

всеми данными, свидетельствующими в пользу возможной высокой одаренности и даже гениальности, «теряются» в ходе индивидуального развития, не реализовываются, не развиваются. Основным сдерживающим фактором, несомненно, являются условия социума, неблагоприятные, тормозящие, останавливающие интеллектуальное развитие личности. Поэтому мы априорно остановились на выявлении высоколбия лишь у контингента реализовавшихся личностей, одаренных и проявивших свою одаренность, прошедших через «сито» социального отбора. Кстати, часто именно благодаря высочайшей активности интеллекта у этих людей нет устойчивости к неблагоприятным условиям среды.

Трудным данный раздел исследования делает и то, что достоверно говорить о пропорциях лба (изображения художников и скульпторов не всегда можно принимать «на веру») можно лишь после изобретения и распространения фотографии. Да и многие фотографии (мы просмотрели более 4 тыс. изображений деятелей мировой истории и культуры) из-за головных уборов, невозможности проследить границу лба и темени, своеобразия причесок — малоинформативны. Следует также учесть, что крупный, тяжелый мозг и развитые лобные доли могут «скрываться» за вовсе не столь высоким лбом. И все же результат изучения изображений оказался превосходящим все наши ожидания: гигантолобье и броско высоколобье гении «заполнили» почти все «пробелы», оставленные иными факторами, рассмотренными нами ранее. Средняя высота лба для выдающихся деятелей (не все они гении) приходится примерно на границу между высоколобием и очень большим высоколобием. Эти данные приведены в табл. 3.

Таким образом, суммируя роль всех пяти биологических факторов, можно прийти к очень приблизительной, но впечатляющей оценке, а именно: биологические факторы, указываемые нами, играли определенную роль в формировании 80—90% истинных гениев мировой истории, науки, культуры.

Литература

1. *Orowan E.* Origin of man//Nature. 1955. V. 175. № 4459. P. 683—684.
2. *Mueller E. F., Brooks G. W.* Harnsäure und Erfolgsstreben//Bild der Wissenschaft. 1927. B. 4. № 5. S. 402—408.
3. *Ellis H.* A study of British Genius. L., 1927.
4. *Wyndgaarden J. B., Kelley W. N.* Gout and hyperuricemia. N. Y., Grune, Stratton, 1976.
5. *Woods T. A.* Mental and moral heredity in Royalty. A statistical study in history and psychology. N. Y.: Holt and Co, 1906.
6. *Эфроимсон В. П.* К биохимической генетике интеллекта//Природа. 1976. № 10.
7. *Juda A.* Höchstbegabung. München; Berlin: Urban, Schwarzberg, 1953.
8. *Эфроимсон В. П.* Биосоциальные факторы повышенной умственной активности. Кн. 1—2. 1980. — Деп. в ВИНТИ 15.III.1982, № 1161.
9. *Friedell E.* Kulturgeschichte der Neuzeit. B. 1, 2. B., 1928—1929.
10. *Seidlitz W.* Allgemeines historisches Porträtswerk. B. I—IV. München, 1885—1888.
11. *Modern Men of Science.* N. Y., 1966.
12. *Hiebert R. E., Hiebert R.* Atomic pioneers. № 1—3. Oak Ridge, 1970.
13. *Rackwitz E.* Die unsere Welt verändern halfen. B., 1971.
14. *Wussing H., Arnold W.* Biographien Bedeutender Mathematiker. B., 1967.
15. *Heinig K.* Biographien bedeutender Chemiker. B., 1977.
16. *Plesse W., Rux D.* Biographien bedeutender Biologen. B., 1977.

К 50-ЛЕТИЮ СИНТЕЗА НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. ЧЕТЫРЕ УРОВНЯ ОТКРЫТИЯ НУКЛИДОВ. [Сравнительно-исторический анализ]

Д. Н. ТРИФОНОВ

13 июня 1937 г. в 140-м томе известнейшего лондонского журнала «Nature» появилась короткая заметка, подписанная двумя итальянскими учеными — химиком Карло Перрье и физиком Эмилио Сегре. Она носила название «Радиоактивные изотопы

элемента 43» [1, с. 193, 194]. В ней сообщалось о первом достоверном искусственном синтезе нового химического элемента, еще не обнаруженного на Земле.

Так началась эпоха синтеза новых элементов, что значительно пополнило периодическую систему Д. И. Менделеева и означало существенный прорыв в новую область познания материального мира.

Синтез новых элементов оказался своего рода завершающим аккордом в продолжительной истории открытия химических элементов; это дает нам возможность произвести ее определенную ретроспективную оценку в плане характеристики нескольких специфических уровней открытий. Мы будем обсуждать сущность отдельных урсовней открытий нуклидов — разновидностей атомов с определенными сочетаниями протонов и нейтронов в ядрах. Термин «нуклид» был предложен в 1947 г. американским химиком Т. Команом [2, с. 356] и в силу своего практического удобства ныне получил широкое использование. Очевидно, что расшифровывая с современных позиций понятие «химический элемент», его можно рассматривать как множество нуклидов с данным значением Z .

Правомерно рассматривать *четыре* уровня открытия нуклидов. При современных представлениях о строении и свойствах материи трудно предположить возникновение и реализацию каких-либо из новых уровней. Реализация трех уже принадлежит истории, поскольку они полностью исчерпаны и только для четвертого уровня отвечающим его содержанию открытиям еще предстоит осуществиться.

Первый уровень соответствует открытиям стабильных химических элементов, сохраняющихся в природных объектах, или, по-другому, открытиям множеств нуклидов с определенными значениями Z . Почти все стабильные элементы (за редкими исключениями) были обнаружены до конца XIX в.: одни — сразу в форме простых веществ, другие — первоначально в составе различных соединений (главным образом оксидов). Критерием открытия нового элемента в конечном счете оказывалось доказательство его химической индивидуальности. Так как химические особенности элементов являются функцией строения внешних электронных оболочек их атомов, то первый уровень с современных позиций должен оцениваться как электронный. Ядерные свойства нуклидов в процессе открытий стабильных элементов прямо никак не проявлялись. Но поскольку масса нуклида почти целиком сосредоточена в ядре, то определение атомных весов элементов уже имело определенную «ядерную» окраску. В то же время распределение известных химических элементов в естественный ряд по величинам их атомных весов стало одной из существенных предпосылок открытия периодического закона.

Второй уровень отвечает открытиям естественных радиоактивных элементов, располагающихся в конце периодической системы (полоний, радон, радий, актиний, протактиний). Его реализация стала одним из важнейших последствий констатации и изучения явления радиоактивности¹. Так как последняя является свойством ядра, то правомерна характеристика второго уровня как ядерного. Но данная характеристика, однако, не полна, ибо заключительным шагом доказательства обнаружения нового радиоактивного элемента служило определение его химической природы. Между прочим, сказав «элемента», мы здесь допустили неточность, выяснение сущности которой чрезвычайно важно для характеристики второго уровня. Дело в том, что реализация открытий на втором уровне всегда соответствовала обнаружению множеств нуклидов, характеризующихся теми или иными определенными комбинациями значений Z и A (A — массовое число нуклида). Проще говоря, на втором уровне в каждом случае фактически имело место открытие того или иного природного изотопа радиоактивного элемента. В этом заключается кардинальное отличие второго уровня от первого, который характеризовался открытием плеяды стабильных изотопов для каждого обнаруживаемого элемента (если элемент не был представлен в природе единственной стабильной разновидностью нуклидов). Именно поэтому сам термин «плеяда» природных изотопов для естественного радиоактивного элемента выглядит довольно расплывчатым, ибо ее представители обнаруживались порознь, а их «совместное присутствие» в земных объектах носит иной характер, нежели для стабильных изотопов

¹ Открытие достаточно распространенных в природе радиоактивных урана и тория принадлежит к первому уровню.

того или иного элемента. Нужно подчеркнуть, что такая химическая дисциплина, как радиохимия, с самого начала заявила о себе именно как химия изотопов.

Таким образом, ко второму уровню в действительности относятся открытия отдельных естественных радиоактивных нуклидов, входящих в радиоактивные семейства тория-232, урана-238 и урана-235. Подавляющее большинство этих нуклидов было обнаружено за сравнительно короткий срок (1898—1918 гг.). В настоящее время второй уровень, подобно первому, целиком себя исчерпал: структуры семейств и последовательности радиоактивных превращений составляющих их нуклидов изучены досконально.

Если для первого и второго уровней оказывалась необходимой химическая идентификация обнаруживаемых объектов, то на *третьем уровне* она фактически не сыграла никакой роли. С третьим уровнем связано открытие стабильных разновидностей атомов химических элементов, т. е. множеств стабильных нуклидов, которые при определенном значении Z различаются по величинам A . С содержательной стороны третий уровень подобен второму: на обоих имели место открытия изотопов. Принципиально различными были способы открытий (на этом же остановимся далее). Обнаружение стабильных нуклидов достигалось с помощью масс-спектрометров (и масс-спектрографов), конструкции которых непрерывно совершенствовались, и основывалось на фиксировании различий изотопов по массам. Очевидно, что третий уровень, подобно второму, также является ядерным. Столь же очевидна и его исчерпанность, ибо едва ли можно рассчитывать на обнаружение в природе новых разновидностей стабильных нуклидов. Большинство стабильных изотопов химических элементов было найдено за сравнительно короткий срок (1919—1939 гг.).

Четвертый уровень по своему содержанию кардинально отличается от трех предшествующих. Он коррелирует с открытием нуклидов, не существующих в природе и получаемых искусственно, посредством различных ядерных реакций. Если число стабильных и естественно-радиоактивных нуклидов, входящих в радиоактивные семейства, четко ограничено, то предел синтезированных радиоактивных нуклидов до сих пор не установлен. Открытие нуклидов, отвечающих четвертому уровню, продолжается в настоящее время и будет продолжаться впредь. Прогнозы в этом отношении неопределенны, хотя бы потому, что из ~ 6000 радиоактивных нуклидов, продолжительность жизни которых, согласно теоретическим оценкам, должна превышать характерное ядерное время, нам пока известно менее 2000. Дальнейший прогресс в деле синтеза связан с освоением новых типов ядерных реакций, детальным изучением редких видов радиоактивной превращаемости (например, таких, как протонная, дву-протонная и фрагментарная радиоактивность) и совершенствования техники измерения очень малых времен жизни.

Четвертый уровень подразделяется на два подуровня, которые адекватны по технике реализации, но различаются по конечным целям. Если иметь в виду первый, то следует говорить об искусственном синтезе нуклидов — изотопов природных стабильных и радиоактивных элементов, — процесс, которому в 1934 г. положило начало открытие так называемой искусственной радиоактивности. Такие нуклиды к настоящему времени синтезированы для всех элементов, начиная с водорода и кончая ураном (для некоторых значений Z число искусственных радиоактивных нуклидов превышает 35). Подавляющее большинство этих нуклидов имеют малые периоды полураспада, и число образующихся нуклидов буквально может быть сосчитано в процессе синтеза. В данном случае в иной ипостаси выступает содержание понятия «открытие нуклида». Поскольку он принципиально не может быть накоплен в измеримых количествах, то само описание факта открытия приобретает специфическое звучание: в результате ядерной реакции определенного типа осуществлен синтез радиоактивного нуклида с данными сочетаниями Z и A .

Другой же подуровень соответствует синтезу нуклидов, которые фактически не представлены в природе ни стабильными, ни радиоактивными разновидностями, т. е. нуклидов с $Z > 92$ (трансурановых элементов), а также практически не встречающихся в природных объектах нуклидов, являющихся изотопами технеция ($Z = 43$), прометия ($Z = 61$), астата ($Z = 85$) и в известной степени франция ($Z = 87$), который первоначально был в 1939 г. обнаружен в природных объектах и лишь впоследствии синтезирован. К настоящему времени искусственный синтез нуклидов более или менее

достоверно доведен до $Z=110$. Во всяком случае, вопрос о пределе синтеза нуклидов с очень большими Z — изотопов «сверхэлементов» — остается открытым, тем более что, казалось бы, внушавшая оптимизм гипотеза о так называемых островках относительной стабильности нуклидов с большими Z (например, $Z=110, 114, 126$) с момента своего возникновения (1965 г.) так и не была подтверждена. Тем самым остается неясным и вопрос о верхней границе периодической системы элементов, что препятствует более глубокому пониманию самого феномена периодичности [3, с. 87—96].

По отношению к этим двум подуровням роль химической идентификации синтезированных нуклидов проявляется по-разному. В первую очередь определяются ядерные свойства (тип распада и период полураспада). Оценка химической природы совершенно необходима, когда речь идет о нуклидах с большими значениями Z (т. е. о синтезе новых трансурановых элементов). Однако для нуклидов с $Z \geq 102$ достоверность подобной оценки выглядит относительно вследствие того, что исследователям приходится иметь дело с единичными атомами. До сих пор не разрешен принципиально важный методологический вопрос: в какой мере совпали бы оценки химической природы единичных нуклидов с результатами, которые были бы получены, если бы данный нуклид удалось накопить в весовых количествах. Тем не менее даже столь относительные оценки представляют значительный интерес в аспекте углубления представлений о характере феномена периодичности в области больших значений Z . Для синтеза же нуклидов, являющихся изотопами уже известных элементов, последующая химическая идентификация не оказывается обычно насущно необходимой и, как правило, дело ограничивается измерением радиоактивных характеристик.

Таковы представления о четырех уровнях открытий нуклидов. Прежде чем переходить к детальному анализу, сделаем два замечания, с исторической точки зрения существенных.

Во-первых, обратим внимание на то, что хронологически уровни как бы следовали один за другим, сменяли один другой, но их наложения, пересечения фактически не происходило. Действительно, уровень открытия природных радиоактивных нуклидов (второй) начал реализовываться после того, как почти все стабильные элементы были найдены в природе. Открытие изотопов у стабильных элементов стало осуществляться, когда уже все природные радиоактивные нуклиды (за единичными исключениями) удалось зафиксировать и идентифицировать. Наконец, эпоха искусственного синтеза наступила тогда, когда в природе практически уже нечего было открывать. Мы не считаем эту плавную смену уровней проявлением какой-либо закономерности, но все же такая смена находится в четком соответствии с определенным расширением возможностей и способов изучения материального мира.

Во-вторых, реализация первых двух уровней отвечала разработке определенных систематик соответствующих материальных объектов. Периодическая система Д. И. Менделеева оказалась научно обоснованной классификацией химических элементов (стабильных и радиоактивных). Радиоактивные семейства стали систематиками природных радиоактивных нуклидов, являющихся продуктами последовательных превращений изотопов урана и тория, — систематиками, тесно связанными со структурой периодической системы элементов. Понятно, что не имеет смысла говорить о некоей систематике нуклидов, соответствующей третьему уровню (т. е. нуклидам — стабильным изотопам элементов). Уже давно разрабатываются систематики, охватывающие все известные нуклиды (стабильные, естественно-радиоактивные и синтезированные), но они не могут достичь обобщения такого ранга, как периодическая система элементов, пока не известно хотя бы большинство нуклидов, принципиально способных к существованию.

Результаты, достигнутые в рамках первого — третьего уровней, способствовали четкому становлению таких понятий, как «элемент», «изотоп», «нуклид», в то время как четвертый уровень не породил пока каких-либо новых терминов подобного ранга.

Первый уровень: открытие стабильных элементов

В глобальном плане история открытия нуклидов, соответствующих первому уровню, пожалуй, еще не разработана, хотя и опубликованы многие обобщающие исследования [4—6]. Основной вопрос, на который мы хотим ответить в данном разделе,

заключается в следующем: что именно следует вкладывать в понятие «открытие нового химического элемента»?

Описание открытия, трактуемого в качестве некоего акта эволюции познания, требует фиксирования трех «координат»: даты открытия; автора (или авторов) открытия; места (географического), где было сделано открытие. Для характеристики открытия химического элемента важно также и знание природного объекта, в котором данный элемент был обнаружен. И наконец, исторически чрезвычайно существенно, посредством каких экспериментальных методов было совершено открытие. Имея в виду сформулированные условия, мы и проанализируем открытия, относящиеся к первому уровню. Не требует комментариев, что важным фактором оказывается разработка формулировки представлений о сущности химического элемента. Фактически к четким представлениям наука пришла лишь во второй половине XIX в.

На основании вышесказанного очевидно, что вообще нельзя говорить об *открытиях* более 10 химических элементов. Их легко перечислить: это так называемые элементы древности (углерод, сера, железо, серебро, золото, медь, ртуть, олово, свинец) и элементы, ознакомление с которыми состоялось в средние века (сурьма, мышьяк, цинк, висмут). Дата, автор и место открытия этих элементов вообще не могут быть установлены. Справедлива точка зрения Н. А. Фигуровского, согласно которой «под открытием элемента следует понимать не только получение (выделение) в свободном состоянии простого тела, но и установление существования его в каких-либо соединениях химическим или физическим путем. Естественно, что это определение применимо лишь к открытию элементов, начиная со второй половины XVIII в. Оно не может быть распространено на более ранние этапы, когда соединения, содержащие неизвестные элементы, не могли быть изучены с точки зрения их состава» [7, с. 25, 26]. Первая исторически зафиксированная дата открытия относится к фосфору (1669 г.), но элементарная природа последнего, равно как и многих других элементов (водород, азот, кислород, хлор, фтор), была понята значительно позже официально принятых дат их открытий. Между тем точка зрения, выраженная процитированной фразой, не является безупречной, ибо не подчеркивает различия между выделением элемента в форме простого вещества (т. е. в свободном виде) и первоначальной констатацией его существования в составе соединения. Обоим событиям приписывается одинаковая значимость, и таким образом открытие химического элемента выступает как одноступенчатое научное событие. На самом же деле во многих случаях открытие элемента представляет процесс, более или менее растянутый во времени, причем в качестве высшей стадии открытия следует рассматривать выделение элемента в виде простого вещества. Официальная же датировка открытий химических элементов обычно не учитывает того, в какой именно форме был обнаружен новый элемент, и потому в ряде случаев в само понятие «открытие» вкладывается разное содержание.

Для примера возьмем три элемента, случайно обнаруженных в природе, — йод, церий и гелий. Йод благодаря тому, что он может быть легко выделен из соединений, сразу был открыт в виде простого вещества, и дата его открытия — 1811 г. — не допускает разночтений. Датой открытия церия считается 1803 г., хотя первоначально за новый элемент принимался его оксид. Спустя 30 с лишним лет оказалось, что «церий» в действительности представлял сложную смесь оксидов нескольких редкоземельных элементов. Чистый оксид церия удалось приготовить в 1839 г., а получить из него металл — только в 1870-х годах. Очевидно, что применительно к церию понятие «открытие» включает в себя по существу некую последовательность событий. Еще сложнее история гелия. За официальную дату его открытия принят 1868 г.; она соответствует факту обнаружения в спектрах солнечных протуберанцев линии, которая не могла быть отождествлена со спектральной линией, характеризующей какой-либо из уже открытых элементов. Гелий оказался первым и единственным химическим элементом, обнаруженным не в земных объектах; о его выделении в материальной форме первоначально не могло быть и речи. Земной же гелий, как известно, совершенно независимо удалось обнаружить в 1895 г.

Этим трем датам (1811, 1803 и 1868 гг.) в истории химии, как правило, придается одинаковый вес, хотя они соответствуют совершенно разным событиям. Число подобных примеров легко увеличить. Мы ограничимся лишь констатацией факта: для пер-

вого уровня во многих случаях само определение открытия является расплывчатым и в него вкладывается разное содержание.

Все стабильные элементы, открытие которых фиксировано, были обнаружены посредством двух основных методов исследования: химико-аналитического и спектроскопического (оптические и рентгеновские спектры). Первый заключался в химическом анализе природных объектов; в результате новые элементы выделялись в материальной форме (в свободном виде или чаще в виде соединений). В соответствии со вторым констатация существования нового элемента связывалась с наличием в спектрах неизвестных линий; решающим доказательством открытия становилось затем химическое выделение элемента в весовых количествах. Таким образом, открытие элемента спектроскопическим методом по своему содержанию четко является двуступенчатым. Чувствительность этого метода гораздо выше химико-аналитического. Поэтому спектроскоп способствовал в основном обнаружению элементов мало распространенных и особенно рассеянных. Геохимические аспекты открытия новых элементов заслуживают специального рассмотрения; мы ограничимся лишь краткими замечаниями.

В целом не обнаруживается какой-либо зависимости между распространенностью элемента и временем его открытия. Единственное, пожалуй, исключение, как это было показано нами [8, с. 629—640], относится к области редкоземельных элементов. Если и ставить вопрос об обусловленности открытий стабильных элементов, то следует иметь в виду фактор «доступности». Это понятие характеризует условия, способствовавшие обнаружению того или иного элемента, но не относится к оценке современных возможностей его извлечения из природных объектов. «Доступность» учитывает форму нахождения элемента в природе (простое вещество или соединения); наличие подходящего природного объекта (например, того или иного минерала); степень разработанности методов извлечения элемента из природных объектов и получения его в свободном виде. Сочетание перечисленных условий и следует иметь в виду при отыскании каких-либо закономерностей в истории открытия элементов.

После 1869 г. рассмотрение этой истории невозможно без учета периодического закона и естественной системы элементов Д. И. Менделеева. Ранее лишь игра случая способствовала обнаружению новых элементов. Без системы нельзя было даже грубо оценить общее число могущих существовать элементов; система же эту неопределенность в известной степени устранила и, что особенно важно, сделала возможным прогнозирование новых элементов. Однако достоверность подобных прогнозов не была одинаковой для различных «регионов» периодической системы. В этом плане можно говорить о следующих областях: достоверного прогнозирования; приблизительного прогнозирования; непредсказуемости (к ней относились гипотетические элементы легче водорода и тяжелее урана) [9, с. 20]. Вычленение этих областей ныне имеет исторический интерес. Но в целом прогностические возможности периодической системы не повлияли практически на ход и последовательность открытий новых элементов (за исключением, пожалуй, гафния и рения — последних из обнаруженных на Земле стабильных элементов), однако существенно способствовали детальному изучению их свойств. Наконец, так как каждый новый элемент должен был занять определенное место в системе, то последняя выступала в качестве своеобразного «критерия достоверности открытия».

Второй уровень: открытие естественных радиоактивных элементов

В перечне естественных радиоактивных элементов особое место занимают уран и торий. Их природные изотопы первичны по своему происхождению, а периоды полураспада превышают возраст Земли. Кроме того, оба элемента характеризуются средней распространенностью. Поэтому не удивительно, что они были обнаружены химико-аналитическим методом задолго до открытия радиоактивности. Роль радиометрического метода по отношению к урану и торию проявилась в открытиях их короткоживущих изотопов — членов радиоактивных семейств (^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Th , ^{234}Th и ^{234}U). Все же прочие нуклиды, принадлежащие к семействам, имеют вторичное происхождение, малую продолжительность жизни и постоянно генерируются в природе как продукты последовательных α - и β -превращаемостей.

Из четырех уровней открытия нуклидов второй оказался, если можно так выразиться, неожиданным, потребовавшим кардинальной перестройки принципов исследовательской работы. Ученым во многих случаях пришлось иметь дело с ничтожными концентрациями веществ, которые нельзя было зафиксировать ни с помощью чувствительнейших весов, ни посредством спектроскопа, притом веществ радиоактивных, часто имеющих малую продолжительность жизни. По поводу самой природы радиоактивных веществ некоторое время не было единой точки зрения. Одни исследователи считали их самостоятельными химическими элементами (например, М. и П. Кюри, открывшие полоний и радий); однако по мере того как их число возрастало, неразрешимой становилась задача их размещения в периодической системе. Другие не считали радиоактивные вещества химическими элементами в каноническом понимании, а рассматривали их как специфические неустойчивые материальные образования, «метаболон». Истинная природа радиоактивных веществ не была понята окончательно вплоть до декабря 1913 г., когда Ф. Содди ввел понятие об изотопии. К этому времени уже широко применялся термин «радиоэлемент» для обозначения конкретных веществ, различающихся по своим радиоактивным характеристикам. Следовательно, второй уровень соответствует открытию радиоэлементов как изотопов естественных радиоактивных элементов. Успех исследований был обусловлен высокой чувствительностью радиометрического метода.

Датировка открытий некоторых радиоэлементов отличается неопределенностью, поскольку в ряде случаев приводимая дата фактически соответствует открытию смеси генетически связанных радиоэлементов с разными количествами компонентов. Впоследствии компоненты этих смесей были четко идентифицированы, но за наиболее долгоживущими из них сохранялась прежняя датировка.

Прогнозирование стало возможным на определенной стадии реализации второго уровня, когда было обнаружено достаточное количество радиоэлементов, и они могли быть сгруппированы в цепочки генетически связанных веществ — прообразы будущих радиоактивных семейств. Особенно важными оказались прогнозы относительно родоначальника «актиниевого» семейства, получившие реализацию в открытии изотопов протактиния, а впоследствии — урана-235.

Формулировка закона сдвига и представлений об изотопии (1913 г.) способствовала установлению тесной связи между структурой периодической системы элементов и структурами радиоактивных семейств. Все это существенно повлияло на уточнение понятия «элемент» и закономерно установило корреляцию между первым и вторым уровнями открытия нуклидов как последовательными стадиями единого исторического процесса познания материального мира.

Третий уровень: открытие стабильных изотопов

С точки зрения предпосылок к реализации третий уровень отличается от второго тем, что ему не предшествовало какое-либо фундаментальное открытие (такое, как открытие радиоактивности для второго). Открытия стабильных изотопов стали возможными в результате проведения работ по изучению положительных (каналовых) лучей (начались еще в середине 80-х годов XIX в.). Однако возникновение третьего уровня было, так сказать, подготовлено психологически. Долгое время носились в воздухе идеи о существовании разновидностей атомов различных химических элементов. Этим идеям суждено было стать реальностью первоначально в открытиях второго уровня. Важно, однако, что по существу отсутствует четкая граница между временами открытия радиоэлементов и стабильных изотопов. Хотя само слово «изотопия» еще не было произнесено, в сентябре 1913 г. на заседании Британской ассоциации в Бирмингеме обсуждались представления о существовании разновидностей атомов у радиоактивных (доклад Ф. Содди) и стабильных (доклад Ф. Астона) элементов, — обсуждались так, как будто были очевидными. В сообщении Астона излагались результаты исследований, начатых в 1912 г. Дж. Томсоном и приведших к выводу о наличии двух разновидностей атомов неона. Тем самым вырисовывается хотя и косвенная, но несомненная связь между вторым и третьим уровнями. Однако планомерная и стремительная реализация третьего уровня началась с 1919 г. в работах Астона.

Открытия нуклидов, соответствующие третьему уровню, стали результатами чисто

физического эксперимента. Роль химического фактора проявилась в приготовлении источников положительных ионов, разделяемых в масс-спектрометре или масс-спектрографе (соединений или простых веществ). Искать строгую логику в хронологической последовательности обнаружения стабильных изотопов тех или иных элементов было бы преувеличением. Тем не менее может быть установлена определенная зависимость последовательности изучения отдельных элементов с точки зрения их изотопного состава и особенностями физико-химического поведения изучаемого образца в разрядном пространстве прибора. В своих экспериментах Астон сначала исследовал инертные газы, затем галогены, далее элементы, образующие соединения, легко ионизирующиеся. Для анализа металлов (большинства) вследствие трудности получения их ионов были разработаны специальные операции (подробнее см. [10]).

Составление хронологии открытия стабильных нуклидов связано со многими трудностями. Обнаружение каждого из них означало констатацию разновидностей атомов данного элемента, отличающихся от других только по массе, что визуально фиксировалось путем оценки степени интенсивности пятен на фотопластинке (или по относительному расположению максимумов плотности ионного потока). Естественно, что при этом было невозможно накопление отдельных нуклидов в весовых количествах. Оно стало возможным значительно позже. Выделение же стабильного нуклида с заданным возможным сочетанием Z и A можно трактовать как своеобразную высшую стадию открытия на третьем уровне. Также «визуально» можно было определять содержание изотопов данного элемента в плейде. Наряду с открытиями стабильных нуклидов, оказавшимися достоверными, делались ложные, что требовалось опровергнуть. Тем самым усугубляется трудность составления хронологии. Наиболее достоверный хронологический перечень, основанный на тщательном анализе первоисточников, приведен в работах [6, 10]. Из него, кстати, можно сделать вывод, что для данного значения Z последовательность фиксации стабильных нуклидов в большинстве случаев соответствовала порядку уменьшения их содержания в плейде.

Успешное обнаружение стабильных разновидностей атомов у нескольких элементов привело к мысли, что все стабильные элементы должны иметь изотопы (подобно тому как это наблюдается для природных радиоактивных элементов). Будущее показало ошибочность такого предположения. Ныне совершенно точно известно, что ~ 20 элементов с нечетными значениями Z (кроме бериллия с $Z=4$) представляют в природе единственной разновидностью стабильных атомов. Этот «фактор нечетности» обуславливает и то, что остальные элементы с нечетными Z имеют не более двух стабильных изотопов. В то же время числа стабильных нуклидов для четных Z колеблются от 2 до 10. Этот разброс значений еще не объяснен строго теоретически. Фактически нет объяснений, почему число стабильных нуклидов отвечает вполне определенным сочетаниям Z и A , а не каким-либо другим. (Или же вообще стабильность нуклидов есть понятие кажущееся?) В отмеченной неопределенности состоит специфика третьего уровня. В самом деле, число стабильных элементов (первый уровень) определяется значениями Z , при которых хоть одна разновидность атомов стабильна. Число радиоэлементов (второй уровень) ограничено структурой радиоактивных семейств.

Уже отмечалось, что для прогнозирования в рамках первого и второго уровней существовали теоретические основы (соответственно периодическая система элементов и структуры радиоактивных семейств), хотя определяющей роли в открытии материальных объектов, соответствующих этим уровням, прогностические факторы не сыграли. Обнаружение же стабильных нуклидов на третьем уровне фактически протекало вплоть до своего исчерпания без сколь-либо четко очерченных предпосылок к возможности обоснованного прогнозирования. Пока не началось массовое обнаружение стабильных нуклидов, предсказания строились на том, что предлагалось «продление» структур радиоактивных семейств на все множество известных элементов, вплоть до самых легких. Это весьма приблизительно позволяло оценить возможные массовые числа стабильных нуклидов. Когда же открытия стабильных изотопов стали нарастать, то по существу дело свелось к предположению о возможности существования не открытых еще нуклидов с данным значением Z . Здесь корректирующим моментом оказывались величины атомных весов, определенные химическим путем [6, 10].

К настоящему времени почти у 20 нуклидов, считающихся стабильными, обнаружена или теоретически предсказывается слабая естественная радиоактивность (сюда относятся, например, ^{40}K , ^{50}V , ^{87}Rb , ^{115}In , ^{123}Sb , ^{138}La , ^{190}Pt). Не служит ли этот факт отдаленным намеком на то, что глобальной особенностью всех нуклидов является свойство нестабильности, реализации которого отвечает весьма широкий временной диапазон и которое подчинено статистическим вероятностным законам?

Четвертый уровень: открытие синтезированных нуклидов

Мы исключим из рассмотрения первый подуровень данного уровня (см. с. 86), который соответствует синтезу радиоактивных нуклидов со значениями Z , отвечающими существующим в природе стабильным и радиоактивным нуклидам, входящим в радиоактивные семейства. Анализ будет учитывать специфические особенности открытия так называемых синтезированных элементов и их изотопов. Все они, за редчайшими исключениями, в природных объектах не обнаружены. Реализации четвертого уровня способствовали выдающиеся достижения ядерной физики, как экспериментальной, так и теоретической, а также радиохимии.

Применительно к синтезированным элементам (их отдельным изотопам) понятие «открытие» соответствует двухстадийному процессу: ядерная реакция синтеза; физическая и химическая идентификация продукта (продуктов) реакции. Таким образом, сначала искусственно создается материнский объект, а затем определяется его природа (радиоактивные и важнейшие химические свойства). Здесь как бы наблюдается обратная картина по сравнению с первым уровнем, когда в первую очередь устанавливались специфические особенности объекта, а вывод о принадлежности его к определенным элементарным телам природы был уже следующим шагом.

Первая стадия определяется осуществлением ядерных реакций различных типов, при этом существенны выбор мишени, типа бомбардирующих частиц и величины энергии последних (и ряд других факторов). Соблюдение этих условий позволяет с достаточными основаниями рассчитывать на синтез нуклида с определенной комбинацией Z и A . На второй стадии различными методами определяется химическая природа продукта, что особенно важно для подтверждения синтезов трансурановых элементов. Но полнота изучения свойств синтезированного нуклида находится в прямой зависимости от продолжительности его жизни: если она достаточно велика, то тем в больших количествах удается накопить нуклид и тем разнообразнее возможности изучения его химического поведения. Иными словами, в открытии синтезированных элементов нередко оптимальным является получение изотопа с наибольшим периодом полураспада (или же наиболее доступного изотопа). Это особенно существенно для трансуранов. Однако, как свидетельствует история, самый долгоживущий трансурановый нуклид для того или иного значения Z в ряде случаев технически очень трудно синтезировать. Тогда на первый план выступает наиболее доступный нуклид, т. е. тот, который, с одной стороны, может быть получен без особых ухищрений, а с другой — его $T_{1/2}$ не оказывается помехой для необходимых продолжительных исследований. Как правило, именно на наиболее доступных нуклидах была изучена химия большинства трансурановых элементов до $Z=101$ включительно. Тем не менее датировка открытий синтезированных элементов относится ко времени получения первого их изотопа, и он далеко не всегда оказывался самым долгоживущим или самым доступным. Поэтому для таких открытий необходимо четко определять последовательность синтезов первого нуклида с данным Z , наиболее долгоживущего и наиболее доступного нуклида. Только тогда может быть исторически воссоздана детальная картина синтеза.

В истории синтеза элементов отчетливо выделяются три этапа. Первый начинается с 1937 г. и связан с искусственным получением отсутствовавших элементов внутри периодической системы: технеция, прометия и астата. Оно имело чисто научный интерес, и с современных позиций его техническое обеспечение выглядело сравнительно несложным; в качестве бомбардирующих частиц использовались протон, дейтрон, нейтрон и α -частица. В то же время радиохимии впервые пришлось иметь дело со столь ультрамалыми количествами веществ (10^{-10} г в случае технеция), что приобретенный опыт работы в дальнейшем оказался бесценным. На первом этапе была четко осознана реальность синтеза элементов с новыми значениями Z .

Начало второго этапа (1940 г.) связано с синтезом первого трансуранового элемента нептуния ($Z=93$). На получение последующих трансурановых элементов в существенной степени повлиял практический фактор — овладение ядерной энергией. За 15 лет были синтезированы новые элементы до менделеевия ($Z=101$) включительно, причем в ядерных реакциях использовались те же бомбардирующие «снаряды». Однако набор последних к середине 1950-х годов оказался уже недостаточным: соответствующие элементы (для мишеней) нельзя было накопить в необходимых количествах вследствие низких периодов полураспада их изотопов.

Это обстоятельство в конечном счете способствовало наступлению третьего этапа. Его характерная черта — применение принципиально нового метода синтеза: использование в качестве бомбардирующих частиц ускоренных тяжелых ионов, что потребовало и существенного усовершенствования ускорительной техники. В итоге верхняя граница искусственного синтеза была отодвинута еще на несколько значений Z . Почти все нуклиды с $Z \geq 102$ имеют чрезвычайно малую продолжительность жизни (секунды и доли секунды). Это весьма затрудняет их физическую и химическую идентификации. Достигнутые разными группами исследователей результаты часто не совпадали, и потому столь продолжительными оказывались приоритетные дискуссии. Вступив в область химических элементов «второй сотни», физика и химия столкнулись с принципиально новой методологической проблемой. Нуклиды с $Z \geq 102$ удается синтезировать в количествах, когда их атомы буквально можно сосчитать. Уже вошел в обиход термин «химия единичных атомов». Исследование их свойств в данном случае должно доказать факт синтеза нового трансуранового элемента. Но здесь неизбежно возникает вопрос, который мы уже обсуждали на с. 87. Накопление в сколь-либо «осязаемых» количествах нуклидов с $Z \geq 102$ совершенно исключено. Всякий раз для проведения новых исследований требуется предварительно воспроизвести процессы синтеза соответствующих нуклидов. Образно говоря, символы элементов с $Z \geq 102$ в периодической системе не имеют материального обеспечения и фактически лишь свидетельствуют о том, что при определенных условиях может быть осуществлен их синтез. Поистине уникальный пример открытий новых элементов, которые постоянно требуют воспроизведения.

Заключение

Главные особенности открытия нуклидов на различных уровнях могут быть записаны в виде простых схем. Так, схема открытия стабильных элементов выглядит следующим образом:

$$\{Z; A_1, A_2, \dots A_m\}, \quad (I)$$

если элемент с данным Z представлен в природе несколькими разновидностями нуклидов, или

$$\{Z, A\}, \quad (II)$$

что соответствует существованию одного вида стабильных нуклидов с данным Z . По существу в ходе открытия стабильных элементов такое различие не могло быть учтено.

Для радиоактивных элементов особенность их открытия схематически правомерно изобразить так:

$$*\{Z, A_1\}, *\{Z, A_2\}, \dots *\{Z, A_m\}, \quad (III)$$

здесь подчеркнута селективность открытия отдельных радиоэлементов (звездочка характеризует наличие радиоактивности у нуклидов).

Поскольку реализация третьего уровня означала разделение смеси стабильных нуклидов с данным Z на составляющие с различными A , то соответствующая схематическая запись будет выглядеть аналогично (III):

$$\{Z; A_1\}, \{Z; A_2\}, \dots \{Z; A_m\}, \quad (IV)$$

причем (IV) является как бы детализацией (I), но уже на другом уровне открытия нуклидов.

Что касается четвертого уровня, то для него, вообще говоря, применима схема (III). Ядерная реакция синтеза любого нуклида может быть записана формулой

$$\{Z; A\} (x, y) \{Z + (Z_x - Z_y), A + (A_x - A_y)\}, \quad (V)$$

где $\{Z; A\}$ — исходное ядро-мишень; x — бомбардирующая частица; y — частица (или частицы), вылетающие из составного ядра; Z_x и Z_y — заряды частиц x и y ; A_x и A_y — массовые числа этих частиц.

В заключение следует отметить, что в любой области знания в настоящее время чрезвычайно важно найти способы передачи максимума информации с минимальной затратой средств. В частности, правомерен вопрос, можно ли отразить многоплановые процессы открытий химических элементов, записав эти процессы в виде коротких «формул», состоящих из заранее оговоренных обозначений, каждое из которых соответствует определенной стадии в открытии элемента? Попытка предложить подобные «формулы открытий» (своеобразные «знаковые» модели открытий) была предпринята нами в [8].

Литература

1. *Perrier C., Segre E.* Radioactive isotopes of element 43//*Nature*. 1937. V. 140.
2. *Kohman T.* Proposed new word, Nuclide//*Amer. J. Phys.* 1947. V. 15.
3. Трифонов Д. Н. Об эволюции понимания феномена периодичности//*Вопр. философии*, 1984. № 4.
4. *Weeks M.* The Discovery of the Elements. N. Y., 1956.
5. Альтшулер С. В., Кривомазов А. Н., Мельников В. П. и др. Открытие химических элементов. Специфика и методы открытия. М., 1980.
6. Трифонов Д. Н., Кривомазов А. Н., Лисневский Ю. И. Химические элементы и нуклиды. Специфика открытий. М. 1980.
7. Фигуровский Н. А. Открытие элементов и происхождение их названий. М., 1970.
8. Трифонов Д. Н. Об открытии химических элементов//*Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева*. 1977. Т. 22, № 6.
9. Трифонов Д. Н. Эволюция проблемы прогнозирования новых элементов//*Прогнозирование в учении о периодичности*. М., 1976.
10. Лисневский Ю. И. Атомные веса и возникновение ядерной физики. М., 1984.

П. П. СЕМЕНОВ-ТЯН-ШАНСКИЙ И ЕГО ВЗГЛЯДЫ НА ГЕОГРАФИЮ

В. А. ЕСАКОВ, И. М. ЗАБЕЛИН

Творчество и личность П. П. Семенова-Тян-Шанского (1827—1914) вот уже многие десятилетия интересуют советских ученых. Такое внимание, конечно, не случайно — он был одним из ярких представителей отечественной географии, его идеи, взгляды и помыслы, вся его деятельность тесно связаны с современной нам географической наукой и русской культурой вообще.

Начало активной деятельности П. П. Семенова-Тян-Шанского относится к 40—60-м годам прошлого столетия. Общественная борьба за освобождение крестьян от крепостной зависимости, идеи В. Г. Белинского, А. И. Герцена и Н. Г. Чернышевского способствовали перевороту в сознании передовых слоев русского общества и оказали глубокое влияние на формирование сознания.

Русская наука в то время также была на подъеме. Происходят большие изменения и в географии: совершенствуются ее организационные формы, развиваются теоретические основы. В России возникает и начинает активно действовать ряд научных обществ, в том числе Русское географическое общество (1845).

Русское географическое общество (РГО) сыграло выдающуюся роль в изучении природы, хозяйства и населения нашей страны, во многом способствовало выработке твердых основ географии как науки. Русские ученые четко определили задачи и границы географии, ее структурные формы. В РГО было организовано четыре отделения: математической географии, физической географии, статистики и этнографии, отразившие естественнонаучные и социальные аспекты географической науки.

С РГО, возглавившим работу по изучению России и соседних стран, была связана многолетняя научная деятельность Семенова в качестве его руководителя. Здесь «собирались русские люди с высокой целью служить России незабвенную службу, — писал Семенов, — способствовать своими бескорыстными трудами познанию русской земли и русского народа, а равно и тех стран и народов, сношения с которыми обуславливают его развитие и благосостояние» [1, ч. 1, с. XXII].