элементов. Все эти понятия произошли из общего представления о месте элемента в системе и восприняли его в качестве своей основы. В этом сказался отмеченный нами уже не раз принцип ассоциации.

Возникнув из общей основы, указанные три открытия в свою очередь вели к единому общему понятию, в котором все они синтетически резюмировались и обобщались. Таким понятием был *заряд ядра*. К нему физики подходили и со стороны данных радиоактивности и со стороны данных рентгеновских спектров. Изменением заряда объяснялся сдвиг элемента. Его тождеством объяснялся изотопический характер атомов и их химическое тождество. Равенством с ним числа электронов в атомной оболочке объяснялось значение порядкового номера, выводимое из анализа рентгеновского спектра. Однако поскольку все эти три понятия выросли из представления о месте элемента в системе, то и понятие заряда ядра через эти три понятия опосредствованно выросло также из представления о месте в периодической системе. Но, вырастая из него, оно в то же время целиком сливалось с ним, поскольку всё, что говорилось о заряде ядра  $Z$ , могло быть полностью применено к понятию места элемента в системе. Понятие заряда  $Z$  стало таким образом физическим и логическим эквивалентом количественной характеристики места элемента в системе, способным представлять это место в любом физическом законе или определении и предложении.

Отсюда, естественно, вытекало, что и в теоретико-синтетическом определении элемента заряд  $Z$  мог дополнить собой, а с формальной точки зрения даже заменить признак места элемента в системе Менделеева и тем самым мог привести к образованию из менделеевского определения нового теоретико-синтетического определения элемента.

Однако, как увидим далее, признак места элемента в системе оказывается значительно шире, чем признак  $Z$ . Второй целиком входит в первый и составляет лишь часть его. Поэтому нельзя думать, что признак  $Z$  мог бы реально, без ущерба для дела заменить собой в менделеевском определении признак места элемента в периодической системе.

## § 54. Возможные пути к новому определению элемента

После того как были открыты в 1913 г. порядковый номер элемента  $N$ , заряд ядра  $Z$ , закон сдвига и явление изотопии, особенно же после того как все эти открытия были частично обобщены в грандиозном теоретическом синтезе, каким явилась боровская теория строения атома, — после всего этого новое теоретико-синтетическое определение элемента стало не только возможно, но и необходимо, как это и предвидел в своё время Менделеев. Ожидавшееся определение было призвано резюмировать собою основные достижения в познании элементов и атомов, которые были достигнуты в XX в.

Для того чтобы построить новое определение, можно было идти двумя различными путями.

Первый путь состоял в *полном отказе от принципиальной, методологической основы старого определения* элемента, в полном преодолении его ограниченного, формального подхода к элементу, как к чему-то только *единичному*. На место старого подхода к элементу должен был встать существенно новый подход, согласно которому единичное, отдельное рассматривается в его неразрывной связи с общим, которым оно охвачено и которому оно подчинено. Этот подход следовало провести последовательно как в части теоретической трактовки элемента, так и в части эмпирического обоснования этой трактовки. Подобно тому как у Дальтона два определения единичности, — его собственное теоретическое определение и эмпирическое определение Лавуазье, вполне соответствовали друг другу, так и теперь необходимо было дать синтетическое определение, две части которого — теоретическое и эмпирическое — также соответствовали бы друг другу и взаимно дополняли и подкрепляли одно другое, как это в своё



время наблюдалось для определений Дальтона и Лавуазье. Необходимым условием для достижения такого согласия между обоими новыми определениями было требование их однотичности, однородности по их внутренней природе. Оба они должны были исходить из таких признаков элемента (отражаемых лишь различным способом — теоретическим и эмпирическим), которые были бы связаны с моментом всеобщего в понятии элемента, т. е. с лежащим в его основе периодическим законом Менделеева. В таком случае признаком элемента в теоретическом определении могло служить физически интерпретированное указание на место элемента в системе Менделеева (заряд  $Z$ ), а признаком элемента в эмпирическом определении — прямые результаты экспериментальных наблюдений, связанные с местом элемента в системе, а также совокупность всех экспериментальных данных, подтверждающих справедливость периодического закона. Ведь если ещё в 1889 г. Менделеев подчёркивал, что периодический закон опирается «на твёрдую, и здоровую почву опытных исследований»<sup>1)</sup>, то в XX в. эта почва стала несравненно более прочной, а потому позволяла со значительно большим успехом строить синтетическое определение элемента, нежели это было возможно в конце XIX в. Однако химики и физики этим путём не пошли.

Второй путь состоял в попытке хотя бы частично *сохранить в принципе основу старого метафизического подхода* к элементу, в попытке рассматривать элемент в какой-то степени только как нечто единичное, вне его связи со всеобщим. Полностью удержать этот старый подход стало уже абсолютно невозможно в силу того, что новые открытия в корне опрокидывали его метафизическую ограниченность и его формализм. Волей-неволей приходилось ассимилировать и включать в понятие элемента результаты и обобщения новых открытий. Поэтому для идейных сторонников старого подхода к элементу речь могла идти только об известном *приспособлении старого подхода к новым открытиям, об известном примирении между ними, о попытке их срастить друг с другом, согласовать метафизику с диалектикой*. Так например, можно было попы-

<sup>1)</sup> Д. И. Менделеев, Избр. соч., т. II, 1934, стр. 356.



таться «согласовать» принцип формальной, абстрактной единичности с принципом конкретного единства единичного и всеобщего; сделать это можно было следующим образом: теоретическое определение элемента построить как синтетическое, учитывающее в элементе момент всеобщего, а эмпирическое определение, напротив, построить как чисто аналитическое, учитывающее в элементе момент изолированной единичности. Дав два таких внутренне разнородных и несовместимых по существу определения, можно было затем попытаться искусственно «связать» теоретико-синтетическое определение с эмпирико-аналитическим и тем самым «обосновать» первое вторым, доказать их мнимое единство. Короче говоря, в определениях Дальтона и Лавуазье мы наблюдали соответствие, выражаемое формулой: *единичное — единичное*; идя по первому пути, мы искали бы новое соответствие, выражаемое формулой: *общее — общее*; идя же по второму пути, мы подвели бы под понятие элемента разнородную основу, эклектически сложенную из двух взаимно противоречащих друг другу принципов: *единичное — общее*<sup>1)</sup>. Добиться подлинного соответствия между ними (а не кажущегося, вуалирующего истинное положение) невозможно. Поэтому второй путь оказывается внутренне несостоятельным, чреватым противоречиями и тупиками.

### § 55. Выбор конкретного пути химиками

Исторически и логически признак ядерного заряда возник в процессе конкретизации признака места элемента в системе. Это место было сначала занумеровано, затем его порядковый номер  $N$  получил физическую интерпретацию в виде заряда  $Z$ . С другой стороны, была установлена способность атомов менять своё место в системе (благодаря  $\alpha$ - или  $\beta$ -распаду), причём перемена места («сдвиг») опять-таки получила физическую интерпретацию через изменение заряда  $Z$ . Наконец, попадание различных по весу

<sup>1)</sup> Здесь под *единичным* понимается метафизический подход, отрывающий единичное (элемент) от общего (периодический закон), игнорирующий это общее, а под *общим* понимается диалектический по существу подход, рассматривающий общее (периодический закон) в его внутренней связи и единстве с единичным (элементом).

атомов на одно и то же место в системе (явление изотопии) было физически интерпретировано с помощью того же понятия заряда  $Z$ , а именно, путём установления равенства  $Z$  у всех изотопических атомов данного элемента. Отсюда, казалось бы, новое определение элемента должно было строиться на основе связывания признака  $Z$  с признаком места в системе. Это был бы первый, свободный от пережитков старого, путь развития понятия элемента.

Однако химики избрали второй путь. Они не только не порвали со старым подходом к элементу, но приложили все усилия к тому, чтобы сохранить его в неприкосновенности и использовать в качестве отправного при построении нового определения элемента. Основным признаком старого эмпирико-аналитического определения Лавуазье было признание неразложённости, или неразложимости, вещества. Именно этот явно устаревший признак химики попытались положить в основу своего нового определения элемента. Типичным примером в этом отношении может служить Панет.

Панет, конечно, понимал, что сохранить старый аналитический признак в его прежнем виде невозможно. «Мы не можем больше основывать понятие элемента на полной неразложимости»<sup>1)</sup>, — писал позднее Панет. Но *основу* этого признака спасти казалось возможно. В этих целях Панет предлагает говорить не о *полной* неразложимости вещества, но лишь о его *химической* неразложимости. В 1916 г., когда Панет впервые дал новое определение элемента, изотопы считались абсолютно неразделимыми химическим путём. Значение понятия «изотоп» Панет видит прежде всего не в том, что оно указывает на связь нового явления с признаком места в системе, а в том, что оно смогло «замечательно разъяснить факт абсолютного химического тождества изотопов»<sup>2)</sup>. Отсюда «с химической точки зрения» Панет выводит своё эмпирико-аналитическое определение: «Элементы суть вещества, которые при всех *химических* реакциях остаются неизменными»<sup>3)</sup>. Это опре-

<sup>1)</sup> Handbuch der Physik, т. XXII, 1926, стр. 532.

<sup>2)</sup> Zeit. phys. Chemie, т. 91, 1916, стр. 176.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 180—181.

деление Панет называет практическим, а иногда химико-аналитическим.

В таком подновлённом виде старый признак элемента сохраняется Панетом и включается в арсенал новых представлений. Здесь он становится сильнейшей помехой для развития новых научных понятий, источником вопиющих логических противоречий и путаницы.

### § 56. Соотношение старого и нового в понятии элемента у Панета

Своё другое, действительно новое определение Панет строит на теории атомной структуры; поэтому он называет его теоретическим или физико-теоретическим. Он пишет: «С точки зрения Резерфорд-Боровской атомной модели такое теоретическое определение гласит следующее: *элемент есть вещество, все атомы которого имеют одинаковый ядерный заряд*»<sup>1)</sup>.

Но весь вопрос в том, *каким образом доказывает Панет*, что равенство заряда ядра действительно служит определяющим признаком элемента. Если бы Панет шёл первым путём, освободившись полностью от пережитков старого, то решающим аргументом для него служило бы то обстоятельство, что признак  $Z$  указывает *место элемента в системе Менделеева*. Но так как Панет избрал второй путь, то решающим моментом для него становится оправдание *нового признака  $Z$  с помощью старого признака неразложимости вещества*, установление между тем и другим признаком внутреннего согласия. Достигает этого Панет двойко.

Сначала он выводит из равенства  $Z$  химическое тождество изотопов, показывая, что химическая неразложимость есть следствие равенства заряда  $Z$  у атомов: «На основании физико-теоретического рассмотрения, — пишет Панет, — можно затем показать, что из одинакового ядерного заряда следует тождество химических свойств, и следовательно, химическая неразложимость ... и тождество спектров...»<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Zeit, phys. Chemie, т. 91, 1916, стр. 194.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 194.

После того как было показано, что из равенства заряда следует химическое тождество изотопов, Панет доказывает и обратную зависимость; из химической неразложимости изотопов он выводит их химическое тождество, а из этого последнего выводит равенство заряда  $Z$ . Для этого он сначала даёт химиико-аналитическое определение: «Элемент есть вещество, которое нельзя разложить на простые вещества никакими химическими способами... Атомы суть такие кирпичики материи, до которых может доходить химическое разделение, но которые сами при всех химических реакциях остаются неизменными» <sup>1)</sup>.

Далее, из этих эмпирико-аналитических определений Панет непосредственно выводит своё теоретическое определение. «Из обоих определённых таким образом понятий, — пишет он, — делаются следующие выводы, согласно современным воззрениям: ...Для каждого элемента характерна... величина ядерного заряда» <sup>2)</sup>.

Таким образом, в конечном счёте Панет пришёл к выводу, что из самого по себе факта химической неразделимости смеси изотопов *вытекает* тот факт, что значение заряда  $Z$  можно рассматривать как характерный признак элемента. Следовательно, этот новый признак оказался у Панета органически связанным не с его действительной исторической и логической основой — с местом элемента в системе Менделеева, но исключительно с признаком химической неразделимости изотопов. Как мы уже видели и как ещё увидим далее, место в системе играло всё время роль необходимого фундамента нового понятия элемента, в то время как химическая неразделимость явилась *случайным* признаком, временно совпавшим с понятием элемента, но утратившим вскоре свою адекватность с ним. Тем самым Панет низвёл своё определение на уровень случайности, приняв случайность за существенно необходимый признак элемента. В итоге новое было смешано со старым и истолковано так, будто оно вполне согласуется со старым, оправдывает старое и в свою очередь пользуется полной поддержкой старого.

<sup>1)</sup> Zeit. phys. Chemie, т. 91, 1916, стр. 188.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 198.

## § 57. Два определения элемента, данные Панетом

У Панета мы встречаем два определения элемента: предварительное и окончательное.

В своей первой статье 1916 г. Панет дал более *развёрнутое определение элемента*. Оно гласило: «Для каждого элемента характерны его химические и электрохимические свойства, его оптический и рентгеновский спектр и величина ядерного заряда»<sup>1)</sup>).

Назовём это определение Панета предварительным.

Хотя оно и не указывает никакой связи между зарядом  $Z$  и местом элемента в системе, тем не менее заключает возможность установления такой связи, поскольку признаёт рентгеновский спектр за характерный признак элемента. Отсюда легко (следуя по стопам Мозели) перейти к представлению о порядковом номере элемента и далее к представлению о самом месте в менделеевской системе, носящем этот номер.

Дальнейшая эволюция предварительного определения Панета пошла не по пути отыскания его необходимой связи с определением Менделеева, а, напротив, по пути дальнейшего стирания всякого остатка этой связи и ликвидации возможности её восстановить. Объясняется это тем, что Панет искал формально-логическое определение, а последнее требует установления только таких признаков предмета, которые необходимы и достаточны, чтобы отделить определяемый предмет от остальных. Поэтому Панет идёт не по пути обогащения и расширения своего определения, а, напротив, по пути его максимального обеднения и формализации. В соответствии с этим из своего предварительного определения он устраняет ссылки на все признаки элемента кроме одного — заряда ядра. В итоге всего этого в 1918 г. получилось с формальной стороны более строгое определение, которое гласило: «Элемент есть вещество, все атомы которого имеют одинаковый заряд ядра»<sup>2)</sup>).

Назовём это определение Панета окончательным или панетовским. Однако это определение, будучи более строгим

<sup>1)</sup> Zeit. phys. Chemie, т. 91, 1916, стр. 198.

<sup>2)</sup> Die Naturwissenschaften, 1918, стр. 647. См. также Zeit. phys. Chemie, т. 93, 1918, стр. 86.

в формально-логическом смысле, чем предыдущее, по существу не является более точным, как это полагают, например, В. И. Спицын и Н. И. Флеров<sup>1)</sup>. Напротив, для Панета за формальной чёткостью и краткостью в нём затушевывается то, что является самым существенным для подлинно научного определения, а именно, связь с лежащим в его основе общим законом, в данном случае периодическим законом Менделеева. Поэтому считать окончательное панетовское определение более точным и верным мы никак не можем.

### § 58. Позиция других учёных

Как было сказано выше, одна часть химиков и физиков присоединилась к Панету, другая — выступила против него. К числу последних принадлежал Фаянс, который считал, что элементом надо называть не прежние элементы, а отдельные изотопы. Тем не менее, как сторонники Панета, так и его противники не заметили действительной порочности его определения. Они не поняли, что Панет построил своё определение на двух разных устоях, вследствие чего оно оказалось внутренне несостоятельным, а потому ненадёжным и недолговечным. Со временем логическая противоречивость его основных посылок должна была неизбежно выступить наружу и привести это определение к крушению.

В полном согласии с панетовским определением и его обоснованием, данным автором, Зоммерфельд писал позднее (1922): «Изотопические элементы не могут быть отделены друг от друга никакими химическими способами...»<sup>2)</sup>. И далее: «Общее заключение относительно расположения электронов вокруг ядра можно извлечь из опытов над изотопными элементами. *Два изотопных элемента не могут быть химически отделены друг от друга...* — следовательно, они имеют одинаковое строение на периферии... Итак, всё строение атома однозначно определяется зарядом ядра»<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> См. Успехи химии, т. VI, 1937, вып. 12, стр. 1716.

<sup>2)</sup> А. Зоммерфельд, Строение атома и спектры, 1926, стр. 102.

<sup>3)</sup> Там же, стр. 123.

Здесь устанавливается, в духе Панета и вообще в духе тогдашних представлений об атоме, связь между 1) зарядом ядра  $Z$ , 2) электронной оболочкой атома, зависящей исключительно от заряда  $Z$  и 3) химической тождественностью изотопов, обусловленной этой оболочкой. Опираясь на эту связь, химики могли идти от равенства  $Z$  к химическому тождеству и химической неразделимости изотопов или наоборот: от их химической неразделимости к признанию равенства у них заряда  $Z$ . Зависимость получалась обоюдная.

С этим соглашался по существу и противник Панета — Фаянс. В 1920 г. он писал: «В периодической системе, очевидно, имеется лишь столько мест, сколько существует элементов, которые можно отделить химическими или физико-химическими методами от всех других элементов. Поэтому таким элементам, которые химически неразделимы, мы должны указать общее место в периодической системе»<sup>1)</sup>. Фаянс повторяет здесь аргументацию Панета, поскольку считает, что *потому* только изотопы должны попадать на одно и то же место в системе Менделеева, что они являются химически неразделимыми. Иными словами, Фаянс в качестве отправной посылки избирает тот же *аналитический* признак, что и Панет; только Панет применяет этот признак для ссылки на одинаковость заряда  $Z$ , а Фаянс — для ссылки на одинаковость места в системе Менделеева.

### § 59. Коренной недостаток в обосновании определения Панета

Коренным недостатком определения Панета является отсутствие у него логически последовательной, однородной основы. Как было сказано, это определение покоится на двух совершенно разнородных основах; с одной стороны, на главном признаке старого, эмпирико-аналитического определения — *неразложимости вещества*, с другой стороны, на признаке заряда  $Z$ , который необходимым образом связан с главным признаком нового, теоретико-синтетического определения — *местом элемента в системе Менделеева*.

<sup>1)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность, 1922, стр. 38.

Никакого внутреннего единства между обеими сторонами или частями определения Панета не было и быть не могло. Сочетание воедино обеих его основ было чисто случайным, внешним. Строить научное определение на таких разнородных основах было нельзя, ибо каждая из этих основ имела свой особый путь развития, несовпадающий с развитием другой половины определения Панета. В силу этой неоднородности рано или поздно определение Панета должно было буквально растрескаться, подобно механически скреплённому конгломерату.

Почему же, несмотря на это, определение Панета всё же было выдвинуто и почему его коренной недостаток оказался незамеченным? По нашему мнению, никто из химиков, в том числе и спорящие стороны в лице Панета и Фаянса, не предполагали, что речь идёт о каком-то *методологически* новом определении элемента. Всем казалось, что в XX в. можно целиком сохранить общую логическую структуру и познавательную основу старых определений Лавуазье и Дальтона, заменив только прежние признаки, входившие в эти определения, какими-то новыми признаками. Так, казалось, что определение Лавуазье можно сохранить в XX в. при условии, что вместо признака «полная неразложимость» поставить уточнённый признак «химическая неразложимость». Определение Дальтона можно было сохранить полностью, если только вместо прежнего определяющего признака «атомный вес» поставить признак «заряд ядра». Другими словами, химики действовали по принципу «новое вино в старые меха» — новое содержание понятий в старую логическую форму. *О том, что могла устареть сама логическая форма, сама структура старого понятия элемента и его определений, об этом у химиков не было и мысли.* Им казалось, что если раньше в определениях элемента указывались какие-то единичные проявления элемента в качестве его определяющих признаков (неразложимость; атомный вес, оптический спектр), так и теперь попрежнему в определении элемента нужно указывать хотя и другие, но носящие по их мнению характер такой же единичности признаки (химическая неразложимость, заряд ядра, рентгеновский спектр). Словом, химики фактически стояли на той позиции, что опре-



деление элемента как было, так и осталось определением единичности. С этой позиции нельзя было, во-первых, разглядеть то действительно новое, что вошло в науку об элементах после открытия Менделеева и особенно после революции в физике XX в., а во-вторых, нельзя было обнаружить действительной противоречивости и несогласованности в составных частях панетовского определения, в его эмпирической и теоретической части, нельзя было обнаружить несовместимости нового и старого, диалектики и метафизики в этом определении.

### § 60. Двусторонний характер нового определяющего признака элемента

Признак заряда  $Z$  характеризуется в действительности тем, что оба противоположных момента — момент единичности и всеобщности — в нём представлены в их единстве.

Оценка химиками признака *химической неразложимости* (хотя и неосознанная и не сформулированная логически) была сделана правильно в том смысле, что это действительно был признак единичности, по существу совпадающий с признаком, входившим в определение Лавуазье. Когда мы говорим: это вещество неразложимо вообще или неразложимо химически, мы констатируем существование определённого отношения данного единичного вещества к аналитическим, экспериментальным средствам, коими мы располагаем в данный момент. Вещество, неразложимое вчера, сегодня оказалось разложенным. Утрата прежнего единичного признака не влекла за собой ничего, кроме того, что мы переставали относить данное вещество к особой группе некоторых, а именно неразложенных веществ.

Совершенно иной характер носит признак  $Z$ . Утратить его элемент вообще не может. Элемент может изменить его значение, но это вызовет коренное изменение в самом объекте, его качественное изменение, выражаемое как сдвиг элемента по системе Менделеева. Обусловлено это тем, что на самом деле признак  $Z$  не есть просто признак абстрактной единичности, каким служил атомный вес в определении Дальтона (до периодического закона). Признак  $Z$ , являясь физической интерпретацией номера

места элемента в системе, есть, кроме того (и это — главное), признак, указывающий на неразрывную связь между отдельным (элементом) и общим (периодическим законом). Это — такой признак отдельного элемента, который свидетельствует о том, что отдельное существует не иначе, как в той связи, которая ведёт к общему.

Поэтому, когда мы говорим, например: «атом хлора имеет заряд  $Z$ , равный 17», то хотя на первый взгляд мы называем значение свойства у *одного* атома, но в действительности мы немедленно же выходим за рамки этого одного атома и вообще за рамки данного единичного элемента (хлора) и поднимаемся мыслью на такую ступень познания, где через это свойство  $Z$  — отдельное (элемент) связано с общим (периодической системой). Ибо, *сознают это химики или не сознают, заряд ядра есть прежде всего физически овеществлённая интерпретация и индексикация места элемента в системе Менделеева*. Если так, то роль заряда  $Z$  в определении элемента не может быть понята и познана вне связи с общим периодическим законом. В самом деле, если мы, характеризуя определяемый объект численным значением какого-либо его свойства, называем просто отдельное число, например 17, то это отдельно названное нами число не говорит ещё о существовании какой-либо связи данного объекта с другими объектами или их общим законом. Но если мы, в качестве характеристики, назвали *порядковое* число, например, 17, то уже одно это предполагает, во-первых, существование какого-то закономерного ряда, в котором определяемый объект занимает своё определённое (17-е) место, а во-вторых, наличие определённого взаимоотношения с другими такими же объектами, образующими собой тот же ряд. Таким именно единичным свойством, отражающим в себе подчинённость отдельного (элемента) общему (закону или порядку элементов, выраженному системой Менделеева), и является заряд ядра  $Z$ .

## § 61. Непонимание связи между отдельным и общим

Действительная связь между отдельным и общим, заключённая в признаке заряда ядра  $Z$ , осталась вне поля зрения химиков. Её и позднее не обнаружили ни сам Панет, ни его последователи, ни его противники.

Как это ни странно, но сам Панет так и не заметил основной особенности своего собственного определения. Не заметил и тогда, когда впервые выводил это определение, и позднее, когда старался оправдать и обосновать его логически. Во всех случаях, когда Панету приходилось излагать своё определение, он непременно связывал его не с общим, не с периодической системой Менделеева, но исключительно с единичным, с признаком химической неразложимости. Даже будучи рассмотрено в специальной статье, посвящённой «Естественной системе химических элементов», определение элемента связывается у Панета не с этой системой, а всё с тем же эмпирико-аналитическим признаком химической неразложимости<sup>1)</sup>. Причина игнорирования связи с периодической системой здесь, как и раньше, объясняется тем, что Панет видит в заряде ядра только признак абстрактной *единичности*, а потому не считает необходимым и даже полезным проследивать его связь с *общей* системой. Напротив, он стремится целиком основать его на признаке химической неразложимости с тем, чтобы из этого эмпирически наблюдаённого единичного признака вывести (в порядке теоретического обобщения) другой столь же по его мнению единичный признак — заряд  $Z$ .

Другие химики начала XX в. были также очень далеки от мысли, что в современном определении элемента отдельное (признаки элемента) должно быть дано в единстве с общим (с периодической системой) и что формой такого единства должно служить указание места данного отдельного в данном общем. Насколько чужда была химикам такая постановка вопроса, показывает следующий факт. Выступая против Панета, Фаянс настаивал на том, чтобы принимать за элементы отдельные изотопы. Но тогда, как он сам указывает, теряло свою силу положение, что нужно «считать число элементов тождественным с числом мест в периодической системе...»<sup>2)</sup>. Несмотря на это, Фаянс настаивал на дословном сохранении определения Лавуазье, полагая, что полный разрыв между новым понятием

<sup>1)</sup> См. Handbuch der Physik, т. XXII, изд. 2, 1933, стр. 439 (§ 11 — Определение химического элемента).

<sup>2)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность, 1922, стр. 91.

элемента и периодической системой имеет неизмеримо меньшее значение, чем утрата возможности дословно пользоваться давно уже устаревшим определением Лавуазье. Более того, Фаянс считал, что лучше допустить разрыв всякой связи между понятием элемента и периодической системой, чем хотя бы немного подновить определение Лавуазье, введя в него (как это сделал Панет) ограничение «химический». Фаянс полагал, что, несмотря на утрату связи с системой Менделеева, выигрыш в познавательном отношении будет огромный, ибо старое понятие элемента сохранится тогда полностью. «...Не следует заключать, — писал он, — что понятие элемента испытает существенное преобразование, если рассматривать изотопы, как различные элементы»<sup>1)</sup>.

Таким образом, непонимание диалектического характера связи между отдельным и общим, заключённой в исходном менделеевском определении и в его позднее развитие варианте (определении элемента через признак  $Z$ ), вело к тому, с одной стороны, что Панет и его сторонники пытались признак  $Z$ , указывающий на эту связь, истолковать как признак абстрактной единичности, тем самым обедняя его и выхолацивая из него его подлинное содержание. Истолкованный в этом духе признак  $Z$  они пытались затем обосновать путём установления искусственной связи между ним и признаком действительной абстрактной единичности — химической неразложимостью. С другой стороны, противники Панета — Фаянс, Реми и другие — шли ещё дальше, изгоняя из определения элемента даже такие признаки, которые хотя бы скрыто могли помочь установить связь между понятием элемента и системой Менделеева. Они ратовали за сугубо эмпирическое, аналитическое определение Лавуазье и в принципе выступали против нового синтетического определения. Короче говоря, если у Панета новое допускалось так или иначе в определении элемента, хотя и с оговорками, то у Фаянса новому совершенно не находилось места в определении элемента. Свою цель Фаянс видел в том, чтобы вообще не дать пошатнуться старому определению Лавуазье. Как выразился

<sup>1)</sup> К. Фаянс, Радиоактивность, 1922, стр. 91.

однажды сам Фаянс, «следует стараться, по возможности, меньше изменять современное понятие элемента (имеется в виду определение Лавуазье. — *В. К.*). Поэтому необходимо здесь остановиться на вопросе, которое из двух представлений меньше колеблет старое понятие элемента»<sup>1)</sup>. Разумеется, старое будет поколеблено тем меньше, чем меньше нового будет в него включено. По этому пути и шёл Фаянс.

## § 62. Источник противоречивости в определении элемента

Итак, в понятии элемента одни химики (Панет) старались примирить новое со старым, другие химики (Фаянс) пытались сохранить только одно старое, для чего предлагали исключить из понятия элемента не только то новое, что принёс XX в., но даже то, что принесло с собой открытие периодического закона Менделеевым. Разумеется, шла речь не о том, чтобы игнорировать новые открытия вообще, или вообще примирить их со старыми опровергнутыми данными, а о том, как выразить всё это в понятиях. Оказалось, что такие прогрессивные в области специального исследования учёные, какими были Панет и Фаянс, в вопросе о том, как логически резюмировать в понятиях результаты достижений их науки, оказались не на прогрессивных, а на реакционных позициях. Объясняется это тем, что ни тот, ни другой не владели диалектической логикой, а Панет к тому же разделял идеалистическую точку зрения на химические элементы, которая далее будет подвергнута критике особо. Фаянс и Панет не понимали, что если учёный в области самой науки фактически отстаивает прогрессивные положения, то для того, чтобы быть последовательным, он должен выражать отстаиваемые им взгляды и положения при помощи новых понятий, адекватных содержанию новых открытий. На деле же получилось обратное: содержание новых открытий Панет насильно втискивал в старые логические формы; возможность осуществить такое втискивание он рассмат-

<sup>1)</sup> К. Фаянс, Радиоактивность, 1922, стр. 90.

ривал как крупное достижение логической мысли. Фаянс же пытался отразить богатейшее содержание новых открытий целиком при помощи старого понятия, причём отразить так, чтобы само старое понятие было по возможности меньше поколеблено и изменено.

Всё это означает, что, будучи принуждены стихийно признавать объективную диалектику природы, в области метода своего мышления оба учёные по сути дела остались на позициях старой метафизики. Признавая текучесть и изменчивость форм бытия, они игнорировали текучесть и изменчивость форм мышления, стремились оперировать застывшими, неподвижными понятиями, отрицали закономерность появления нового в области понятий (Фаянс) или же отрицали самостоятельность этого нового, возможность и необходимость вытеснения старого новым в области понятий (Панет).

Здесь сказалось то, о чём писал Ленин: «...Если *все* развивается, то относится-ли сие к самым общим *понятиям* и *категориям* мышления? Если нет, значит, мышление не связано с бытием. Если да, значит есть диалектика понятий и диалектика познания, имеющая объективное значение»<sup>1)</sup>. Химики фактически придерживались первого решения альтернативы; они игнорировали диалектику понятий, тогда как выход из положения состоял в том, чтобы признать второе решение альтернативы и, отправляясь от него, отразить в новом текучем понятии элемента изменчивость и подвижность самих химических элементов.

Что же получилось в результате игнорирования второго решения альтернативы, указанной Лениным? Получилось то, что в понятии элемента, данном через определение Панета, не говоря уже об определении Лавуазье, на котором настаивал Фаянс, образовалось глубочайшее противоречие.

По существу, в панетовском определении скрыто заключён диалектический момент, указывающий на связь (через признак *Z*) единичного, отдельного с общим.

Формально же Панет изгнал этот момент из своего определения, ибо заряд *Z* он рассматривал как признак аб-

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 239.

страктной единичности, изолированной от всеобщности. Конечно, реально, на деле, а не на словах только, изгнать диалектику из определения Панета было невозможно, ибо вся суть признака  $Z$  состоит в том, что он указывает определённое место элемента в системе Менделеева, а тем самым указывает на связь между отдельным и общим. Указание на такую связь, хотя бы и не сформулированное явно, содержится во всех определениях элемента, в которых фигурируют такие признаки, как заряд  $Z$  или порядковый номер  $N$ . Низведение признака  $Z$  до уровня таких переходящих обстоятельств, как химическая или какая-либо иная неразложимость вещества, есть не что иное, как попытка втиснуть диалектику в рамки метафизики. Это противоречие является частным случаем общего противоречия между диалектическим содержанием новых естественно-научных открытий и метафизическим способом мышления самих естествоиспытателей. В XIX в. это противоречие вскрыл Энгельс. В XX в. дальнейшее обострение этого противоречия, приведшее к кризису физики, проанализировал Ленин. Разрешение этого противоречия, как показали Энгельс и Ленин, может быть достигнуто только путём замены старого метафизического способа мышления новым, диалектическим. При такой замене устраняется опасность того, что в частности в научных понятиях старое будет оттеснять собою новое, тормозить и искажать его развитие.

### § 63. Неокантовская трактовка элементов Панетом

Метафизический подход Панета к определению элемента не является случайностью: он прямо связан с тем фактом, что Панет, как и многие современные буржуазные учёные, стоит на позициях идеалистического мировоззрения. В соответствии с гносеологическими установками неокантовства Панет даёт своему определению философское обоснование, причём самое понятие химического элемента он трактует как нечто трансцендентное. Такому философскому обоснованию своих взглядов на элементы Панет посвятил специальный доклад, который был сделан на юбилейном Менделеевском съезде (1934)

и опубликован в I томе трудов этого съезда (1936)<sup>1</sup>). Этот доклад позволяет глубже понять источник того, почему панетовское определение элемента оказалось столь порочным. Наличие в этом определении двух (как мы видели, несовместимых) частей — химико-эмпирической (признак химической неразложимости) и физико-теоретической (признак ядерного заряда) — Панет пытался оправдать и обосновать с точки зрения принципиального разрыва, якобы существующего между миром чувственно воспринимаемых вещей и трансцендентным миром. К первому, по Панету, относится качественная сторона веществ, в том числе и химических элементов, с которыми имеют дело химики в своих лабораториях; ко второму относятся всякого рода количественные отношения, выражаемые математическими формулами и уравнениями, коими оперируют физики-теоретики. Материалистическую точку зрения, согласно которой мир чувственно осязаемых вещей, наделённых качественным разнообразием, существуют реально, объективно, Панет презрительно третировал как «наивный реализм». Неокантианец Панет считает материалистический взгляд на вещи заблуждением, аналогичным тому, когда принимают мираж за нечто реальное. И он не скрывает, что свою гносеологию он черпает из «трудов» такого отъявленного идеалиста как Э. Гартман. Идеалистические воззрения Э. Гартмана подвергнуты сокрушительной критике в книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», причём как раз в той их части, которую развивает дальше и углубляет поклонник Эдуарда Фон Гартмана — Фриц Панет.

Панет столь же сочувственно цитирует рассуждения другого немецкого идеалиста — Фехнера; Фехнер навывал тот взгляд, который признаёт объективную реальность качественных различий, «дневным взглядом», а противоположную точку зрения, отрицающую объективность качеств, сводящую качественные различия к

<sup>1</sup>) Откровенная проповедь идеализма на съезде советских химиков, посвящённом столетию со дня рождения великого русского химика-материалиста — Д. И. Менделеева, не получила никакого отпора со стороны участников съезда.



количественным отношениям, — «ночным взглядом». В соответствии с этим Панет именует «наивно-реалистический» (читай: материалистический) взгляд химиков на вещество, на атомы и химические элементы — «дневным взглядом», а взгляд физиков-идеалистов, математизирующих представления о строении и свойствах материи, — «ночным взглядом». И хотя сам Панет склонен встать на позиции «ночного взгляда», но он всё же полагает необходимым так или иначе считаться с фактом распространённого среди химиков-материалистов («наивных реалистов», по панетовской терминологии) «дневного взгляда». С этой целью он и строит своё определение элемента из двух частей: одна рассчитана на удовлетворение химиков-материалистов; она отражает признание мира чувственно воспринимаемых качеств; отсюда признак химической неразложимости вещества. Другая рассчитана на физиков-идеалистов; она отражает признание мира трансцендентных величин; отсюда признак заряда ядра, как чисто математической, символической величины.

Так философски с позиций неокантианства «обосновывает» Панет своё внутренне несостоятельное, логически противоречивое определение элемента, в котором он попытался согласовать и примирить старое и новое не только в форме метафизики и диалектики, но и в форме идеализма и материализма. Эту затею следует признать абсолютно безнадежной, ибо невозможно «примирение» ни диалектики с метафизикой, ни материализма с идеализмом. Это — непримиримые антагонисты, антиподы, и всякая попытка втиснуть их эклектически в общее лоно неизбежно должна привести к тому, что образованная искусственно система взорвётся изнутри, обнаружит свою внутреннюю несостоятельность. Так это и произошло с определением Панета. Первая его часть (химическая неразложимость) пришла в вопиющее противоречие со второй его частью (зарядом ядра), а самый признак заряда ядра, который трактовался совершенно ложно как некая «математическая абстракция» (в духе пресловутого «ночного взгляда»), оказался вполне реальным, осязаемым, вещественным свойством атомного

ядра; поэтому включение его в качестве признака элемента в определение элемента прямо соответствовало материалистической, но отнюдь не идеалистической точке зрения.

Рассмотренный пример показывает, какие познавательные тупики и кризисы создаёт на пути развития науки о веществе модная буржуазная философия с её резко выраженной антинаучной реакционной тенденцией. Жертвой этой философии стал Панет, который безнадежно запутал специальный вопрос об определении химического элемента в сетях неокантианства.

---

## ГЛАВА VI

# ЭЛЕКТРОННАЯ ОБОЛОЧКА И ПРИНЦИП АССОЦИАЦИИ

### § 64. Модель атома с одним квантовым числом

Одновременно с тем, как устанавливалась новая характеристика места элемента в системе Менделеева в форме количественного, однозначного его признака ( $N$  или  $Z$ ), шла подготовка к тому, чтобы найти количественную характеристику конфигурации электронной оболочки, для определения места отдельных слоёв и отдельных электронов в ней.

Эта задача была решена не сразу: она решалась по этапам на протяжении 12 лет (1913—1925). Каждый шаг в сторону её решения являлся дальнейшей конкретизацией принципа ассоциации, выдвинутого Томсоном. Помимо периодической системы Менделеева, фактическим материалом, требующим теоретического объяснения, служили при построении атомной модели спектральные данные.

В основу своей работы 1913 г. Бор положил уточнённую динамическую модель Резерфорда, в которой общее число электронов в оболочке нейтрального атома принималось равным  $Z$ . Основная задача Бора состояла в том, чтобы преодолеть противоречие между этой моделью и законами классической электродинамики. С этой целью Бор применил к движению электрона теорию квантов и ввёл понятие о квантованных орбитах.

Согласно известным постулатам Бора электрон может двигаться не по любым, но лишь по особым, квантованным орбитам. Когда он движется по ним, он не теряет своей энергии. Когда же он перескакивает с более отдалённой

от ядра орбиты на более близкую, то он при этом излучает квант лучистой энергии определённой частоты.

Движение электронов, согласно первоначальному предположению Бора, совершается по круговым орбитам. Далее Бор считал, что все орбиты расположены в одной плоскости так, что ядро помещается в их общем центре. Это был тот математически простейший случай, с которого начинал и Томсон.

Наконец, Бор допускал, что на одной орбите могут двигаться не один, а несколько электронов одновременно, находясь друг от друга на равных расстояниях. На первой от ядра орбите могли, по Бору, находиться 2 электрона, на второй — 8 электронов и т. д. (по числу элементов в каждом периоде менделеевской системы). Следовательно, максимально возможное число электронов на орбите определялось на основании принципа ассоциации.

По существу в своём первоначальном смысле понятие «орбиты» совпадало у Бора с понятием слоя электронной оболочки. Положение «орбиты» (или слоя) определялось полностью одним *квантовым числом*, которое позволяло находить значение радиусов возможных орбит. Было показано, что радиусы разных возможных орбит у одного и того же элемента (т. е. при данном  $Z$ ) относятся между собой как квадраты последовательного ряда целых чисел ( $1 : 4 : 9 : 16 \dots$ ), а у разных элементов радиусы соответствующих орбит обратно пропорциональны значениям  $Z$ .

Первоначально единственным квантовым числом у Бора служило число  $n$ , которое в качестве целочисленного множителя показывало, что момент количества движения электрона  $p$  на разных орбитах равен некоторому числу, кратному  $\frac{h}{2\pi}$ :

$$r \cdot p = n \frac{h}{2\pi}.$$

Позднее число  $n$  было названо Бором главным квантовым числом <sup>1)</sup>. Если дано число  $n$  ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ), то тем самым определён и радиус «орбиты»  $r$ , соответствующей данному  $n$ , а значит, и положение всей «орбиты». Вместе

<sup>1)</sup> Первоначально множитель  $n$  Бор обозначал через  $k$ , затем через  $i$ . Во избежание излишнего усложнения символики, мы сразу воспользуемся более поздним обозначением этой величины.

с этим каждая «орбита» или, лучше сказать, каждый электронный слой в атоме получал своё название соответственно числу  $n$ : 1-й, 2-й, 3-й...,  $n$ -й. Этим указывалось не только его расстояние от ядра, т. е. радиус «орбиты», но и полная энергия каждого электрона, двигающегося по  $n$ -й «орбите».

Таким образом, в модели Бора 1913 г. была установлена первая и важнейшая квантовая характеристика для определения общей конфигурации электронов, а именно, «координата» для отдельного электронного слоя.

## § 65. Возможные пути открытия теории квантов

Для открытия теории квантов, как нам представляется сейчас, были возможны по крайней мере два пути.

Как известно, теория квантов была открыта Планком при теоретическом анализе лучеиспускания так называемого «абсолютно чёрного тела». Для того чтобы вывести теоретическим путём формулы для распределения энергии в спектре абсолютно чёрного тела, Планк ввёл предположение о том, что лучистая энергия излучается и поглощается не непрерывно, как думали раньше, а отдельными дискретными порциями (квантами). Однако в самом излучении абсолютно чёрного тела ничего *непосредственно* не говорило о том, что элементарные процессы излучения носят прерывистый характер. Но так требовал вывод закона излучения, ибо другим путём его получить теоретически не удалось. Это был первый, реально осуществившийся путь.

Второй путь остался только возможностью. Суть его была в следующем: можно было считать, что резко отграниченные линии оптического спектра элементов свидетельствуют непосредственным образом о том, что в основе их образования лежат какие-то прерывистые энергетические процессы. В ещё большей степени об этом свидетельствовала вся периодическая система Менделеева, которая требовала для своего выражения применения такой теории, в которой переменные величины менялись бы прерывно, на целые единицы, иначе говоря, квантовались бы. Как мы видели, это требование входило в число прямых предсказаний, сделанных Менделеевым относительно путей дальнейшего

прогресса периодического закона. Более того, фактически Менделеев распространил это требование и на характеристику «связующих сил», действующих внутри атома. При таких обстоятельствах не исключена была возможность, что если бы теоретический анализ спектра излучения абсолютно чёрного тела почему-либо не был предпринят своевременно или не был завершён к 1900 г., то открытие квантовой теории было бы сделано не в связи с этим анализом, а в связи с разработкой теории атома на основе анализа его спектра и его места в периодической системе Менделеева.

Такой путь открытия теории квантов был бы пожалуй логически даже более оправдан, нежели первый путь, по которому открытие квантовой теории фактически произошло. В самом деле, Планку пришлось в корне ломать старую идею о непрерывности энергии, т. е. ту идею, на которой особенно настаивали всегда все энергетика, резко противопоставлявшие понятие энергии понятиям атома и молекулы, как в корне отличное от них. Никаких *прямых* доказательств прерывистого, дискретного характера энергии, кроме необходимости теоретически оправдать вывод соответствующего закона излучения в руках Планка ещё не было. В случае же открытия квантовой теории на основе анализа оптических спектров и периодического закона идея дискретности энергии и связанных с нею физических величин могла быть подсказана сложившимися уже представлениями об электронных слоях внутри атома (эти представления вытекали из менделеевской системы) и самим видом оптического спектра. Поэтому рождение понятия кванта энергии и самой идеи квантования физических величин в этом случае имело под собой значительно больше эмпирических и теоретических предпосылок. После открытия электрона, атомного ядра и порядкового номера элемента логически должно было последовать открытие квантовой теории для объяснения Резерфордской планетарной модели атома. Такое открытие должно было неизбежно последовать, если бы оно не было уже сделано раньше. В этом случае Бору не пришлось бы применять к атомной модели открытую Планком в другой области квантовую теорию. Напротив, квантовая теория была бы открыта в связи с вопросом о строении атома, а затем

применена для разъяснения тех отношений, которые наблюдаются при излучении абсолютно чёрного тела. Во всяком случае, с точки зрения внутренней логики развития открытий, ассоциирующихся с периодической системой, такой путь возникновения теории квантов представляется вполне возможным. Никаких объективных препятствий к этому не было.

Тем самым принцип ассоциации мог бы сыграть в истории науки ещё более важную роль чем ту, которую ему суждено было сыграть на деле. По счастливой случайности открытие теории квантов на 13 лет опередило тот момент, когда теория строения атома вплотную подошла к необходимости ввести понятие о квантовании электронных орбит. Несомненно, что наличие теории и самой идеи прерывистого излучения и поглощения энергии значительно облегчило Бору решение задачи.

Но открытие теории квантов Планком было счастливой случайностью только с точки зрения разработки теории строения атома, поскольку оно не вытекало из этой теории с внутренней необходимостью, а вошло в неё из другой области физики. Но, конечно, в этой другой области оно уже не было случайностью, а было необходимым развитием всех предшествующих работ, касающихся явления излучения абсолютно чёрного тела.

Если же открытия Планка и Бора (каждое в отдельности) расцениваются как одни из самых выдающихся достижений физики нашего века, то в ещё большей степени было бы оценено открытие, в котором теория квантов была не просто *применена* к теории атомов, а *открыта* в порядке преодоления трудности в первоначальной Резерфордской модели. В таком случае принцип ассоциации явился бы в конечном счёте источником возникновения самой идеи квантования физических величин. Тогда осуществление предвидений Менделеева обнаружилось бы в ещё большей степени. Но во всяком случае открытие Бора подтвердило *главную* мысль Менделеева, что объяснение периодического закона надо искать во введении целочисленно изменяющихся (т. е. квантующихся) величин. В дальнейшем эта мысль Менделеева неоднократно получала всё новые, блестящие подтверждения.

## § 66. Модель атома с двумя квантовыми числами

В 1915—1916 гг. А. Зоммерфельд развил первоначальную теорию Бора. Он заменил представление о движении электронов по круговой орбите представлением об их движении по эллипсу, как этого и требовал закон Кеплера, применённый к случаю движения электрона вокруг центрального ядра.

Замена в общем случае круговых орбит эллиптическими привела к тому, что были введены вместо одного — два квантовых условия движения электрона по эллипсу. Отсюда возникли у Зоммерфельда два квантовых числа: главное  $n$  и побочное  $k$ . Возможные орбиты определялись теперь так, что отношение большой и малой полуосей эллипса должно быть равным отношению целых чисел  $n$  и  $k$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, n$ . В частном случае, когда  $k = n$ , эллиптическая орбита превращается в круговую.

Такое усложнение первоначальной боровской модели было вызвано необходимостью объяснить ряд вопросов тонкой структуры спектральных линий. Теперь главное квантовое число  $n$  определяло собой уже не орбиту электрона, а порядковый номер электронного слоя и — с большим приближением — энергию электрона, находящегося в этом  $n$ -м слое.

Каждый  $n$ -й слой содержал несколько орбит (группу), по числу  $k$  для заданного  $n$ . Так, например, для  $n = 2$  (первый короткий период менделеевской системы от Li до Ne) получались два значения  $k = 1$  или  $2$ ; отсюда две координаты: орбита  $2_1 =$  эллипсы и орбита  $2_2 =$  окружности.

Легко видеть, что координаты  $2_1$  и  $2_2$  касаются ещё не орбит отдельных электронов, а *подгрупп* электронов, так как координатами  $2_1$  или  $2_2$  обладать могли не два, а целых восемь электронов. Для того чтобы иметь возможность приписать каждому электрону вполне самостоятельную орбиту, следовало приписывать различным орбитам, входящим в одну и ту же подгруппу, например, в подгруппу  $2_2$ , различное пространственное расположение, т. е. располагать их в различных плоскостях. Тем самым прежнее боровское понятие «электронных колец» окон-



чательно заменилось понятием электронных слоёв, которые как бы охватывают друг друга.

Установление второй квантовой координаты в модели Бора — Зоммерфельда 1916 г. позволило рассматривать прежнюю «орбиту» — слой — как группу орбит, расщепить её на отдельные подгруппы и подготовить почву для дальнейшего расщепления каждой подгруппы на орбиты отдельных электронов.

### § 67. Дальнейшее развитие Бором принципа ассоциации

В своих первых работах Бор и Зоммерфельд главное внимание сосредоточивали на анализе и объяснении эмпирических спектральных данных. Но наиболее крупные успехи были достигнуты Бором после того, как ему удалось конкретно связать свою модель непосредственно с периодической системой Менделеева и тем самым развить ещё дальше томсоновский принцип ассоциации. Этот принцип был развит Бором в 1921 г. в двух отношениях: в смысле максимального использования периодической системы для разработки модели атома и в смысле более глубокого объяснения этой системы при помощи модели атома.

Ставя вопрос о распределении электронов в оболочке атома Бор пишет: «В этом вопросе, естественно нас интересующем, путеводной нитью послужит то своеобразное изменение свойств элементов с атомным номером, которое нашло своё выражение в так называемой *периодической системе элементов*»<sup>1)</sup>. Далее Бор подчёркивает, что именно эта своеобразная закономерность заставляет «естественно предположить отчётливое *разделение электронов в атоме на группы*»<sup>2)</sup>.

В связи с этим нельзя не отметить данной А. В. Раковским оценки существа боровского подхода к созданию атомной модели: «Одна из гениальнейших идей Н. Бора состояла в сопоставлении характера орбит электронов в атомах и положения элемента в системе Д. И. Менделеева»<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Н и л ь с Б о р, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 84.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 85.

<sup>3)</sup> А. В. Р а к о в с к и й, Курс физической химии, 1939, стр. 148.

В этих словах сформулировано то новое, что было сделано Бором в части дальнейшего развития принципа ассоциации.

С другой стороны, как указывал Бор, развиваемые им теоретические представления приводят к объяснению в основных чертах спектральных и химических свойств элементов, охваченных периодической системой, а значит, к объяснению и самой системы. С точки зрения разбивки электронов в атоме на группы, т. е. с точки зрения основных положений атомной модели, объясняется общая структура периодической системы с её разбивкой элементов на отдельные периоды и группы: «С этой точки зрения, — пишет Бор, — разделение элементов на группы в периодической системе следует приписать постепенному образованию электронных групп в атоме по мере увеличения атомного номера»<sup>1)</sup>.

Таким образом, периодическая система давала путеводную нить для построения атомной модели и в свою очередь получала своё объяснение в модели, построенной на её же основе. В таком сложном познавательном взаимодействии двух моментов — системы Менделеева и атомной модели — происходил процесс одновременного развития того и другого, ибо одновременно в этом взаимодействии совершенствовалась и система Менделеева и модель атома. Этот процесс мы и называем развитием принципа ассоциации.

## § 68. Ограничение числа мест электронов в боровской модели

В 1921 г. Бор положил в основу своих рассуждений модель с двумя квантовыми числами  $n$  и  $k$ ;  $n$  (главное квантовое число) определяет приблизительно энергию,  $k$  (азимутальное квантовое число) определяет момент количества движения электрона. Когда главное квантовое число имеет значение  $n$ , Бор говорит о  $n$ -квантовой орбите (в нормальном состоянии атома  $n$ -квантовые орбиты об-

<sup>1)</sup> Н и л ь с Б о р, Три статьи о спектрах и строении атомов. 1923, стр. 85.

разуют  $n$ -й электронный слой, или  $n$ -ю группу электронов). В тех случаях, когда существенно различать орбиты, характеризующиеся различными величинами квантового числа  $k$ , Бор обозначает орбиту, определяемую квантовыми числами  $n$  и  $k$ , как « $n_k$ -ю орбиту» (очевидно, в нормальном состоянии атома  $n_k$ -я орбита означает подгруппу одинаковых по размеру и форме орбит, находящихся в  $n$ -м слое).

Кроме того, при рассмотрении пространственного расположения орбит Бор считал необходимым введение третьего квантового числа, которое бы определяло ориентировку плоскости орбиты электрона. Однако это третье (по Зоммерфельду «внутреннее») квантовое число пока ещё не определялось ближе.

Далее Бор допустил, что в каждом электронном слое и в каждой подгруппе орбит число свободных мест для электронов строго ограничено. Первый слой ( $n=1$ ) может содержать максимум 2 электрона, второй слой ( $n=2$ ) — 8 электронов, третий слой ( $n=3$ ) — сперва 8, а затем, после достройки, — 18 и т. д. Если более близкий к ядру слой заполнен (насыщен), то новый электрон не может в него вступить, а должен занять свободное место в следующем, более далёком (наружном) слое.

Понятие подгруппы орбит позволило по-новому поставить вопрос о причине появления длинных периодов в системе Менделеева. Бор считал, что построение третьего слоя в атомах не заканчивается у элементов третьего периода; мы имеем у аргона в третьем слое ( $n=3$ ) 8 электронов, но кроме того остаются ещё свободными 10 мест, которые заполняются у элементов следующего, четвёртого (первого длинного) периода системы Менделеева. При этом Бор считал, что 8 электронов третьего (незаполненного) слоя у аргона распределяются поровну в двух первых подгруппах:  $Z_1=4$ ,  $Z_2=4$ ,  $Z_3=0$ . У криптона в третьем слое (после его заполнения) имеем 18 электронов, распределённых поровну между тремя подгруппами:  $Z_1=6$ ,  $Z_2=6$ ,  $Z_3=6$ . Таким образом, у аргона оказывается незаполненным третий слой как целое, и каждая его подгруппа в отдельности также остаётся незаполненной до конца; поэтому в дальнейшем достраивается не только слой в целом, но

и каждая из его подгрупп в отдельности, причём электроны распределяются по группам равномерно <sup>1)</sup>).

Ограничение числа мест электронов в слоях боровской модели есть прямое следствие принципа ассоциации. Это число должно быть столь же ограниченным, сколь ограничено число элементов в каждом периоде и в каждом ряду менделеевской системы. Однако Бор был ещё не в состоянии теоретически объяснить ограничение числа мест в подгруппах элементов. Правда, он выдвигал принцип симметрии. Например, рассматривая образование элементов подгруппы  $2_1$  первого короткого периода (от Li до C), он писал: «Нужно думать, что при захвате четвёртого, пятого и шестого электрона на  $2_1$ -орбиты относительная конфигурация орбит сопровождается *возрастающей пространственной симметрией*. При захвате шестого электрона (у C. — B. K.) орбиты четырёх последних электронов должны образовать чрезвычайно симметричную конфигурацию» <sup>2)</sup>. По этим соображениям Бор и подразделял второй слой на две равные подгруппы, по четыре орбиты в каждой. Вступление седьмого электрона (у N) в подгруппу  $2_1$  в корне нарушило бы достигнутую устойчивость строго симметричной конфигурации. Поэтому седьмой электрон должен вступить, по Бору, в подгруппу  $2_2$ . По этой же причине 11-й электрон (после образования оболочки Ne) вступает не во второй слой, а в третий слой.

Таким образом, достижением устойчивой конфигурации Бор объясняет заполнение каждой данной подгруппы и всего электронного слоя в целом.

## § 69. Последовательное построение моделей различных атомов

Принцип ассоциации был широко использован Бором при построении атомных моделей в том последовательном порядке, в каком располагаются элементы по периоди-

<sup>1)</sup> Позднее Паули (Zeitschrift für Physik, т. 31, 1925, стр. 773 указывал, что допускаемое Бором равенство числа электронных мест в различных подгруппах «в высшей степени гипотетично».

<sup>2)</sup> Н. Б о р, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 112.

ческой системе Менделеева. Это помогло Бору обойти величайшие трудности, которые неизбежно возникли бы, если бы модель строилась только на основе одних оптических данных. Для того чтобы определить строение атома, имеющего  $Z$  электронов, можно было рассуждать так: возьмём голое ядро с зарядом  $Z$  и дадим ему взаимодействовать сначала с одним электроном, потом со вторым и т. д., пока с этим ядром последовательно не свяжутся все  $Z$  электронов. Но для такого построения физика не располагала необходимым количеством опытных данных.

Бор заменил сложный мысленный процесс построения атома  $Z$ -го элемента из голого ядра с зарядом  $Z$  и свободных электронов процессом мысленного движения по периодической системе элементов. Он начинает с элемента, имеющего ядро  $Z=1$ , и даёт ему возможность связать первый электрон; затем он повышает заряд ядра на единицу (до  $Z=2$ ), т. е. переходит к следующему элементу в порядке мест в менделеевской системе, и даёт ему возможность уловить второй электрон и т. д., пока не доходит до последнего элемента в системе Менделеева. При этом Бор допускает, что, как правило, раз установившееся распределение электронов переходит без изменения к следующему элементу; иначе говоря, конфигурация предшествующих моделей сохраняется, как готовая, внутри последующих моделей. В этом допущении заключён главный принцип построения атомных моделей Бором (см. табл. 4 в конце книги).

Так, например, по Бору, распределение электронов в гелии, которое можно полностью установить на основании его дугового и искрового спектра, повторяется затем во всех элементах с большим значением  $Z$ . Рассматривая строение атомов элементов, содержащих в нейтральном состоянии более двух электронов, Бор предполагает, таким образом, что «всё сказанное об образовании атома гелия имеет силу, в основных чертах, для захвата и связывания двух первых электронов всякого атома»<sup>1)</sup>.

В тех же довольно частых случаях, когда при возрастании происходит перегруппировка электронов, таковая

---

<sup>1)</sup> Н. Бор, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 109.

затрагивает обычно лишь самые наружные слои атома, а потому может быть установлена с помощью искровых спектров. Такая перегруппировка связана с взаимодействием электронов между собой. Чем ближе к ядру, тем влияние этого взаимодействия становится все меньшим по сравнению с возрастающим притяжением ядра.

Таким образом, на место построения одиночного атома с ядерным зарядом  $Z$  Бор ставит последовательное построение моделей атомов от  $H$  до данного элемента согласно расположению мест этих атомов в системе Менделеева. Это значит, что вместо *одного* элемента Бор берёт *совокупность* всех элементов менделеевской системы. Тем самым в ещё большей степени обнаруживается то диалектическое единство общего (периодической системы) и отдельного (элемента), о котором было сказано выше. Это единство проявляется в том, что понять данное единичное (элемент  $Z$ ) можно, лишь мысленно пройдя по общей системе Менделеева  $Z$  ступеней. Величина  $Z$ , таким образом, указывает не только на одно  $Z$ -е место в системе Менделеева, но и на всю предшествующую часть этой системы, которая служит подготовкой данного  $Z$ -го места.

## § 70. Связь между местом элемента в системе и местом электрона в атоме

Новое, что было внесено Бором в трактовку понятия элемента, заключалось в более глубоком проведении принципа ассоциации в учении о строении атома.

Прежде всего это новое состояло в том, что место элемента в системе значительно теснее, чем раньше, связывалось и ассоциировалось с представлением о «месте» электрона в оболочке атома. Если в первом периоде имеется всего два элемента ( $H$  и  $He$ ), то в соответствии с этим в первом электронном слое ( $n=1$ ) устанавливаются Бором два места для электронов. Во втором периоде имеется 8 элементов и этому соответствует, по Бору, наличие 8 мест для электронов во втором слое ( $n=2$ ). В третьем периоде имеется 8 элементов, которым отвечают 8 мест для электронов в третьем слое ( $n=3$ ); но, кроме того, как уже говорилось, остаются свободными 10 мест, которые заполняются в сле-

дующем периоде; следовательно, 18 элементам четвёртого периода соответствуют 8 мест в четвёртом слое ( $n=4$ ) и 10 мест третьего слоя ( $n=3$ ); и т. д.

При последовательном заполнении свободных мест в оболочке  $Z$  электронами особенное значение для характеристики элемента с зарядом ядра  $Z$  имеет то место, на котором становится *последний,  $Z$ -й, электрон*. В самом деле, конфигурация  $Z-1$  электронов характеризует в основных чертах предшествующий ему элемент по системе Менделеева. Группировка этих  $Z-1$  электронов в основном сохраняется внутри новой конфигурации из  $Z$  электронов. Таким образом, если предшествующая группировка  $Z-1$  электронов известна, то весь вопрос сводится к выяснению взаимодействия последнего,  $Z$ -го, электрона со всеми остальными электронами. «Наши рассуждения сводятся к рассмотрению устойчивых свойств всего атома, — пишет Бор; — предположения об орбитах электронов основаны на исследовании взаимодействий вновь захватываемых электронов с захваченными ранее»<sup>1)</sup>.

Итак, решающим вопросом для определения характера самого элемента  $Z$  является выяснение того «места», на которое должен вступить  $Z$ -й электрон. Это означает, что, по Бору, *место элемента в системе Менделеева ассоциируется прежде всего с «местом»  $Z$  электрона в оболочке атома  $Z$ , содержащей уже  $Z-1$  электронов*. Таков вывод, который логически вытекает из боровского принципа образования атома путём последовательного захвата и связывания электронов.

Так, например, когда Бор говорит о том, что  $Z$ -й электрон замыкает собой симметричную конфигурацию у инертных газов, или что «последний электрон в атоме натрия связан ещё слабее, чем последний электрон атома лития»<sup>2)</sup>, то этим даётся характеристика «места  $Z$ -го элемента в менделеевской системе» (т. е. совокупности его свойств и отношений) с точки зрения «места  $Z$ -го электрона в оболочке атома».

Когда 19-й электрон у калия занимает место в четвёртом слое ( $n_k=4_1$ ) при незаполненном третьем слое, то это по-

<sup>1)</sup> Н. Бор, Три статьи о спектрах и строении атомов, 1923, стр. 113.

<sup>2)</sup> Там же, стр. 118.

ложение  $Z$ -го электрона вполне определяет собой место самого калия ( $Z = 19$ ) в системе Менделеева. Когда 21-й электрон у скандия попадает на свободное место в недостроенном третьем слое, то это опять-таки определяет и выражает собой место скандия ( $Z = 21$ ) в системе Менделеева (появление побочной подгруппы III группы элементов в 4-м ряду системы).

### § 71. Подготовка нового теоретико-синтетического определения элемента

В соответствии со своим принципом построения Бор логически должен был прийти к выводу, что определить элемент и его место в системе Менделеева значит прежде всего определить место последнего ( $Z$ -го) электрона в оболочке. Говоря конкретнее, боровский взгляд на элементы можно было бы резюмировать так: «элемент и его место в периодической системе определяется «местом»  $Z$ -го электрона в оболочке атома, содержащей уже  $Z - 1$  электронов».

Условно назовём это определение боровским.

Блестящим доказательством особой роли, которую фактически сыграло это условное определение Бора, может служить история открытия гафния ( $Z = 72$ ). Предшествующий элемент (лютеций,  $Z = 71$ ) относится к числу лантаноидов. Неизвестный элемент 72 мог быть также лантаноидом, если бы последний, 72-й электрон попал на свободное место в четвёртый слой, на орбиту  $4_4$  (в так называемую подгруппу  $f$  электронов), куда попадает 71-й электрон у Lu. Но могло случиться, что весь четвёртый слой оказался уже заполненным после Lu. Тогда 72-й электрон у неоткрытого ещё элемента должен был бы вступить в пятый слой на орбиту  $5_3$ . В первом случае элемент 72 был бы аналогом лантаноидов, и его искать надо было среди них, как это полагал Урбен и другие французские химики. Во втором случае он был бы аналогом титана и циркония, а потому искать его надо было бы среди циркониевых и титановых соединений. Таким образом, вопрос о природе нового элемента, а значит, и о его определении решался на основе боровского определения, т. е. на основе выяснения места, куда должен вступить  $Z$ -й электрон.



Бор доказал, что до достройки четвёртого слоя ( $n=4$ ) у лантана этот слой содержит  $6+6+6+0=18$  электронов ( $La=57$ ), а после его достройки в нём имеется  $8+8+8+8=32$  электрона. Следовательно, количество членов семейства лантаноидов должно быть равно  $32-18=14$ ; из этого следует, что последний член названного семейства должен иметь  $Z=71$  ( $57+14=71$ ), каковым является Lu. Следовательно, ожидаемый элемент 72 не может быть лантаноидом, ибо для 72-го электрона в четвёртом слое свободного места нет. Поэтому элемент 72 должен быть аналогом циркония. Таково было предсказание Бора, фактически основанное на его новом условном определении, подобно тому как предсказания Менделеева основывались на его определении, а предсказания Содди и Фаянса — на молчаливо принятом условном же определении Содди.

Открытие гафния в 1923 г. Костером и Хевеши в норвежской циркононой руде явилось таким же блестящим подтверждением теории Бора и связанного с ней определения элемента, каким явились открытия Ga, Sc, Ge, а также Ne, Kr, Xe в отношении менделеевских представлений об элементах и вытекающего из них менделеевского определения, равно — каким явилось открытие Pa в отношении взглядов Содди и вытекающего из них определения Содди.

В связи с этим следует подчеркнуть недостаточность оперирования одним только формальным определением Панета. Понятие места элемента в системе Менделеева шире и богаче, чем один его количественный признак  $N$  или численно равный ему заряд ядра  $Z$ . Отсутствие элемента 72 обнаружил уже Мозели на основании анализа рентгеновского спектра его соседей слева ( $Lu=71$ ) и справа ( $Ta=73$ ), установив, что между ними имеется одно свободное место. Следовательно, величины  $N$  и  $Z$  для отсутствовавшего элемента были уже заранее определены и известны. Но знания одного значения  $Z=72$  оказалось ещё мало для того, чтобы определить наперёд другие важнейшие свойства этого элемента и прежде всего его химические аналогии, как это делал в своё время Менделеев, когда он заранее определял свойства неизвестных элементов. Напомним, что по Менделееву место элемента в системе определялось двумя координатами: номером ряда и номером группы.

Число  $Z=N$  в конкретном случае с гафнием позволило определить только первую менделеевскую координату — ряд, в котором должен находиться элемент 72, поскольку это непосредственно указывалось его атомным числом. Но вторая менделеевская координата (абсцисса) оставалась ещё неопределённой. Для того чтобы её определить, надо было знать, куда вступит последний, 72-й электрон. Для предвидения химических аналогий такое определение было совершенно необходимо, так как химические свойства и химические аналогии определяются почти полностью наружным слоем оболочки (валентными электронами). Поэтому от «места» последнего 72-го электрона зависело, будет ли элемент 72 отнесён к семейству лантаноидов или к IV группе менделеевской системы.

На этом примере мы убеждаемся, что знания одного числа  $N$  или  $Z$  недостаточно, чтобы действительно *определить* элемент в его важнейших свойствах. Тем самым в истории с гафнием определение Панета, построенное на одном лишь признаке  $Z$ , продемонстрировало свою неполноту и свою неспособность всесторонне выразить определяющий признак элемента — его место в периодической системе. Напротив, условное определение Бора, которое включает в себя признак  $Z$  (поскольку речь идёт о месте  $Z$ -го электрона), в то же время оказалось несравненно более содержательным и конкретным по сравнению с определением Панета <sup>1)</sup>. Именно оно, а не определение Панета; указало путь к открытию гафния и, таким образом, послужило основой для нахождения нового элемента или, говоря иначе, для *определения* его на практике.

## § 72. Общее состояние вопроса об определении элемента к исходу первой четверти XX в.

К исходу первой четверти XX в. в физике и химии сложилась следующая обстановка в части, касающейся определения элемента.

Благодаря открытию Резерфордом искусственного превращения элементов в 1919 г. и разложения к 1922 г. боль-

<sup>1)</sup> В настоящее время можно считать, что заряд  $Z$  является однозначной характеристикой элемента, поскольку его величина определяет собой полностью и конфигурацию электронных слоёв.

шого числа лёгких элементов, определение Фаянса утратило своё значение. Как указывал в 1923 г. редактор 2-го издания русского перевода книги Фаянса А. Н. Фрумкин, «в настоящее время большинство исследователей, в том числе и сам Фаянс, пользуются терминологией Панета»<sup>1)</sup>, т. е. называют «химическим элементом» реальный химический элемент, но не изотоп, как это делал до этого времени Фаянс. Таким образом, к этому моменту на сцене осталось одно лишь определение Панета.

Благодаря проведённому в 1920 г. Чадвиком исследованию заряда ядра  $Z$  атомов тяжёлых элементов (Hg, Cu, Ag) была доказана, во-первых; непосредственная измеримость заряда ядра и, во-вторых, равенство его значения  $Z$  значению порядкового числа  $N$ . Тем самым заряд ядра  $Z$  перестал быть гипотетической, чисто теоретической величиной, а оказался столь же физически обоснованным, как и атомный вес. «Таким образом ясно, — писал в том же 1920 г. Резерфорд, — что мы имеем прочные основания утверждать, что нуклеарный заряд численно равен атомному номеру элемента»<sup>2)</sup>.

Благодаря оправдавшемуся в 1923 г. предсказанию Бора, сделанному в 1921 г. относительно природы элемента 72 и его геохимических отношений, новая боровская теория атома, основанная на введении двух квантовых чисел, получила проверку и подтверждение. Тем самым получил подтверждение взгляд на атом как на систему состоящую из электронов и ядра, причём для определения места элемента в системе наибольшую роль играло выяснение «места»  $Z$ -го электрона в оболочке. Тем самым заодно подтверждалось и определение Панета, основанное на признаке  $Z$ .

В силу сказанного можно было ожидать, что химики должны будут полностью отказаться от прежнего чисто эмпирического и описательного определения элемента, ставшего совершенно неверным, и примут, наконец, такое новое определение, которое, во-первых, будет непосред-

<sup>1)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность, 2 дополненное изд., 1923, стр. 144.

<sup>2)</sup> Э. Р е з е р ф о р д, Строение атома и искусственное разложение элементов, 1923, стр. 85.

ственно связано с периодической системой Менделеева, а, во-вторых, будет экспериментально проверено и подтверждено. Определение Панета в своей теоретической части могло в качестве минимального послужить таким определением. Для этой цели необходимо было освободить его от искусственного связывания с видоизменённым эмпирико-аналитическим определением Лавуазье. Освободить определение Панета от пут определения Лавуазье можно было путём выведения признака  $Z$  не из химического тождества и неразделимости изотопов, а из периодической системы Менделеева, поскольку фактически признак  $Z$  является физической интерпретацией номера места элемента в системе.

К такому определению приближался в 1922 г. Астон: «...Химические свойства атома, — писал он, — определяются зарядом его ядра, которое в свою очередь определяет собой номер или место элемента в общем ряду периодической системы»<sup>1)</sup>.

Это положение мы могли бы рассматривать как фактическое определение элемента, данное Астоном. Можно было бы ждать, что это косвенное определение, или ему подобное, утвердится в химии. Однако события пошли по совершенно иному пути.

### § 73. Компромиссное определение элемента

Несмотря на все перечисленные выше открытия, химики-эмпирики продолжали относиться предубеждённо даже к определению Панета как слишком теоретического и попрежнему сочувствовали эмпирико-аналитическому определению Фаянса, точнее сказать, определению Лавуазье, хотя оно и оказалось несостоятельным. Сугубая эмпиричность этого последнего настолько импонировала химикам, что они готовы были его удержать, несмотря на всю его несостоятельность. К тому же сделанные ранее Фаянсом возражения против абстрактности определения Панета возымели своё действие на эмпирически настроенных

<sup>1)</sup> Астон, Штарк, Коссель, Природа химических сил сродства, 1925, стр. 32 (см. также Астон, Изотопы, стр. 13).

химиков. Довод Фаянса состоял в следующем: заряд  $Z$  есть алгебраическая сумма зарядов положительных и отрицательных частиц, образующих ядро <sup>1)</sup>; следовательно, заряд  $Z$  есть, по Фаянсу, чисто математическое понятие. «Ввиду того, что определённый таким образом заряд ядра есть математическая абстракция, им нельзя пользоваться — как это было предложено — для естественно-научного определения элемента» <sup>2)</sup>.

Химики-эмпирики не желали включать в определение элемента никаких «математических абстракций» и требовали установления в качестве определяющего признака какого-либо «вещественно-осязаемого» проявления элемента, что только и могло удовлетворить, по их мнению, потребностям такой сугубо конкретной и экспериментальной науки, как химия.

Идя навстречу таким настроениям, Международная Комиссия по атомным весам приняла в 1923 г. компромиссное решение: элементом был объявлен вид атома, как на том настаивал Панет, но не их разновидность (изотоп), как того добивался незадолго перед этим Фаянс. Однако из определения элемента была исключена ссылка на заряд ядра. Это была определённая уступка эмпирикам, боявшимся теоретических, абстрактных определений.

Определение, которое установила названная Комиссия, гласило: «Химический элемент определяется атомным порядковым числом...» <sup>3)</sup>.

Назовём его определением Комиссии. Это определение было по преимуществу эмпирическим, поскольку под порядковым номером Комиссия имела в виду результаты измерения рентгеновских спектров элементов. Вместе с тем оно было существенно отлично от старого определения Лавуазье и ему подобных. Определение Лавуазье было аналитическим, отражающим свойство элемента только в его единичности. Напротив, определение Комиссии было эмпирико-синтетическим, поскольку оно строилось на таком

<sup>1)</sup> По старой ядерной теории считалось, что в состав ядра входят протоны и электроны. Разность их чисел была равна  $Z$ .

<sup>2)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность, 1922, стр. 91.

<sup>3)</sup> Цит. по Б. Н. М е и ш у т к и н у, Химия и пути её развития, 1937, стр. 302.

признаке элемента, который указывал на органическую связь между отдельным и общим в виде места отдельного (элемента) в общем (в периодической системе).

По существу определение Комиссии полностью совпадало с определением Менделеева, являясь его уточнением и развитием. Оно целиком сохранило главный определяющий признак элемента — его *место* в системе Менделеева, дополнив его однозначной количественной характеристикой — его номером. Это отчётливо выразил в своё время Бор, назвав атомный номер числом, указывающим «место соответствующего элемента в системе»<sup>1)</sup>.

Как и всякий компромисс в науке, определение Комиссии не удовлетворило ни ту, ни другую сторону. Со стороны химиков-эмпириков оно вызывало к себе явно скептическое отношение. Определение Комиссии не было шагом вперёд, поскольку оно было высказано не в 1913 г., т. е. не сразу же после открытия Мозели, а 10 лет спустя, когда уже оправдались значительно более содержательные определения. По сравнению с этими, более содержательными определениями, определение Комиссии было в известном смысле даже шагом назад. С точки зрения его авторов оно рассматривалось как формально-логическое определение, хотя таковым оно не было. Тем не менее его достоинством считалось то, что оно указывает минимальное число необходимых признаков элемента, аналогично тому, как это мы видели в теоретической части определения Панета. Урбен писал по поводу определения Комиссии, которое он называет современным определением: «Международная Комиссия химических элементов в своём первом отчёте, опубликованном в 1923 г., объявила, что атомный номер является необходимым и достаточным условием для определения химического элемента»<sup>2)</sup>.

Тем не менее господствовавшее в химии предубеждение против абстрактного мышления и традиционная приверженность к старому, отжившему уже определению Лавуазье мешали определению Комиссии укорениться в химии.

<sup>1)</sup> Н. Б о р, О строении атомов (Успехи физических наук, т. III, 1923, выш. 4, стр. 420).

<sup>2)</sup> Ж. У р б е н, Химический элемент и атом, 1929, стр. 49.

Скептическое отношение химиков-эмпириков к определению Комиссии ясно выразил тот же Урбен. Касаясь изотопов свинца, он писал: «Эти «свинцы» являются, очевидно, совершенно различными веществами, потому что атомные веса их не совпадают; однако, по определению химического элемента эти «свинцы» (рассматриваемые в своей совокупности) представляют собой всего лишь один химический элемент, потому что они обладают одинаковым атомным номером. Несомненно существует какое-то противоречие между принятым здесь определением и тем интуитивным представлением об элементе, которое составилось у большинства из нас. Я сильно опасаясь, что большинство химиков не захочет примириться с таким определением элемента, которое обращает столь малое внимание на этимологический смысл этого термина (т. е. на то, что под элементом подразумевалось нечто неразложимое — Б. К.). Я должен заметить, что Международная Комиссия отчасти разделяет это мнение, потому что она считает это определение имеющим только временный характер»<sup>1)</sup>.

Таким образом, даже сама Комиссия сомневается в безусловной приемлемости своего собственного определения, сознавая его глубокое отличие от старого определения Лавуазье, с которым химики-эмпирики не хотят никак порывать.

#### § 74. Установление двух новых квантовых чисел

Изложенная выше теория Бора в основном опиралась на два квантовых числа — главное  $n$  и азимутальное  $k$ <sup>2)</sup>. Соответственно этому каждому электрону было приписано число  $n_k$ , указывающее место электрона в оболочке атома или место его орбиты. Более детальное изучение дублетных спектров, а также магнитных свойств атома, показало, что нельзя ограничиться только двумя квантовыми числами при построении атомной модели.

<sup>1)</sup> Ж. Урбен, Химический элемент и атом, 1929, стр. 50.

<sup>2)</sup> Впоследствии оказалось, что необходимо заметить квантовое число  $k$  числом  $l = k - 1$ ; число  $l$  может принимать значения от 0 до  $n - 1$ , т. е. всего  $n$  различных значений при данном  $n$ .

Ещё Зоммерфельд чисто формальным образом ввёл представление о третьем квантовом числе, которое, как говорилось выше, было названо внутренним. Ясного физического смысла это число тогда ещё не имело.

В 1925 г., опираясь на экспериментальные данные, касающиеся ориентации атома в магнитном поле, Ланде показал, что вектор момента количества движения электрона по орбите может принимать не всякие, но лишь некоторые особые положения. Для него возможны только такие положения, когда его проекция на данную плоскость квантуется, т. е. меняется на единицу. Числа, характеризующие проекции вектора, были названы *магнитными* квантовыми числами  $m$ . При данном  $l = k - 1$  число  $m$  может иметь значение  $-l, -(l-1) \dots -1, 0, 1, 2 \dots (l-1), l$ , всего  $2l + 1$  различных значений. Это и есть третье квантовое число.

С другой стороны, в том же 1925 г. Уленбек и Гоудсмит развили мысль о вращающемся электро́не. Они показали, что электрон обладает собственным моментом количества движения (*спином*). Проекции этого собственного момента количества движения на заданную ось равны  $\sigma \frac{h}{2\pi}$ , где квантовое число  $\sigma$  может иметь лишь два значения:  $+\frac{1}{2}$  и  $-\frac{1}{2}$ . Это и есть четвёртое квантовое число.

Следует заметить, что, излагая вопрос исторически, мы рассмотрели квантовые числа так, как они возникали в физике в связи с необходимостью уточнить понятие «места» электрона в оболочке или, что тогда было одно и то же, место его орбиты.

## § 75. Уточнение места электрона в оболочке в связи с местом элемента в системе

При наличии двух квантовых чисел ( $n, k$ ) Бору удалось более или менее удовлетворительно объяснить длину периодов в менделеевской системе, т. е. общее число мест элементов в каждом периоде. Этому отвечало определение числа мест электронов в каждом  $n$ -м электронном слое (группе). Но уже разбивка электронных групп (слоёв)



на подгруппы соответственно квантовому числу  $k$  Бор не мог провести удовлетворительно без введения нового квантового числа  $m$ . Принцип симметрии электронной конфигурации был далеко небезупречным паллиативом. Решение Бором вопроса о размещении электронов по подгруппам и о порядке достройки незаполненных подгрупп требовало пересмотра и уточнения, что было сделано Стонером. В 1924 г. Стонер<sup>1)</sup> высказал мысль, что достройка незаконченного слоя (группы) состоит не в том, что достраиваются частично уже заполненные подгруппы, а исключительно в том, что строятся новые подгруппы. Это означает, что подгруппы у элементов, стоящих в конце периода, либо заполняются нацело, либо остаются незаполненными вовсе. Соответственно этому число мест в подгруппах у Стонера получилось иное, чем у Бора. Так, например, второй слой ( $n=2$ ) у Стонера распадался на 3 подгруппы с числом мест 2, 2 и 4; третий слой — на 5 подгрупп с числом мест 2, 2, 4, 4 и 6; и т. д. В III периоде, по Стонеру, заполнялись первые три подгруппы полностью (2, 2 и 4 места), а остальные оставались пустыми и заполнялись в IV периоде. Это означало, что число свободных мест в пустых подгруппах определялось у Стонера непосредственно по разности числа элементов в длинном и коротком периодах менделеевской системы, равно как в VI (содержащем лантаноиды) и одним из других длинных периодов. Тем самым ассоциация между электронными представлениями об атоме и периодической системой Менделеева получалась ещё более тесной и полной, нежели это было у Бора.

Введение дополнительно двух квантовых чисел ( $m, \sigma$ ) позволило внести в этот вопрос полную ясность. Каждое «место» электрона, а соответственно и каждый электрон в оболочке получил точные квантовые координаты. Комбинация четырёх квантовых чисел ( $n, l, m, \sigma$ ) служит системой квантовых координат, указывающих «место» каждого электрона в оболочке (см. табл. 5 в конце книги). Главное квантовое число  $n$  указывает слой или группу (их порядковый номер). Число  $l$  при данном  $n$  указывает

<sup>1)</sup> Phil. Mag., т. 48, 1924, стр. 719.

подгруппу; числа  $m$  и  $\sigma$  при данных  $n$  и  $l$  указывают точные «координаты», т. е. характеристику «мест» электронов внутри подгруппы.

Каждой комбинации чисел  $n$ ,  $l$ ,  $m$  отвечают два «места» (или два электрона), один с  $\sigma = -\frac{1}{2}$ , другой с  $\sigma = \frac{1}{2}$ . Так как число различных значений  $m$  зависит от значения  $l$  (оно равно  $2l+1$ ), то общее число мест в электронной подгруппе  $l$  будет равно  $2(2l+1)$ . Следовательно, при  $l=0$  число мест равно 2, при  $l=1$  оно равно 6, при  $l=2$  оно равно 10 и т. д. Другими словами, места распределены по подгруппам неравномерно, не поровну, как предполагал сначала Бор. Если возьмём первый слой ( $n=1$ ), соответствующий первому периоду системы Менделеева, то так как  $l$  может иметь здесь только одно значение ( $l=0$ ), то и  $m=0$ , а потому общее число мест равно 2. Во втором слое ( $n=2$ ) имеются уже две подгруппы:  $l=0$  с двумя местами и  $l=1$  с шестью местами. Следовательно, подгруппа  $k=1$  (соответствующая  $l=0$ ) заканчивается не на углероде (как полагал Бор), а на бериллии. Вторая же подгруппа соответственно увеличивается до 6 мест. В третьем слое ( $n=3$ ) заполняются сначала полностью две подгруппы ( $l=0$  и  $l=1$ ) с 8 местами электронов. Этому соответствуют 8 элементов III периода в системе Менделеева. Третья подгруппа третьего слоя ( $l=2$ ), имеющая 10 свободных мест, остаётся незаполненной в III периоде системы Менделеева; она заполняется (в порядке достройки, как это предположил Бор) в IV периоде системы Менделеева. Но в отличие от Бора Стонер считал, что в каждом случае данная подгруппа заполняется целиком, прежде чем начинается постройка новой подгруппы или нового слоя (группы); у элементов IV периода не достраиваются прежние подгруппы, как полагал Бор, а происходит постройка новых подгрупп, как утверждал Стонер. То же касается заполнения 14 мест подгруппы  $l=3$  четвертого слоя ( $n=4$ ) лантаноидами в VI периоде системы Менделеева.

Тем самым четыре квантовых числа позволяют связать понятие «места» в электронной оболочке с представлением об отдельном электроне этой оболочки. Этим завершается первый круг исследования. Его ход был таков: сначала

было установлено «место» целого электронного слоя (группы) с помощью числа  $n$ ; затем было уточнено число подгрупп орбит (электронов) и «место» каждой подгруппы внутри одного и того же слоя (группы) с помощью числа  $k$  (позднее заменённого числом  $l$ ); наконец, было уточнено число «мест» электронов в каждой подгруппе и «место» каждого отдельного электрона внутри неё с помощью чисел  $m$  и  $s$ .

Вся эволюция понятия «места» электрона в оболочке происходила в неразрывной связи с представлением о месте элемента в периодической системе. По существу, вся атомная модель с понятием места в ней электрона (или электронной орбиты) явилась не чем иным, как электронной интерпретацией места элемента в системе Менделеева.

Но не следует придавать понятию «места» электрона в оболочке чисто геометрический, модельный характер, подобно тому как ассоциирующееся с ним понятие «места» элемента в периодической системе не носит графического, табличного характера. Понятие «места» электрона в оболочке выражает собой прежде всего взаимоотношения между данным электроном и всеми остальными электронами, с одной стороны, и ядром — с другой. В связи с этим вместо того, чтобы говорить о «месте» электрона в оболочке атома, можно говорить о его принадлежности к тому или иному уровню энергии атома, заменив геометрическое представление об орбите представлением об энергетических уровнях. Квантовые числа в этом случае будут не пространственной, а энергетической характеристикой «места» электрона в атоме. Это обстоятельство надо учитывать, когда речь идёт о трактовке указанных чисел в современной квантово-механической теории атома, пришедшей на смену модельным представлениям Бора. Отказ от понятия орбиты отнюдь не означал отказа от понятия «места» электрона в атоме, но заставил придать этому последнему более глубокое содержание, чем то, какое могла ему сообщить боровская модель.

Всё это представляет замечательное подтверждение мысли Менделеева, что числовую характеристику периодической системы элементов должны составить величины, имеющие целочисленный характер, значения которых меняются скачками.

## § 76. Порядок заполнения мест в оболочке и принцип Паули

Все изложенные выше открытия, касающиеся определения места электронов в оболочке атома, были резюмированы в 1925 г. В. Паули в особом положении, названном принципом Паули. Свой принцип Паули изложил в известной статье «О связи между законченностью электронных групп в атоме и сложной структурой спектров»<sup>1)</sup>. Под законченностью электронных групп Паули понимает заполнение электронами нацело всех имеющихся в этих группах свободных мест.

Решению проблемы законченности электронных групп посвящён второй параграф статьи, говорящий «Об общем квантово-теоретическом правиле для возможности вступления эквивалентных<sup>2)</sup> электронов в атоме»<sup>3)</sup>.

Это правило Паули формулирует так: «Никогда не может быть дано двух или большего числа эквивалентных электронов в атоме, для которых в сильном поле совпадали бы значения всех квантовых чисел... Если в атоме существует электрон, для которого эти квантовые числа (во внешнем поле) имеют определённые значения, то это состояние «занято»<sup>4)</sup>.

То, что мы называли ранее «местом» электрона в оболочке, Паули называет здесь «состоянием». Смысл принципа Паули заключается в том, что никогда два электрона в атоме не могут иметь все четыре квантовых числа совершенно одинаковыми. Это значит, что каждый отдельный электрон в атоме должен иметь свой особый комплект квантовых чисел.

В дальнейшем Паули вводит понятие о числе *мест* в подгруппах и о *занятии свободных мест* электронами при завершении данной группы или подгруппы. В подгруппе  $k_1=1$  (т. е.  $l=0$ ) имеются два места; когда оба они

<sup>1)</sup> Zeitschrift für Physik, т. 31, 1925, стр. 765.

<sup>2)</sup> Эквивалентными Паули называет электроны, обладающие одинаковыми значениями квантовых чисел  $n$  и  $l$  вторым числом Паули считает азимутальное число  $k$ , обозначая его через  $k_1$ .

<sup>3)</sup> Zeit. Physik, т. 31, стр. 771.

<sup>4)</sup> Там же, стр. 776.

заняты, то подгруппа закончена. Далее Паули прямо пишет о числе «пустых мест в подгруппах» и о законченности подгрупп, когда эти места заполнены электронами. Так, например, рассматривая возможное распределение четырёх эквивалентных электронов между двумя подгруппами, число мест в которых равно 2 и 4, Паули устанавливает три возможности: 2 электрона находятся в подгруппе, где имеется всего 2 места и, значит, заполняют её; тогда в другой подгруппе остаётся «два свободных места». Если же в первой двухместной подгруппе находится один электрон, то обе группы незакончены и в них имеется по одному свободному месту. Наконец, когда в первой группе будут два места свободных (т. е. когда она будет пустой), то все места во второй подгруппе окажутся занятыми и на этот раз законченной будет она <sup>1)</sup>.

Таким образом, можно сказать, что Паули окончательно узаконил понятие о «месте» электрона в атомной оболочке (или о пребывании электрона в определённом квантовом состоянии), причём каждое такое «место» или «состояние» получило свой особый набор из четырёх квантовых чисел (квантовых координат).

## § 77. Основа установления принципа Паули

Открытие Паули могло произойти потому, что Паули целиком опирался на принцип ассоциации, связывающий электронные представления с системой Менделеева. В своих рассуждениях Паули опирается на теорию Бора, который подразделил электроны групп на подгруппы в соответствии с характером периодов в системе Менделеева.

Ссылаясь также на Стонера, уточнившего вопрос о числе мест в этих подгруппах и о порядке их заполнения, Паули ставит вопрос о причине существования определённой длины у периодов менделеевской системы. Этот вопрос Паули связывает с вопросом о числе мест в  $n$ -м слое, о числе мест в заполненных и пустых подгруппах, и вместе с тем с вопросом о законченности электронных групп и подгрупп у благородных газов, замыкающих собой

<sup>1)</sup> Zeit. Physik, т. 31, стр. 781—782.

каждый период в системе Менделеева. «Как уже следует из примера неоновом спектра, — пишет Паули, — этот вопрос теснейшим образом связан с проблемой законченности электронных групп в атоме, которая обуславливает длины 2, 8, 18, 32... периодов в естественной системе элементов. Эта законченность состоит в том, что  $n$ -квантовая электронная группа не способна воспринять более чем  $2n^2$  электронов, ни путём эмиссии или адсорбции излучения, ни путём других внешних воздействий»<sup>1)</sup>.

Таким образом, необходимость объяснить существование определённой длины периодов непосредственно вела к установлению принципа Паули. Предел числа элементов в периоде вёл к признанию предела для заполнения групп и подгрупп электронами. Когда же принцип Паули был установлен, т. е. когда была сформулирована мысль о существовании предела для заполнения электронных групп, подгрупп и отдельных мест, то этот принцип в свою очередь послужил объяснением для существования определённых длин периодов. Отсюда ясно, насколько тесно переплетается у Паули вопрос о числе мест элементов в периодах системы с вопросом о числе мест электронов в слоях атомной оболочки.

## § 78. Новое расширение принципа ассоциации

Открытие Паули полностью отвечало принципу ассоциации. Оно, с одной стороны, заимствовало всё своё основное содержание у периодической системы, а с другой, — теоретически объясняло её самоё.

В самом деле, опираясь на установленные уже периодической системой отношения и границы, Паули стремился отыскать для этих отношений и границ некоторый квантово-теоретический эквивалент. С этой целью нужно было выразить данные отношения и границы в виде представления о «месте» электрона в атомной оболочке и о «координатах» этого «места», т. е. выразить их на языке квантовых чисел. На этой стадии решения задачи периодическая система выступает у Паули как *стимул* для дальнейшей

<sup>1)</sup> Zeit. Physik, т. 31, стр. 772—773.

разработки теории, как то, что *движет и оплодотворяет теорию*. По этому поводу С. И. Вавилов правильно сказал: «Периодический закон в новой физической теории явился не только материалом для объяснения, не только одной из многих теорем, вытекающих из общих положений теории квантов, но стал основным источником чрезвычайно важного постулата, так называемого принципа Паули, согласно которому в случае многих электронов в атоме каждое дозволенное теорией состояние может быть занято только одним электроном»<sup>1)</sup>.

В этих словах заключено признание, что система Менделеева играла в открытии принципа Паули *активную, стимулирующую роль*, но отнюдь не служила пассивным эмпирическим материалом, который получил теоретическое объяснение при помощи принципа, пришедшего откуда-то со стороны.

После того как факты, заключённые в периодической системе, получили благодаря принципу Паули своё выражение на языке квантовых чисел, эти последние в свою очередь превратились в *объяснение* самой периодической системы. Таким образом, в открытии Паули налицо было то познавательное взаимодействие между предпосылкой открытия и его следствием, которое составляет характерную особенность принципа ассоциации.

Теперь уже вошло в руководства по физике атома признание, что периодический закон может быть объяснён при помощи принципа Паули.

Так, Борн рассматривает теорию периодической системы как важнейшее и наиболее наглядное применение принципа Паули. «Одно из важнейших применений принципа *Паули*, — указывает он, — состоит в том, что он объясняет слоистый характер атомов, находящий своё выражение в периодичности в отношении химических свойств»<sup>2)</sup>. Далее Борн показывает, как, основываясь на принципе Паули, можно дедуктивным путём построить всю периодическую систему. Такой показ составил также часть доклада акад. Д. Рождественского «Периодический

<sup>1)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 10.

<sup>2)</sup> М а к с Б о р н, Современная физика, 1936, стр. 117.

закон на основе анализа спектров». В этом докладе прямо сказано, что «принцип Паули мудро распределяет электроны: мало внутрь ( $n$  малое) и всё больше — в наружные слои»<sup>1)</sup>.

Во всех этих высказываниях подчёркивается вторая сторона принципа ассоциации: периодический закон рассматривается как факт, который получает разъяснение благодаря принципу Паули и который даже может быть выведен дедуктивно из некоторых общих положений.

Обе стороны принципа ассоциации в их взаимной связи выразил А. В. Раковский, говоря, что с помощью принципа Паули «мы можем привести в полное соответствие электронные структуры атомов различных элементов и периодическую систему элементов Д. И. Менделеева...»<sup>2)</sup>.

В краткой форме развитие признака места элемента в системе Менделеева в связи с познанием электронной оболочки атома можно представить так:

1) установлено место элемента в системе (Менделеев, 1869—1871);

2) периоды системы («места» элементов) ассоциированы с конфигурацией всей электронной оболочки (Томсон, 1904);

3) «место» электронной группы (слоя) по ассоциации с местами элементов в системе (с их периодами) определено через квантовое число  $n$  (Бор, 1913);

4) «место» электронной подгруппы («орбиты»  $n_k$ ) по той же ассоциации определено через квантовые числа  $n, k$  (Зоммерфельд, 1915);

5) «место» электрона в подгруппе уточнено через  $n, l=k-1, m$  (Ланде, 1925);

6) «место» электрона в подгруппе уточнено через  $n, l, m, \sigma$  (Уленбек и Гоудсмит, 1925);

7) по ассоциации с местом элемента в системе установлено, что набор чисел  $n, l, m, \sigma$  однозначно определяет «место» электрона в оболочке (Паули, 1925).

<sup>1)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. I, 1936, стр. 69.

<sup>2)</sup> А. В. Раковский, Курс физической химии, 1939, стр. 156.



## § 79. Подготовка нового теоретико-синтетического определения элемента

Принцип Паули даёт основу для выработки нового теоретико-синтетического определения элемента, более глубокого и полного, нежели то, которое ранее мы условно называли определением Бора. В связи с этим напомним предпосылки возникновения исходного менделеевского определения: когда Менделеев установил место элемента в системе, то само по себе это место ещё не могло служить определяющим признаком элемента. Для того чтобы оно могло стать определяющим признаком элемента, нужно было установить, что связь между признаком места в системе и элементом носит *однозначный* характер, т. е. установить, во-первых, что каждому элементу отвечает только одно место, и, во-вторых, что на одно место приходится только один элемент.

Аналогичные предпосылки необходимы и в случае определения элемента путём установления связи между местом элемента в системе и местом электрона в атомной оболочке.

Первая из этих предпосылок устанавливалась сама собой; поскольку электрон мыслился вполне локализованной частицей, он сам мог занять в данный момент только *одно «место»*. Начиная с первых моделей атома Томсона, Резерфорда и Бора, эта предпосылка рассматривалась как нечто само собой разумеющееся.

Вторая предпосылка для нового определения элемента впервые была установлена, строго говоря, принципом Паули. Смысл своего принципа Паули определил так: «Так как очевидно, что при данных  $l$  и  $m$ , эквивалентных электронах в атоме может быть не более, чем составляет число значений  $\sigma$  (именно  $2m$ ), то в законченной группе каждому этому значению  $\sigma$  принадлежит только *один электрон*»<sup>1)</sup>.

Признание того, что на одно место в оболочке (характеризуемое совокупностью четырёх квантовых чисел) может приходиться только *один электрон*, и есть важнейшее условие для установления *однозначной* связи между при-

<sup>1)</sup> Zeit. Physik, т. 31, стр. 777. (Заметим, что Паули пользуется символикой, отличной от общепринятой теперь и применённой здесь).

знаком места электрона в оболочке и характеристикой самого электрона, а следовательно, и характеристикой элемента. В связи с этим нередко положение Паули именуется «*принципом однозначности*».

Основываясь на установленном Паули принципе однозначности, можно было дать следующее теоретико-синтетическое определение элемента: «Элемент и его место в системе определяются по совокупности квантовых чисел, характеризующих все занятые электронами места в атомной оболочке». Его можно было бы условно назвать определением Паули.

### § 80. Другие вопросы, связанные с принципом ассоциации

На этом мы закончим разбор ранее выдвинутых или подготовленных определений элемента. Мы оставляем в стороне целый ряд вопросов, касающихся разработки понятия элемента в современной науке.

Среди них прежде всего следует назвать группу вопросов, связанных с разработкой теории *валентности*. Эта теория, начиная с представлений Абега (1906) и электронных теорий Льюиса (1902—1916) и Косселя (1916) и кончая более поздними воззрениями, целиком опиралась на периодическую систему Менделеева и на понятие места элемента в этой системе. Особенно большую роль играло представление об устойчивости конфигурации инертного газа. Считалось, что к её достижению стремятся конфигурации других элементов. Отсюда возникал исключительный интерес к выяснению положения элемента относительно мест ближайших к нему инертных газов, стоящих в начале и конце соответствующего периода менделеевской системы. Характеризуя закономерное изменение полярного сродства в периодической системе, Коссель подчёркивал в качестве важнейшего общего вывода следующее положение: «...Элементы с ярко выраженным полярным характером, примыкающие к благородному газу (в системе Менделеева.—*Б. К.*), при насыщении сил электросродства всегда приходят к числу электронов этого благородного газа»<sup>1)</sup>. Та же идея

<sup>1)</sup> А с т о н, Ш т а р к и К о с с е л ь, Природа химических сил сродства, 1925, стр. 69.

лежала в основе теории Льюиса. Следовательно, принцип ассоциации являлся стержнем разработки электронной теории валентности.

Мы вынуждены также оставить в стороне вопрос о том, как связаны с периодической системой Менделеева и местом в ней элемента геохимические и кристаллохимические отношения элементов. Анализ связей между поведением и распространением элементов, с одной стороны, и их положением в системе Менделеева, с другой, — позволил бы ещё полнее и глубже раскрыть значение принципа ассоциации, ибо этот принцип играл ведущую роль в развитии не только собственно физических и химических представлений об атомах и элементах, но и сравнительно молодой отрасли науки — геохимии. Здесь следует в первую очередь назвать работы покойного акад. А. Е. Ферсмана, сумевшего блестяще связать геохимическую и кристаллохимическую характеристику элемента с его местом в периодической системе <sup>1)</sup>. Особый интерес представляет широко изученное А. Е. Ферсманом третье, диагональное, направление в системе Менделеева, связывающее элементы, обладающие близкими значениями радиусов ионов.

В этой связи следует отметить открытие Такке и Ноддаком рения на основании изучения геохимических отношений элементов. Это открытие сыграло в проверке новой, геохимической трактовки элемента такую же существенную роль, как открытие протоактиния в проверке условного определения Содди и открытия гафния в проверке условного же определения Бора.

Эти вопросы, опирающиеся целиком или частично на принцип ассоциации, в свою очередь способствовали дальнейшему развитию и конкретизации названного принципа. Оставляя в стороне более подробное рассмотрение указанных вопросов, проследим определение элемента в свете позднейших физических открытий.

---

<sup>1)</sup> См. А. Е. Ферсман, Периодический закон Менделеева в геохимии (Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. I, 1936, стр. 383).

## ГЛАВА VII

# СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРИЗНАКАМИ ИЗОТОПА И ЭЛЕМЕНТА

### § 81. Теоретическое определение Панета в свете двух открытий 1932 г.

В 1932 г. произошли два выдающихся открытия, которые внесли существенные дополнения в прежнее определение Панета. Это были открытия нейтрона и дейтерия.

Немедленно после открытия *нейтрона* советские физики Иваненко и Гапон выдвинули гипотезу, согласно которой атомные ядра образуются не из протонов и электронов, как думали раньше, а из протонов и нейтронов. Эта гипотеза была разработана далее Гейзенбергом и вскоре вытеснила прежнюю. Благодаря новым взглядам на состав ядра признак  $Z$ , выступающий в качестве основного в определении Панета, получил ещё более реальное, вещественно осязаемое выражение: он стал обозначать просто число протонов в ядре, т. е. число совершенно конкретных частиц материи. Тем самым приписывание заряду  $Z$  характера математической абстракции и обвинение в крайней отвлечённости, выдвинутое против панетовского определения Фаянсом, должно было окончательно отпасть. Всё это явно говорило в пользу принятия определения Панета в его теоретической части, но, разумеется, при безоговорочном отказе от его метафизического и идеалистического обоснования самим Панетом.

Открытие *дейтерия*, как это уже отмечалось в начале книги, вскрыло внутреннюю противоречивость в определении Панета, выражающуюся в несовместимости его теоретической части с его эмпирической частью. Химически

разделимые вещества (изотопы водорода) оказались обладающими одним и тем же значением  $Z$ . Необходимо было либо признать правильной одну теоретическую часть определения Панета и совершенно отбросить его эмпирическую часть, либо признать правильной одну его эмпирическую часть (химическую неразделимость) и совершенно отбросить его теоретическую часть, либо, наконец, отбросить всё определение в целом. Но Панет не сделал ни того, ни другого, ни третьего. Он попросту удержал своё определение, несмотря на его внутреннюю логическую несостоятельность. Это не могло не запутать всего вопроса, касающегося определения элемента. Повидимому, здесь также сказалась кантианская установка Панета, согласно которой практика, опыт не является критерием истины.

## § 82. Возможные решения вопроса

Выход из сложившегося положения можно было искать в различных направлениях.

Прежде всего можно было последовать губительному для науки примеру Панета и пытаться *удержать обе несовместимые части* его определения. Так поступил, в частности, Б. Н. Меншуткин, когда он дал следующее определение элемента: «Химический элемент—первичное вещество простого тела, не разлагаемое анализом, состоящее из совершенно одинаковых по химическим свойствам атомов, имеющих одно и то же атомное порядковое число»<sup>1)</sup>. Ясно, что такая позиция говорила не о выходе из положения, а о простом примирении с ним.

Можно было пытаться, полностью отбросив всё, что дала наука за последние 60 лет, просто вернуться к определению Менделеева, поскольку оно неизменно оказывалось познавательной основой всех без исключения позднейших теоретических определений элемента. Примером может служить определение, данное А. А. Яковкиным: «Элемент представляет вещество, которому отвечает определённое место в системе Менделеева»<sup>2)</sup>. Несколько ранее такое

<sup>1)</sup> Б. Н. Меншуткин, Курс общей химии (неорганической), 1933, стр. 707.

<sup>2)</sup> А. А. Яковкин, Учебник общей химии, т. I, 1934, стр. 43

же определение, являющееся простым повторением определения Менделеева, предложил В. Я. Курбатов в своём предисловии к книге Урбена: «Простейшей характеристикой элемента является его место в менделеевской системе, т. е. элементом может быть лишь то, для чего имеется место в законе Д. И. Менделеева»<sup>1)</sup>.

Принять такое определение, т. е. ограничиться в 30-х и 40-х гг. XX в. определением Менделеева, выдвинутым в 1871 г., значит, хотя и принять правильную основу для определения элемента, но игнорировать весь тот огромный прогресс физики и химии, который произошёл после открытия периодического закона. Другими словами, это значило бы тянуть науку лет на 70 назад, когда определение Менделеева по необходимости могло строиться лишь на весьма абстрактном представлении о месте элемента в периодической системе, которое (место) обозначалось двумя координатами, но было ещё лишено непосредственного физического истолкования. Теперь же, когда развитие теории строения атома позволило наполнить прежний признак места в системе Менделеева богатейшим конкретным содержанием, что в равной мере относится и к ядру и к электронной оболочке, было бы совершенно неразумным полностью восстанавливать определение Менделеева в его первоначальной форме.

Определение Менделеева есть основа, скелет всех позднейших определений элемента, но оно требует развития и конкретизации.

Другая позиция заключалась в том, чтобы расчленив определение Панета, отбросить ставшую неверной его химико-эмпирическую часть и удержать одну лишь его физическую часть, т. е. собственно определение Панета. Так поступил, например, Б. В. Некрасов, который писал, что можно «определить химический элемент как вид атомов, характеризующийся определённым значением положительного заряда ядра»<sup>2)</sup>.

Но просто отбросить эмпирико-аналитическую часть определения Панета было нельзя, ибо у Панета эта часть

<sup>1)</sup> Ж. У р б е н, Химический элемент и атом, 1929, стр. 8.

<sup>2)</sup> Б. В. Н е к р а с о в, Курс общей химии, ч. II, 1939, стр. 892.

служила эмпирическим и логическим обоснованием следующего из неё в качестве вывода теоретического определения Панета. Нельзя было поэтому просто отбросить основание, сохранив вывод, а нужно было найти какое-то иное основание, из которого вытекал бы как следствие признак равенства заряда  $Z$  у атомов данного элемента. Этого необходимого условия не выполнил Б. В. Некрасов. Он строит своё определение элемента на признаке  $Z$ , рассматривая его исключительно как признак единичности, т. е. принимая, что у всех атомов одного элемента значения  $Z$  одинаковы. Между тем, как было показано выше, *основой* равенства значений  $Z$  служит попадание всех атомов одного вида (одного элемента) на одно и то же место системы Менделеева. Поэтому, для того чтобы иметь право, отбросив панетовское неверное обоснование теоретического определения элемента, принять заряд  $Z$  в качестве определяющего признака элемента, необходимо было вывести определение Панета из определения Менделеева как из его основы. Этого как раз не сделал Б. В. Некрасов.

Итак, выход из положения в обоих случаях получался односторонним, неполным: либо принималась одна только основа определения (в виде определения Менделеева), но игнорировалось её позднее развитие, либо, наоборот, учитывались, хотя и неполно, позднейшие результаты (в виде теоретической части определения Панета), но полностью игнорировалась основа, на которой эти результаты неизменно строились. То и другое не было решением вопроса. Последнее должно было учесть одновременно и основание и следствие, и исходный пункт и конечный результат.

### § 83. Существенный шаг вперёд к решению вопроса

Шаг в сторону правильного решения вопроса был сделан в 1934 г. советским химиком С. А. Щукаревым. В своём докладе «Современное состояние периодического закона Д. И. Менделеева» он говорил: «Резюмируя сдвиги, происшедшие в нашем представлении о химическом элементе, можно дать такое определение: под химическим элементом мы понимаем собрание атомов, зани-

мающих в системе Менделеева одну определённую клетку, имеющих одинаковый заряд атомного ядра, а следовательно, и одинаковое число электронов во внешней оболочке»<sup>1)</sup>.

Назовём эту формулировку определением Щукарева. Достоинства этого определения состоят в следующем.

В нём со всей отчётливостью заряд  $Z$  связан с признаком места элемента в системе (только лучше говорить «места», а не «клетки», с которой связан чисто графический образ). Тем самым устанавливалась связь между определением Менделеева и рациональным содержанием определения Панета.

С другой стороны, признак места в системе связывается с представлением об электронной оболочке, что подводит основу для того, чтобы в порядке дальнейшего развития этого представления связать менделеевское определение с условными определениями Бора и Паули, не говоря уже об условных определениях Томсона и Резерфорда.

Но вместе с тем в определении Щукарева не указано ещё в достаточно ясной форме, в каком порядке должны следовать друг за другом признак места в системе и признак заряда  $Z$ . Автор определения просто показывает эту последовательность, но не объясняет её с точки зрения внутренней связи между обоими признаками, которые играют роль основания и следствия, основы и результата. Было бы значительно убедительнее и содержательнее такое определение элемента, в котором вместо союза «и» между обоими признаками стояло бы причинное выражение «а потому», т. е. если бы было сказано, что атомы занимают определённое место в системе Менделеева, *а потому* несут равный заряд  $Z$ , и обратно: несут равный заряд, а потому занимают данное место. Несмотря на это, определение Щукарева следует рассматривать как существенный шаг, помогающий найти выход из запутанного положения, в котором очутились химики при определении элемента.

<sup>1)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 25.



## § 84. Общая характеристика панетовского теоретического определения элемента

Основные недостатки теоретической части определения Панета заключаются в абстрактности и формализме. Стремясь к тому, чтобы в определении, согласно требованию формальной логики, перечислялись лишь признаки, необходимые и достаточные для того, чтобы ограничить данное понятие, Панет предельно обедняет своё определение. Поэтому в известном отношении критика определения Панета, исходившая от Фаянса, не была лишена основания.

Панет полностью *игнорирует* основу своего определения, его историческую и логическую преемственность с определением Менделеева, его обусловленность учением Менделеева о периодическом законе, о химических элементах и атомах. Такое пренебрежение к богатейшему наследству великого русского химика не могло пройти безнаказанно для Панета: лишённое правильного обоснования, оно оказалось без опоры и повисло в воздухе.

В определении Панета элемент рассматривается только как нечто *единичное*, вне связи с общим (с периодическим законом Менделеева).

Из всех свойств атомов и элементов выбрано лишь одно — заряд  $Z$ , хотя для полного, неформального определения элемента оно *недостаточно*, как это мы показали на примере с открытием гафния, когда потребовалось дополнительное указание на признак, связанный с конфигурацией электронной оболочки.

На эти недостатки мы уже указывали раньше и здесь мы их только резюмируем. Следующие два недостатка не были ещё рассмотрены.

Формализм определения Панета состоял также в том, что Панет преследовал лишь одну цель: найти *различительный* признак для элемента, с помощью которого можно было бы, во-первых, отличать элементы друг от друга, а во-вторых, разграничивать понятие элемента (вида) и понятие изотопа (разновидности). Другими словами, руководствуясь требованиями формальной логики (необходимыми, но недостаточными), Панет стремился придать своему теоретическому определению чисто аналитический

(в познавательном смысле) характер. Но, как говорилось раньше, основная цель определения не только в проведении разграничительных линий между определяемым понятием и другими понятиями или между данным и другими объектами, охватываемыми этим понятием, но и в установлении между ними связей и переходов. В теоретико-синтетическом определении отражаются связи и переходы, как между отдельными, единичными предметами, так в особенности между отдельным и общим, единичным и всеобщим. Как было уже сказано, такое понимание синтетического определения и входящего в него основного признака наиболее полно и наглядно обнаруживается в понятии о месте отдельного в общем. Ибо это понятие исходит из представления о всеобщей, универсальной связи всех отдельных вещей и явлений, отражённых в отдельных понятиях. Мы показали это подробно на частном примере понятия места элемента в системе Менделеева. То же самое касается и определения места понятия элемента в системе связанных с ним понятий (изотопа и атома). Это место определяется не на основе голого, формального различия, что элемент это не то, что изотоп и атом, а на основе установления внутренней связи между этими понятиями. Ничего этого даже в намёке нет у Панета.

Наконец, существенным недостатком определения Панета является *статическое рассмотрение элемента* с точки зрения неизменно присущего ему признака  $Z$ . Между тем с момента открытия смысла радиоактивности стало ясно, что этот признак *изменчив* так же, как изменчивы сами элементы, и что поэтому заряд  $Z$  надо трактовать не как вечный, неизменный признак элемента, но как признак изменчивый, сохраняющийся лишь в известных, достаточно узких пределах значения массы. Включение в определение элемента ссылки на пределы, в которых заряд  $Z$  ведёт себя как устойчивый признак элемента, было бы равносильно отказу от чисто статического подхода к элементу и переходу к его динамическому рассмотрению с точки зрения границ и условий его существования, его изменения, его «движения». Такое рассмотрение отвечало бы духу менделеевского прогноза, согласно которому, определение элемента будет найдено не в области статических,

а в области динамических представлений. Отсутствие такого подхода у Панета особенно сильно подчёркивает формализм и абстрактность его определения.

Таковы наиболее существенные, на наш взгляд, недостатки определения Панета.

Стремясь итти дальше узких горизонтов формальной логики, мы должны включить в научное определение не только признаки, необходимые и достаточные для того, чтобы отграничить данный предмет от остальных, но и те существенные признаки определяемого предмета, которые выражают его связи с другими предметами. Так требует марксистская диалектическая логика. Исходя из её требований, мы должны попытаться преодолеть формальную абстрактность определения Панета и дать вместо него более содержательное определение. Оставляя пока в стороне первые три недостатка, подробно рассмотренные ранее, обратимся сейчас к более подробному анализу двух последних. Оба они могут быть сведены к одному общему недостатку, который мы определим как *игнорирование идеи развития в области науки об элементах*.

## § 85. Понятия вид, разновидность, индивид в свете теории развития

Прежде чем анализировать соотношение понятий элемент, изотоп, атом с точки зрения изменчивости отражаемых ими объектов, нам нужно рассмотреть то же самое отношение, существующее между более общими понятиями вид, разновидность, индивид, поскольку элемент отвечает виду, изотоп — разновидности, атом — индивиду.

Некогда, ещё до того, как в науку вошла идея развития, понятие вида и другие аналогичные ему понятия могли рассматриваться как совершенно обособленные друг от друга и резко разграниченные между собой. Так именно трактует их индукция, входящая составной частью в формальную логику. Напротив, точка зрения развития, являющаяся важнейшим элементом диалектической марксистской логики, отменяет ограниченность, отверделость, приданную формальной логикой понятию вида и другим понятиям. Она делает эти понятия гибкими, подвижными, текучими.

Но как таковые, они тогда уже перестают подчиняться формально-логическому подходу и становятся предметом более глубокого и всестороннего диалектико-логического подхода. В связи с этим Энгельс писал: «... доказать теорию развития при помощи одной только индукции невозможно, так как она целиком антииндуктивна. Понятия, которыми оперирует индукция: вид, род, класс, благодаря теории развития стали текучими и тем самым *относительными*; а относительные понятия не поддаются индукции»<sup>1)</sup>.

Существенным признаком относительных понятий диалектическая логика считает их переход друг в друга, отсутствие между ними резких границ, а тем более абсолютных разрывов. Тем самым относительные понятия способны отражать реальные переходы между предметами природы, отражать отсутствие резких граней между ними, следовательно, отражать самый процесс развития, происходящий в природе. К этому положению приблизился Дарвин; он писал: «...До настоящего времени не удалось провести ясной пограничной черты между видами и подвидами, т. е. формами, которые, по мнению некоторых натуралистов, приближаются к видам, но не вполне достигают этой степени, или между подвидами и резкими разновидностями, или, наконец, между менее резкими разновидностями и индивидуальными различиями. Эти различия примыкают одни к другим, нечувствительно сливаясь в один непрерывный ряд, а всякий ряд производит на наш ум впечатление действительного перехода»<sup>2)</sup>.

С диалектической точки зрения понятие вида определяется не как нечто застывшее, неизменное, а напротив, как изменчивое, развивающееся, находящееся в связи со всеми другими видами и со всем процессом развития живой природы в целом. В начале данной работы был рассмотрен признак места отдельного предмета в общем ряду как выражение совокупности связей этого предмета с остальными предметами и самим рядом. С точки зрения теории развития мы должны рассматривать закономерный ряд предметов природы в целом и каждое место в нём, занятое

<sup>1)</sup> Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 182.

<sup>2)</sup> Ч. Дарвин, Происхождение видов, Госиздат био-медицин. литературы, 1937, стр. 94.

отдельным предметом, как звено в общей цепи усложнения соответствующих предметов, как *отдельную ступень в общем процессе развития природы*. Соответственно этому, выражение «указать место предмета» означает также указать его генетические связи, его происхождение, тенденции его дальнейшего развития, словом, указать его место в развитии природы.

С этой точки зрения мы должны подходить и к определению понятия вида. Академик В. Л. Комаров писал: «Поэтому и вид можно определить только в связи как с окружающей его средой, так и с последовательностью поколений, в цепи которых он занимает определённое место» <sup>1)</sup>.

Указание, что определяющим признаком вида является его *место* в естественном ряду последовательных ступеней развития живых существ, принципиально совпадает с однотипным признанием, что определяющим признаком элемента является его *место* в естественном ряду химических элементов, представленном системой Менделеева. Закон сдвига и связанное с ним условное определение Содди прямо позволяют рассматривать *место* элемента в системе как ступень в последовательных переходах и развитии элементов.

Приведённые выше определения биологического вида и химического вида (элемента) являются *частными* случаями общего определения любого вида как качественно определённой ступени развития материи на основании того места, которое этот вид занимает в соответствующем ряду развития.

## § 86. Разновидность как вид в его движении и развитии

Если, согласно только что сказанному, мы должны рассматривать вид в соответствии с тем местом, которое он занимает в общем ряду развития, то самый вид всегда оказывается движущимся, развивающимся, переходящим в другие виды. Движение, развитие, переходы видов совер-

<sup>1)</sup> В. Л. Комаров, Учение о виде у растений, 1944, стр. 238.

шаются так, что ступенями здесь оказываются разновидности. Разновидность играет роль связующего звена между старым и новым видом, между существующим и вновь нарождающимся видом. Разновидность воплощает в себе различие, включённое в тождество. Поэтому разновидность можно рассматривать как тот же вид, но в его изменении, в его движении и развитии, в его переходе в другой вид. К. А. Тимирязев приводит положение Дарвина: «Разновидность есть зачинающийся вид, вид — резкая разновидность». В качестве проверки этого положения Тимирязев приводит следующий пример: «Если образование разновидностей и новых видов — только две стороны одного и того же процесса дифференцирования первоначально однородной, видовой группы, то мы в праве ожидать, что они будут совпадать, т. е. что в тех родах, в которых это стремление уже успело выразиться в образование видов, оно будет продолжать выражаться и в образовании видов зачаточных, т. е. разновидностей...»<sup>1)</sup>

Разумеется, нельзя механически переносить на неживую природу то, что действительно для живой природы; в деталях механизм развития там и здесь может значительно различаться. Возникновение новых биологических видов из разновидностей существующих видов вовсе не должно в точности совпадать с возникновением новых химических элементов из разновидностей (изотопов) существующих элементов. Однако самый принцип этого развития, состоящий в том, что разновидность есть вид в его движении, что новый вид возникает из разновидности прежнего вида, сохраняет полную силу и в живой и в неживой природе.

## § 87. Спор о соотношении элемента и изотопа как вида и разновидности

Вернёмся теперь к анализу спора между Фаянсом и Панетом. Этот спор шёл о том, считать ли прежний элемент *видом* атомов, а изотоп — их разновидностью, на чём настаивал по существу Панет, или же считать прежний элемент родом атомов («типом элементов» по выражению

<sup>1)</sup> К. А. Тимирязев, Исторический метод в биологии, 1943, стр. 68.

Фаянса <sup>1)</sup>, а *видом атомов считать отдельный изотоп*, на чём настаивал Фаянс. Однако и Панет и Фаянс придерживались формально-логической (индуктивной) трактовки понятий вида и разновидности (соответственно рода и вида). Поэтому оба они рассматривали вид и разновидность (соответственно род и вид) только в их разрыве и противопоставлении друг другу. Они устанавливали отличительный признак у изотопа (атомный вес) в качестве признака разновидности (Панет) или вида (Фаянс) только с тем, чтобы с помощью этого признака *отличить* понятие изотопа от элемента (Панет) или типа элементов (Фаянс).

Следовательно, принципиальная, логическая основа у Фаянса и Панета была одна и та же. Вот почему Фаянсу нетрудно было перейти на позицию Панета: для этого нужно было только назвать изотопы не элементами, а разновидностями, а элементы продолжать называть их именами. Следовательно, весь спор между Панетом и Фаянсом свёлся в конце концов к спору о словах. Недаром Урбен указывал, что Содди и Фаянс «заявили, что спор здесь идёт только о словах, и тем самым положили конец дискуссии, поднявшейся вокруг этого вопроса» <sup>2)</sup>.

По этой причине мы не можем согласиться с Фаянсом, который писал, имея в виду себя и Панета, что «по вопросу о наиболее целесообразном толковании взаимоотношения явлений изотопии и понятия элемента существуют два противоположных мнения...» <sup>3)</sup>. Мы считаем, что в своей основе оба мнения совпадали.

## § 88. «Химический вейсманнизм» Панета

В § 63 мы подвергли критическому разбору философские установки Панета, вскрыв их идеалистическое содержание. Теперь отметим ещё одну весьма характерную особенность взглядов Панета на элементы, которую можно было бы назвать по аналогии с вейсманнизмом в биологии «химическим вейсманнизмом». Панет для пояснения своих взглядов на химические элементы

<sup>1)</sup> Jahrbuch Rad. и Elektr. т. 14, 1917, стр. 347.

<sup>2)</sup> Ж. У р б е н, Химический элемент и атом, 1929, стр. 115.

<sup>3)</sup> К. Ф а я н с, Радиоактивность..., 1922, стр. 89.

решил провести параллель между химическими и биологическими понятиями. С этой целью он сопоставляет свои рассуждения о «чистом» и «смешанном» элементе (состоящем из одного изотопа или представляющем изотопическую смесь) с «учением» ярого морганиста Йогансена о «чистых линиях». «Аналогия с нашим случаем вполне очевидна, — заявляет Панет; — растительный или животный вид соответствует понятию химический элемент; чистая линия соответствует понятию чистый элемент; популяция соответствует понятию смешанный элемент... Линнеевский вид может представлять собой как популяцию, так и чистую линию»<sup>1)</sup>).

Выбор морганистско-мендельянского «учения» Йогансена для сопоставления с ним химических понятий не случаен для Панета, как не случайна и вся его формалистическая концепция элемента. Игнорируя идею развития химических элементов, Панет, естественно, не мог и не хотел искать параллелей между трактовкой элемента в химии и трактовкой вида в биологии с точки зрения общей идеи развития живой и «мёртвой» природы. Вот почему выбор у него пал на формальную генетику в лице Йогансена, но не на теорию развития Дарвина, против которой открыто воевали вейсманисты. Да и с философской точки зрения неокантианцу Панету, несомненно, больше импонировали идеалистические и метафизические установки вейсманистов, нежели материалистические и, по сути дела, диалектические установки творческого дарвинизма. В итоге идеализм и метафизика панетовского обоснования определения элемента оказались в полном соответствии с идеализмом и метафизикой менделизма-морганизма, на который решил опереться Панет в целях подкрепления своей позиции. Это показывает, что между положением в биологической науке и положением в химической науке есть много общего: и если наши биологи-вейсманисты, извращая взгляды Дарвина, вели борьбу против учения Мичурина-Лысенко, то «химические вейсманисты», вроде Панета и его последователей, всячески игнорировали и

<sup>1)</sup> Zeit. phys. Chemie, т. 91, 1916, стр. 191.



принижали значение периодического закона Менделеева, как закона, отражающего собою развитие вещества в «неживой» природе. Борьба против материализма и диалектики сочеталась у них с пренебрежением к достижениям русской науки в лице Д. И. Менделеева и его великого открытия — периодического закона химических элементов.

В целом пример Панета наглядно показывает, куда заводит современных учёных буржуазное мировоззрение. Только диалектический материализм может помочь химикам выйти из того тупика, в какой они попали, запутавшись в основном понятии химической науки, поскольку они некритически следовали за идеалистическими и метафизическими установками, которые подсовывает им буржуазная философская реакция.

### § 89. Отрицание связи между признаками элемента и изотопа

До сих пор химики и физики, стоя на формально-логической индуктивной точке зрения, утверждали, что атомный вес не имеет никакого отношения к определению места элемента в периодической системе, а следовательно, к определению заряда  $Z$ , который связан с местом элемента в системе, будучи физической интерпретацией его номера. Тем самым химики и физики проводили резкую грань между видовым признаком  $Z$  и признаком разновидности — атомным весом, точнее, массовым числом  $A$ . Уже Панет старался доказать, что атомные веса изотопов, так же как и их радиоактивные свойства, не имеют для химика никакого существенного значения. При этом Панет трактовал химию только как науку аналитическую, игнорируя познавательный синтез, роль которого чрезвычайно возросла в химии после открытия Менделеевым периодической системы. Отсутствие интереса у химиков к признакам разновидности Панет объяснял тем, что «атомный вес не есть характерная величина для элемента»<sup>1)</sup>, а химик имеет дело только с элементами.

<sup>1)</sup> Zeit. phys. Chemie, т. 91, 1916, стр 188.

Позднее, в 1922 г., Н. Бор углубил метафизический разрыв между признаками вида и разновидности, элемента и изотопа. Он разделил «свойства элементов на два резко различных класса».

К первому классу Бор отнёс свойства, зависящие только от *электрического заряда* ядра. «...Движение электронной системы зависит очень мало от массы ядра и определяется с большой точностью общим электрическим зарядом ядра»<sup>1)</sup>, — писал Бор. Очевидно, сюда относились как раз те свойства, которые характеризуют химические элементы как виды атомов.

Ко второму классу Бор отнёс свойства, зависящие от *массы* ядра. Кроме атомного веса, сюда относилась радиоактивность, или, другими словами, признак устойчивости атома. Среди них были как раз те свойства, которые характеризуют изотопы как разновидности атомов.

Между обоими классами Бор видел только разрыв, только различие и не видел никакой связи, никакого взаимного влияния или взаимной обусловленности. «Наши представления о строении атома, — подчёркивал Бор, — дают, таким образом, непосредственное объяснение полного отсутствия связи между двумя классами свойств элементов»<sup>2)</sup>.

Популяризаторы боровских воззрений писали в связи с этим: «Свойства атомов можно разделить на два резких класса: 1) *свойства ядра* и 2) *свойства системы электронов* в атоме. Наличие такого разделения, имеющего основное значение для детального изучения атома, впервые отмечено *Нильсом Бором*»<sup>3)</sup>.

Противопоставляя признак вида (элемент) ( $Z$  или  $N$ ) признаку разновидности—изотопа—( $A$ ), химики ограничивались констатированием факта, что место в системе Менделеева, а следовательно, и вся совокупность свойств элемента, приходящегося на это место, определяется *не* атомным весом, *а* только атомным числом. «Таким образом, место элемента в периодической системе определяется

<sup>1)</sup> Успехи физических наук, т. III, вып. 4, 1923, стр. 418.

<sup>2)</sup> Там же.

<sup>3)</sup> Г. А. Крамерс и Х. Гольст, Строение атома и теория Бора, стр. 70.

его атомным номером, а не атомным весом»<sup>3)</sup>, — писал Урбен в 1925 г.

«Следовательно, не атомный вес, а заряд ядра характеризует атом, элемент в химическом смысле»<sup>1)</sup>, — утверждал Перрен в 1921 г.

В 1934 г., уже после открытия нейтрона, Лиза Мейтнер утверждала ту же мысль, говоря о положении элементов в периодической системе: «Место какого-либо элемента в этой системе, а с ним и химические его свойства, вполне определяются положительным зарядом атомного ядра или равным ему числом отрицательных электронов, расположенных в наружной электронной оболочке. Масса и строение атомного ядра при этом не играют роли, и мы теперь знаем, что существуют элементы, или, вернее, виды атомов, которые при одинаковом числе и расположении наружных электронов имеют весьма различный атомный вес — так называемые изотопные виды атомов»<sup>2)</sup>. Отсюда Мейтнер делала вывод, что «для определения химического элемента достаточно одной единственной постоянной», т. е. величины  $Z$ .

Здесь, как и раньше, химики ограничивались тем, что констатировали различие обоих признаков (элемента и изотопа, вида и разновидности), но не искали между ними органической связи. Но так могло продолжаться только до тех пор, пока задача определения элемента, состоящая в определении его места в системе Менделеева, рассматривалась формально, в смысле нахождения какого-то одного однозначного количественного признака у всех атомов данного элемента. С такой формальной точки зрения определить элемент — значит указать его порядковый номер  $N$ , численно равный заряду  $Z$ . Этим исчерпывается *формальное* определение элемента. Но если идти дальше, как того требует марксистская диалектическая логика, то в более полное определение элемента надо включить не только признак  $Z$ , но и указание на те объективные

<sup>3)</sup> Ж. У р б е н, Химический элемент и атом, 1929, стр. 48.

<sup>1)</sup> Ж. П е р р е н, Атомы, стр. 229.

<sup>2)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. I, 1936, стр. 185. (Точнее было бы изотопы называть не «видами», а «разновидностями» атомов. — Б. К.)

условия, при которых этот признак реализуется. С этой точки зрения недостаточно указать только на один признак  $Z$ , взятый сам по себе. Такое определение должно считаться неполным. Нужно указать также границы, в которых этот определяющий признак реально существует. Но для того, чтобы раскрыть условия и границы устойчивости признака  $Z$ , необходимо выйти за рамки одностороннего абстрактного рассмотрения атома как системы электрических зарядов и перейти к конкретному учёту взаимной связи между зарядом  $Z$  и массой атомного ядра. Тогда обнаружится органическая связь между признаком вида — элемента ( $Z$ ) и признаком разновидности — изотопа ( $A$ ).

## § 90. Попытка дать новое определение элемента

Недостаточность определения Панета, как слишком одностороннего, учитывающего лишь один видовой признак  $Z$ , была отмечена уже сравнительно давно. В частности, в 1932 г. С. А. Балезин сделал попытку преодолеть односторонность определения Панета путём дополнительного включения в него признака массы.

Рассматривая соотношения между массовыми числами изотопов, С. А. Балезин писал, что «разгадка образования изотопов и изобаров, а также взаимного перехода одного изотопа в другой в пределах элемента, что в конечном счёте ведёт к выходу за его пределы» кроется в «расположении (?) электронов в атоме». Отсюда автор делал вывод, что «элемент определяется нуклеарным зарядом и изменяется под влиянием изменения массы»<sup>1)</sup>.

К сожалению, у автора это определение не является действительно *выводом* из анализа соотношения признака  $Z$ , и признака массы, а является скорее формулой, приложенной к первым намёкам на зависимость между обоими признаками, которую искал автор.

Никакого действительного анализа изменчивости признака  $Z$  автор не даёт. При этом он смешивает вопрос об изменчивости элемента (т. е. признака  $Z$ ) с изменчивостью

<sup>1)</sup> Сб. «15 лет советской химии», Госхимиздат, 1932, стр. 42.

химических свойств в пределах одного и того же элемента. Ссылаясь на физика Дарвина, он пишет, что изотопы «химически отличаются друг от друга, сохраняя общую качественную характеристику данного элемента. Ибо очевидно, что нарастание массы изменяет не только количественную сторону элемента, но и влечёт за собой её (? — Б. К.) качественное изменение. Следовательно, явление изотопии с наглядностью обнаруживает эволюцию в неорганической природе, количественно-качественные её изменения».

Здесь остаётся совершенно неясным, что автор понимает под качественным изменением элемента: изменение ли заряда ядра или же изменение химических свойств у изотопов, связанное с изменением массового числа. Неясность усиливается ещё больше от того, что в другом месте автор даёт совершенно другое определение элемента, согласно которому «понятие «элемент» выражает общие химические свойства, присущие отдельным однородным атомам данного вещества»<sup>1)</sup>. Из этого определения следует, что два химически различных изотопа (например,  $H_1$  и  $H_2$ ) должны считаться разными элементами, поскольку различны их «общие химические свойства». В таком случае «выходом» за пределы элемента оказывается не изменение признака  $Z$ , а изменение химических свойств у изотопов при возрастании числа  $A$ . Если же выражение «общие химические свойства» толковать иначе, то и вывод получается совершенно другой.

Попытку автора исследовать зависимость между признаком элемента и признаком массы нужно признать интересной по замыслу, но не удачной по выполнению.

## § 91. Соотношение элемента и изотопа с точки зрения теории развития

Принципиально новый подход к вопросу о соотношении элемента и изотопа даёт теория развития. Согласно уже установившемуся порядку мы будем называть элемент видом атомов, а изотоп — разновидностью атомов. Соотношение между элементом и изотопом в общем случае оказы-

<sup>1)</sup> Сб. «15 лет советской химии», Госхимиздат, 1932, стр. 42.

вается аналогичным отношением между видом и разновидностью, а именно: *изотопом оказывается вид в его движении, в его изменении, в его развитии, в его переходе в другой элемент.* Между изотопом и элементом существует поэтому не внешнее отношение, не одно только различие и обособление, но глубокая, органическая связь. Превращение элементов и происхождение новых элементов мы должны представлять себе не только при непосредственном участии изотопов, но как такой процесс, когда различия разновидностей превращаются в видовые различия, т. е. выходят за пределы вида.

Отличительным (видовым) признаком элемента мы можем считать заряд ядра  $Z$ . Отличительным признаком изотопа (разновидности) мы можем считать массовое число атома  $A = Z + n$  (где  $Z$  — число протонов, а  $n$  — число нейтронов).

Признание, что разновидность (изотоп) есть вид (элемент) в его движении, означает признание внутренней связи между признаком изотопа  $A$  и признаком элемента  $Z$  и возможности «перехода» первого признака во второй, другими словами, возможности изменения  $Z$ , вызванного изменением  $A$ .

Блестящим примером, доказывающим справедливость такого взгляда, является искусственное синтезирование новых трансураниевых элементов. Здесь в буквальном смысле наблюдается происхождение новых элементов из существующих, причём происхождение из вновь образующихся их разновидностей (изотопов).

Процесс протекает следующим образом. Изотоп урана  $U_{238}^{92}$  подвергается действию нейтронов согласно уравнению  $U_{238}^{92} + n_1^0 = U_{239}^{92}$ . Образуется новый изотоп того же урана, но резко отличающийся по своей устойчивости от исходной разновидности. В силу своей неустойчивости новый изотоп претерпевает качественное изменение: один из нейтронов (участвующий в образовании массового числа как признака разновидности) излучает электрон и нейтрино, а сам переходит в протон. В результате заряд  $Z$  увеличивается на единицу и возникает новый элемент, нептун  $Np_{239}^{93}$ . В свою очередь нептун через повторное

$\beta$ -излучение даёт плутон  $\text{Pu}_{239}^{94}$ . Здесь разновидность (изотоп) прежнего вида (элемента) перешла на стадию видового различия, т. е. продемонстрировала собой, что разновидность есть вид в его развитии, движении и переходе в другой вид.

Таким образом, перед нами раскрывается внутренний механизм развития элементов, причём их разновидности (изотопы) служат связующими звеньями, через которые совершаются взаимные переходы элементов.

## § 92. Обусловленность признака элемента признаком изотопа

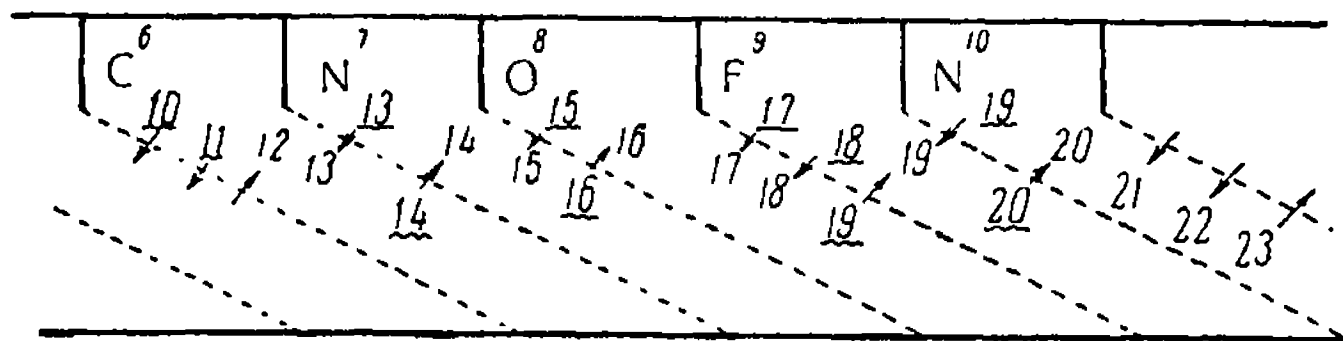
Отрицание всякой связи между признаком вида ( $Z$ ) и признаком разновидности ( $A$ ) не могло, разумеется, способствовать установлению концепции *развития* вещества. Между тем в действительности признак изотопа ( $A$ ) чрезвычайно тесно связан с признаком элемента ( $Z$ ). Эта связь носит не внешний, случайный, а причинно-обусловленный характер. Уже тот факт, что в самом ядре тяжёлые элементарные частицы — протоны и нейтроны (в дальнейшем мы будем называть те и другие нуклонами) *связаны* между собой, наводит на мысль, что признак  $Z$  (равный числу протонов, т. е. числу заряженных нуклонов) должен быть теснейшим образом связан с признаком  $A$  (равным общему числу нуклонов в ядре), ибо число  $A$  складывается из числа заряженных и незаряженных нуклонов. При ближайшем рассмотрении оказывается, что признак изотопа (массовое число  $A$ ) выступает как граница и как условие реализации признака элемента (заряда  $Z$ ).

Прежде всего масса или, точнее, массовое число  $A$ , указывает общее число нуклонов, которые входят в состав данного ядра. При заданном значении  $Z$  (числе протонов) устойчивыми являются не все ядра, но лишь такие, в которых число нейтронов  $n$  ( $n = A - Z$ ) не выходит за определённые границы. При незначительном нарушении этих границ (как правило, на 1—2 нейтрона для лёгких элементов и на несколько нейтронов у тяжёлых) образуются радиоактивные, неустойчивые ядра. При более значительном нарушении отношения  $Z : n$ , когда, скажем число

нейтронов становится *меньше* числа протонов, атомные ядра вообще не могут существовать (кроме самых лёгких, которые существуют у первых элементов периодической системы). Следовательно, устойчивость заряда  $Z$ , а следовательно, и реальное существование химического элемента ограничивается массовым числом  $A$ , точнее — соотношением  $Z : (A - Z)$ .

Число  $A$  определяет собой не только границы устойчивости заряда  $Z$ , но само является условием его реализации. Оно как бы *регулирует* значение  $Z$ , приводя его в соответствие со своим собственным значением. Это можно показать на двух примерах. В случае искусственной радиоактивности при нарушении границы устойчивости элемента происходит сдвиг лёгкого элемента на соседнее место по системе либо налево ( $\beta^+$ -излучение), либо направо ( $\beta^-$ -излучение) (см. табл. 6 в конце книги).

Приведённая здесь табличка изображает часть II-го периода менделеевской системы <sup>1)</sup>.



Сверху у символа стоит значение  $Z$ ; снизу значение  $A$ . Стрелки указывают сдвиг элемента:  $\searrow$  при  $\beta^-$ -излучении,  $\nearrow$  при  $\beta^+$ -излучении. Значение  $A$  для устойчивых ядер обозначено простыми цифрами, для радиоактивных — цифрами с волнистой чертой. Совершенно очевидно, что если дано число нуклонов, равное  $A$ , то оно во всех этих случаях искусственной радиоактивности остаётся неизменным. Оно является в данных случаях постоянной величиной в характеристике ядер, но число заряженных нуклонов, т. е. число протонов, при данном общем числе нуклонов, может изменяться и меняется. Так, например,

<sup>1)</sup> См. Г. Т. С и б о р г, Таблица изотопов (Успехи физических наук, т. XXVIII, вып. 2—3, 1946, стр. 288—290).



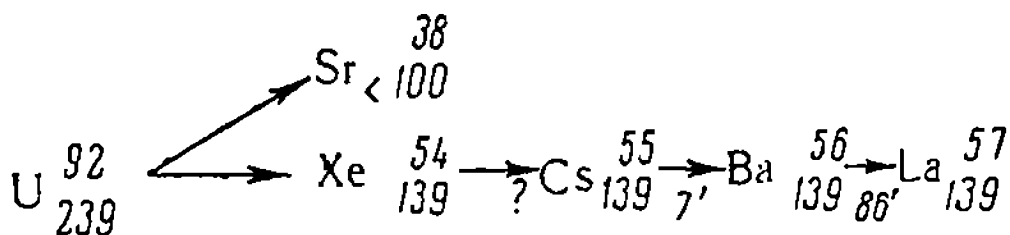
когда дано  $A=19$ , то устойчивой при этих условиях оказывается не всякая атомная система, но только такая, при которой из общего числа нуклонов заряжено не больше и не меньше 9, т. е. если ядро принадлежит фтору ( $Z=9$ ). Когда протонов меньше 9 (при данном  $A$ ), то ядро неустойчиво (см.  $O_{19}^8$ ). В этом случае можно было бы ожидать одного из двух процессов: если бы определяющим фактором или регулятором было значение  $Z$  (число заряженных нуклонов), то оно, оставаясь само неизменным, произвело бы «регулировку» массового числа, т. е. привело бы значение  $A$  в соответствие со значением  $Z$ . Это было бы достигнуто путём излучения тяжёлой частицы (т. е. одного нейтрона):  $O_{19}^8 \rightarrow O_{18}^8$ . Следовательно, произошло бы превращение *изотопов*. Однако происходит совсем не это. Реально значение  $A$  остаётся неизменным; происходит не отдача излишней массы, но приобретение недостающего заряда путём  $\beta^-$ -излучения, т. е. превращения одного из нейтронов внутри ядра в протон:  $O_{19}^8 + n \rightarrow F_{19}^9$ . Следовательно, происходит превращение *изобаров*.

Протекание такого именно процесса вполне понятно, ибо для того чтобы излучить *тяжёлую* частицу, ядро должно испытать весьма глубокое превращение с энергетической точки зрения. В то же время процесс излучения лёгкой частицы ( $e^+$  или  $e^-$ ) имеет значительно менее глубокий характер и не нарушает общего равновесия ядра: происходит лишь отдача некоторого избытка внутренней энергии с переходом одного нуклона из заряженного состояния в нейтральное или наоборот. Но сам нуклон продолжает присутствовать в ядре.

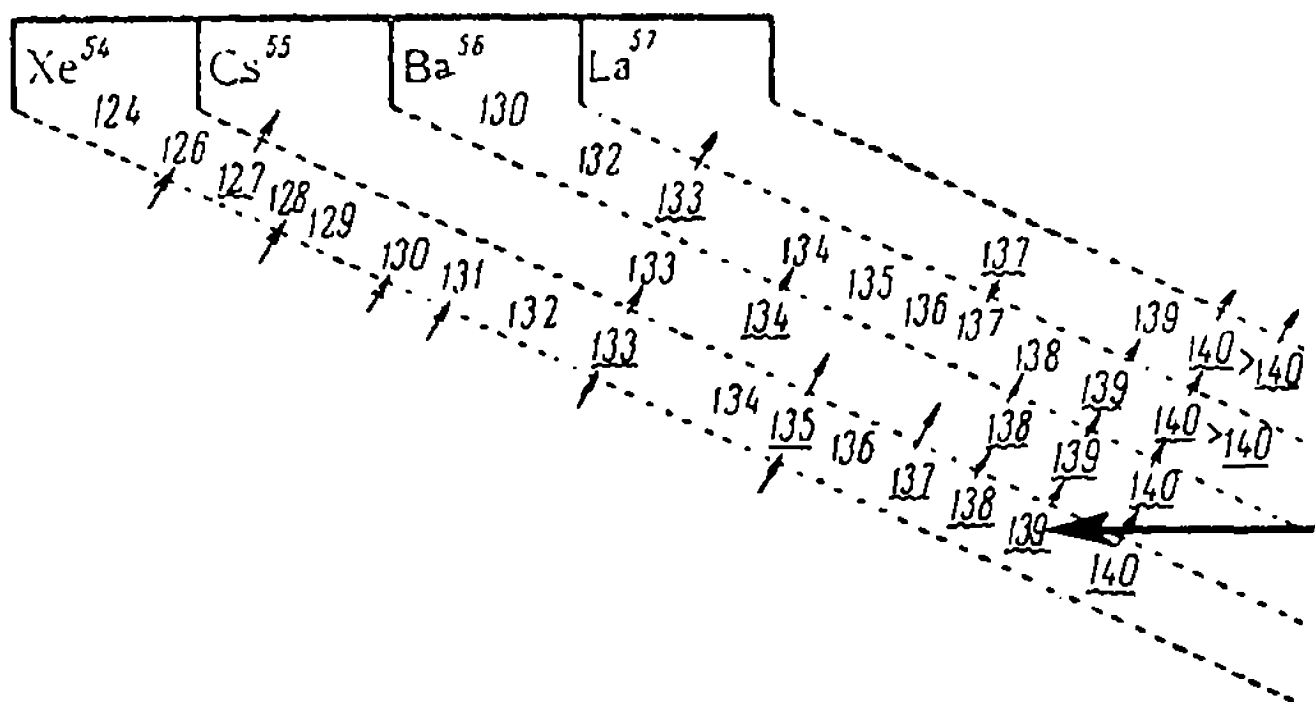
Вот почему нам кажется, что *коренным признаком ядра*, а значит, и элемента, является массовое число  $A$ , т. е. общее число нуклонов, но не сам по себе заряд  $Z$ , который указывает лишь на число нуклонов, находящихся в определённом состоянии.

Вторым примером, подтверждающим нашу мысль, может служить цепочка радиоактивных превращений, претерпеваемых *продуктами распада тяжёлого ядра*, скажем, урана. Непосредственными осколками урана оказываются изотопы элементов средней части периодической системы,

т. е. полутяжёлых элементов, в пределах от цинка ( $Z=30$ ) до европия ( $Z=63$ ). Так как соотношение  $Z : (A-Z)$  для урана сдвинуто сильно в меньшую сторону, т. е. имеется избыток нейтронов относительно протонов, то у обоих осколков урана число нейтронов оказывается значительно превышающим границу устойчивости  $Z$  у вновь образовавшихся ядер. Здесь, как и в случае искусственной радиоактивности, происходит «регулировка» заряда  $Z$  массовым числом  $A$ : осколочное ядро путём последовательных изобарических переходов превращает свои избыточные нейтроны в протоны (т. е. заряжает их через  $\beta^-$ -излучение), пока не образуется устойчивый конечный продукт распада, в котором значение  $Z$  соответствует значению  $A$  у осколка. Это ясно видно из следующей схемы (для простоты мы опускаем участие свободных нейтронов в реакции распада): (под стрелкой указан период полураспада).



То же самое можно изобразить в виде таблички изобарических превращений <sup>1)</sup>:



<sup>1)</sup> См. Г. Т. Сиборг, Таблица изотопов (Успехи физических наук, т. XXVIII, вып. 2—3, 1946, стр. 327—331).

Приведённые примеры, разумеется, не означают, что возможны только излучения лёгких частиц при сохранении общего числа тяжёлых. Хорошо известны ядерные реакции, при которых выделяются отдельные нуклоны (протоны, нейтроны) или их группы ( $\alpha$ -частицы, дейтероны). В этих случаях трудно определить, какая из двух величин —  $A$  или  $Z$  — является определяющей, а какая — зависимой. Ибо здесь налицо сложнейшее взаимодействие обоих моментов. В случае же искусственной радиоактивности лёгких элементов или полутяжёлых осколков урана процесс поставлен в такие условия, когда ясно выступает изобарический характер ядерных превращений, при которых значение  $A$  регулирует значение  $Z$  и выступает по отношению к нему в качестве определяющего фактора.

Вместе с тем в последнем случае мы имеем дело с таким процессом, который обусловлен не внешним воздействием, например, не воздействием нейтрона или  $\alpha$ -частицы, а исключительно *внутренним* состоянием самого ядра. Последнее обстоятельство как раз и выражено в том, что каждый  $\beta$ -распад, рассмотренный выше, имеет свой особый полупериод в качестве определённой характеристики соответствующего ядра. Поэтому-то мы можем устанавливать определяющий фактор, исходя из внутреннего взаимоотношения между общим числом нуклонов  $A$  и их электрическим состоянием, представленным числом заряженных нуклонов  $Z$ .

Сказанное позволяет на основании изобарических превращений элементов сформулировать следующее положение: вероятность излучения лёгкой частицы обычно больше, чем вероятность излучения тяжёлой частицы. В тех же случаях, когда первая вероятность становится меньше второй, происходит более сложное излучение, при котором часть нуклонов ( $A$ ), представляя собой более устойчивую основу ядра, нежели число заряженных нуклонов  $Z$ , регулирует изменение электрического состояния отдельных нуклонов. Число заряженных нуклонов  $Z$  (число протонов) есть по существу величина, зависящая от  $A$ . Заряд  $Z$  не в состоянии регулировать, т. е. изменять и приводить в соответствие со своим значением, общее число нуклонов ( $A$ ). Тем самым оказывается, что признак изотопа (число  $A$ )

не только не является второстепенной характеристикой элемента в смысле влияния на признак  $Z$ , но, напротив, выступает в роли определяющего фактора по отношению к  $Z$ ; от величины  $A$  зависит реализация заряда  $Z$ , его устойчивость, его существование, словом, границы и условия его бытия.

### § 93. Уточнение зависимости между признаком элемента и массой

Рассмотренная выше зависимость между значениями  $A$  и  $Z$  лишь частично выражает собой регулирующую и определяющую роль массы в поведении ядра и его заряда. В порядке уточнения роли массы следует отметить ещё по крайней мере два момента: дефект массы и ядерную изомерию.

Массовое число ( $A$ ) всегда равно общему числу нуклонов, из которых построено ядро. Напротив, точное значение массы ( $m$ ) ядра всегда меньше суммы отдельных масс протонов и нейтронов, входящих в ядро. Образование устойчивого ядра из нуклонов является процессом *экзотермическим*. Оно протекает с выделением огромного количества энергии. Например, четыре нуклона (2 протона и 2 нейтрона) обладают массой, примерно равной  $1,008 \cdot 4 = 4,032$ . Но при их конденсации в  $\alpha$ -частицу (в ядро  $\text{He}_4^2$ ) выделяется энергия, эквивалентная 0,029 атомной единицы на один атом. Соответственно на эту величину уменьшается суммарная масса четырёх нуклонов, поэтому ядро  $\text{He}_4^2$  имеет массу не 4,032, но 4,003. Убыль массы (дефект массы или упаковочный эффект  $\Delta m$ ) является показателем прочности образующегося ядра. Если ядро способно уменьшать общий запас своей внутренней энергии путём выделения её избытка, а тем самым путём уменьшения своей общей массы, то такое ядро неустойчиво. Вероятное направление ядерного превращения определяется тем энергетическим эффектом, которым сопровождается переход данного ядра в другое ядро. Существенное значение при этом имеет достижение системой состояния с минимальным значением внутренней энергии, следователь-

но, с минимальным значением общей массы (при данном числе нуклонов). Тем самым точные значения массы ( $m$ ) изобарических ядер (смежных в системе Менделеева) определяют собой вероятное направление процесса взаимного превращения ядер, т. е. того конкретного пути, каким происходит выход за границы бытия данного элемента.

Значение  $m$  может быть различно при одних и тех же значениях  $A$  и  $Z$ . Это имеет место в том случае, если два ядра одного и того же изотопа обладают различными, но вполне определёнными запасами внутренней энергии (соответственно различными значениями массы), несколько различаясь друг от друга по массе. Это обстоятельство находит своё выражение в различии радиоактивных констант таких ядер. Такие ядра называются изомерными или радиоизомерными. Например, изотоп индия  $\text{In}_{116}^{48}$  имеет два различных полупериода:  $13''$  и  $54'$ , соответствующих двум радиоизомерам. Ядро каждого ядерного изомера  $\text{In}_{116}^{48}$  состоит из 48 протонов и 68 нейтронов; но запасы внутренней энергии (а отсюда и точные массы) у них различны: 13-секундный изомер имеет максимальную энергию электронов  $3,1 \text{ MeV}$ , 54-минутный — энергию электронов  $1,4 \text{ MeV}$ . Соответственно этому различается устойчивость обоих изомеров и скорость их распада.

Таким образом, мы получаем по меньшей мере два различительных признака, связанных со значением массы ядра. Из них один определяет в более общем виде границы и условия устойчивости заряда  $Z$ ; другой определяет более детально направление и темпы изменения  $Z$ . Первый признак — это массовое число  $A$  (общее число нуклонов), второй признак — это точное значение массы  $m$  ядра (или соответствующего ей количества внутренней энергии). Число  $A$  есть признак изотопа (разновидности); величина  $m$  есть признак изомера, но не изотопа, ибо один и тот же изотоп может существовать в различных изомерных формах, обладающих различным запасом внутренней энергии. Поэтому признак  $m$  мы будем считать признаком модификации (подразновидности), но не разновидности, т. е. ядерного изомера, но не изотопа. Кстати сказать, у Панета нет ясности по этому вопросу.

## § 94. Дальнейшее расширение эмпирической основы видового признака элемента

В 1942 г. советским физиком А. П. Ждановым было сделано выдающееся открытие, которое мы можем рассматривать как новое, ещё более глубокое и содержательное, чем все прежние, обоснование видового признака элемента. Речь идёт об открытии явления полного распада атомного ядра на его структурные единицы — нуклоны — под действием космических лучей и тем самым о возможности *прямого подсчёта* числа протонов, входивших в ядро, а следовательно, и заряда  $Z$ , равного их числу. Так, например, Жданов подсчитал число протонов, содержащихся в ядрах атомов серебра и брома. Этот путь определения обладает тем огромным преимуществом перед способом Чадвика (1920), что он позволяет трактовать заряд  $Z$  не только как величину, численно равную номеру  $N$ , но как величину, целиком обусловленную присутствием в ядре заряженных нуклонов. Иными словами, заряд  $Z$  получает теперь физически наглядную и непосредственно экспериментально доказанную интерпретацию: он оказывается непосредственно равным числу физических частиц определённого рода (протонов). Поэтому открытие Жданова позволяет успешно построить такое эмпирико-синтетическое определение элемента, которое даёт возможность экспериментально выражать определяющий видовой признак элемента как физически осязаемую реальность.

Исходя из открытия Жданова, можно было бы дать такое определение элемента: элемент определяется числом протонов  $Z$ , которые содержатся в ядре атомов и на которые распадается ядро при его полном расщеплении.

По примеру предыдущих определений мы могли бы условно назвать приведённое определение именем Жданова. Это определение содержит в себе указание на экспериментальное подтверждение гипотезы Иваненко и Гапона о том, что ядро состоит из протонов и нейтронов и что число протонов равно заряду  $Z$ .

Таким образом, условное определение Жданова есть определение Панета, дополненное более конкретной физической характеристикой определяющего признака  $Z$ .

## § 95. Новое определение элемента в связи с признаком массы

В противоположность одностороннему определению Панета, в котором отсутствует указание на изменчивость признака  $Z$ , можно построить новое определение элемента на более широкой теоретической основе. С этой целью в определение элемента необходимо включить не только признак  $Z$ , определяющий общую конфигурацию электронной оболочки атома и место элемента в системе Менделеева, но и признак массы (массового числа  $A$  и точной массы атома  $m$ ). Масса, как мы видели, определяет границы и условия устойчивости элемента, т. е. признака  $Z$ , а также характер, темпы и направление его изменения. Но число  $A$  есть признак изотопа (разновидности), а значение  $m$  — признак изомера (модификации); следовательно, определение элемента должно быть расширено за счёт включения в него признаков разновидности ( $A$ ) и модификации ( $m$ ), которые ограничивают и обуславливают собой признак вида ( $Z$ ).

Соответственно этому новое определение элемента кратко может быть сформулировано так: *элемент есть вид атомов, занимающих одно и то же место в периодической системе Менделеева и потому несущих одинаковый заряд ядра  $Z$ , границы и условия существования которого определяются значением массы ядра.*

Дифференцируя зависимость устойчивости и изменчивости заряда  $Z$  от массы, можно это определение расширить следующим образом.

Элемент есть вид атомов, несущих одинаковый заряд ядра  $Z$ , границы и условия существования которого определяются более общо значением массового числа  $A$  (признаком разновидности — изотопа), а более детально — точным значением  $m$  (признаком модификации — изомера).

Приведённое выше определение было дано нами в 1940 г. в такой формулировке: «Химический элемент есть вид атомов, обладающих одинаковым ядерным зарядом, устойчивость которого зависит от массы ядра»<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Философские записки, № 1, 1946, стр. 178. (В связи с войной публикация этой статьи задержалась на 6 лет.)

Выше было показано, что проверкой правильности даваемых вновь определений элемента служили открытия новых, ранее неизвестных элементов. Открытия Ga, Sc и Ge явились фактической проверкой менделеевского определения, равно как и открытие Ne; открытие Pa — проверкой условного определения Содди; открытие Hf — проверкой условного определения Бора. Подобно этому, синтетическое получение трансурановых элементов Np, Pu (1940) и Am, Cm (1945) путём увеличения массы ядра с помощью нейтронов может рассматриваться как аналогичная проверка справедливости нашего определения. С изменением массы ядра его заряд терял устойчивость и претерпевал превращение в сторону увеличения, что влекло за собой выход за существовавшие ранее границы периодической системы.

## § 96. Особенности нового определения элемента

Существенными особенностями нашего определения элемента являются следующие.

Это определение указывает не только на присутствие определённого устойчивого признака элемента  $Z$ , но и на способность его к изменению при превращении элемента. Следовательно, наше определение не отвлекается от возможной изменчивости признака  $Z$ , как это имеет место в определении Панета, но, напротив, учитывает такую возможность и подчёркивает условия её реализации. Тем самым наше определение рассматривает вид атомов (элемент) не абстрактно, не как застывшую, неподвижную категорию, но конкретно, как текучее, подвижное, изменчивое понятие, отражающее текучесть, подвижность, изменчивость форм самого материального объекта. Достигается это путём рассмотрения признака  $Z$  (а следовательно, и понятия элемента) как *относительного, обусловленного*, связанного с признаками изотопа ( $A$ ) и модификации ( $m$ ). В основе такого взгляда лежит идея развития вещества. Именно она заставляет отказаться от абстрактного учёта одного лишь момента устойчивости и постоянства видового признака  $Z$  и перейти к конкретному учёту его подвижности, его изменчивости. Здесь подтверждается положение Эн-



гельса, что диалектическое направление в философии характеризуется текучими категориями в противоположность метафизическому направлению с неподвижными категориями<sup>1)</sup>, и что такие понятия, как вид, «благодаря теории развития стали текучими и тем самым *относительными*».

Далее, наше определение строится не только на учёте признаков, которые выражают сходство, одинаковость, тождество атомов данного элемента, но и на учёте признаков, которые выражают *различие* атомов, существующее внутри одного и того же элемента. Тем самым, в основе нашего определения лежит более широкий принцип, чем формально-логический закон абстрактного тождества: наряду с тождеством учитывается и различие, причём различие включено в определение не как внешний, случайный момент, а как момент, органически связанный с признаком тождества (зарядом  $Z$ ), как входящий «внутрь» признака  $Z$  в смысле его ограничения и обусловленности его бытия. Другими словами, наше определение гласит, что тождество атомов по заряду  $Z$  имеет своей внутренней границей и своим условием различие атомов по массе (по  $A$  и  $m$ ). Это означает, что на место абстрактного тождества атомов (т. е. на место одного только равенства значений  $Z$ ) наше определение ставит *конкретное* тождество, т. е. такое, которое включает в себя и различие. Этим подтверждается приведённое уже ранее (см. § 46) положение Энгельса, что тождество и различие не являются непримиримыми противоположностями, а являются «односторонними полюсами, которые представляют собой нечто истинное только в своём взаимодействии, во включении различия в тождество».

Вместе с тем наше определение строится не на абстрактном учёте одних только общих признаков атомов, но на учёте *единства их общих и частных признаков* внутри данного элемента. Общие признаки выражают собой существенные свойства *всех* атомов данного элемента, частные признаки — свойства всех атомов внутри отдельных групп, входящих в данный элемент (внутри изотопов или изо-

<sup>1)</sup> См. Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 161,

меров). Тем самым соотношение общего и частного устанавливается в нашем определении не как внешнее, случайное, но так, что общий признак оказывается обусловленным и ограниченным частными признаками. Это взаимоотношение признаков можно представить по другому: общими признаками атомов служат такие свойства, как  $Z$ ,  $A$  и  $m$ , ибо каждое атомное ядро имеет определённый заряд, состоит из нуклонов, число которых равно  $A$ , и обладает некоторым значением массы  $m$ . Для элемента существенно, чтобы значение  $Z$  у всех атомов было одинаковым, значения же  $A$  и  $m$  могут быть различны. В этой связи значение  $Z$  оказывается общим признаком, а значения  $A$  и  $m$  — частными. Для изотопа существенно, чтобы не только значение  $Z$ , но и значение  $A$  было одинаково у всех атомов; в данной связи они оба будут играть роль общих признаков; частным признаком будет значение  $m$ , которое может быть различно у изотопов при данных  $Z$  и  $A$ . Наконец, у изомеров значения всех трёх свойств должны быть одинаковы, другими словами, все они оказываются общими.

Таким образом, понятие общего признака оказывается относительным. Но если общими признаками мы будем считать сами по себе свойства ядра  $Z$ ,  $A$  и  $m$ , то частным признаком будут различные значения этих признаков или их вариации, допустимые в пределах сохранения равенства определяющего признака. По отношению ко всей совокупности элементов, выраженной периодической системой, частными будут вариации всех трёх признаков. По отношению к элементу частными будут вариации значения  $A$  и  $m$ . По отношению к изотопу частными будут вариации значений  $m$ . Но все эти вариации, выступая в роли частного момента по отношению к неварьирующему признаку как общему, оказываются частными значениями внутри данного свойства. Например, заряд 1 есть частный случай заряда  $Z$ . Массовое число 1 есть частный случай массового числа  $A$ . Масса 1,0078 есть частный случай массы  $m$ . Но общее свойство  $Z$  включает в себя все значения  $Z$  от 1 до 96; общее свойство  $A$  включает в себя все значения  $A$  от 1 до 243. Общее свойство  $m$  включает в себя все значения  $m$  от 1,0078 до массы ядра америция ( $Z=96$ ).

Таким образом, в нашем определении данное частное значение общего свойства  $Z$  обуславливается и ограничивается частным значением общих свойств  $A$  и  $m$ . Это означает, что общее включает в себя частное в виде своих частных значений. Этим подтверждается мысль Ленина о единстве общего и отдельного, частного; о том, что всеобщее такое, которое воплощает в себе богатство особенного, индивидуального, отдельного.

Наконец, наше определение, в отличие от определения Панета, строится не только на учёте электрических свойств ядра, но и на учёте его устойчивости, в частности, его *радиоактивных* свойств. Оно учитывает оба основных открытия, с которыми Ленин связывал «новейшую революцию в естествознании», в части, касающейся взглядов на атомы и элементы. Тем самым наше определение может служить в большей степени, нежели определение Панета, для целей обобщения и резюмирования изменений в понятии элемента, происшедших в XX в.

Всё это даёт нам основание утверждать, что наше определение является определением диалектико-логического характера, идущим дальше формального, абстрактного определения Панета.

## § 97. Содержание нового определения элемента

Наше определение построено на соотношении видового признака  $Z$  и признака массы ( $A$  и  $m$ ). Оно выражает собой самую суть дела, но требует развития и разъяснений. Такое развитие предполагает прежде всего выяснение связи между нашим определением и периодической системой Менделеева, которая служит общей основой для всякого синтетического определения элемента. Соответственно этому всё сказанное в настоящей работе можно резюмировать в виде развёрнутого положения, состоящего из двух частей:

I. Элемент есть вид атомов, которые приходятся на одно и то же место в системе Менделеева, а потому, с одной стороны, стоят под определённым порядковым номером  $N$  и несут определённый заряд ядра  $Z$ , а с другой стороны, имеют определённую конфигурацию оболочки, в которой

каждый электрон занимает определённое «место», характеризующееся особой совокупностью четырёх квантовых чисел.

II. Устойчивость элемента и его определяющего признака зависит от признаков изотопа (общего числа нуклонов  $A$ ) и изомёра (массы ядра  $m$ ). При нарушении границ этой устойчивости происходит изменение заряда  $Z$  и качественное превращение одного элемента в другой, выражаемое как сдвиг элемента на другое место в системе Менделеева.

В этом развёрнутом положении представлены в обобщённом виде все наиболее существенные открытия, касающиеся атомов и элементов, и все дававшиеся ранее или подготавливавшиеся синтетические определения элемента (см. табл. 7 в конце книги).

От Менделеева оно взяло признак *«место элемента в системе»*.

От Томсона и Резерфорда — идею зависимости *электронной конфигурации от положения элемента в системе Менделеева, т. е. принцип ассоциации*.

От Мозели — *номер места в периодической системе*.

От Содди — *способность различных по массе атомов попадать на одно и то же место в системе Менделеева и способность атомов сдвигаться с места на место в этой системе*

От Панета — *признак равенства заряда ядра у атомов одного и того же элемента*.

От Бора и Паули — *квантовую характеристику «положения» электрона в оболочке атома, ассоциирующуюся с положением элемента в системе Менделеева*.

От Щукарева, Астона и других — *указание на связь между признаком места элемента в системе и зарядом ядра, который служит физической интерпретацией места (номера) в системе Менделеева*.

Наконец, оно включает в себя указание на установленную современной ядерной физикой зависимость между зарядом ядра  $Z$ , массовым числом  $A$  и точной массой ядра  $m$ . Всё это подчёркивает глубокий историзм, лежащий в основе нашего определения. Можно сказать, что в нём логически обобщена история развития понятия элемента от Менделеева до наших дней,

## § 98. Диалектический характер нового определения элемента

Диалектический характер нашего определения элемента проявляется в двух отношениях: субъективном (признание развития понятия элемента) и объективном (признание развития самого предмета, самих химических элементов, отражаемых понятием элемента).

Субъективная сторона вопроса изложена нами выше. Она касается раскрытия внутренней связи между различными определениями элемента, развития понятия элемента, преемственности в этом развитии и вместе с тем появления качественно нового момента, отсутствовавшего в предшествующих определениях (зависимости признака вида от признака разновидности и модификации).

Объективная сторона вопроса может быть выражена в четырёх чертах, характеризующих диалектику взаимоотношений и развития химических элементов и соответствующих четырём основным чертам марксистского диалектического метода, сформулированных И. В. Сталиным в работе «О диалектическом и историческом материализме».

Во-первых, определяя элемент через место элемента в менделеевской системе и через заряд  $Z$ , как физический признак этого места, мы тем самым ставим на первое место не случайный, внешний признак элемента, а внутреннюю закономерную связь определяемого элемента со всеми остальными химическими элементами.

Во-вторых, подчёркивая изменчивость заряда  $Z$  и, следовательно, изменчивость самого элемента, мы тем самым подчёркиваем, что определяемый предмет не представляет собой чего-то застывшего, покоящегося, а, напротив, способен развиваться, изменяться, «двигаться».

В-третьих, устанавливая зависимость между массовым числом  $A$  (признак разновидности, т. е. изотопа) и зарядом  $Z$  (признак вида, т. е. элемента), мы тем самым устанавливаем, *каким способом* происходит развитие, изменение и превращение элементов. Постепенное количественное увеличение или уменьшение массового числа  $A$  каждый раз на единицу приводит к тому, что на известной ступени этого процесса ядро становится неустойчивым и заряд  $Z$

перестает соответствовать достигнутому числу  $A$ . Тогда происходит либо внезапное и резкое изменение заряда  $Z$  путём  $\beta$ -излучения или  $K$ -захвата, либо столь же внезапное и резкое изменение заряда  $Z$  и массы ядра путём  $\alpha$ -излучения или же деления ядра. Во всех этих случаях происходит скачок, происходит качественное превращение первоначального элемента в новый элемент. Таким образом, наше определение отражает собой закон диалектики о переходе количественных изменений в качественные.

В-четвёртых, раскрывая взаимоотношение между массой и зарядом ядра, обуславливающее границы устойчивости и изменчивости элемента, мы тем самым раскрываем *источник* развития, изменения и превращения элементов. Таким источником служит соотношение между электронейтральной и электроразряженной материей ядра, лежащее в самой основе, в самой сущности атомов и, следовательно, элементов. Таким образом, наше определение отражает собой и другой закон диалектики — о единстве и борьбе противоположностей.

Раскрывая содержание нашего определения, мы находим в нём все основные черты, характеризующие марксистский диалектический метод, указание на органическую связь элементов и на их развитие, выяснение того, *как* и *почему* происходит их развитие.

Однако было бы неправильно полагать, что данное нами определение элемента в какой-либо степени может считаться законченным, раз навсегда установленным, не способным к дальнейшему уточнению и развитию; оно лишь отвечает современному уровню науки и с дальнейшим прогрессом наших знаний об элементах неизбежно должно будет подвергнуться пересмотру.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

# ИТОГИ РАЗВИТИЯ МЕНДЕЛЕЕВСКИХ ВЗГЛЯДОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ

### § 99. Общий ход развития современного понятия элемента

Подведём теперь итоги развития современного понятия элемента и его теоретико-синтетических определений от Менделеева до наших дней (см. табл. 7).

Первым теоретико-синтетическим определением элемента было *определение Менделеева (1871)*. Это определение было *исходным*, составившим *основу* всех позднейших определений элемента, опиравшимся так или иначе на периодический закон Менделеева. Но оно было чрезвычайно абстрактным, характеризуя место элемента в системе лишь двумя отвлечёнными координатами.

Следующее за ним, условно сформулированное, *определение Томсона (1904)* явилось конкретизацией первого. Оно полностью удержало признак места элемента в менделеевской системе и придало этому признаку несколько более конкретное выражение путём ассоциирования его со слоистым расположением электронов в атомной оболочке.

*Определение Резерфорда (1911)*, тоже условное, вытекающее из определения Томсона, полностью удержало всё, что заключалось в обоих предыдущих определениях и углубило их при помощи идеи о том, что конфигурация электронов определяется зарядом ядра. Тем самым руководящий принцип ассоциации был перенесён с электронной оболочки на атомное ядро.

*Определение Содди (1913)* можно рассматривать, с одной стороны, как дальнейшее развитие определения Резер-

форда, поскольку оно связывает изменчивость радиоактивных элементов с изменчивостью заряда ядра; с другой стороны, оно прямо вытекает из исходного определения Менделеева, поскольку изменение элемента трактуется непосредственно как его «сдвиг» на другое место в системе Менделеева, следовательно, как потеря им прежнего определяющего признака и приобретение нового. Таким образом, условное определение Содди может быть прямо выведено из определения Менделеева.

Предварительное *определение Панета* (1916) (в его теоретической части) по видимости порывает установившуюся (в ходе развития понятия элемента) связь между местом элемента в системе Менделеева и определяющим признаком элемента. В действительности же в скрытом виде эта связь полностью сохраняется. В основе предварительного определения Панета лежит и целиком удерживается исходное менделеевское определение. Последнее через открытие Мозели конкретизируется и получает однозначную количественную характеристику в виде своего номера. Вслед за тем (в порядке той же логической и исторической преемственности научного развития) отвлечённое понятие номера места в системе Менделеева воплощается в реально осязаемую величину заряда ядра. Следовательно, сначала место в системе нумеруется, а затем его номер конкретизируется как физическое свойство ядра. Без этого предварительного пройденного теоретической мыслью пути невозможно было бы возникновение самого определения Панета. Однако Панет игнорировал действительную подготовку и предпосылки своего определения, пытаясь связать его не с периодической системой Менделеева, а с не имеющим сюда прямого отношения признаком химической неразложимости вещества. В результате получился временный уклон от магистральной линии развития современного понятия элемента.

Эта связь, казалось бы, окончательно утратилась после того, как Панет принял заряд ядра в качестве единственного определяющего признака элемента. В окончательном *определении Панета* (1918) уже нет сопоставления признака  $Z$  с рентгеновским спектром элемента, а тем самым утрачена связь не только с менделеевским определением, но



и с порядковым номером. Тем не менее такая связь в скрытом виде продолжает существовать. Ею только и обусловлена познавательная ценность панетовского определения.

Дальнейшее развитие определения элемента пошло вспять, восполняя в порядке достройки ранее пропущенные звенья. Так, пробелом в панетовском определении было игнорирование связи между зарядом ядра и местом элемента в системе. Такая связь могла быть отражена при условии, если до определения Панета возникло бы *определение Комиссии*, принимающее порядковый номер в качестве определяющего признака элемента. Однако *определение Комиссии* (1923) возникло *после* панетовского определения. Будучи эмпирическим, оно выступило в качестве определённой реакции против теоретической части определения Панета. По отношению к менделеевскому определению определение Комиссии может рассматриваться как его непосредственная конкретизация, достигаемая путём приписывания определённого номера месту элемента в системе. Ещё полнее пробел в определении Панета мог быть заполнен в случае оформления и принятия *определения Астона* (1922), высказанного лишь косвенно, в котором устанавливалась прямая связь между местом элемента в системе, его порядковым номером и зарядом ядра.

Одновременно с тем, как на основе принципа ассоциации развивалось, конкретизировалось и обогащалось определение Менделеева в части, касающейся признаков ядра, тот же процесс происходил с менделеевским определением и в части, касающейся признаков, связанных с электронной оболочкой. Условное *определение Бора* (1921) сохранило всё положительное, что содержалось в условных же определениях Томсона и Резерфорда, и со своей стороны начало конкретизировать признак «места» электрона в оболочке, подобно тому как открытие Мозели конкретизировало признак места элемента в системе. Условное определение Бора установило у места электрона в оболочке первые две квантовые координаты, что имело особое значение для определения «места»  $Z$ -го электрона в оболочке.

*Определение Паули* (1925), тоже условное, удержало и развило всё, что заключалось в предыдущем определении Бора, доведя число квантовых координат до четырёх, благо-

даря чему положение каждого электрона в оболочке получило вполне однозначную характеристику. Тем самым принцип ассоциации был развит исчерпывающим образом.

Место элемента в системе Менделеева в точности ассоциировалось с местом электронов в атомной оболочке.

*Определение Щукарева (1934)* начало устранять имевшийся в определении Панета разрыв между признаком заряда ядра и его фактической основой — местом элемента в системе. Постепенно стало выявляться, что определение Панета (в своей теоретической части) только потому и могло возникнуть, что оно удержало в себе — в качестве отправного — определение Менделеева, обогатив его признаком физически интерпретированного порядкового номера. Благодаря Щукареву определение Панета выступило теперь как результат развития исходного определения Менделеева. Игнорируемая Панетом связь его определения с периодической системой была выражена в явной форме, и это привело к чётко сформулированному определению Щукарева. Последнее есть не что иное, как определение Панета, в котором вскрыты содержащиеся уже ранее, но неявно, определения Менделеева и Комиссии.

Наконец, *наше определение (1940)* преодолевает односторонность определения Панета на основе учёта границ и условий существования заряда ядра как видового признака элемента. Тем самым исходный определяющий признак элемента — его место в менделеевской системе — рассматривается не с точки зрения его обособленности и отграниченности от других мест той же системы, а с точки зрения условий, характера и направления тех процессов, благодаря которым нарушаются границы существования элемента и совершается выход его за эти границы, т. е. переход его на другое место в системе.

Наше определение синтетически обобщает все предыдущие. Во-первых, оно связывает все определения XX в., в особенности определение Панета, с исходным определением Менделеева как их логической и исторической основой. Оно является дальнейшим развитием определений Астона (условного) и Щукарева; при этом оно суммирует наиболее типичные случаи проявления принципа ассоциации.

Во-вторых, оно связывает определения, учитывающие заряд ядра, с определениями, учитывающими электронную оболочку, т. е. связывает группу определений Панета, Комиссии и Щукарева с группой условных определений Томсона, Бора и Паули. В этом отношении наше развёрнутое определение является прямым развитием условного определения Резерфорда.

В-третьих, оно связывает все определения, в которых определяющий признак элемента рассматривается статически как данный, с таким определением, в котором признак элемента рассматривается динамически, с точки зрения условий и характера его изменений. В этом отношении наше определение является дальнейшим развитием условного определения Содди.

### § 100. Диалектический характер развития понятия элемента

К характеристике общего хода развития понятия элемента применимо одно философское положение, записанное Лениным в его «Философских тетрадях»:

«Познание движется от содержания к содержанию. Прежде всего это поступательное движение характеризуется тем, что оно начинается с простых определенностей, и что следующие за ними становятся все *богаче и конкретнее*. Ибо результат содержит в себе свое начало, и движение последнего обогатило его некоторою новою определенностью. Всеобщее составляет основу; поэтому поступательное движение не должно быть принимаемо за некоторое течение от некоторого другого к некоторому другому. Понятие в абсолютном методе *сохраняется* в своем инобытии, всеобщее — в своем обособлении, в суждении и реальности; на каждой ступени дальнейшего определения всеобщее поднимает выше всю массу его предшествующего содержания и не только ничего не теряет вследствие своего диалектического поступательного движения и не оставляет ничего позади себя, но несет с собою все приобретенное, и обогащается и уплотняется внутри себя»<sup>1</sup>).

<sup>1</sup>) В. И. Ленин, Философские тетради, 1947, стр. 202.

Ленин тут же замечает по этому поводу: «Этот отрывок очень недурно подводит своего рода итог тому, что такое диалектика».

Посмотрим, каким образом приведённый Лениным отрывок, будучи материалистически истолкован, может подвести в известной мере итог диалектическому развитию понятия элемента на сегодняшний день.

Познание элементов, разюмирующееся в понятии элемента, развивалось *от содержания к содержанию*; иначе говоря, оно состояло в раскрытии новых связей и отношений у элементов, новых сторон и свойств у них.

Если говорить о современном понятии элемента, то его формирование непосредственно началось с установления предельно *простого определения* из всех возможных, основанных на периодической системе. При этом единственным признаком элемента первоначально служило его место в системе Менделеева.

Следующие определения становились всё *богаче* и *конкретнее*. Постепенно, одно за другим, они включали в себя новые, более содержательные признаки элемента.

Но более совершенные определения элемента возникали не в результате простого отбрасывания менее совершенных, которые им предшествовали, а в *результате развития первоначального понятия* элемента, которому отвечало менделеевское определение элемента. Поэтому все без исключения последующие определения, явно или скрыто, *содержали в себе своё начало*, т. е. менделеевское определение с его признаком места элемента в периодической системе.

Уточняя этот признак, химики и физики двигали вперёд исходное определение Менделеева, *обогащали* его некоторыми новыми отношениями и свойствами, открытыми у элементов, и тем самым превращали его в *некоторое новое определение*.

Основу всех этих определений составляет не какой-либо единичный признак элемента, а *общий закон природы*, периодический закон, и вытекающая из него столь же общая система Менделеева.

Вследствие существования такой *всеобщей основы* поступательное движение научной мысли не следует принимать

за переход от одного представления об элементах к какому-то совершенно другому, не имеющему с первоначальным представлением ничего общего.

В действительности *всеобщее сохраняется* в своих частных проявлениях (в своём «обособлении»). Во всех определениях элемента неизменно сохранялся общий признак — место элемента в менделеевской системе, с которым ассоциировались все определяющие признаки элемента, связанные как с атомным ядром, так и с электронной оболочкой. Тем самым общей основой каждого определения, в том числе и определения Панета, служил в конечном счёте объективно существующий периодический закон и вытекающая из него система Менделеева <sup>1</sup>.

На каждой следующей ступени развития понятия элемента *сохранялась вся масса его содержания, раскрытого уже ранее*. Так, например, определение Щукарева сохранило главное содержание определений Менделеева, Комиссии и Панета. Оно включило в себя итог всего предшествующего развития, в результате которого признак места элемента в системе последовательно обогащался сначала количественной характеристикой (номером  $N$ ), а затем физической интерпретацией этой характеристики в виде заряда  $Z$ .

Понятие элемента развивалось так, что в ходе его диалектического развития ничего ценного не было потеряно, не было оставлено позади или отброшено. Напротив, новые представления об элементах *несли с собою всё приобретённое ранее* в виде установленных уже признаков элементов. Так, например, условное определение Паули включило в себя последовательно приобретённые представления о главном и побочном квантовых числах, резюмированные в условном же определении Бора, а затем представления о спине и магнитном квантовом числе. Только благодаря тому, что ничего ценного из ранее достигнутого не было отброшено

<sup>1</sup>) Сказанным в корне опровергается идеалистическое утверждение Гегеля, содержащееся в разбираемом отрывке, будто в абсолютном методе сохраняется понятие в его «инобытии». На самом деле, разумеется, реальная вещь не есть какое-то мистическое «инобытие» понятия, но, наоборот, понятие есть только отражение в нашей голове реально существующей вещи. Понятие элемента с его признаками есть отражение существенных свойств и отношений реально существующих химических элементов.

(«оставлено позади» развивающегося понятия), определение Паули достигло положительного результата в смысле решения вопроса о «месте» электрона в атомной оболочке, а в связи с этим вопроса о более точном определении места элемента в периодической системе, следовательно, и об определении самого элемента.

Наконец, диалектическое развитие понятия элемента происходило не так, что ко всем прежним признакам элемента, установленным в течение предшествующего периода, механически добавлялись новые признаки, а так, что новые признаки включали в себя органически все признаки, установленные прежде. Дело обстояло так, что новые открытия *концентрировались* в понятии элемента, обогащая его и как бы «уплотняясь» в нём. Раскрытые ранее порознь отдельные связи и отношения между элементами, отдельные их свойства и признаки в свою очередь приводились в связь, и всё это обобщилось в нашем итоговом определении элемента. В этом определении, по существу, сконцентрирован и резюмирован весь путь развития понятия элемента, пройденный за 77 лет от определения Менделеева (1871) до настоящего момента.

## § 101. Осуществление предвидений Менделеева

Подводя итоги, рассмотрим теперь, в какой степени подтвердились перспективы развития понятия элемента, которые наметил в своё время Менделеев.

1) Развитие физики, химии, геохимии, кристаллографии в XX в. блестяще подтвердило мысль Менделеева, что периодический закон не был чем-то застывшим, законченным, но требовал своего дальнейшего *развития* и усовершенствования.

2) Современная наука подтвердила уверенность Менделеева в том, что будущее действительно не грозило периодическому закону разрушением, но что ожидалась лишь надстройка и улучшение воздвигнутого здания, что основа закона должна была *сохраниться* в ходе его эволюции. Эта мысль была выражена А. Е. Ферсманом так: «закон Менделеева будет жить всегда»<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. I, 1936, стр. 415.

3) Объяснение причины периодического закона действительно свелось, как это и предвидел Менделеев, прежде всего к объяснению *кратности валентности*, меняющейся периодически при расположении элементов согласно менделеевской системе. Хотя конкретное объяснение валентности с помощью электронных представлений и не соответствовало специально химическим взглядам Менделеева, однако весь ход развития принципа ассоциации шёл по пути, указанному фактически Менделеевым, в частности, по пути отыскания причины закона кратных отношений различия элементов и изменения их атомности (валентности).

4) Замечательно подтвердилась идея Менделеева о необходимости *динамического* взгляда на атомы. Особенно большое значение приобрела мысль Менделеева о пределе, до которого увеличение веса атома оказывает влияние на устойчивость атомных систем, изменяя возможные равновесия. Хотя Менделеев эту мысль применял лишь к равновесию атомов внутри молекулы, но коль скоро он говорил о внутренней механике самих атомов, эта же мысль, естественно, могла быть в перспективе приложена и к определению границ устойчивости атомов. Такая перспектива, логически вытекавшая из рассуждений Менделеева, блестяще оправдалась современной теорией атомного ядра, трактующей его устойчивость в зависимости от его массы.

5) Динамический подход к определению роли веса и массы в их связи с химизмом оправдался и в открытии *химических различий у изотопов*, ибо в этом случае химические различия атомов действительно вызываются не их валентностью, но различием их массы. Таким образом подтверждается основная мысль Менделеева, что химическое притяжение отчасти обусловлено массой. Оговорка «отчасти», хотя Менделеев сделал её не в связи с электронной трактовкой валентности и химической связи (с чем он был вообще не согласен), приобретает в данном случае особое значение, ибо масса действительно только *отчасти* определяет химическое притяжение, которое в несравненно большей степени определяется электрическим состоянием атома.

6) Особенно ярко осуществилась перспектива, намеченная Менделеевым, по части необходимой замены статиче-



ских, абстрактно-структурных представлений об атомном мире, представлениями *динамическими*. Эта идея подтвердилась впервые тогда, когда на место статической модели Томсона утвердилась в физике планетарная модель Резерфорда-Бора. И опять-таки, хотя Менделеев был противником электронной теории, но, помимо своей воли, он наметил пути её развития, указав, что причина периодического закона, по всей вероятности, кроется в основных началах внутренней механики атомов и частиц.

7) Точно так же, не будучи сторонником идеи превращения элементов и отвергая теорию Резерфорда-Содди, касающуюся радиоактивного распада, Менделеев, тем не менее, по существу правильно наметил перспективу, согласно которой причина периодического закона может быть раскрыта и понята на основе фактов, доказывающих *превращение элементов друг в друга*. Закон сдвига послужил первым подтверждением этого предвидения. Современная ядерная физика даёт ряд дальнейших подтверждений.

8) Особенно интересно то, что полностью подтвердилась одна из важнейших перспектив, намеченных Менделеевым. Эта перспектива состояла в том, что сущность периодического закона не может быть выражена с помощью непрерывных функций, но требует применения системы целочисленных значений каких-то физических величин, выражающих положение элементов в периодической системе и изменение их свойств, прежде всего их валентности. Современная физика перевела это требование Менделеева на язык квантовой теории. В связи с этим, характеризуя менделеевскую систему, С. А. Щукарев сказал, что это — «своего рода матрица с клетками, отвечающими определённым комбинациям квантовых чисел, меняющихся прерывно на целые единицы»<sup>1)</sup>.

Более сложное выражение атомных масс с помощью функции ряда целых чисел, которое в принципе приветствовал Менделеев, свелось к тому, что наряду с понятием массы ядра возникло понятие массового числа  $A$ . Точное значение массы ядра  $m$  (в силу дефекта массы) является дробным и в точности не подчиняется закону кратных отношений (возможность чего предвидел Менделеев), причём не подчи-

<sup>1)</sup> Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 35.



няется в силу тех именно причин, на которые он указывал. Значение же *A*, напротив, полностью подчиняется этому закону. Число *A* связывает ещё теснее современные понятия атома и элемента с центральной дальтоновской идеей о кратности (прерывистости и целочисленности) химических отношений, которую отстаивал и развивал Менделеев в своём учении о периодическом законе.

9) Наконец, полностью оправдалась перспектива, касающаяся самого *определения элемента*. Во-первых, это определение, как и предвидел Менделеев, полностью вытекало из существа периодического закона, независимо от того, осознавали этот факт химики или нет (последнее мы видели на примере Панета). Во-вторых, новое определение элемента возникло в XX в. именно на основе тех ответов, которые дала наука на вопрос о физической причине периодического закона, что также предвидел Менделеев.

Всё это с несомненностью говорит о том, что Менделеев, будучи материалистом и стихийным диалектиком, вопреки метафизической ограниченности взглядов химиков, которые он отчасти разделял сам, смог замечательно верно наметить перспективы прогресса науки на много десятилетий вперёд. Силу этого предвидения он черпал из стихийно воспринятого им диалектического понимания явлений природы, из своего материалистического мировоззрения.

## § 102. Менделеев — родоначальник современных взглядов на вещество

Всё сказанное нами неоспоримо свидетельствует о той исключительно важной роли, какую сыграли и продолжают играть в современной науке о веществе открытия и взгляды Д. И. Менделеева.

На разборе фактического развития познания элементов в XX в. мы могли убедиться в том, что периодический закон и установленная Менделеевым на его основе периодическая система элементов теснейшим образом связаны с современным физическим учением о строении материи.

Менделеевская периодическая система образует теоретический фундамент всей современной химии и главное содержание её основного понятия, понятия хими-

ческого элемента. Система Менделеева позволяет познавать во взаимной связи не только химические элементы, но и химические соединения. Важнейшие теории и понятия современной химии — понятия валентности, теория химической связи, учение об элементах — неразрывно связаны с периодическим законом и системой Менделеева. К этому мы можем добавить, что менделеевская система элементов и выражаемый ею закон являются также фундаментом и современной геохимии. Как показывают данные этой молодой ещё науки, распределение элементов и их соединений между различными областями земной коры, а также гидросферы, атмосферы и биосферы происходило в процессе исторического развития земли в согласии именно с периодическим законом и периодической системой, как это было показано А. Е. Ферсманом.

Периодическая система элементов играет существенную роль и в вопросах современной космологии и астрофизики, ибо естественные процессы новообразования и распада элементов в космических условиях должны также следовать закону, выраженному этой системой.

Более того, есть основание предполагать, на что указывал ещё сам Менделеев, что и некоторые явления биохимического характера, включая физиологическое действие различных веществ на живой организм, имеют закономерную связь с расположением элементов по периодической системе.

Таким образом, периодический закон и система Менделеева являются одним из краеугольных камней современного естествознания. Они устанавливают *внутреннюю связь* между всеми химическими элементами, вскрывают единство качественной и количественной сторон элементов, их взаимообусловленность и *взаимные переходы* количественных изменений (заряд и масса ядра) в качественные изменения самих атомов. Периодический закон элементов является *важнейшим законом развития материи в области неорганической природы*.

В этом глубокий философский смысл периодического закона, имеющего первостепенное значение для обоснования *диалектико-материалистического взгляда на природу*. Под этим углом зрения высокую оценку менделеевской пе-

риодической системы дал Энгельс и даёт ей товарищ Сталин.

Всё это даёт полное основание утверждать, что новая, современная нам эпоха в развитии химии и физики началась с открытия периодического закона и что именно Менделеев является родоначальником современной науки о веществе, лежащей в основе не только современной физики и химии, но и всей науки о неорганической природе. Менделеевым заканчивается период чисто химических представлений об атомах, начатый Дальтоном, и открывается новый период научного развития, когда атом становится объектом не только химии, но и современной физики. Изучая один и тот же объект — атом, физика и химия теснейшим образом переплетаются между собой, проникают друг в друга и этим своим взаимным проникновением образуют одну из характернейших особенностей современной науки о веществе.

Надо признать также, что, несмотря на известную приверженность к старым метафизическим представлениям об атомах, Менделеев заложил прочные основы нового понятия химического элемента; это менделеевское понятие, по существу отвергающее формально-логический подход к определению основного понятия химии, утвердилось в современной науке благодаря стихийно отражённой в нём диалектике.

### § 103. Общий вывод

В процессе исследования развития понятия элемента мы руководились принципами *марксистской диалектической логики*, придерживаясь требований, выдвинутых Лениным в отношении определения научных понятий. Мы стремились проследить познавательные истоки различных концепций и определений элемента с тем, чтобы охватить весь вопрос в целом, всю его историю с момента его возникновения до настоящего времени, вскрывая тенденции его развития.

При этом мы также стремились последовательно вскрывать и прослеживать связь всех позднейших представлений об атомах и элементах и соответственно всех синтетических определений элемента с их исходным положением — с *периодической системой Менделеева*, видя в ней общий фундамент

всех современных воззрений на элементы. Эту связь мы сформулировали в виде общего положения — принципа ассоциации. Согласно этому принципу все признаки элемента, относящиеся к ядру или оболочке, характеризующие устойчивость или изменчивость элемента, ассоциируются с общим представлением о *месте элемента в системе Менделеева*.

Этот принцип нашёл отражение в главнейших понятиях, в которых резюмировались открытия атомной и ядерной физики XX в.; открытия изотопов, закона сдвига, порядкового числа свидетельствуют о том, что основой для понимания сущности вновь открываемых физических явлений неизменно служило представление о *месте* элемента в периодической системе Менделеева. Об этом же свидетельствует принцип Паули, играющий исключительно большую роль в современной квантовой механике, установленный также в порядке ассоциирования «места» электрона в оболочке атома с *местом* элемента в системе Менделеева. Представление о *месте* элемента в менделеевской системе дало ключ к раскрытию сущности процесса деления тяжёлых ядер. Это же представление легло в основу исследований по синтезу урановых элементов, отразившись даже в их названиях: в системе Менделеева *места* нептуна и плутона следуют за ураном в той же последовательности, как в солнечной системе следуют одна за другой соответствующие планеты.

Ассоциация с *местом* элемента в системе Менделеева составила стержень всего современного учения о химических элементах, о веществе. Это учение по праву может и должно именоваться *менделеевским*. Вот почему защита приоритета Менделеева в открытии периодического закона имеет актуальнейшее значение не только для истории науки, но и для современной науки о веществе, которая целиком развивается на основе менделеевского открытия. Не будь создана Менделеевым периодическая система элементов, не будь приведены с нею в связь согласно принципу ассоциации позднейшие открытия в атомной и ядерной физике, практическое получение «атомной энергии» было бы абсолютно невозможно. Поэтому безусловно прав был тов. Н. А. Вознесенский, ко-

гда он на сессии Верховного Совета СССР (в марте 1946 г.) оценил *Менделеева* как «величайшего химика мира, открывшего периодический закон — основной закон химии, который до последнего времени помогает учёным открывать тайну атомной энергии».

Об этом никогда не следует забывать ни нам — советским патриотам, гордящимся по праву великими достижениями русских учёных, ни нашим врагам из лагеря империалистической реакции, кичащимся тем, что они первыми завладели тайной «атомной энергии». Ведь первый и важнейший ключ к этой тайне дал не американский и не западноевропейский, а великий *русский* учёный, периодический закон которого, как прожектор, освещает ныне все тёмные углы в познании вещества и энергии. С помощью этого закона удалось, в частности, выяснить корни создавшихся трудностей в определении элемента и предложить своё решение данного вопроса. Это решение, как нам кажется, могло бы служить выходом из царящей ныне путаницы, возникшей в связи с понятием элемента.

В 1908 г. Ленин предсказывал: «Материалистический основной дух физики, как и всего современного естествознания, победит все и всяческие кризисы, но только с неременной заменой материализма метафизического материализмом диалектическим»<sup>1)</sup>. Проведённый в этой книге анализ понятия элемента может служить одним из примеров, подтверждающих глубокую истинность этого предсказания, сделанного Лениным. Мы наглядно убеждаемся в том, насколько всемогущ и могуч марксистский диалектический метод, составляющий «душу» пролетарского мировоззрения, какие неоценимые услуги он может оказать и оказывает науке, и насколько бессильно буржуазное мировоззрение, которое ничего, кроме вреда, бесконечных затруднений и кризисов не приносит науке.

---

<sup>1)</sup> В. И. Ленин, Соч., т. XIII, стр. 250.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**



Периодическая система элементов Д. И. Менделеева  
(один из первых вариантов)

Ряды	Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV	Группа V	Группа VI	Группа VII	Группа VIII
	— R <sup>2</sup> O	— RO	— R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	RH <sup>4</sup> RO <sup>2</sup>	RH <sup>3</sup> R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	RH <sup>2</sup> RO <sup>3</sup>	RH R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9, 4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27, 3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35, 5	
4	K = 39	Ca = 40	— = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59; Cu = 63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	? Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 97	— = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	? Di = 138	? Ce = 140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	? Er = 178	? La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Te = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	— — — —



Периодическая система элементов 1905 г.  
(последний вариант, составленный самим Менделеевым)

Ряды	Группы элементов										
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	—	Водород H 1,008	—	—	—	—	—	—	—	—	
2	Гелий He 4,0	Литий Li 7,03	Вериллий Be 9,1	Бор B 11,0	Углерод C 12,0	Азот N 14,01	Кислород O 16,00	Фтор F 19,0			
3	Неон Ne 19,9	Натрий Na 23,05	Магний Mg 24,36	Алюминий Al 27,1	Кремний Si 28,2	Фосфор P 31,0	Сера S 32,06	Хлор Cl 35,45			
4	Аргон Ar 38	Калий K 39,15	Кальций Ca 40,1	Скандий Sc 41,1	Титан Ti 48,1	Ванадий V 51,2	Хром Cr 52,1	Марганец Mn 55,0	Железо Fe 55,9	Кобальт Co 59	Никель Ni 59 (Cu)
5		Медь Cu 63,6	Цинк Zn 65,4	Галлий Ga 70,0	Германий Ge 72,5	Мышьяк As 75	Селен Se 79,2	Бром Br 79,95			
6	Криптон Kr 81,8	Рубидий Rb 85,5	Стронций Sr 87,6	Иттрий Y 89,0	Цирконий Zr 90,6	Ниобий Nb 94,0	Молибден Mo 96,0	—	Рутений Ru 101,7	Родий Rh 103,0	Палладий Pd 106,5 (Ag)
7		Серебро Ag 107,93	Кадмий Cd 112,4	Индий In 115,0	Олово Sn 119,0	Сурьма Sb 120,2	Теллур Te 127	Иод I 127			

Ряды	Группа элементов										
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
8	Ксенон Xe 128	Цезий Cs 132,9	Барий Ba 137,4	Лантан La 138,9	Церий Ce 140,2	—	—	—	—	—	
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	—	Иттербий Yb 173	—	Тантал Ta 183	Вольфрам W 184	—	Осмий Os 191	Иридий Ir 193	Платина Pt (Au) 194,8
11	—	Золото Au 197,2	Ртуть Hg 200,0	Таллий Tl 204,1	Свинец Pb 206,9	Висмут Bi 208,5	—	—	—	—	
12	—	—	Радий Ra 225	—	Торий Th 232,5	—	Уран U 238,5	—	—	—	
Высшие солеобразные окислы											
	R	R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RO <sub>4</sub>		
Высшие газообразные водородные соединения											
					RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>	RH <sub>2</sub>	RH			

Периодическая система  
(современ

Период	Число элементов в природе	Ряд	Г р у п п				
			I	II	III	IV	
I	2·1 <sup>2</sup>	1	(H)	(He)			
II	2·2 <sup>2</sup>	2	<sup>3</sup> <sub>6,940</sub> Li	<sup>4</sup> <sub>9,02</sub> Be	<sup>5</sup> <sub>10,82</sub> B	<sup>6</sup> <sub>12,010</sub> C	
III	2·2 <sup>2</sup>	3	<sup>11</sup> <sub>22,997</sub> Na	<sup>12</sup> <sub>24,32</sub> Mg	<sup>13</sup> <sub>26,97</sub> Al	<sup>14</sup> <sub>28,06</sub> Si	
IV	2·3 <sup>2</sup>	4	<sup>19</sup> <sub>39,096</sub> K	<sup>20</sup> <sub>40,08</sub> Ca	Sc <sup>21</sup> <sub>45,10</sub>	Ti <sup>22</sup> <sub>47,90</sub>	
		5	Cu <sup>29</sup> <sub>63,54</sub>	Zn <sup>30</sup> <sub>65,38</sub>	<sup>31</sup> <sub>69,72</sub> Ga	<sup>32</sup> <sub>72,60</sub> Ge	
V	2·3 <sup>2</sup>	6	<sup>37</sup> <sub>85,48</sub> Rb	<sup>38</sup> <sub>87,63</sub> Sr	Y <sup>39</sup> <sub>88,9</sub>	Zr <sup>40</sup> <sub>91,22</sub>	
		7	Ag <sup>47</sup> <sub>107,880</sub>	Cd <sup>48</sup> <sub>112,41</sub>	<sup>49</sup> <sub>114,76</sub> In	<sup>50</sup> <sub>118,70</sub> Sn	
VI	2·4 <sup>2</sup>	8	<sup>55</sup> <sub>132,91</sub> Cs	<sup>56</sup> <sub>137,36</sub> Ba	Лантаноиды <sup>57—71</sup>	Hf <sup>72</sup> <sub>178,6</sub>	
		9	Au <sup>79</sup> <sub>197,2</sub>	Hg <sup>80</sup> <sub>200,61</sub>	<sup>81</sup> <sub>204,39</sub> Tl	<sup>82</sup> <sub>207,21</sub> Pb	
VII	период не закончен	10	<sup>87</sup> —	<sup>88</sup> <sub>226,05</sub> Ra	Ac <sup>89</sup> —	Th <sup>90</sup> <sub>232,12</sub>	
Высшие солеобразные окислы			R <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	
Высшие газообразные водородные соединения			—	—	—	RH <sub>4</sub>	
57—71 Лантаноиды			La <sup>57</sup> <sub>138,92</sub>	Ce <sup>58</sup> <sub>140,13</sub>	Pr <sup>59</sup> <sub>140,92</sub>	Nd <sup>60</sup> <sub>144,27</sub>	— <sup>61</sup>
			Tb <sup>65</sup> <sub>159</sub>	Dy <sup>66</sup> <sub>162,45</sub>	Ho <sup>67</sup> <sub>163,5</sub>	Er <sup>68</sup> <sub>167,2</sub>	

Таблица 3

элементов Д. И. Менделеева  
ный вид)

п а

V	VI	VII	VIII	0
		1 1,0080 H		2 4,003 He
7 14,008 N	8 16,0000 O	9 19,00 F		10 20,183 Ne
15 30,98 P	16 32,06 S	17 35,457 Cl		18 39,944 Ar
V 23 50,95 33 74,91 As	Cr 24 52,01 34 78,96 Se	Mn 25 54,93 35 79,916 Br	Fe 26 55,84 Co 27 58,94 Ni 28 58,69	36 83,7 Kr
Nb 41 92,91 51 121,76 Sb	Mo 42 95,95 52 127,61 Te	43 — 53 126,92 J	Ru 44 101,7 Rh 45 102,91 Pd 46 106,7	54 131,3 Xe
Ta 73 180,88 83 209,00 Bi	W 74 183,92 84 — Po	Re 75 186,31 85 —	Os 76 190,2 Ir 77 193,1 Pt 78 195,23	86 222 Rn
Pa 91 231	U 92 238,07	Np 93 —	Pu 94 — Am 95 — Cm 96 —	
R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> RH <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>6</sub> RH <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> RH	R <sub>2</sub> O <sub>8</sub> —	R
Sm 62 150,43 Tu 69 169,4	Eu 63 152,0 Yb 70 173,04	Gd 64 156,9 Cp 71 175,0		



Продолжение

Группа (слой)	К		L			M			N				O			P			Q
	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	6s	6p	6d	7s		
Подгруппа (ячейка)	1,0	2,0	2,1	3,0	3,1	3,2	4,0	4,1	4,2	4,3	5,0	5,1	5,2	6,0	6,1	6,2	7,0		
Значение $n, l$																			
IV	Cu 29		конфигурация аргона			10	1	—											
	Zn 30			10	2	—													
	Ga 31			10	2	1													
	Ge 32			10	2	2													
	As 33			10	2	3													
	Se 34			10	2	4													
	Br 35			10	2	5													
	Kr 36			10	2	6													
	Rb 37								—	—	1								
	Sr 38								—	—	2								
	Y 39								1	—	2								
	Zr 40								2	—	2								
	Nb 41								4	—	1								
	Mo 42								5	—	1								
	— 43								6	—	1								
	Ru 44								7	—	1								
	Rh 45								8	—	1								
	Pd 46								10	—	—								
V	Ag 47										—	1	—						
	Cd 48										—	2	—						
	In 49										—	2	1						
	Sn 50										—	2	2						
	Sb 51										—	2	3						
	Te 52										—	2	4						
	J 53										—	2	5						
	Xe 54										—	2	6						

Таблица 5

**Вместимость электронных ячеек (подгрупп)  
в первых четырёх электронных слоях (группах)**

Слой (группа)	Ячейка (подгруппа)	Значения квантовых чисел				Число «мест» в подгруппе (с данными $l$ )	В каком периоде системы Менделеева заполняется полностью	Число «мест» в группе (с данными $l$ )		
		$n$	$l$	$m$	$\sigma$					
К	1s	1	0	0	$\pm 1/2$	2	в I	2		
	2s	2	0	0	$\pm 1/2$	2				
L	2p	2	1	+1 0 -1	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	6	во II	8		
	3s	3	0	0	$\pm 1/2$	2				
M	3p	3	1	+1 0 -1	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	6	в III	18		
	3d	3	2	+2 +1 0 -1 -2	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	10			в IV (начиная с Sc в порядке достройки подгруппы 3d)	
	4s	4	0	0	$\pm 1/2$	2				
N	4p	4	1	+1 0 -1	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	6	в IV	32		
	4d	4	2	+2 +1 0 -1 -2	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	10			в V (начиная с Y в порядке достройки подгруппы 4d)	
	4f	4	3	+3 +2 +1 0 -1 -2 -3	$\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$ $\pm 1/2$	14				в VI (начиная с Ce в порядке достройки подгруппы 4f у лантаноидов)

Последовательное размещение изотопов в первых четырёх периодах системы Менделеева (по данным 1946 г.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	-	VIII
I							1 H 1,0078	2 He 4,003		
II	3 Li 6,940	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00	10 Ne 20,183		
III	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944		
IV	19 K 39,098	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,69
	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,84	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,7		

Условные обозначения  
 / β<sup>+</sup> - распад    К    К - захват  
 / β<sup>-</sup> - распад    (К)    К - захват  
                   β<sup>+</sup> - распад  
                   55 неустойчивый изотоп

процентное содержание изотопов:  
 (51) > 90%  
 68 > 48%  
 22 < 48%  
 13 < 1%

(по диагональным  
 клеткам располо-  
 жены массовые  
 числа изотопов)



Т а б л и ц а 7

Различные определения и признаки элемента  
(в порядке их последовательного формулирования или  
обнаружения)

Автор	Дата	Характер открытия	Определяющий признак элемента
<i>Старые, аналитические определения, не связанные с системой Менделеева</i>			
Лавуазье	1789	Дал определение	Предел разложения вещества
Дальтон	1810	Нашёл признак и дал определение	Атомный вес
Бунзен и Кирхгоф	1860	Нашли признак	Оптический спектр
Грамон	1900	Дал определение	Атомный вес и оптический спектр
Панет	1916	Дал определение	Химическая неразложимость вещества
<i>Новые, синтетические определения, основанные на системе Менделеева</i>			
Менделеев	1871	Нашёл признак и дал определение	Место элемента в периодической системе
Томсон	1904	Нашёл признак	Конфигурация электронов, ассоциирующаяся с местом элемента в системе
Резерфорд	1911	Нашёл признак	Заряд ядра $Z$ , определяющий конфигурацию электронов, ассоциирующуюся с местом элемента в системе
Содди	1913	Нашёл признак	Заряд $Z$ , меняющийся с изменением места элемента в системе и определяющий химическое тождество изотопов
Мозели	1913	Нашёл признак	Порядковое число $N$ , указывающее место элемента в системе и выводимое из рентгеновского спектра

## Продолжение

Автор	Дата	Характер открытия	Определяющий признак элемента
Панет	1916	Дал определение	Заряд $Z$ , химические и электрохимические свойства, оптический и рентгеновский спектр
Панет	1918	Дал определение	Заряд $Z$
Бор	1921	Нашёл признак	Место $Z$ -го электрона, вступающего в оболочку, содержащую уже $Z - 1$ электронов
Астон	1922	Указал на связь признаков	Заряд $Z$ , определяющий число $N$ , следовательно, место элемента в системе
Международная Комиссия по атомным весам	1923	Дала определение	Порядковое число $N$
Паули	1925	Нашёл признак	Совокупность 4 квантовых чисел для каждого электрона в нормальном состоянии в нейтральном атоме
Иваненко и Гаппон	1932	Нашли признак	Число протонов в ядре, равное заряду $Z$
Щукарев	1934	Указал на связь признаков и дал определение	Место элемента в системе, заряд $Z$ , следовательно, число электронов в оболочке
Жданов	1942	Нашёл признак	Число протонов, равное заряду $Z$ , выделяемое ядром при полном расщеплении

О Г И З  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
«ГОСТЕХИЗДАТ»

Москва, Орликов пер., 3.

ВЫХОДЯТ ИЗ ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ:

**Кузнецов И. В.** Принцип соответствия в современной физике и его философское значение. (Философские проблемы современного естествознания).

Математика в СССР за 30 лет 1917—1947. Сборник статей под редакцией А. Г. Куроша, А. И. Маркушевича и П. К. Рашевского.

Астрономия в СССР за тридцать лет. 1917—1947. Сборник статей под редакцией М. С. Зверева, П. П. Паренаго и А. Б. Северного.

Книги продаются в книжных магазинах КОГИЗа и других книготорговых организаций, а также высылаются наложенным платежом без задатка. Заказы шлите по адресу:

Москва, Центр, Куйбышевский проезд, № 8, МОГИЗ.

«КНИГА — ПОЧТОЙ»