

Д. Н. ТРИФОНОВ
А. Н. КРИВОМАЗОВ
Ю. И. ЛИСНЕВСКИЙ

УЧЕНИЕ
О ПЕРИОДИЧНОСТИ

И УЧЕНИЕ
О РАДИОАКТИВНОСТИ

АТОМИЗДАТ-1974

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Периоды	VIII																				
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII						
1	(H)																				
2	Li Литий 6,941	Be Бериллий 9,01218	B Бор 10,81	C Углерод 12,011	N Азот 14,0067	O Кислород 15,9994	F Фтор 18,99840	Ne Неон 20,179	Na Натрий 22,98977	Mg Магний 24,305	Al Алюминий 26,98154	Si Кремний 28,086	P Фосфор 30,97376	S Сера 32,06	Cl Хлор 35,453	Ar Аргон 39,948	Ne Неон 20,179	He Гелий 4,00260			
3	Na Натрий 22,98977	Mg Магний 24,305	Al Алюминий 26,98154	Si Кремний 28,086	P Фосфор 30,97376	S Сера 32,06	Cl Хлор 35,453	Ar Аргон 39,948	K Калий 39,098	Ca Кальций 40,08	Sc Скандий 44,9559	Ti Титан 47,88	V Ванадий 50,9415	Cr Хром 51,996	Mn Марганец 54,9380	Fe Железо 55,847	Ni Никель 58,6934	Co Кобальт 58,9332	Ni Никель 58,6934		
4	K Калий 39,098	Ca Кальций 40,08	Sc Скандий 44,9559	Ti Титан 47,88	V Ванадий 50,9415	Cr Хром 51,996	Mn Марганец 54,9380	Fe Железо 55,847	Co Кобальт 58,9332	Ni Никель 58,6934	Cu Медь 63,546	Zn Цинк 65,38	Ga Галлий 69,72	Ge Германий 72,6	As Мышьяк 74,9216	Se Селен 78,96	Br Бром 79,904	Kr Криптон 83,80	Rh Родий 101,07	Rh Родий 102,9055	Pd Палладий 106,4
5	Rb Рубидий 85,4678	Sr Стронций 87,62	Y Иттрий 88,9058	Zr Цирконий 91,22	Nb Нюбий 92,9063	Mo Молибден 95,94	Tc Технеций 98,9062	Ru Рутений 101,07	Rh Родий 102,9055	Pd Палладий 106,4	Cs Цезий 132,9054	Ba Барий 137,34	La* Лантан 138,9055	Hf Гафний 178,49	Ta Тантал 180,9473	W Вольфрам 183,85	Re Рений 186,2	Os Осмий 190,2	Ir Иридий 192,22	Pt Платина 195,09	Pt Платина 195,09
6	Cs Цезий 132,9054	Ba Барий 137,34	La* Лантан 138,9055	Hf Гафний 178,49	Ta Тантал 180,9473	W Вольфрам 183,85	Re Рений 186,2	Os Осмий 190,2	Ir Иридий 192,22	Pt Платина 195,09	Fr Франций [223]	Ra Радий [226]	Ac** Актиний [227]	Pb Свинец 207,2	Bi Висмут [209]	Po Полоний [210]	At Астат [210]	Rn Радон [222]	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941
7	Fr Франций [223]	Ra Радий [226]	Ac** Актиний [227]	Pb Свинец 207,2	Bi Висмут [209]	Po Полоний [210]	At Астат [210]	Rn Радон [222]	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941	Li Литий 6,941

* Л А Н Т А Н О И Д Ы
** А К Т И Н О И Д Ы

Точность последней цифры ±1 или ±3 (если выделена мелким шрифтом).
В надратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

Д. Н. ТРИФОНОВ
А. Н. КРИВОМАЗОВ
Ю. И. ЛИСНЕВСКИЙ

УЧЕНИЕ
О ПЕРИОДИЧНОСТИ

И УЧЕНИЕ
О РАДИОАКТИВНОСТИ

КОММЕНТИРОВАННАЯ ХРОНОЛОГИЯ
ВАЖНЕЙШИХ СОБЫТИЙ



МОСКВА АТОМИЗДАТ 1974

Трифонов Д. Н., Кривомазов А. Н., Лисневский Ю. И. **Учение о периодичности и учение о радиоактивности** (комментированная хронология важнейших событий). М., Атомиздат, 1974, 248 с.

Настоящая книга — своеобразный справочник важнейших открытий в области учения о периодичности и учения о радиоактивности. В хронологическом порядке (с 1869 по 1974 год) кратко прокомментированы работы ученых разных стран, внесших заметный вклад в развитие этих учений.

Книга предназначена для широкого круга специалистов — физиков и химиков, историков естествознания, преподавателей высших и средних учебных заведений.

КОММЕНТИРОВАННАЯ ХРОНОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ СОБЫТИЙ

Настоящая работа представляет первую попытку создания краткой комментированной хронологии важнейших событий в области, относящейся к последовательному развитию исследований строения и свойств материи. Эта область настолько обширна, что даже простое перечисление публикаций, хотя бы за исторически сравнительно короткий период, потребовало бы нескольких объемистых томов. Поэтому задача была ограничена и основное внимание было направлено на отбор научных достижений в последовательной эволюции двух фундаментальных направлений — учения о периодичности и учения о радиоактивности.

Развитие именно этих учений в конечном счете способствовало разработке наиболее важных современных представлений о строении и свойствах материи, в первую очередь, — понятий «элемент», «изотоп», «атом», «атомное ядро» и закономерностей, управляющих их поведением и свойствами.

Сравнительно-исторический анализ эволюции названных учений позволяет обнаружить много линий взаимосвязей между ними, хотя одновременно можно говорить и о вполне обособленном, самостоятельном развитии каждого из них. Можно далее констатировать, что учение о периодичности в известной степени является даже более общим. В самом деле, целесообразно говорить о трех уровнях развития учения о периодичности. Д. И. Менделеев установил принцип периодичности по отношению к химическим элементам; это было начало химического уровня развития учения о периодично-

сти. Физическое обоснование закона периодичности, создание формальной теории периодической системы привело к обоснованию явления электронной периодичности, т. е. к выявлению периодической повторяемости сходных типов электронных конфигураций атомов по мере роста Z . Это подняло учение о периодичности на новый уровень — электронный, или атомный. Наконец, изучение изотопии, разработка первых систематик изотопов, установление явления нуклонной периодичности означали переход учения о периодичности на нуклонный, или ядерный уровень. Мы можем, таким образом, рассматривать учение о периодичности как бы в трех плоскостях: на уровне химических элементов, на уровне их атомов и на уровне атомных ядер.

Переход от одного уровня к следующему сопровождался все более глубоким пониманием причин периодичности: 1) периодичность является следствием закономерностей «внутренней механики атомов и частиц» (Д. И. Менделеев); 2) периодичность основана на закономерностях формирования электронных конфигураций атомов, т. е. на определенной специфике построения атомных моделей; 3) периодичность есть свойство, заложенное в атомном ядре.

Чрезвычайно важно заметить, что переход учения о периодичности на электронный и далее на ядерный уровень самым непосредственным образом связан с успехами многоплановых исследований явления радиоактивности, т. е. с эволюцией учения о радиоактивности. В свою очередь, развитие представлений о структуре периодической системы во многих случаях способствовало правильному решению проблем, возникавших в русле изучения радиоактивности, или, во всяком случае, их более четкой формулировке и оценке.

При решении задачи, поставленной авторами, весьма трудным оказалось установление критерия отбора публикаций, использование и комментирование которых было бы безусловно необходимым, особенно если учесть, что число таких публикаций измеряется многими тысячами. Сказать, что был установлен более или менее однозначный критерий, — означало бы погрешить против истины. По всей вероятности, идеального критерия вообще не существует, и при любых попытках создания подобных сводок он всегда будет носить в той или иной степени субъективный характер.

Разумеется, определенный субъективизм присутствует и в настоящей работе. Поэтому авторы считают совершенно необходимым объяснить основные принципы, положенные ими в основу составления комментированной хронологии. Эти принципы заключаются в следующем.

1. Возможно более полное освещение и комментирование работ, относящихся к непосредственному возникновению учения о периодичности и учения о радиоактивности и к первым шагам развития этих учений.

2. Подробное освещение и комментирование исследований, которые представляют наиболее существенные вехи в эволюции представлений о периодичности и радиоактивности.

3. Выявление определенных линий последовательной логики развития исследований, причем далеко не всегда можно говорить о четком разграничении этих линий, вследствие неизбежного их пересечения, которое становится особенно заметным уже в конце первого десятилетия XX века. Поэтому приводимое ниже перечисление выделенных линий можно рассматривать лишь как каркас построения хронологии, но отнюдь не как детализированную схему.

По отношению к эволюции учения о периодичности отбирались исследования, развивавшиеся по следующим основным направлениям:

1) эволюция представлений о структуре периодической системы на химическом уровне учения о периодичности (открытие новых элементов; уточнение места известных элементов или их совокупностей в системе; попытки прогнозирования неизвестных элементов и их свойств; некоторые, наиболее реалистичные, формы графического изображения системы; первые атомные модели; попытки объяснения явления периодичности и т. п.);

2) эволюция представлений о структуре системы на электронном уровне (физическое обоснование закона периодичности; обоснование модели атома; создание формальной теории периодической системы; развитие квантовомеханических представлений; синтез новых элементов, прогнозирование электронных конфигураций и основных свойств гипотетических элементов с большими Z и т. д.);

3) возникновение и развитие представлений о нуклонной периодичности; эволюция идеи об «островках относительной стабильности».

Основные события в развитии учения о радиоактивности группировались вокруг следующих направлений:

1) первоначальные исследования радиоактивности и выявление важнейших путей их развития (типы радиоактивных распадов; свойства излучений; механизм радиоактивных превращений; открытие радиоэлементов; первые представления о семействах радиоактивных превращений и т. д.

2) исследования, приведшие к установлению связи радиоактивных семейств с периодической системой элементов, к установлению правил сдвига и формулировке понятия изотопии;

3) эволюция представлений о строении ядер;

4) исследования по искусственному превращению атомных ядер; открытие нейтрона; открытие искусственной радиоактивности; обнаружение новых видов радиоактивных превращений;

5) важнейшие закономерности, управляющие поведением атомных ядер и т. д.

4. Каждое отобранное научное событие комментируется следующим образом:

1) указывается автор (или авторы) открытия и страна, где это открытие сделано (однако имеют место случаи, когда важная идея, принадлежащая тому или иному ученому, была высказана им во время поездки за границу или во время пребывания в другой стране);

2) кратко излагается существо открытия, причем иногда указывается его связь с предыдущими или определенное влияние на последующие открытия;

3) приводится, как правило, ссылка на первую публикацию о данном открытии с названием работы на языке оригинала; иногда приводится точная дата публикации или дата поступления работы в редакцию журнала.

По мнению авторов, составление комментированных хронологий важнейших событий в эволюции различных научных дисциплин и направлений является весьма целесообразным, поскольку может служить хорошим ориентиром и необходимым справочным материалом при историко-научных исследованиях, а также для ознакомления широкого круга читателей с основными веками эволюции того или иного учения.

Разумеется, настоящая попытка не лишена недостатков. Конечно, некоторые интересные и важные публикации могли оказаться вне поля зрения, но это лишь свидетельство того, как трудны благие намерения объять необъятное. Авторы с благодарностью примут все критические замечания.

Книга подготовлена сотрудниками проблемной группы «История учения о периодичности», работающей в Институте истории естествознания и техники АН СССР, причем Д. Н. Трифионовым было написано предисловие, отобраны и прокомментированы работы, относящиеся к 1869—1895 и 1935—1974 гг., А. Н. Кривомазовым — к 1896—1913 гг., Ю. И. Лисневским — к 1914—1934 гг.

Авторы считают своим долгом поблагодарить сотрудника названной группы А. Н. Вяльцева, который прокомментировал важнейшие работы, касающиеся прогнозирования «островков относительной стабильности», электронных конфигураций атомов «сверхэлементов» и дал много ценных советов.

В конце книги приведена библиография важнейших работ по истории учения о периодичности и учения о радиоактивности. В основном получили отражение исследования последних 20—25 лет.

1869—1974 гг.

1869

Д. И. Менделеев (в России) разработал первый вариант системы химических элементов, в который, по его словам, были вложены «первые мысли о периодичности». Этот день — 1 марта (17 февраля по ст. ст.) считается датой открытия закона периодичности. Таблица, составленная Д. И. Менделеевым, носила название «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве».

В начале марта Д. И. Менделеев работал над статьей «Соотношение свойств с атомным весом элементов», которая явилась первым изложением его идей о явлении периодичности. Основной вывод из статьи заключался в том, что «элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств».

14 марта Д. И. Менделеев передал текст своей статьи Н. А. Меншуткину для напечатания в «Журнале Русского химического общества» и разослал многим русским и иностранным ученым отписки «Опыта системы...».

19 марта на заседании Русского химического общества Н. А. Меншуткин от имени Д. И. Менделеева сообщил содержание статьи «Соотношение свойств с атомным весом элементов».

В конце марта вышел в свет 2-й выпуск «Основ химии» Д. И. Менделеева с приложением «Опыта системы...».

Менделеев Д. И. Основы химии. Ч. 1, вып. 2. Спб., 1869, с. IV.

В мае в «ЖРХО» была напечатана статья Д. И. Менделеева «Соотношение свойств с атомным весом элементов», к которой был приложен «Опыт системы...».

Менделеев Д. И. Соотношение свойств с атомным весом элементов. — «ЖРХО», 1869, т. 1, вып. 2—3, с. 60—77.

4 сентября на 2-ом Съезде русских естествоиспытателей и врачей Д. И. Менделеев сделал доклад «Об атомном объеме простых тел», в котором обосновал положение, что атомные объемы простых веществ являются периодической функцией атомных весов.

Менделеев Д. И. Об атомном объеме простых тел. — В кн.: Труды 2-го Съезда русских естествоиспытателей и врачей в Москве. Ч. 1, отд. 2, 1870, с. 62—71.

15 октября на заседании Русского химического общества Д. И. Менделеев сделал сообщение «О количестве кислорода в соляных окислах и об атомности элементов», в котором обосновал положение, что высшая валентность (атомность) элемента в солеобразующем окисле есть периодическая функция атомного веса. Д. И. Менделеев впервые отметил, что место урана в системе элементов между кадмием и оловом «по многим соображениям» является неверным.

Менделеев Д. И. О количестве кислорода в соляных окислах и об атомности элементов. — «ЖРХО», 1870, т. 2, вып. 1, с. 14—21.

В конце года В. Добровольский (в России) опубликовал книгу «Материалы для химии бора и его соединений», в которой содержится упоминание о законе периодичности.

Добровольский В. Материалы для химии бора и его соединений. Спб., 1869.

И. Гитторф (в Германии) обнаружил новый вид лучей, которые впоследствии были названы катодными.

Hittorf I. Über die Elektrizitätstellung der Gase. — «Ann. Phys.», 1869, Bd 1, S. 136—157.

Н. Локьер и Э. Франкланд (во Франции) провели анализ спектров солнечной хромосферы, полученных при наблюдении солнечного затмения в августе 1868 г. Н. Локьером и Ж. Жансенем. Авторы отметили, что «около линии О имеется линия, видимая в спектре хромосферы, которой не соответствует ни одна фраунгоферова линия». Это было первое указание, что на Солнце возможно присутствие элемента, неизвестного на Земле.

Loquier N., Francland E. Recherches sur les spectres gazeux dans leurs rapports avec l'étude de la constitution du soleil. — «Compt. rend.», 1869, v. 68, p. 420.

1870

В марте вышел в свет 3-й выпуск «Основ химии» Д. И. Менделеева. Рассматривая уран вместе с семейством железа, Д. И. Менделеев высказал предположение, что следует «вес атома урана увеличить в два раза и положить $U = 240$ », и наметил программу исследований для проверки этого предположения. Д. И. Менделеев высказал также мысль, что ранее определенное значение атомного веса лантана необходимо увеличить в 1,5 раза.

Менделеев Д. И. Основы химии. Вып. 3. Спб., 1870, с. 188, 381.

Летом — в начале осени Д. И. Менделеев окончательно пришел к выводу о необходимости изменить атомные веса индия, церия, урана, тория и иттрия и о целесообразности иного размещения названных элементов в системе. Ученый приступил к написанию сводной статьи «К системе элементов», которая впоследствии была разделена на две: «О месте церия в системе элементов» и «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств неоткрытых элементов».

6 декабря Д. И. Менделеев закончил статью «О месте церия в системе элементов», в которой доказал необходимость изменения атомных весов индия, урана, церия и его спутников, поскольку, по словам Д. И. Менделеева, «эти элементы не подходят или по форме своих окислов, или по своим свойствам под законность, указанную мною». В русском черновике статьи Д. И. Менделеев впервые употребил термин «закон периодичности». К статье приложен вариант системы элементов, в котором намечены контуры короткой формы ее графического изображения.

M e n d e l e e f f D. Über die Stellung des Ceriums im System der Elements.— «Melanges phys. chim., St.—Pet. Buchdruckerei Acad. Wiss.», 1871, S. 445—454.

11 декабря Д. И. Менделеев закончил статью «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств неоткрытых элементов». Система элементов впервые названа естественной и впервые же употреблено понятие «закон периодичности». К статье приложена короткая форма графического изображения системы. Получило четкое определение понятие «место элемента в системе». В статье Д. И. Менделеев предсказывал существование нескольких еще неоткрытых элементов: экабора, экаалюминия и экасилиция (с подробной характеристикой их возможных свойств); элемента, аналогичного теллуру, с атомным весом, большим, чем у висмута; элементов седьмого периода (принадлежащих к первой, второй, третьей и пятой группам системы).

М е н д е л е е в Д. И. Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств неоткрытых элементов.— «ЖРХО», 1871, т. 3, вып. 2, с. 25—56.

Л. Мейер (в Германии) опубликовал статью «Природа химических элементов как функция их атомных весов», в которой дал графическое изображение зависимости атомных объемов от атомных весов элементов (так называемая кривая Лотара Мейера). Л. Мейер констатировал, что «свойства элементов в большинстве случаев являются периодическими функциями атомного веса: те же или сходные свойства повторяются, когда атомный вес увеличивается на определенную величину». В статье Л. Мейер помещает таблицу

элементов, по его словам, «в существенных чертах тождественную той, которую дает Менделеев».

Meyer L. Die Natur der chemischen Elemente als Funktion ihrer Atomgewichte.—«Ann. Chem. Pharm.», 1870, VII (Suppl. Bd), S. 354.

1871

В апреле Д. И. Менделеев закончил статью «К вопросу о системе элементов», в которой впервые назвал свою систему элементов периодической: «было бы правильнее назвать мою систему периодической, потому что она вытекает из периодического закона...».

Mendeleeff D. Zur Frage über das System der Elemente.—«Berichte», 1871, Bd 4, S. 348—352.

В июле Д. И. Менделеев завершил работу над своей главной статьей, посвященной основным положениям учения о периодичности, — «Периодическая законность химических элементов». Позднее, в 1899 г., он дал ей такую характеристику: «Это лучший свод моих взглядов и соображений о периодичности элементов и оригинал, по которому писалось потом так много про эту систему». В статье Д. И. Менделеев рассмотрел следующие важнейшие направления учения о периодичности: 1) сущность закона периодичности; 2) применение закона периодичности к систематике элементов; 3) применение закона периодичности к определению атомных весов малоисследованных элементов; 4) применение закона периодичности к определению свойств еще не открытых элементов; 5) применение закона периодичности к исправлению атомных весов; 6) применение закона периодичности к дополнению сведений о формах химических соединений. Впервые Д. И. Менделеев привел каноническую формулировку закона периодичности: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, стоят в периодической зависимости от их атомного веса». Д. И. Менделеев впервые четко формулирует мысль об ограниченности числа «доступных нам элементов».

Mendeleeff D. Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente.—«Ann. Chem. Pharm.», 1871, VIII (Suppl. Bd), S. 133—229.

1874

П. Лекок де Буабодран (во Франции), систематизировав большой фактический материал, впервые представил полное описание спектров многих металлов.

Lecoq de Boisbaudran P. Spectres Lumineux. V. 1. Paris, 1874.

А. Вюрц (во Франции) опубликовал книгу «Атомическая теория», в которой освещалась, в частности, периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Д. И. Менделеев писал: «Считаю со своей стороны, что Вюрц много способствовал популяризации моей системы элементов».

Wurtz A. La théorie atomique. Paris, 1874.

1875

20 сентября П. Лекок де Буабодран (во Франции) на заседании Парижской академии наук заявил об открытии в цинковой обманке нового элемента, предложив назвать его галлием. Ученый дал обзор важнейших свойств галлия, которые позволяли считать, что галлий — это предсказанный Д. И. Менделеевым экаалюминий.

Lecoq de Boisbaudran P. Caractères chimiques et spectroscopiques d'un nouveau métal, le Gallium, découvert dans une blende de la mine de Pierrefite, vallée d'Argeles (Pyrénées). — «Compt. rend.», 1875, v. 81, p. 493—495.

4 ноября Д. И. Менделеев на заседании Русского физического общества сделал сообщение об открытии галлия П. Лекоком де Буабодраном, считая галлий тождественным экаалюминию.

Менделеев Д. И. <Реферат сообщения>. — «ЖРХО и ФО», 1875, т. 7, вып. 9, ч. физ., отд. 1, с. 337.

6 ноября Д. И. Менделеев сделал сообщение о галлии на заседании Русского химического общества, в котором отметил, что галлий «как по способу открытия (спектром от искр), так и по свойствам... совпадает с должествующим существовать экаалюминием, свойства которого были указаны четыре года назад... на основании периодического закона». В

сообщении указывалось, что плотность галлия должна быть 5,9.

Менделеев Д. И. <Реферат сообщения>. — «ЖРХО и ФО», 1875, т. 7, вып. 9, ч. хим., отд. 1, с. 316.

В конце года Д. И. Менделеев опубликовал «Заметку по поводу открытия галлия», где подробно описал свойства экаалюминия, предсказанного им на основании закона периодичности. Д. И. Менделеев высказал также предположение, что «открытие экасилиция $Es = 72...$ не замедлит осуществиться».

Mendelejev D. Remarques à propos de la découverte du gallium. — «Compt. rend.», 1875, v. 81, p. 969—972.

1876

П. Лекок де Буабодран (во Франции) опубликовал сообщение, в котором указал, что первоначально найденное им значение плотности галлия (4,7) неверно. При этом он сослался на расчеты Д. И. Менделеева, дававшие значение плотности 5,9. Улучшив технику эксперимента, П. Лекок де Буабодран «получил более высокие плотности ..., варьирующие от 5,5 до 6,2». Ученый констатировал: «Я полагаю, что нет нужды настаивать на исключительной важности теоретических взглядов г. Менделеева относительно плотности нового элемента».

Lecoq de Boisbaudran P. Nouvelles recherches sur le gallium. — «Compt. rend.», 1876, v. 82, p. 1036—1039.

1877

Д. И. Менделеев закончил подготовку третьего издания «Основ химии», в которое впервые была введена специальная глава, посвященная закону периодичности и периодической системе элементов.

Менделеев Д. И. Основы химии. Ч. 2. Изд. 3-е. Спб., 1877.

1878

Ш. Мариньяк (в Швейцарии) сообщил об открытии нового редкоземельного элемента, которому дал название иттербий (Yb).

Marignac Ch. Sur l'ytterbine, nouvelle terre contenue dans la gadolinite. — «Compt. rend.», 1878, v. 87, p. 578—581.

Л. Нильсон и О. Петтерссон (в Швеции) сделали попытку решить вопрос об атомном весе бериллия посредством определения теплоемкости металла. Полученные результаты привели ученых к выводу о том, что бериллий следует отнести к III группе периодической системы.

Nilsson L., Pettersson O. Om berylliums specifika värme.—«Ofversigt af K. Vetens.—Akad. Förhand.», 1878, Nr. 3, S. 41—50.

1879 Л. Нильсон (в Швеции) открыл новый химический элемент скандий (Sc).

Nilsson L. Om Skandium.—«Ofversigt af K. Vetens.—Akad. Förhand.», 1879, No. 7, S. 3—10; Sur le scandium, élément nouveau.—«Compt. rend.», 1879, v. 88, p. 645—648.

П. Клеве (в Швеции) показал, что скандий по своим свойствам идентичен предсказанному Д. И. Менделеевым экабору.

Cleve P. Sur le scandium.—«Compt. rend.» 1879, v. 89, p. 419—422.

П. Клеве (в Швеции) открыл два новых редкоземельных элемента — гольмий (Ho) и тулий (Tl).

Cleve P. Sur deux nouveaux éléments dans l'erbine.—«Compt. rend.», 1879, v. 89, p. 478—481.

П. Лекок де Буабодран (во Франции) открыл новый редкоземельный элемент самарий (Sm).

Lecoq de Boisbaudran P. Nouvelles raies extraites de la samarskite.—«Compt. rend.», 1879, v. 88, p. 322—324.

1880 Л. Мейер (в Германии) после серии экспериментальных исследований сделал вывод о двухвалентности бериллия и нашел его атомный вес равным 9,1. Работа Мейера сыграла важную роль в дискуссии о месте бериллия в периодической системе.

Meyer L. Über das Atomgewicht der Berylliums.—«Berichte», 1880, Bd 13, S. 1780—1786.

В октябре на заседании отделения химии Русского физико-химического общества Д. И. Менделеев выступил с сообщением «О редких металлах и периодическом законе». В этом сообщении Менделеев остановился на открытии скандия Л. Нильсоном и отметил тождественность предсказанных свойств экабора и свойств скандия.

Менделеев Д. И. <О редких металлах и периодическом законе>. — «ЖРФХО», 1881, т. 13, вып. 8, с. 517—520.

1881

Г. Гельмгольц (в Германии) в своей лекции, прочитанной в Лондонском химическом обществе, высказал следующую идею: «Если мы принимаем гипотезу о том, что элементарные вещества состоят из атомов, то мы не можем не прийти к выводу, что и электричество, как положительное, так и отрицательное, состоит из определенных элементарных порций, ведущих себя подобно атомам электричества».

Helmholtz H. On the modern development of Faraday's conception of electricity. — «J. Chem. Soc.», 1881, v. 39, p. 277—304.

1882

Т. Бейли (в Англии) предложил «лестничный» вариант таблицы элементов, который является своеобразным прототипом варианта Ю. Томсена и, по-видимому, первой четко оформленной «лестничной» формой таблицы. Вариант Бейли состоял из двух коротких рядов, содержащих по 7 элементов (Li — F и Na — Cl); двух длинных, включающих по 17 элементов (K — Br, Rb — I), и одного, еще более длинного, состоящего предположительно (в нем было много прочерков, которые Бейли пытался отождествлять с еще не открытыми элементами) из 31 элемента (Cs — U). Таким образом, длины периодов в варианте Бейли (без учета благородных газов) совпадали с современными. Сходство, существующее между типическими элементами и элементами главных подгрупп, с одной стороны, и побочных, — с другой, также было отражено в таблице Бейли. Возможное число редкоземельных элементов было, однако, неоправданно ограничено.

Bayley T. On the connexion between the atomic weight and the chemical and physical properties of elements. — «Phil. Mag.», 1882, ser. 5, v. 13, p. 26.

А. М. Бутлеров (в России) опубликовал статью «Заметка об атомных весах», в которой изложил соображения, заставляющие, по его мнению, «сомневаться в абсолютном постоянстве атомных весов» элементов. Бутлеров считал, что «нет причины принимать такое постоянство аргюги». Таким образом, Бутлеров выдвинул гипотезу о колебаниях атомных весов, т. е. допускал для того или иного химического элемента изменчивость (в определенных пределах) атомного веса. Данная гипотеза может рассматриваться как косвенное предвидение явления изотопии.

Бутлеров А. М. Заметка об атомных весах.— «ЖРФХО», 1882, т. 14, вып. 5, с. 208—212.

К. Циммерман (в Германии) опубликовал работу, обобщающую исследования по химии урана.

Zimmerman C. Untersuchungen über das Uran. München, 1882.

1884

Л. Нильсон и О. Петтерссон (в Швеции), проводя точные исследования плотности паров хлорида бериллия, пришли к выводу, что его формула — BeCl_2 . Тем самым было окончательно доказано место бериллия во второй группе периодической системы.

Nilsson L., Pettersson O. Über die Dampfdichte des Chlorberylliums.— «Berichte», 1884, Bd 17, S. 987.

Т. Карнелли (в Англии) рассмотрел связь некоторых физических свойств неорганических соединений с законом периодичности.

Carnelley Th. The periodic law as illustrated by certain physical properties of inorganic compounds.— «Phil. Mag.», 1884, v. 18, p. 1—22.

Т. Карнелли (в Англии) опубликовал статью «Периодический закон и распространенность элементов в природе».

Carnelley Th. The periodic law and the occurrence of the elements in nature.— «Phil. Mag.», 1884, v. 18, p. 194—200.

1885

К. Ауэр фон Вельсбах (в Австрии) доказал, что редкоземельный элемент дидим в действительности является смесью двух элементов. Ученый дал им названия празеодим (Pr) и неодим (Nd).

A u e r v o n W e l s b a c h C. Die Zerlegung des Didyms in seine Elements. — «Berichte», 1885, Bd 18, S. 605.

И. Ридберг (в Швеции) впервые обратил внимание на то, что истолкование периодического изменения свойств элементов как функции их атомных весов сталкивается с серьезными трудностями, поскольку сами атомные веса не могут рассматриваться в качестве независимой переменной.

R y d b e r g I. Om de kemiska Grundämnenas periodiska sistem. — «Bihang. till. K. Svenska Vet. — Akad. Handlingen», 1884, Bd 10, Nr. 2, S. 3—31.

И. Бальмер (в Швейцарии) показал, что длины волн линий в спектре водорода могут быть определены с помощью следующего простого соотношения:

$$\lambda = h \frac{m^2}{m^2 - n^2},$$

где m и n — целые числа (причем $n = 2$, $m = 3, 4, 5, 6$), h — некоторая константа (по терминологии Бальмера, «основное число»). Формула Бальмера послужила образцом для всех последующих спектральных формул и лежит в основе теории спектральных линий.

В настоящее время формула Бальмера записывается так:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где R — так называемая постоянная Ридберга, равная $109677,8 \text{ см}^{-1}$.

B a l m e r I. Notiz über die Spectrallinien des Wasserstoff. — «Ann. Phys. Chem.», 1885, Bd 25, S. 80—86.

1886

К. Винклер (в Германии) в минерале аргиродите открыл новый элемент, которому дал название германий — Ge (менделеевский эксилиций). Винклер писал: «Произведенный мною анализ аргиродита показал, что содержание ртути в нем не более 0,21%, серебра ... от 73 до 75%, серы — от 17 до 18%; кроме того имеются весьма незначительные количества железа и следы мышьяка. Как бы многочисленны ни были анализы ..., в результате оказывалась всегда потеря в 6—7%, а недостающего тела нельзя было найти, применяя обыкновенный ход качественного анализа.

... Я могу в настоящее время утверждать, что в состав аргиродита входит новый элемент, по одним свойствам весьма схожий с сурьмой, по другим — резко от нее отличающийся».

По мнению Винклера, новый элемент «представляет недостающий член между сурьмой и висмутом в периодической системе».

W i n k l e r K. Germanium, Ge, ein neues, nichtmetallisches Element.— «Berichte», 1886, Bd 19, S. 210—211.

П. Лекок де Буабодран (во Франции) открыл новый редкоземельный элемент диспрозий (Dy).

Lecoq de Boisbaudran P. Sur le dysprosium.— «Compt. rend.», 1886, v. 102, p. 1005—1006.

П. Лекок де Буабодран (во Франции) открыл новый редкоземельный элемент гадолиний (Gd).

Lecoq de Boisbaudran p. Sur le gadolinium.— «Compt. rend.», 1886, v. 102, p. 902.

В. Крукс (в Англии) четко сформулировал идею о том, что атомы одного и того же элемента могут быть по значению атомных весов неодинаковыми. Ученый указал: «Если мы говорим, например, что атомный вес кальция равен 40, мы выражаем тот факт, что большинство атомов кальция в действительности имеют атомный вес 40, но не исключена возможность, что некоторые имеют вес 39 или 41 и еще мень-

шее количество — 38 и 42 и т. д.». В этих словах фактически содержится предвидение изотопии.

Крукс В. О происхождении химических элементов. Спб., 1886.

И. Ридберг (в Швеции) обратил внимание на то, что атомные веса многих элементов могут быть выражены (приблизительно) формулами $4m$ и $4m + 3$, где m — целое число.

Rydberg I. Die Gesetze der Atomgewichtszahlen.— «Bihang. till. K. Svenska Vet.—Akad. Handlingen», 1886, Bd 11, Nr. 13, S. 3—18.

Э. Гольдштейн (в Германии) при изучении свойств катодных лучей использовал в качестве катода в разрядной трубке металлический диск с отверстиями. Ученый наблюдал слабо светящиеся лучи, выходящие из этих отверстий в направлении, противоположном аноду. Новые лучи получили название каналовых.

Goldstein E. Über eine noch nicht untersuchte Strahlungsform an der Kathode, induktierter Entladungen.— «Berlin. Sitzungsber.», 1886, Bd 39, S. 691—699.

1887

К. Винклер (в Германии) опубликовал работу, посвященную изучению германия. Из описания свойств элемента следовало, что он подобен предсказанному Менделеевым экасилицию.

Winkler K. Mitteilungen über das Germanium.— «J. prakt. Chem.», 1887, Bd 34, S. 177—209.

А. И. Базаров (в России) рассмотрел вопрос, представляют ли атомные веса «бессвязный ряд чисел или между этими числами существует какое-нибудь правильное соотношение». Анализируя ход изменения атомных весов элементов в периодической системе, Базаров пришел к следующим выводам: 1) возрастание атомных весов элементов происходит с переменной интенсивностью, причем меньший коэффициент возрастания чередуется с большим и обратно, но при этом как малые, так и большие коэффициенты постепенно уменьшаются; 2) возрастание атомных весов анало-

гичных элементов различных периодов уменьшается по мере увеличения атомных весов, причем значительное уменьшение чередуется с менее значительным.

Базаров А. И. Об атомных весах элементов. — «ЖРФХО», 1887, т. 19, ч. хим., с. 61—73.

1888

В. Крукс (в Англии) развил идею о неоднородности атомов (см. с. 19, 20), опираясь на работы по

разделению редких земель. Он разделил иттрий на несколько компонентов, сходных по химическим свойствам, но имеющих различные спектры фосфоресценции. По мнению Крукса, «здесь мы имеем так называемый элемент, спектр которого испускается неодинаково различными его атомами; некоторые атомы образуют одни, другие атомы — другие линии или полосы общего элемента. Следовательно, атомы этого элемента, возможно, отличаются по весу и, конечно, в своих внутренних движениях». Ученый назвал подобные компоненты мета-элементами и высказал предположение, что эта идея может быть применена ко всем элементам. Нецелочисленность атомных весов элементов он объяснил тем, что каждый элемент состоит из смеси мета-элементов, содержащихся в разных пропорциях.

Наиболее важным выводом было то, что Крукс предложил пересмотреть понятие «химический элемент» и заменить его понятием «элементарная группа», причем, по мнению Крукса, элементарные группы «должны занять место старых элементов в периодической системе». Таким образом, Крукс впервые связал представление о разновидностях атомов химического элемента с его местом в системе. Здесь мы видим наиболее близкое приближение к предвидению изотопии.

Crookes W. Elements and meta-elements. — «Trans. Chem. Soc.», 1888, v. 53, p. 487—504.

1889

31 мая Д. И. Менделеев выступил в Лондонском королевском институте с чтением на тему «Попытка приложения к химии одного из начал естественной философии Ньютона». Менделеев сделал попытку рассмотреть

атомный вес и атомность элементов с позиций третьего начала ньютоновской механики.

Менделеев Д. И. Два Лондонских чтения. Спб., 1895.

4 июня состоялось Фарадеевское чтение Д. И. Менделеева в Британском химическом обществе: «Периодическая законность химических элементов».

Менделеев Д. И. Два Лондонских чтения. Спб., 1895.

1890 И. Ридберг (в Швеции) доказал, что в спектрах большого числа элементов существуют серии линий с длинами волн, приближенно выражающимися формулой

$$\frac{1}{\lambda n} = A - \frac{R}{(n + \alpha)^2},$$

где A и α — постоянные, характерные для данной серии; R — универсальная постоянная, равная постоянной водородного спектра (постоянная Ридберга).

Rydberg I. On the structure of line-spectra of the chemical elements.— «Phil. Mag.», 1890, v. 29, p. 331.

1891 Г. Стони (в Ирландии) ввел термин «электрон», полагая, что электрон «соответствует в химическом атоме каждой связи».

Stoney G. On the cause of double lines and of equidistant satellites in the spectra of gases.— «Scient. Trans. Roy. Dublin Soc.», 1891, ser. 2, v. 4, p. 503—608.

1894 В. Стрэтт (Рэлей) (в Англии) обсудил проблему аномальной плотности азота (статья от 19 апреля) и предположил, что расхождение объясняется либо неполным удалением более тяжелого кислорода из азота воздуха, либо загрязнением азота из аммиака более легкими газами. Однако далее ученый показал, что азот,

полученный не только из аммиака, но и из азотистого и азотного ангидридов и нитрата аммония, существенно легче атмосферного азота.

Эта работа Рэля поставила вопрос о том, что в атмосфере может содержаться новая, пока неизвестная составная часть — элемент или соединение.

Strutt W. (Lord Rayleigh). On an anomaly encountered in determinations of the density of nitrogen gas.— «Proc. Roy. Soc.», 1894, v. 55, p. 340—344.

В. Рамзай (в Англии), ознакомившись со статьей Рэля от 19 апреля, решил химически связать с помощью нагретой до красного каления магниевой стружки очищенный атмосферный азот, чтобы выяснить, содержится ли в нем отличающаяся от основной массы часть. В мае Рамзай выделил 40 см³ остаточного газа. Рамзай на основании этого пришел к заключению о «возможности существования некоторым образом измененного азота или присутствия в атмосфере некоторого нового компонента».

Ramsay W. The Gases of the Atmosphere, the History of their Discovery. London, 1896.

В. Рамзай (в Англии) в письме Рэлею от 24 мая писал: «Не приходило ли Вам на ум, что имеется место для газообразных элементов в конце первого периода периодической таблицы? Так, например, Li, Be, B, C, N, O, F, X, X, X, и т. д.».

Travers M. A Life of Sir William Ramsay. London, 1956.

В. Рамзай (в Англии) в июле исследовал спектр остаточного газа и обнаружил, что в спектре наряду с характерными для азота полосами содержится определенная группа линий, которые, «по-видимому, не принадлежат спектру какого-либо из известных газов».

Ramsay W. The Gases of the Atmosphere, the History of their Discovery. London, 1896.

В. Рамзай (в Англии) в августе писал Рэлею: «Выделил газ. Его плотность 19,075, и он не поглощается магнием»,

а 6 августа Рэлей ответил: «Полагаю, что тоже выделил газ, только в весьма малых количествах...».

Travers M. A Life of Sir William Ramsay. London, 1956.

В. Рэлей и В. Рамзай (в Англии) 13 августа сообщили, что тщательно очищенный от всех других составляющих воздуха азот содержит около 1% другого газа, более инертного, чем азот. Плотность газа составляет от 18,9 до 20; линии спектра отличаются по положению от линий азота, а линии азота в спектре отсутствуют. Наиболее характерное свойство газа — его инертность. Ученые предложили для нового газообразного элемента название «аргон» (Ar), что по-гречески означает «недеятельный».

Strutt W. (Lord Rayleigh), Ramsay W. Argon, a new constituent of the atmosphere. — «Proc. Roy Soc.», 1895, v. 57, p. 256—287.

1895

В марте Д. И. Менделеев на заседании отделения химии Русского физико-химического общества сделал сообщение об аргоне. Ученый указывал: «При предположении, что аргон заключает один атом в частице, места для него в периодической системе не находится. Если и принять..., что атомный вес аргона заключается между атомными весами хлора и калия, то аргон может быть помещен в восьмой группе третьего ряда, но существование в этом ряду восьмой группы очень трудно допустить». Менделеев считал более вероятным, что аргон есть «уплотненный азот», т. е. трехатомная молекула азота N_3 .

Менделеев Д. И. <Об аргоне>. — «ЖРФХО», 1895, т. 27, вып. 2, с. 69—72.

В. Рентген (в Германии), проводя эксперименты с катодными лучами, заметил, что картон, покрытый флуоресцирующим веществом (платиносиноеродистый барий), начинает светиться в темной комнате, если вблизи работает катодно-лучевая трубка. В течение нескольких недель Рентген изучил почти все основные свойства нового вида излучения. Ученый установил следующее: 1) «причина, вызывающая фосфоресценцию, кроется в самой разрядной трубке»; 2) множество

различных материалов оказывается в той или иной степени прозрачным для лучей (высокая проникающая способность); 3) «прозрачность различных веществ, имеющих одинаковую толщину, определяется их плотностью..., однако плотность не является единственным определяющим фактором»; 4) излучение вызывает свечение многих фосфоресцирующих веществ; 5) фотографические пластинки чернеют под действием лучей; 6) воздух и некоторые твердые изоляторы под действием лучей начинают проводить ток; 7) лучи не отклоняются даже в очень сильном магнитном поле (важнейшее отличие от катодных лучей) и т. д. Рентген назвал открытые им лучи X-лучами.

*Röntgen W. Über eine neue Art von Strahlen.—
«Sitzungsber. Würzburger phys.-med. Ges.», December 28,
1895.*

Ю. Томсен (в Дании) разработал «лестничный» вариант таблицы элементов, структура которого во многом сходна со структурой таблицы Т. Бейли (см. с. 16). Отличительные черты варианта Томсена заключаются в следующем: 1) включены гелий и аргон; 2) упорядочена структура последнего ряда (Cs—U), содержащего 31 элемент; 3) достаточно четко отражено своеобразие редкоземельных элементов. По этому поводу Томсен писал, что между церием с атомным весом 140 и окончательно еще не определенным элементом с атомным весом около 181 «расположено большое число редкоземельных элементов, близко родственных друг другу подобно средним элементам 3-го ряда, расположенным между марганцем и цинком».

Таким образом, Томсен допускал аналогию между редкоземельными элементами и элементами VIII группы. Важно, что Томсен совершенно правильно наметил общее число редкоземельных элементов, равное 15 (включая La и Ce), и считал, что один из неоткрытых еще должен стоять непосредственно перед самарием, а гипотетический элемент с атомным весом 181 является аналогом циркония и не принадлежит к редкоземельному семейству. Последнее соображение представляет большой интерес в связи с возникшей позднее проблемой элемента № 72.

*Thomson J. Systematische Gruppierung der chemischen Elemente.— «Z. anorgan. Chem.», 1895, Bd 9,
S. 190—193.*

Ю. Томсен (в Дании) высказал гипотезу о существовании «инактивных элементов», подобных аргону, и сделал попытку дать аналитическое выражение периодического закона. Основываясь на том, что в периодических функциях переход от положительных величин к отрицательным совершается или постепенно через нулевое значение, или внезапно через их значение, равное $\pm \infty$, Томсен сделал вывод, что то же самое наблюдается в характере изменения свойств химических элементов. По Томсену, внезапному переходу соответствует элемент, электрохимический характер которого выражается через $\pm \infty$, т. е. элемент электрически индифферентный и с эквивалентностью, равной 0. В связи с этим Томсен сделал вывод, что существует группировка инактивных элементов с атомными весами 4, 20, 36, 84, 132, 212 и 292, причем все они должны помещаться соответственно в конце каждого периода таблицы элементов. Химическую инертность предполагаемых элементов ученый объяснял тем, что у них проявляется особая замкнутая группировка атомов первоначальной материи. Приращение массы инактивного элемента (положительное или отрицательное) влечет за собой образование атома обыкновенного химически деятельного элемента.

По мнению Томсена, принятие инактивных элементов «может облегчить в будущем математическую обработку периодического закона».

Thomson J. Über die mutmassliche Gruppe inaktiver Elemente.— «Z. anorgan. Chem.», 1895, Bd 9, S. 283—288.

И. Ретгерс (в Германии) предложил вариант размещения редкоземельных элементов в периодической системе, имея в виду включение всей их совокупности в одну клетку, расположенную в III группе таблицы. При этом ученый руководствовался общим принципом, что все сходные по свойствам элементы (семейство железа, платиновые металлы и т. д.) должны занимать одну клетку в периодической системе. Ретгерс, по-видимому, был первым, кто высказался против предоставления каждому редкоземельному элементу отдельного места в таблице Менделеева.

Retgers I. Über einige Änderungen im periodischen System der Elemente.— «Z. phys. Chem.», 1895, Bd 16, S. 644—654.

В. Стрэтт (Рэлей) и В. Рамзай (в Англии) опубликовали статью «Аргон — новая составная часть атмосферы». Ученые доказали, что аргон является одноатомным газом и имеет атомный вес, равный 40 (т. е. бóльший, чем атомный вес калия, равный 39,1). Был обсужден вопрос о возможном месте аргона в периодической системе. По мнению Рэля и Рамзая, этот вопрос было трудно решить. Они писали: «Если аргон — отдельный элемент, тогда либо есть причина сомневаться в совершенстве периодической классификации элементов, либо не могут существовать элементы, не находящие себе места среди известных». Действительно, для аргона в ряду элементов Cl (атомный вес 35,5) — K(39,1) — Ca (40,0) и Sc (44,0) места не находилось. «С другой стороны, — указывали ученые, — если аргон является смесью двух элементов, они могут расположиться в восьмой группе: один — за хлором, другой — за бромом...». Приняв предположение, что аргон относится к восьмой группе, Рэлей и Рамзай считали, что его свойства близки к тем, которые можно предсказать. «Для ряда, который содержит Si_n (IV), P_4 (III—V), S_8 (II—VI) и Cl_2 (I—VII), в конце можно ожидать одноатомный элемент без валентности, т. е. не способный образовывать соединения или образующий их с валентностью 8; он должен являться ступенью перехода к одновалентному калию».

Rayleigh (Lord), Ramsay W. Argon: a new constituent of the atmosphere.— «Chem. News», 1895, v. 71, p. 51—58.

В. Рамзай (в Англии) исследовал минерал клевет с целью обнаружить в нем соединения аргона. Основываясь на данных Гиллебранда, что при нагревании клевета с серной кислотой выделяется газ (признанный Гиллебрандом за азот), Рамзай провел спектроскопическое исследование этого газа. Оказалось, что азота в нем чрезвычайно мало, но зато четко выделяется желтая линия кислорода солнечного спектра, принадлежащая гелию.

Ramsay W. Discovery of helium.— «Chem. News», 1895, v. 71, p. 1514.

В. Крукс (в Англии), исследовав спектр газа, выделяющегося из клевета, отчетливо наблюдал характерные спектральные линии гелия.

Crookes W. The spectrum of helium.— «Chem. News», 1895, v. 72, p. 87.

1896

24 февраля А. Беккерель (во Франции) на заседании Парижской академии наук сделал сообщение «Об излучениях, производимых фосфоресценцией». В нем говорилось об экспериментах с кристаллами двойного сульфата уранила и калия $K_2 [UO_2 (SO_4)_2] (H_2O)_2$ — сильно фосфоресцирующего вещества. Согласно этим экспериментам, данное вещество после облучения солнечным светом испускает излучение, проходящее через светонепроницаемую бумагу и разлагающее серебряные соли фотоэмульсии.

Bequerel H. Sur les radiations émises par phosphorescence.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 420—421.

2 марта А. Беккерель сделал сообщение «О невидимой радиации, производимой фосфоресцирующими телами», в котором описал свои дальнейшие эксперименты по изучению радиации, испускаемой калийуранилсульфатом. Накануне этого сообщения (1 марта) он обнаружил, что сильно проникающее излучение не зависит от предварительного действия солнечного света на фосфоресцирующее вещество. Констатация этого факта обычно рассматривается как открытие явления, позднее названного П. и М. Кюри явлением радиоактивности. А. Беккерель полагал, что обнаруженное им явление «не может быть приписано излучению видимого света, действующего путем фосфоресценции». По мнению Беккереля, «это излучение, действие которого очень сходно с действием излучений, изучаемых Ленардом и Рентгеном, представляет собой невидимые лучи, испускаемые путем фосфоресценции, но с продолжительностью, бесконечно большей, чем продолжительность свечения фосфоресцирующих тел».

Bequerel H. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 501—503.

9 марта А. Беккерель сделал сообщение «О некоторых новых свойствах невидимой радиации, производимой различными фосфоресцирующими телами», в котором отметил свойство невидимой радиации разряжать наэлектризованные тела.

Bequerel H. Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 559—564.

23 марта А. Беккерель сделал сообщение «О невидимой радиации, производимой солями урана», в котором изложил результаты своих новых экспериментов (действие излучения на наэлектризованные тела; излучение, испускаемое различными солями урана; поглощение излучения различными веществами и т. д.).

Becquerel H. Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 689—694.

30 марта А. Беккерель сделал сообщение «О различных свойствах невидимой радиации, производимой солями урана, и о лучеиспускании стенки антикатада трубки Крукса», в котором описал дальнейшие эксперименты по изучению различных свойств открытой им радиации. К этому времени Беккерель, по всей вероятности, убедился в том, что новый вид излучения является характерной особенностью именно урановых солей.

Becquerel H. Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium, et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 762—767.

18 мая А. Беккерель сделал сообщение «Испускание новой радиации металлическим ураном». В этом сообщении отмечалось, что интенсивность излучения чистого металлического урана значительно выше, чем урановых солей. По мнению Беккереля, уран — «первый пример металла, представляющего явление одного порядка с невидимой фосфоресценцией».

Becquerel H. Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique.— «Compt. rend.», 1896, v. 122, p. 1086—1088.

23 ноября А. Беккерель выступил с сообщением «О различных свойствах урановых лучей», в котором, в частности, рассмотрел вопрос о продолжительности испускания лучей.

Becquerel H. Sur diverses propriétés des rayons uraniques — «Compt. rend.», 1896, v. 123, p. 855—858.

П. Зеeman (в Голландии) показал, что если поместить вещество в очень сильное магнитное поле, то некоторые линии спектра этого вещества расщепляются на несколько компонентов (так называемый эффект Зеемана).

Zee man P. Over den invloed eener magnetisatie op den aard van het door een stof uitgezonden licht [1896—1897].— «Amsterdam Akad. Versl.», 1897, Bd 5, S. 181—184, 242—248.

1897 1 марта А. Беккерель выступил с сообщением «Исследования урановых лучей», в котором отметил способность урановых лучей разряжать в воздухе наэлектризованные тела, независимо от их потенциала и знака заряда.

Becquerel H. Recherches sur les rayons uraniques.— «Compt. rend.», 1897, v. 124, p. 438—444.

12 апреля в своем очередном докладе А. Беккерель изложил результаты наблюдений: активность урановых препаратов практически не изменилась за год.

Becquerel H. Sur la loi de la decharge dans l'air de l'uranium electrise.— «Compt. rend.», 1897, v. 124, p. 800—803.

Дж. Томсон (в Англии) провел эксперименты по определению скорости катодных лучей и удельного заряда (отношение e/m) составляющих их частиц. (Томсон считал, что катодные лучи состоят из потока отрицательно заряженных частиц, выходящих из катода разрядной трубки.) Ученый показал, что скорость катодных лучей составляет $3 \cdot 10^9$ см/сек, а отношение заряда к массе примерно в 1800 раз больше, чем такое же отношение для иона водорода. Отсюда следовало, что масса электрона должна составлять примерно $1/1800$ массы водородного атома. Далее Томсон заметил, что одни и те же результаты получаются для различных катодов (алюминий, железо, платина) и для различных газов (воздух, водород, двуокись углерода), наполняющих разрядную трубку. В итоге ученый пришел к выводу: «носители электрического заряда в катодных лучах одни и те же, независимо от того, в каком газе происходит разряд».

Согласно Томсону, отрицательно заряженные корпускулы катодных лучей представляют собой «то вещество, из которого построены все химические элементы».

Thomson J. J. Cathode rays.— «*Phil. Mag.*», ser. 5, 1897, v. 44, p. 293—316.

Э. Вихерт (в Германии) независимо от Дж. Томсона пришел к выводу, что частицы катодных лучей имеют массу, значение которой лежит в интервале 0,001—0,004 массы атома водорода.

Wiechert E. Über das Wesen der Elektrizität.— «*Schriften der phys.-ökon. Ges. Königsberg*», 1897, Jg. 38, *Sitzungsberichte*, S. 3—12.

И. Ридберг (в Швеции) провел подробное исследование соотношений между атомными весами элементов и пришел к выводу, что близость атомных весов многих элементов к целым числам не может быть случайностью; атомный вес таких элементов выражается формулой $M = N + D$, где N — целое число, а D — некоторая периодическая функция порядкового номера элемента, малая по величине. Далее Ридберг указывал: «Атомный вес, как и остальные свойства элементов, является периодической функцией порядковых номеров элементов, которые удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к независимым переменным, поскольку они могут принимать все величины, выражаемые целыми числами».

Rydberg I. R. Studien über die Atomgewichtszahlen.— «*Z. anorgan. Chem.*», 1897, Bd 14, S. 66—102.

Ч. Вильсон (в Англии) изобрел «счетчик пылинок» (так называемая ионизационная камера Вильсона). Этот прибор оказал огромное влияние на развитие экспериментальной атомной и ядерной физики.

Wilson Ch. T. R. Condensation of water vapour in the presence of dust-free air and other gases.— «*Phil. Trans.*», 1897, v. A189, p. 265—307.

В. Вин (в Германии), изучая отклонение каналовых лучей в магнитном и электрическом полях, показал, что эти

лучи несут положительный заряд, причем отношение e/m у них значительно больше, чем у катодных лучей.

W i e n W. *Die electrostatischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen.*— «Verh. Berl. Phys. Ges.», 1897, Bd 16, S. 165—172.

1898

Г. Шмидт (в Германии) проверил большое число элементов и их соединений и показал, что помимо урана радиоактивностью обладают еще торий и его соединения. При этом Шмидт пользовался и фотометодом и электрометрическими измерениями. Причину того, что радиоактивность обнаруживается только у двух элементов периодической системы, Шмидт видел в их высоких атомных весах: 232 (торий) и 240 (уран).

S c h m i d t G. C. *Über die vom Thorium und den Thorverbindungen ausgehende Strahlung.*— «Verh. Phys. Ges. Berl.», 1898, Bd 17, S. 13—15; *Über die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung.*— «Ann. Phys. Chem.», 1898, Bd 65, S. 141—151.

М. Кюри (во Франции) попыталась найти «точный количественный метод измерения ионизации воздуха» при воздействии излучения солей урана. Оказалось, что излучение солей урана прямо пропорционально количеству содержащегося в них урана, т. е. радиоактивность суть свойство элементарного урана — его атомов. Отклонение от этого правила показывали некоторые урановые минералы, радиоактивность которых была непропорционально большой. М. Кюри предсказала наличие в этих минералах новых высокоактивных примесей. Кроме урана, радиоактивность была обнаружена (независимо от Г. Шмидта) у тория и его соединений, причем активность сильно колебалась в случае толстых слоев двуокиси тория. Тем самым в экспериментах М. Кюри впервые наблюдалась эманация тория.

S k l o d o w s k a - C u r i e M. *Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium.*— «Compt. rend.», 1898, v. 126, p. 1101—1103.

В. Рамзай и М. Траверс (в Англии) 31 мая открыли новый инертный газ — криптон (Kr).

R a m s a y W., T r a w e r s M. *On a new constituent of atmospheric air.*— «Proc. Roy. Soc.», 1898, v. 63, p. 405—408.

В. Рамзай и М. Траверс (в Англии) 7 июня открыли новый инертный газ — неон (Ne).

Ramsay W., Travers M. On the companions of argon.— «*Proc. Roy. Soc.*», 1898, v. 63, p. 437—440.

В. Рамзай и М. Траверс (в Англии) 12 июля открыли новый инертный газ — ксенон (Xe).

Ramsay W., Travers M. On the companions of argon.— «*Proc. Roy. Soc.*», 1898, v. 63, p. 437—440.

18 июля П. и М. Кюри (во Франции) на заседании Парижской академии наук выступили с сообщением «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в смоляной обманке». Ученые писали: «Вещество, которое мы извлекли из смоляной обманки, содержит металл, еще не описанный и являющийся соседом висмута по своим аналитическим свойствам. Если существование нового металла подтвердится, мы предлагаем назвать его полонием, по имени родины одного из нас». Далее П. и М. Кюри отметили: «Если существование нового простого тела подтвердится, то... его открытие произошло исключительно благодаря новому способу исследования, который нам предоставили лучи Беккереля». В этой работе впервые употреблен термин «радиоактивность».

Curie P., Mme Curie P. Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende.— «*Compt. rend.*», 1898, v. 127, p. 175—178.

П. и М. Кюри и Ж. Бемон (во Франции) сообщили (26 декабря), что им удалось выделить из урановых отходов «вещество, содержащее ... некоторый новый элемент, сообщающий ему свойство радиоактивности и очень близкий по своим химическим свойствам к барию». Новый элемент они предложили назвать радием. Спектральная проверка, проведенная видным французским спектроскопистом Э. Демарсе, показала наличие новой линии, «которая, по-видимому, не принадлежит ни одному из известных элементов».

Curie P., Curie-Sklodowska M., Bémont G. Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende.— «*Compt. rend.*», 1898, v. 127, p. 1215—1217.

Ю. Эльстер и Г. Гейтель (в Германии) впервые показали, что радиоактивность при атмосферном давлении, в вакууме и глубоко под землей (они помещали образец урана в шахту на глубину 852 м) не изменяется. Тем самым была поставлена под сомнение гипотеза о природе радиоактивности, объясняющая это явление поглощением атомами извне особых лучей.

Elster J., Geitel H. Versuche an Becquerel-Strahlen.— «Wied. Ann.», 1898, Bd 66, S. 735—740.

1899

Э. Резерфорд (в Канаде) в январе впервые опубликовал статью об изучении радиоактивности. Он установил, что излучение урана не преломляется и не поляризуется, как ранее показал А. Беккерель (см. с. 29). Лучшим методом изучения радиоактивности он признал электрометрический метод, позволяющий проводить количественные измерения. Резерфорд обнаружил неоднородность излучения урана; легко поглощаемую часть излучения он назвал α -лучами, менее поглощаемую β -лучами.

Rutherford E. Uranium radiation and the electrical conduction produced by it.— «Phil. Mag.» 1899, ser. 5, v. 47, p. 109—163.

М. Кюри (во Франции) высказала (30 января) ряд предположений о сущности радиоактивного излучения. Среди них следует отметить следующие: 1) излучение суть испускание частиц материи, которое сопровождается потерей веса радиоактивных веществ; 2) энергия этих веществ постоянно убывает, поэтому можно связать радиоактивность с гипотезой Крукса об эволюции элементов (см. с. 19, 20); отсюда можно предполагать, что радиоактивность свойственна элементам с большим атомным весом, которые образовались позднее других и еще не закончили своей эволюции; 3) радиоактивное излучение, возможно, вызывается лучами, подобными рентгеновским и постоянно существующими.

Таким образом, М. Кюри подчеркивает материальный характер радиоактивного излучения и делает вывод, что радиоактивность может оказаться свойством, присущим лишь тяжелым элементам.

Skłodowska-Curie M. Les rayons de Becquerel et le polonium.— «Rev. gén. sci.», 1899, v. 10, p. 41—42.

Дж. Томсон (в Англии) провел серию экспериментов с целью непосредственного определения заряда электронов. Ученый определял отношение e/m для электронов, испускаемых в результате фотоэлектрического и термоэлектрического эффектов, и нашел, что в обоих случаях отношение e/m одинаково. Томсон писал: «Описанные эксперименты, если их рассматривать вместе с предыдущими экспериментами на катодных лучах, показывают, что в газах при низких давлениях отрицательная электризация, хотя ее можно вызвать самыми различными способами, всегда состоит из атомных единиц, каждая из которых обладает электрическим зарядом определенной величины. Величина этого отрицательного заряда ... равна положительному заряду атома водорода при электролизе растворов». То обстоятельство, что одинаковые частицы создаются различными способами (электрический разряд, фотоэлектрический и термоэлектрический эффекты), свидетельствует о том, что из этих первичных частиц построена вся материя.

Thomson J. On the masses of the ions in gases at low pressure. — «Phil. Mag.», 1899, ser. 5, v. 48, p. 547—567.

А. Дебьерн (во Франции), проверяя гипотезу М. Кюри о наличии в урановой смолке новых радиоактивных элементов (кроме радия и полония), показал, что из урановой смолки можно выделить высокорadioактивное вещество, отделяющееся при фракционировании с элементами редких земель и титаном. Химические свойства нового вещества отличались от химических свойств радия и полония, а его активность в 100 000 раз превышала активность урана.

Debierne A. Sur une nouvelle matière radio-active. — «Compt. rend.», 1899, v. 129, p. 593—595.

С. Мейер и Э. Швейдлер (в Германии) продемонстрировали отклонение лучей Беккереля в магнитном поле.

Meyer S., Schweidler E. Weitere Notiz über das Verhalten von Radium im magnetischen Felde. — «Berichte», 1899, Bd 36, S. 323—324.

Ф. Гизель (в Германии) независимо и одновременно с Мейером и Швейдлером (см. выше), показал способность лучей Беккереля отклоняться в магнитном поле.

Giesel F. Über die Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen im magnetischen Felde. — «Ann. Phys. Chem.», 1899, Bd 69, S. 834.

Ю. Эльстер и Г. Гейтель (в Германии) нашли, что сульфат свинца, полученный из урановой смолки, обладал высокой активностью. Они сделали вывод, что активность обусловлена присутствующими в образце свинца радием и полонием; следовательно, для получения неактивного свинца нужно применить соответствующую методику. Это было, по-видимому, первое наблюдение радиосвинца и, следовательно, первый наблюдаемый случай химической неотделимости радиоэлементов. Ученые также подтвердили атомарный характер радиоактивности и высказали гипотезу о ее сущности: «Источник энергии находится в самом атоме ... элемента. Атом радиоактивного элемента подобно молекуле неустойчивого соединения переходит в устойчивое состояние, излучая энергию. Во всяком случае, это представление потребовало бы допустить постепенное преобразование активного вещества в неактивное, и следовательно, изменение его элементарных свойств».

Elster J., Geitel H. Versuche an Becquerelstrahlen.— «Ann. Phys. Chem.», 1899, Bd 69, S. 83—90.

Э. Резерфорд и Р. Оуэнс (в Канаде) изучили излучение тория и его соединений и сравнили полученные результаты с имевшимися данными относительно излучения урана. Было выяснено, что излучение ториевых соединений имеет сложный характер, причем природа излучения не зависит от типа химического соединения тория, а только от содержания тория в соединении, т. е. имеет атомарный характер.

Rutherford E., Owens R. B. Thorium and uranium radiation (Preliminary note).— «Trans. Roy. Soc. Canada», 1899, sect. III, v. 2, p. 9—12.

Р. Оуэнс (в Канаде), изучая аномалии в излучении тория и ториевых соединений, показал, что отмеченного М. Кюри (см. с. 32) и Э. Резерфордом (см. с. 34) разброса показаний при измерении активности тория можно избежать, если поместить препарат на достаточно продолжительное время в закрытый прибор, ибо в отличие от урана и его соединений на радиоактивность тория и его препаратов сильно влияют потоки воздуха. Оуэнс пришел к выводу, что воздушные потоки способны переносить частицы радиоактивного вещества.

Owens R. B. Thorium radiation.— «Phil. Mag.», 1899, ser. 5, v. 48, p. 360—387.

П. и М. Кюри (во Франции) экспериментально установили, что радиоактивные вещества (радий, полоний) способны сообщать радиоактивность неактивным веществам. Это явление было названо ими наведенной активностью. Авторы предположили: «Не является ли радиоактивность, представляющаяся самопроизвольной, на самом деле для некоторых веществ наведенной?»

Curie P. et Mme Curie M.—P. Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel.— «Compt. rend.», 1899, v. 129, p. 714—716.

П. и М. Кюри (во Франции) обнаружили способность солей радия преобразовывать кислород в озон. Дальнейшее изучение химического влияния солей радия показало, что обыкновенное стекло в местах соприкосновения с высокоактивным препаратом радия темнеет и покрывается сетью мелких трещин. Излучение радия изменяет цвет кристаллов платиносинеродистого и хлористого бария. Так как превращение кислорода в озон требует затрат внешней энергии, П. и М. Кюри сделали вывод, что излучение радия «представляет собой непрерывное выделение энергии».

Curie P. et Mme Curie M.—P. Effects chimiques produits par les rayons de Becquerel.— «Compt. rend.», 1899, v. 129, p. 823—825.

1900

5 марта А. Эррера (в Бельгии) на заседании Бельгийской академии наук впервые высказал идею о нулевой группе элементов в периодической системе.

Errera A. Magnétisme et poids atomique.— «Brux. Acad. Bull.», 1900, p. 152—161.

19 марта Д. И. Менделеев и В. Рамзай, встретившись в Берлине, пришли к выводу, что аргон и его спутники «вследствие их неспособности образовывать солеобразные соединения типа RX^n должно поместить в особую группу, так сказать, нулевую, предшествующую группе 1-й ... и составляющую переход от галондов».

Менделеев Д. И. Основы химии. Изд. 8-е. Спб., 1906, с.493.

П. Вийяр (во Франции) обнаружил у радия новый вид излучения, которое не отклонялось в магнитном поле и по своей природе было подобно рентгеновским лучам. Их обозначение (γ -лучи) было введено позже, в 1903 г.

Villard P. Sur le rayonnement du radium.— «*Compt. rend.*», 1900, v. 130, p. 1178—1179.

Э. Дорн (в Германии) показал, что отклоняемое в магнитном поле излучение радия (β -лучи) может быть отклонено и в электрическом поле, т. е. эти лучи несут электрический заряд.

Dorn E. Sur les rayons du radium. Lettre à M. H. Becquerel.— «*Compt. rend.*», 1900, v. 130, p. 1126.

М. Кюри (во Франции), исследуя полоний, пришла к выводу, что α -лучи представляют собой поток частиц, теряющих энергию при прохождении через материальные тела.

Curie M. Sur la pénétration des rayons de Becquerel, non-déviés par le champ magnétique.— «*Compt. rend.*», 1900, v. 130, p. 76—79.

В. Крукс (в Англии) химическим методом выделил из урана новое очень активное вещество, названное ураном-Х (UX). Новых спектральных линий в образце с ураном-Х обнаружить не удалось, поэтому был сделан вывод о его ничтожном содержании в препарате. Оставшийся уран не засвечивал фотопластинки, поэтому Крукс предположил, что активность урана обусловлена не самим элементом, но некоторыми микропримесями, которые могут быть отделены от урана при соответствующей химической обработке, т. е. что чистый уран нерадиоактивен.

Crookes W. Radio-activity of uranium.— «*Proc. Roy. Soc.*», 1900, v. 66, p. 409—423.

А. Беккерель (во Франции) показал, что если ввести хлористый барий в раствор урановой соли и затем осадить барий серной кислотой, то полученный сульфат бария приобретает высокую активность и сильно засвечивает фотопластинку. Оставшийся уран почти неактивен. Тем самым

А. Беккерель независимо от В. Крукса (см. с. 38) открыл уран-Х.

Becquerel H. Note sur le rayonnement de l'uranium. «Compt. rend.», 1900, v. 131, p. 137—138.

А. Дебьерн (во Франции) выделил новый радиоактивный элемент — актиний (Ac). Согласно Дебьерну, химические свойства актиния совпадали с химическими свойствами тория, тогда как активность актиния в несколько тысяч раз превышала активность тория.

Debièrne A. Sur un nouvel élément radio-actif: l'actinium.— «Compt. rend.», 1900, v. 130, p. 906—908.

Э. Резерфорд (в Канаде) открыл радиоактивный газ, который выделялся всеми соединениями тория. Этот газ получил название эманации тория. Изучение зависимости активности эманации от времени показало, что активность уменьшается вдвое за 1 мин. Было обнаружено, что с такой же скоростью соединения тория вновь образуют эманацию. По своим фотографическим и электрическим свойствам эманация напоминает уран. Интенсивность излучения эманации изменяется со временем по экспоненциальному закону $I = I_0 e^{-\lambda t}$, где I — интенсивность в момент времени t , I_0 — начальная интенсивность, λ — постоянная процесса. Обнаружено, «что положительные ионы, образуемые эманацией в газе, обладают способностью создавать радиоактивность во всех веществах, на которые они попадают. Эта способность вызывать вторичную радиоактивность сохраняется в течение нескольких дней».

Rutherford E. A Radioactive substance emitted from thorium compounds.— «Phil. Mag.», 1900, ser. 5, v. 49, p. 1—14.

Э. Резерфорд (в Канаде) провел детальное изучение активности, возникающей в веществах под действием соединений тория. Он выяснил, что эта активность концентрируется на небольших пластинках, которые отрицательно заряжены до высокого потенциала. Резерфорд показал, что причиной «возбужденной» радиоактивности является эманация тория, но «не прямое действие излучения» тория и его соединений. Возбужденная активность способна иони-

зовать воздух и засвечивать в темноте фотопластинку. Было отмечено, что спад активности со временем следует закону $I = I_0 e^{-\lambda t}$; активность уменьшается вдвое за 11 ч. Следовательно, Резерфорд первым наблюдал радиоактивный изотоп в ториевом ряду — торий-В ($T_{1/2} = 10,6$ ч).

Rutherford E. Radioactivity produced in substances by the action of thorium compounds.—«Phil. Mag.», 1900, ser. 5, v. 49, p. 161—192.

М. Планк (в Германии) заложил основу квантовой теории излучения. Ученый высказал предположение, что энергия тела меняется не непрерывно, а скачками в результате поглощения или испускания определенных порций энергии (или «элементов энергии»). Таким образом, тело может испускать или поглощать определенное целое число «элементов энергии» (позднее они были названы квантами), но ни в коем случае не промежуточное дробное число. Согласно Планку, квант энергии для излучения с частотой ν определяется выражением $E = h\nu$, где h — универсальная постоянная, получившая название постоянной Планка и численно равная $6,625 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек.

Planck M. Sur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum.—«Verh. Dtsch. phys. Ges.», 1900, Bd 2, S. 237—245.

1901 Б. Браунер, выступая 21 декабря с докладом «О положении редкоземельных элементов в периодической системе» в Петербурге, выдвинул гипотезу об интерпериодической группе редких земель. Согласно этой гипотезе, Браунер представлял интерпериодическую группу «как продолжение теперешней четвертой группы, начиная от церия и кончая неизвестным до сих пор элементом с атомным весом 180, лежащим налево от тантала», и считал, что «между Се и Та не существует иных элементов, кроме элементов редких земель». Точка зрения Браунера явилась наиболее конкретным воплощением одного из направлений решения вопроса о месте редкоземельных элементов в системе — размещения их в одной клетке таблицы. Браунер изображал совокупность всех редкоземельных элементов в таблице как $\begin{matrix} \text{Ce etc} \\ 140-180 \end{matrix}$. Элемент с атомным весом 180, «лежа-

щий налево от тантала», Браунер причислял к редкоземельным.

Браунер допускал, далее, существование не открытых еще редкоземельных элементов между Nd и Sm, Eu и Gd, Gd и Tb и Er и Tu.

Браунер Б. О положении редкоземельных элементов в периодической системе. — «ЖРФХО», ч.хим. 1902, т. 34, с. 142—175.

Д. И. Менделеев, выступая в дискуссии по докладу Б. Браунера, заметил, что его «предложение заслуживает внимания», однако полагал целесообразным отнестись к окончательным выводам с осторожностью, поскольку «Yb = 173 (один из лучше исследованных редких металлов) хорошо подходит к III—10 по величине своего атомного веса».

Б. Браунер (в Чехии) предложил считать водород членом первой группы периодической системы (куда его поместил Д. И. Менделеев), так как водород не образует соединений с валентностью, равной 7.

Brauner B. On the place of hydrogen in the periodic system. — «Chem. News», 1901, v. 84, p. 233—234.

Б. Стил (в Австралии) сделал попытку обосновать особое положение редкоземельных элементов в системе, исходя из их атомных объемов и магнитных свойств. Стил подчеркивал то обстоятельство, что атомная магнитная восприимчивость у элементов и молекулярная у их окислов достигает максимума в двух случаях: в ряду Fe — Co — Ni и в семействе редких земель. Работа Стила представляет одну из первых попыток обосновать необходимость обособления редкоземельных элементов в периодической системе путем анализа их физических (магнитных) свойств.

Steele B. D. The place of the rare earth metals among the elements. — «Chem. News», 1901, v. 84, p. 245—247.

Э. Демарсе (во Франции) спектроскопическим методом открыл новый редкоземельный элемент — европий (Eu).

Demarçay E. Sur un nouvel élément, l'europium. — «Compt. rend.», 1901, v. 132, p. 1484—1486.

Дж. Мартин (в Англии) обсудил две возможности размещения водорода в периодической системе: в подгруппе щелочных металлов или в подгруппе галогенов. На примере различных соединений водорода Дж. Мартин показал «очень близкую аналогию между соединениями водорода и соединениями щелочных металлов» и предложил поместить его в подгруппу щелочных металлов.

Martin G. Some remarks on the place of hydrogen in the periodic system.— «Chem. News», 1901, v. 84, p. 154, 155.

Ж. Перрен (во Франции), развивая взгляды Дж. Томсона и других, предположил, что атомы вещества состоят из частиц и могут походить на миниатюрные планетные системы. При этом «положительно заряженное ядро окружено отрицательными электронами, которые двигаются по определенным орбитам». Скорость движения электронов по орбитам соответствует частотам основных спектральных линий. В атомах радиоэлементов, согласно Перрену, части, составляющие атомы, более удалены от центра (по сравнению с обычными элементами) и могут освобождаться от притяжения и вылетать из атома, обуславливая, таким образом, излучение энергии.

Perrin J. Les hypothèses moléculaires.— «Rev. Sci.», 1901, ser. 4, v. 15, p. 449—461.

А. Беккерель (во Франции) обнаружил, что при поглощении излучения радия возникает вторичное, более слабое излучение поглощающего металла. Это излучение по своей природе электромагнитно и подобно вторичному излучению, возникающему при поглощении рентгеновских лучей.

Becquerel H. Sur la radio-activité secondaire des métaux.— «Compt. rend.», 1901, v. 132, p. 371—373.

А. Беккерель (во Франции) показал, что вторичная радиоактивность обычных металлов, обусловленная излучением радия, состоит из следующих частей: 1) неотклоняемых в магнитном поле и легко поглощаемых лучей; 2) отклоняемых в магнитном поле лучей, сходных с катодными

лучами; 3) неотклоняемых в магнитном поле сильно проникающих лучей.

Becquerel H. Sur la radio-activité secondaire.— «Compt. rend.», 1901, v. 132, p. 734—739.

А. Беккерель (во Франции) обнаружил с помощью фотометода, что «неактивный» уран через год полностью восстановил свою активность, в то время как активированный барий полностью потерял свою активность.

Becquerel H. Sur la radio-activité de l'uranium.— «Compt. rend.», 1901, v. 133, p. 977—980.

Ф. Гизель (в Германии), повторяя опыты Эльстера и Гейтеля (см. с. 36), показал, что выделенный из урановой смолки свинец действительно обладает повышенной активностью, но активность этого свинца убывает со временем.

Giesel F. Über radioaktive Stoffe.— «Berichte», 1901, Bd 34, S. 3772—3776.

Р. Стрэтт (в Англии) провел исследование электропроводимости газов под действием лучей Беккереля. Ученый отметил высокую степень ионизации, производимую α -лучами. Учитывая характер ионизации, Стрэтт предположил, что α -лучи — скорее всего не электромагнитное излучение, а поток положительно заряженных частиц сравнительно большой массы.

Strutt R. J. Conductivity of gases under Becquerel rays.— «Phil. Trans. Roy. Soc.», 1901, ser. A, v. 196, p. 507—527.

Дж. Мартин (в Англии) выдвинул гипотезу о радиоактивности всех химических элементов, полагая, что с уменьшением атомного веса их активность резко падает, в силу чего не может быть измерена.

Martin G. Radio-activity and atomic weight.— «Chem. News», 1901, v. 83, p. 130.

1902

Д. И. Менделеев (в России) написал статью «Попытка химического понимания мирового эфира». В ней была развита концепция об эфире как химическом элементе с минимальной массой атома, неспособном

к химическим соединениям. Менделеев сделал попытку решить вопрос о нижней границе периодической системы, считая свои представления об эфире «реальным стремлением замкнуть реальную периодическую систему известных химических элементов пределом или гранью низшего размера атомов, чем я не хочу и не могу считать простой нуль — массы».

Менделеев Д. И. Попытка химического понимания мирового эфира. Спб., 1905.

Г. Билтц (в Германии) предложил вариант короткой формы периодической системы. Особенность идеи Билтца заключалась в том, что он размещал элементы семейства железа и платиновые металлы во второй побочной подгруппе VII группы, а элементы семейства редких земель подразделял на несколько совокупностей. Одну из них — $\Sigma_{Ce} = La, Ce, Pr, Nd$ — исследователь включал в III группу, в подгруппу скандия, другую — Σ (точную расшифровку этой совокупности Билтц не давал) — в V группу, и, наконец, Yb поместил в III группу — как высший аналог индия.

Biltz H. Zur Kenntniss der Perioden—Systems der Elemente.—«Berichte», 1902, Bd 35, S. 562—568.

П. и М. Кюри (во Франции) подытожили свои представления о природе радиоактивных явлений: 1) радиоактивность суть атомное свойство тел; 2) каждый атом радиоактивного тела действует как постоянный источник энергии; 3) «если попытаться установить происхождение радиоактивной энергии, то можно делать различные предположения, которые группируются около двух очень общих гипотез:

а) каждый радиоактивный атом обладает энергией, имеющей характер потенциальной энергии, которую он может выделить;

б) радиоактивный атом представляет собой механизм, способный в любой момент черпать вне себя ту энергию, которую он затем выделяет».

Curie P. et Curie M.—P. Sur les corps radioactifs.—«Compt. rend.», 1902, v. 134, p. 85—87.

В. Сезерленд (в Англии) предположил наличие в природе комбинации из двух различных электронов (отрицательного и гипотетического положительного). Для положительного и отрицательного электронов были предложены обозначения повышения и понижения высоты звука — диез и бемоль, а для совокупности обоих электронов — символ нейтрализации бекар. Представление Сезерленда можно рассматривать как своеобразный зародыш идеи о нейтроне.

Этот термин был использован впервые Сезерлендом. Впрочем, само слово «нейтрон» Сезерлендом было употреблено (как и характерный значок) только один раз — в определении.

Sutherland W. Ionization, ionic velocities, and atomic sizes. — «Phil. Mag.», 1902, ser. 6, v. 3, p. 161—177.

М. Кюри (во Франции) определила атомный вес радия равным 225 и предложила поместить его в периодической системе в качестве высшего аналога щелочноземельных металлов.

Mme Curie M. Sur le poids atomique du radium. — «Compt. rend.», 1902, v. 135, p. 161—163.

В сентябре Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) показали, что между торием и эманацией тория существует промежуточный продукт — торий-Х (ThX). Ученые нашли, что скорость распада и накопления ThX в ториевых препаратах одинакова, и сделали вывод: «Нормальная или постоянная радиоактивность тория есть равновесное состояние, при котором скорость роста радиоактивности, обусловленная образованием нового радиоактивного вещества, уравновешивается скоростью уменьшения радиоактивности уже образовавшегося вещества». По их мнению, в целом «радиоактивность можно рассматривать как проявление внутриаомного химического превращения», тем самым «радиоактивность может быть использована также для наблюдения за химическими превращениями, происходящими в веществе». В заключение Резерфорд и Содди выразили надежду, что «радиоактивность ... даст средства информа-

ции о процессах, происходящих внутри химического атома».

Rutherford E., Soddy F. The cause and nature of radioactivity. Part. I.—«Phil. Mag.», 1902, ser. 7, v. 4, p. 370—396.

В. Томсон (лорд Кельвин) (в Англии) предложил модель атома, согласно которой положительный заряд равномерно распределен по всему объему атома; внутри этого положительно заряженного «облака» находятся электроны, группирующиеся (если их больше одного) в определенные устойчивые конфигурации. Модель В. Томсона представляла собой статическую пространственную модель, математический расчет который был весьма труден.

Kelvin (Lord). Aepinus Atomized.—«Phil. Mag.», 1902, ser. 6, v. 3, p. 257—283.

В ноябре Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) показали, что эманация тория — инертный газ, так как никакие самые сильные реагенты не могут вступать с ней в реакцию. Ученые предположили: нельзя ли связать с радиоактивностью присутствие в радиоактивных минералах другого инертного газа — гелия и его неизменную связь с ураном и торием. Они сделали вывод: «Эманация сопровождает превращение, причем в любой момент времени ее количество пропорционально последнему». Тем самым торий распадается в активный осадок тория через несколько последовательных превращений: торий превращается в ThX, ThX — в ThEm, ThEm — в активный осадок. Последним продуктом распада, вероятно, должен быть стабильный элемент.

Rutherford E., Soddy F. The cause and nature of radioactivity. Part. II.—«Phil. Mag.», 1902, ser. 6, v. 4, p. 569—585.

Ф. Гизель (в Германии) выделил из урановой смолки новое радиоактивное вещество. При фракционировании оно следует за группой редких земель, от которых может быть отделено с лантаном. Новое вещество своими радиоактивными свойствами напоминает торий, хотя торий и не присутствует в веществе. Новое вещество выделяет эманацию, которая вызывает яркое свечение экрана, покрытого сернистым цинком, поэтому Гизель назвал это вещество «эманием».

Позднее Болтвуд показал, что здесь Гизель выделил сравнительно чистый актиний.

Giesel F. Über Radium und radioaktive Stoffe.— «Berichte», 1902, Bd 35, S. 3608—3611.

1903

К. Рунге и Ю. Прехт (в Германии) указали на существование полной аналогии в расположении линий спектров Mg, Ca, Sr, Ba и Ra, в связи с чем сделали вывод, что радий в периодической системе должен быть высшим аналогом щелочноземельных металлов.

Runge C., Precht J. Die Stellung des Radiums im periodischen System nach seinem Spektrum.— «Phys. Z.», 1903, Bd 4, S. 285—287.

Ф. Ленард (в Германии) предложил новую модель строения атома. Он отказался от идеи о отдельно существующих в атоме электронах и положительных зарядах. Согласно Ленарду, атом состоял из особых частиц (динамид), которые представляли собой электрический дублет, обладающий определенной массой. Суммарное число динамид в атоме таково, что их масса должна равняться массе атома, а их радиус составляет $0,3 \cdot 10^{-11}$ см. Поскольку размер атома равен примерно 10^{-8} см, то, по Ленарду, оказывалось, что большая часть объема атома пуста. Эта «прозрачность» атома — единственное рациональное зерно ленардовской модели, которая в целом не получила признания, так как подтвердить существование динамид ничем не удалось.

Lenard Ph. Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit.— «Ann. Phys.», 1903, Bd 12, S. 714—744.

П. Кюри и Ж. Данн (во Франции) изучали активацию тел, подвергнутых действию эманации радия в закрытом сосуде. Общий период полураспада возбужденной активности найден равным 28 мин (тем самым ученые наблюдали распад RaB с $T_{1/2} = 27$ мин), а период полураспада для эманации радия — 4 дня.

Curie P., Danne J. Sur la disparition de la radioactivité induite par le radium sur les corps solides.— «Compt. rend.», 1903, v. 136, p. 364—366.

П. Кюри и Ж. Данн (во Франции) исследовали поведение эманации радия и измерили ее коэффициент диффузии в воздухе. Ученые подтвердили, что эманация радия ведет себя как газ.

Curie P., Danne J. Sur l'émanation du radium et son coefficient de diffusion dans l'air. — «Compt. rend.», 1903, v. 136, p. 1314—1316.

В. Нернст (в Германии), преследуя цель построить общую атомистическую теорию электричества и объяснить поляризационные свойства эфира, развил представления о существовании комбинации отрицательного (\ominus) и положительного (\oplus) электронов.

Nernst W. Theoretische Chemie vom Standpunkt der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik. Stuttgart, 1909, S. 397.

Э. Резерфорд (в Канаде) показал, что α -лучи отклоняются в магнитном поле в противоположную β -лучам сторону, т. е. α -лучи состоят из положительно заряженных частиц, скорость α -частиц равна $2,5 \cdot 10^9$ см/сек, отношение заряда к массе $(e/m) = 6 \cdot 10^3$.

Rutherford E. The magnetic and electric deviation of the easily absorbed rays from radium. — «Phil. Mag.», 1903, ser. 6, v. 5, p. 177—187.

В июне М. Кюри (во Франции) в своей диссертации впервые опубликовала полную схему отклонения α -, β -частиц и γ -лучей в магнитном поле. При этом γ -лучи не отклоняются, а α - и β -частицы отклоняются в противоположные стороны (α -частицы — слабо, β -частицы — очень сильно).

Skłodowska-Curie M. Recherches sur les substances radio-actives. — Thèse du Doctorat. Paris, Gauthier—Villars, 1903.

Т. де Кудр (во Франции) повторил эксперименты Э. Резерфорда (см. выше) по определению e/m для α -частицы. Он использовал для регистрации α -частиц фотометод,

а в качестве источника α -частиц — чистый препарат бромида радия. Ученый нашел значение $(e/m) = 6,3 \cdot 10^9$; среднюю скорость α -частиц — $1,65 \cdot 10^9$ см/сек.

De Coudres Th. Zur electrostatischen Ablenkbarkeit der Rutherfordstrahlen.— «Phys. Z.», 1903, Bd 4, S. 483—485.

А. Дебьерн (во Франции) наблюдал эманацию актиния с периодом полураспада 3,9 сек и актиниевый активный осадок ($T_{1/2} \approx 0,5$ ч).

Debiene A. Sur la radio-activité induite provoquée par les sels d'actinium.— «Compt. rend.», 1903, v. 186, p. 446—449.

Э. Резерфорд (в Канаде) показал связь между «возбужденной активностью» (позднее названной «активным осадком»), вызываемой радиоэлементами, и эманациями, выделяемыми радиоэлементами. Было показано, что эманация является обязательным промежуточным звеном в радиоактивном превращении начального элемента (тория или радия) и его «возбужденной активностью».

Rutherford E. Excited radioactivity and the method of its transmission.— «Phil. Mag.», 1903, ser. 6, v. 5, p. 95—111.

В. Рамзай и Ф. Содди (в Англии) собрали газ, накопившийся над препаратом ранее тщательно очищенного бромида радия (RaBr_2). Исследование спектра данного газа показало наличие в нем гелия. Тем самым было доказано, что одним из продуктов распада радия является гелий.

Ramsay W., Soddy F. Gases occluded by radium bromide.— «Nature», 1903, v. 68, p. 246.

П. Кюри и А. Лаборд (во Франции) обнаружили, что температура соли радия (RaCl_2) всегда в среднем на $1,5^\circ$ С выше, чем окружающих предметов. Ученые установили, что «1 грамм радия выделяет количество тепла порядка 100 малых калорий за 1 час». Далее был сделан вывод, что «непрерывное выделение такого количества тепла не может быть объяснено обычным химическим превращением. Если искать причину образования тепла в каких-то внутренних прев-

ращениях, то эти превращения должны быть более сложной природы и должны быть вызваны какими-то изменениями самого атома радия».

Curie P., Laborde A. Sur la chaleur dégagée spontanément par les sels de radium.— «Compt. rend»., 1903, v. 136, p. 673—675.

Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) точно измерили период полураспада UX, а также определили скорость его накопления в чистом уране. Оба значения оказались равными приблизительно 22 дням.

Rutherford E., Soddy F. The radioactivity of uranium.— «Phil. Mag.», 1903, ser. 6, v. 5, p. 441—445.

Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) выполнили сравнительное изучение активности радия и тория. Ученые попытались выделить в радиевой серии продукт, промежуточный между радием и эманацией радия (он соответствовал бы ThX в ториевой серии), но обнаружить этот продукт не удалось.

Это был первый случай использования «гипотезы о возможном сходстве радиоактивных рядов» для обнаружения новых радиоэлементов.

Rutherford E., Soddy F. A comparative study of the radioactivity of radium and thorium.— «Phil. Mag.», 1903, ser. 6, v. 5, p. 445—457.

Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) подчеркнули материальный характер продуктов радиоактивного превращения, дав им общее название метаболонов, чтобы оттенить общее свойство их атомов — неустойчивость. Ученые построили первые цепочки распада — радиевую, урановую, ториевую и высказали предположение, что радий образуется в результате распада долгоживущих урана или тория.

Rutherford E., Soddy F. Radioactive change.— «Phil. Mag.», 1903, ser. 6, v. 5, p. 576—591.

В. Крукс (в Англии) изобрел спинтарископ — прибор для визуального подсчета α -частиц, которые, попадая на экран, покрытый сернистым цинком, давали вспышки.

Crookes W. Spinthariscopes. — «Soc. franc. Phys.», 1903, v. 200, p. 1.

Н. Н. Бекетов (в России) независимо от Резерфорда и Содди выдвинул гипотезу о том, что радиоактивность — самопроизвольный распад атомов радиоактивных веществ. Ученый высказал также идеи относительно образования атомов химических элементов и предела их прочности.

Бекетов Н. Н. О химической энергии в связи с явлениями, представляемыми радием. — «ЖРФХО», 1903, т. 35, ч. хим., с. 189—197.

1904

Р. Абегг (в Германии) ввел представление о двоякой валентности элементов: нормальной и контрвалентности. Согласно Абеггу, каждый элемент должен одновременно обладать максимальными положительными и отрицательными валентностями, сумма которых равна 8. Валентности, имеющие численные значения менее 4, являются нормальными, и они выражены резче, чем контрвалентности. Абегг привел следующую схему распределения валентности по группам периодической системы:

Группа	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Нормальная валентность	0	+1	+2	+3	± 4	-3	-2	-1
Контрвалентность	-8	-7	-6	-5		+5	+6	+7

В группах IV—VII два рода валентностей отвечают валентностям элементов в типичных водородных и кислородных соединениях.

A b e g g R. Die Valenz und das periodische System. Versuch einer Theorie der Molekularverbindungen. — «Z. anorgan. Chem.», 1904, Bd 39, S. 330—380.

Дж. Томсон (в Англии) предложил модель строения атома. По Томсону, электроны располагаются в одной плоскости внутри сферы, имеющей положительный заряд. При малом числе электронов они размещаются на равных расстояниях от центра положительной сферы; когда их

число возрастает, то они располагаются в виде оболочек или колец. Томсон рассчитал числа электронов в кольцах для различных конфигураций, содержащих от 1 до 100 электронов. Таким образом, Томсон впервые выдвинул идею о слоистом строении атома, иначе говоря, обсудил возможность распределения атомных электронов по определенным устойчивым оболочкам. Ученый впервые предпринял попытку объяснить периодичность изменения химических свойств элементов, основываясь на своей теории строения атома. По его мнению, свойства атомов, составленных из похожих друг на друга «корпускулярных групп», имеют много общего, следовательно, сходными будут и соответствующие элементы. Рассматривая различные конфигурации электронных колец внутри атома, Томсон показал, что устойчивость этих конфигураций меняется периодически по мере увеличения числа электронов.

Томсону, однако, не было известно общее число электронов в атоме, и оставался неясным вопрос о форме существования положительного электрического заряда.

Thomson J. J. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure.— «Phil. Mag.», 1904, ser. 6, v. 7, p. 237—265.

В мае Х. Нагаока (в Японии) для объяснения оптических спектров и явления радиоактивности предложил модель «сатурноподобного» атома: центральное тело (положительно заряженная частица) и расположенные вокруг него кольца (отрицательные электроны). По мнению Нагаоки, «такая система может рассматриваться как идеальный атом», причем атом представляет собой «квазистабильную систему», которая иллюстрирует явление радиоактивности способностью при высоких атомных весах с огромной скоростью выбрасывать легкие составные части, находящиеся в тяжелом нестабильном кольце.

Nagaoka H. Kinetics of a system of particles illustrating the line and band spectrum and the phenomena of radioactivity.— «Phil. Mag.», 1904, ser. 6, v. 7, p. 445—455.

Э. Резерфорд (в Канаде) изучал активные осадки радиового, ториевого и актиниевого рядов и показал, что спад

активности не соответствует простому экспоненциальному закону. Тщательный анализ хода кривых спада активности позволил Резерфорду обнаружить существование в активном осадке тория продуктов с периодами полураспада 11 ч (ThB) и 55 мин (ThC); в активном осадке радия этим же методом обнаружены продукты с периодами полураспада 3 мин (RaA), 28 мин (RaB), 21 мин (RaC), 40 лет (RaD), 1 год (Po — RaF); в активном осадке актиния обнаружены продукты с периодами полураспада 41 мин (AcB) и 1,5 мин (AcC). Резерфорд отметил большое сходство трех серий распада; на основе этой аналогии предсказано существование AcX.

В целом, данная работа явилась дальнейшим развитием теории радиоактивного распада, выдвинутой Резерфордом и Содди в 1902 г.

Rutherford E. The succession of changes in radioactive bodies.— «Phil. Trans. Roy. Soc.», 1904, ser. A, v. 204, p. 169—219.

Э. Резерфорд (в Канаде) открыл новый β -излучатель (RaE) в активном осадке радия с $T_{1/2} \approx 5$ дней.

Rutherford E. Slow transformation products of radium.— «Phil. mag.», 1904, ser. 6, v. 8, p. 639—650.

В. Рамзай (в Англии) провел детальное исследование физических и химических свойств эманации радия. Он показал, что это инертный газ с плотностью около 80 и атомным весом 160; газ, вероятно, одноатомный. Поскольку «эманация радия» — название длинное и «мистическое», Рамзай предложил называть этот газ «эксрадием».

Ramsay W. Emanation du radium (Exradio), ses proprietes et ses changements.— «Compt. rend.», 1904, v. 138, p. 1388—1394.

П. Кюри и Дж. Дьюар (во Франции и Англии) спектроскопически изучали газ, выделяемый бромистым радием. Препарат плавился в кварцевой трубке, и выделявшиеся газы тщательно отсасывались, причем эманация и менее летучие газы конденсировались жидким воздухом. Через 20 дней в кварцевой трубке над радием был обнаружен

спектроскопически чистый гелий. Таким образом, было доказано, что не только эманация радия (см. с. 49), но радий распадается с выделением гелия.

Dewar J., Curie P. Examen des gaz occlus ou dégagés par le bromure du radium.— «Compt. rend.», 1904, v. 138, p. 190—192.

Дж. Мак-Клелланд (в Канаде) показал, что каждая α -частица из эманации радия за время своего пробега производит $6 \cdot 10^9$ ионов.

McClelland J. A. On the emanation given off by radium.— «Phil. Mag.», 1904, ser. 6, v. 7, p. 355—362.

Ф. Гизель (в Германии) впервые наблюдал спектр эманция (актиния).

Giesel F. Über den Emanationskörper (Emanium).— «Berichte», 1904, Bd 37, S. 1696—1699.

Ю. Гартман (в Германии) более точно, чем Гизель (см. с. 46), измерил длину волн спектральных линий эманция (актиния). Яркость линий была очень незначительна, что требовало длительной экспозиции. Гартман предположил, что спектральные линии эманция (актиния) могут быть найдены в спектре новых звезд.

Hartmann J. Über das Spectrum des Emaniumlichtes.— «Phys. Z.», 1904, Bd 5, S. 570.

Ф. Гизель (в Германии) выделил из соли эманция (актиния) радиоэлемент EmX, химически тождественный ThX.

Giesel F. Untersuchungen über das Emanium (Actinium). «Jahrb. Radioakt.», 1904, Bd I. S. 345—358.

Ф. Содди (в Англии), анализируя свойства полония и «радиотеллура», предложил называть их одним именем, так как эти радиоэлементы оказались тождественными. Поскольку этот радиоэлемент впервые выделили супруги Кюри, то, по мнению Содди, за ним следовало оставить название полоний.

Soddy F. Radio-tellurium.— «Nature», 1904, v. 69, p. 461—462.

Г. Мак-Кой (в США) показал, что соотношение радия и урана постоянно для многих радиоактивных минералов; в то же время это отношение всегда меньше у солей урана. Данный факт мог рассматриваться как доказательство происхождения радия из урана.

McCoy H. W. Über das Entstehen des Radiums.— «Berichte», 1904, Bd 37, S. 2641—2656.

Б. Болтвуд (в США), изучая соотношение между радием и ураном в различных радиоактивных минералах, подтвердил предположение Дж. Томсона и Э. Резерфорда, что радий может образовываться в результате распада урана.

Boltwood B. B. Ratio of radium to uranium in some minerals.— «Amer. J. Sci.», 1904, v. 18, p. 97—103.

1905

А. Вернер (в Швейцарии) предложил вариант длинной формы периодической системы элементов, который наиболее близок к современному. Среди особенностей таблицы Вернера нужно отметить следующие: 1) предположение о существовании легкого аналога галогенов, который должен размещаться перед He; 2) четко отмечены пробелы, которые отвечали неизвестным в то время элементам (впоследствии с $Z = 43, 61, 75, 85, 87$); 3) структура седьмого периода, по Вернеру, идентична структуре шестого. Он рассматривал Th как аналог Ce, U как аналог Eu, Ac (со знаком вопроса) как аналог Tu (таким образом, вариант Вернера как бы содержал зародыш будущей актиноидной концепции); 4) лантан не рассматривается в качестве непосредственного аналога Sc и Y; 5) помещены гипотетические аналоги Pb, Bi и Te (как αPb , αBi , αTe); тем самым Вернер как бы допускал возможность существования очень тяжелых элементов в конце седьмого периода.

Werner A. Beitrag zum Aufbau des periodischen System.— «Berichte», 1905, Bd 38, S. 914—921.

Э. Швейдлер (в Австрии), опираясь на теорию радиоактивных превращений Резерфорда — Содди, установил статистический характер закона радиоактивных превращений. Ученый теоретически доказал, что число атомов радиоактивного вещества, распавшихся за 1 сек, должно

отличаться от среднего значения. Таким образом, распад данного атома подчиняется закону случайности. Вероятность того, что данный атом испытывает превращение в течение некоторого определенного временного интервала, не зависит от времени, прошедшего с момента образования атома, и является общей константой для всех атомов того же типа или одного и того же радиоактивного вещества.

Schweidler E. Premier congrès international pour l'étude de la radiologie et de l'ionisation tenu à Liege du 12—14 septembre 1905. Bruxelles. Compt. rend., 1906.

Ф. Содди (в Англии) на основе вывода Марквальда, что RaF является аналогом серы, приближенно вычислил атомный вес RaF (210—212) и показал, что последним продуктом ряда распада урана должен быть свинец или висмут.

Soddy F. Annual reports on the progress of chemistry for 1905. London, 1906, p. 310.

Т. Годлевский (в Канаде), исходя из аналогии радиоактивных рядов Th и Ac, описал способы выделения нового радиоактивного элемента в актиниевом семействе — актиния-X (AcX) с периодом полураспада 10,2 дня.

Godlewski T. Actinium and its successive products.— «Phil. Mag.», 1905, ser. 6, v. 10, p. 35—45.

А. Дебьерн (во Франции) наблюдал накопление гелия в образце актиния.

Debierne A. Sur les gaz produits par l'actinium.— «Compt. rend.», 1905, v. 141, p. 383—385.

О. Ган (в Англии) открыл в минерале торините новый радиоактивный элемент — радиоторий. Этот радиоактивный элемент испускал ториевую эманацию во много раз интенсивнее, чем чистый торий, поэтому Ган заключил, что радиоторий суть продукт распада тория.

Hahn O. A new radio-active element which evolves thorium emanation. Preliminary communication.— «Proc. Roy. Soc.», 1905, v. A76, p. 115—117.

О. Саккур (в Англии, в лаборатории В. Рамзая) пытался разделить радиоторий от тория электрохимическим методом, но не смог, хотя повышенная активность ториевого раствора свидетельствовала о наличии в нем нового радиоэлемента.

O. Sackur. Über die Radioaktivität des Thoriums.— «Berichte», 1905, Bd 38, S. 1756—1761.

Ф. Гизель (в Германии) независимо от Т. Годлевского открыл АсХ (эманий-Х).

Giesel F. Über Emanium.— «Berichte», 1905, Bd 38, S. 775—778.

В. Марквальд (в Германии) изучал свойства актиния и эмания. Он приготовил раствор актиния (по методике А. Дебьерна — см. с. 35) и раствор эмания и попытался изучить изменение их активности со временем. Он показал, что актиний, выделяя актиниевую эманацию, через несколько месяцев потерял свою активность. Эманий же был вначале лишь слабо активным, но со временем значительно увеличил свою активность. Поэтому Марквальд решил, что эманий и актиний не идентичны, как считал А. Дебьерн, но следуют генетически друг за другом ($Em \rightarrow Ac$). То, что он расположил радиоэлементы именно таким образом, а не наоборот, доказывает, что Марквальд первым наблюдал накопление в актиниевых растворах радиоактиния.

Markwald W. Über Aktinium-Emanium.— «Berichte», 1905, Bd 38, S. 2264—2266.

Э. Резерфорд (в Канаде) высказал предположение, что возможен постепенный распад всех видов материальных веществ, а не только радиоактивных. При этом, возможно, выделяющиеся частицы испускаются со столь малой скоростью, что не вызывают сколько-нибудь заметного электрического или фотоэффекта.

Rutherford E. Some properties of the α -rays from radium.— «Phil. Mag.», 1905, ser. 6, v. 10, p. 163—176.

О. Ган и О. Саккур (в Англии) прямым измерением периодов полураспада эманаций, выделяемых из препаратов

актиния и эманция, доказали идентичность этих препаратов.

Hahn O., Sackur O. Die Zerfallskonstante der Emanation des Emaniums und Aktiniums.— «Berichte», 1905, Bd 38, S. 1943—1946.

Э. Резерфорд и Г. Барнс (в Канаде) изучали тепловой эффект γ -излучения радия. Ученые показали, что поглощение и, следовательно, тепловой эффект γ -лучей очень слаб; наибольшая часть теплоизлучения радия может быть обусловлена излучением атомами радия тяжелых α -частиц.

Rutherford E., Barnes H. T. Heating effect of the γ -rays from radium.— «Phil. Mag.», 1905, ser. 6, v. 9, p. 621—628.

Б. Болтвуд (в США) показал постоянство отношения U/Ra в 22 различных радиоактивных минералах. Поскольку во всех минералах содержится свинец, то Болтвуд предположил, что свинец может быть одним из продуктов радиоактивного распада.

Boltwood B. B. The origin of radium.— «Phil. Mag.», 1905, ser. 6, v. 9, p. 599—613.

1906

И. Ридберг (в Швеции) обратил внимание на то, что «в периодической системе числа 2, 8 и 18 играют большую роль», и их можно представить как $2 = 2 \cdot 1^2$, $8 = 2 \cdot 2^2$ и $18 = 2 \cdot 3^2$

Этот ряд можно было бы продолжить так: $32 = 2 \cdot 4^2$, $50 = 2 \cdot 5^2$ и т. д. Отсюда Ридберг сделал заключение, что «период, начинающийся ксеноном и заканчивающийся эманацией, заключает в себе 32 элемента, а не $18 \cdot 2 = 36$ ».

Rydberg I. Electron, der erste Grundstoff. Lund., 1906.

Ш. Матиньон и Е. Казес (во Франции) получили соединения двухвалентного самария.

Matignon C., Cazes E. Un nouveau type de composés dans le groupe des métaux rares.— «Compt. rend.», 1906, v. 142, p. 83—85.

Дж. Томсон (в Англии) сделал попытку оценить число «корпускул» (электронов) в атоме. С этой целью он использовал три метода: 1) рассеяние света газами; 2) рассеяние рентгеновских лучей в газах и 3) поглощение β -лучей. В итоге Томсон пришел к выводу, что «число корпускул не очень отличается от атомного веса».

Thomson J. J. On the number of corpuscles in an atom.— «Phil. Mag.», 1906, ser. 6, v. 11, p. 769—781.

Ч. Баркла (в Англии) показал, что поглощение металлами вторичного излучения, вызванного рентгеновским излучением, является периодической функцией их атомных весов.

Barclay Ch. Secondary Röntgen rays and atomic weight.— «Nature», 1906, v. 73, p. 365.

Ч. Баркла (в Англии) экспериментально показал, что число электронов, рассеивающих рентгеновские лучи, для легких элементов (кроме водорода) примерно равно половине атомного веса.

Barclay Ch. Secondary Röntgen radiation.— «Phil. Mag.», 1906, ser. 6, v. 11, p. 812—828.

К. Кольрауш (в Австрии) экспериментально обосновал теорию Швейдлера о статистическом характере закона радиоактивных превращений.

Kohlrausch K. Über Schwankungen der radioaktiven Umwandlung.— «Sitzungsber. Wien. Akad. Wiss.», 1906, Bd 115, (IIa), S. 673—682.

Э. Резерфорд (в Канаде) с помощью установки, применявшейся для отклонения лучей в магнитном поле, впервые обнаружил явление рассеяния α -частиц.

Rutherford E. The mass and velocity of the α -particles expelled from radium and actinium.— «Phil. Mag.», 1906, ser. 6, v. 12, p. 348—371.

Э. Маркс (в Германии) с помощью исключительно тонкого эксперимента показал, что скорость рентгеновских лучей равна скорости света (в пределах погрешности опыта).

Marx E. Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen; Experimentaluntersuchung.— «Ann. Phys.», 1906, Bd 20, S. 677—772.

О. Ган (в Канаде) открыл новый радиоэлемент в актиниевом ряду, используя химический процесс выделения радиотория. Новый радиоэлемент с периодом полураспада 19,5 дня назван радиоактинием. Продуктом распада радиоактиния является уже известный АсХ.

Hahn O. Über das Radioactinium. — «Phys. Z.», 1906, Bd 7, S. 855—864.

Ф. фон Лерх (в Германии) изучал способы отделения RaC от RaB. Он убедился, что эти радиоэлементы могут быть разделены теми же способами, которые ранее обычно использовались для отделения ThB от ThA. Таким образом, RaC осаждается на медных и никелевых пластинках в растворах концентрированных кислот. Определенные периоды полураспада для чистых RaB и RaC дало значения соответственно 26,7 и 19,5 мин.

Lerch F. Trennungen des Radiums C von Radium B. — «Ann. Phys.», 1906, Bd (4) 20, S. 345—354.

Ф. Гизель (в Германии) попытался получить полоний по методу М. и П. Кюри. Но радиоэлемент, осевший на висмутовой пластинке, оказался не α -, а β -излучателем. Гизель измерил период полураспада этого вещества ($T_{1/2} = 6,14$ дня), постоянную распада ($\lambda = 0,1128$) и вычислил его среднее время жизни ($T_{\text{ср}} = 8,86$ дня). Новое вещество Ф. Гизель назвал β -полонием.

Giesel F. Über β -Polonium. — «Berichte», 1906, Bd 39, S. 780—784.

Ф. Гизель (в Германии) установил, что его β -полоний идентичен RaE, открытому Э. Резерфордом (см. с. 53).

Giesel F. Über β -Polonium. — «Berichte», 1906, Bd 39, S. 1014.

С. Мейер и Э. Швейдлер (в Австрии) попытались разместить радиоэлементы трех радиоактивных семейств в периодической системе. При этом радиоэлементы актиниевого семейства (Ac, AcX, AcEm, AcA, AcB) размещены между Ta и Yb; радиоэлементы ториевого семейства (Th, RdTh, ThX, ThEm, ThA, ThB) занимают места между Th и

Bi (соответственно Ac приписан атомный вес 180, RdTh — 220). Чтобы разместить радиоэлементы радиевого семейства, ученые предположили существование в природе элемента с атомным весом 270 (уран II), из которого в процессе распада образуется UX(Ra) (с атомным весом 260) и остальные радиоэлементы радиевого семейства, кончающегося Po(RaG) с атомным весом 235. Помещая AcX и ThX в группу щелочных металлов, ученые предположили существование RaX в радиевом семействе.

Meyer S., Schweidler E. Untersuchungen über radioaktive Substanzen.— «Sitzungsber. Wien», 1906, Bd 115, S. 63—88.

1907

Ж. Урбен (во Франции) доказал, что иттербий является смесью двух составляющих: одну из них ученый назвал неoitтербием, другую — лютецием (Lu). Лютеций, как выяснилось позднее, оказался самым тяжелым редкоземельным элементом; за неoitтербием сохранилось прежнее название «иттербий».

Urban G. Un nouvel élément: le lutécium résultant du dédoublement de l'ytterbium de Marignac.— «Compt. rend.», 1907, v. 145, p. 759—762.

К. Ауэр фон Вельсбах (в Австрии) независимо от Ж. Урбена разделил иттербий на две составляющих, которым дал названия альдебараний и кассиопей. Однако свои результаты ученый опубликовал позднее Урбена, в связи с чем честь открытия элемента 71 приписывается французскому исследователю.

Auer von Welsbach C. Die Elemente der Yttergruppe.— «Monatsch.», 1906, Bd 27, S. 935—946; Die Zerlegung des Ytterbiums in seine Elemente.— «Monatsch.», 1908, Bd 29, S. 181—225.

Н. А. Морозов (в России) опубликовал книгу «Периодические системы строения вещества. Теория образования химических элементов», которая была написана еще в середине 90-х годов XIX столетия, в период заточения ее автора в Шлиссельбургской крепости. Н. А. Морозов доказывал, в частности, что наряду с системой минеральных

элементов (менделеевской периодической системой) может существовать периодическая система карбогидридов (углеводородов C_xH_y). Анализируя и сопоставляя обе системы, Морозов высказал идею о существовании химически недеятельных элементов.

Морозов Н. А. Периодические системы строения вещества. Теория образования химических элементов. М., 1907.

Дж. Томсон (в Англии) опубликовал книгу «Корпускулярная теория вещества», в которой обобщил свои представления относительно строения атомов. Он рассмотрел вопрос о расположении и числе корпускул (электронов) в атоме и вновь предпринял (см. с. 52) попытку объяснить периодичность изменения свойств химических элементов в связи с особенностями расположения электронов в атоме.

Томсон Дж. Корпускулярная теория вещества. Спб., 1910.

О. Ган (в Германии) доказал существование нового радиоэлемента в ряду тория, названного им мезоторием ($MsTh$), который в цепочке распада располагается между торием и радиоторием.

Hahn O. Ein neues Zwischenprodukt im Thorium.— «Berichte», 1907, Bd 40, S. 1462—1469.

Н. Кэмпбелл и А. Вуд (в Англии) наблюдали очень слабое β -излучение у калия и рубидия — элементов середины периодической системы. Было показано, что активность рубидия выше активности калия.

Campbell N., Wood A. The radio-activity of the alkali metals.— «Proc. Cambr. Phil. Soc.», 1907, v. 14, p. 15—21.

Б. Болтвуд (в США) показал, что в урансодержащих минералах свинец встречается в постоянном количественном отношении к урану, что позволяет считать свинец конечным продуктом распада урана.

Boltwood B. B. On the ultimate disintegration products of the radio-active elements. Part II. The disintegration products of uranium.— «Amer. J. Sci.», 1907, v. 23, p. 77—78.

Б. Болтвуд (в США) подтвердил открытие О. Ганом мезотория (см. с. 62), описал несколько химических операций по выделению этого продукта, промежуточного между торием и радиоторием. Новый радиоэлемент можно выделить по методике химического выделения ThX; эти два радиоэлемента очень близки по своим химическим свойствам, как торий близок радиоторию.

Boltwood B. B. On the radio-activity of thorium salts.— «Amer. J. Sci.», 1907, v. 24, p. 93—100.

Б. Болтвуд (в США) описал метод выделения, химические свойства и вид излучения нового радиоэлемента, при распаде которого образуется радий. Новый радиоэлемент был назван ионием (Io).

Boltwood B. B. Note on a new radio-active element.— «Amer. J. Sci.», 1907, v. 24, p. 370—372.

Г. Бронсон (в Англии) четко показал ошибочность выводов П. Кюри и Ж. Данна, что скорость распада атомов радия и его продуктов меняется при нагревании выше 800 °С. Г. Бронсон провел эксперименты в интервале температур от -180 до +1600 °С и убедительно показал, что активность радиоактивных веществ не изменяется при перепадах температуры.

Bronson H. L. The effect of temperature on the activity of radium and its transformation products.— «Proc. Roy. Soc.», 1907, ser. A, v. 78, p. 494—500.

С. Мейер и Э. Швейдлер (в Германии) в работе по электрохимии радиосвинца показали, что существуют два E-продукта в урановой серии — RaE_1 и RaE_2 .

Meyer S., Schweidler E. Bemerkung zu einer Notiz des Herrn H. W. Schmidt betreffend RaE_1 und RaE_2 .— «Phys. Z.», 1907, Bd 8, S. 457.

А. Ван-ден-Брук (в Голландии) выступил со своей первой работой « α -Частица и периодическая система элементов». За основу классификации элементов им был взят альфон («половина» атома гелия). Общее количество эле-

ментов в периодической системе равнялось 120, длина каждого из пятнадцати периодов принималась постоянной и равной 8. Каждому четному числу («теоретическому» атомному весу) от 2 («альфон») до 240 (уран) должен был соответствовать один элемент.

Van den Broek A. Das α -Teilchen und das periodische System der Elemente.— «Ann. Phys», 1907, ser. 4, Bd 23, S. 199—203.

Э. Резерфорд (в Англии) показал, что утверждение Болтвуда о том, что актиний является родительским веществом для радия, неверно: сам актиний не превращается в радий, зато «в обычных коммерческих препаратах актиния существует новое вещество, которое медленно превращается в радий. Этот непосредственный предшественник радия химически отличен от актиния и радия и их известных продуктов». Таким образом, Резерфорд был первым, кто фактически наблюдал ионий.

Rutherford E. The origin of radium.— «Nature», 1907, v. 76, p. 126.

Ф. Содди (в Англии) показал, что его представления относительно родительского радиоэлемента для радия хорошо объясняются результатами работы Э. Резерфорда (см. выше).

Soddy F. The origin of radium.— «Nature», 1907, v. 76, p. 150.

Н. Кэмпбелл (в Англии) доказал наличие естественной β -активности у химического элемента калия.

Campbell N. The β -rays from potassium.— «Proc. Camb. Phil. Soc.», 1907, v. 14, p. 211—216.

Г. Шмидт (в Германии) показал, что при прохождении β -излучения UX через различные вещества происходит поглощение и отражение β -частиц, причем коэффициенты поглощения и отражения зависят от атомного веса и плотности поглощающего вещества.

Schmidt H. Über Reflexion und Absorption von β -Strahlen.— «Ann. Phys.», 1907, Bd 23. S. 671—697.

1908

Б. Браунер (в Праге) предложил новый вариант размещения редкоземельных элементов в периодической системе, основанный на их распределении по группам. Данная работа Браунера оказалась, таким образом, отказом от идеи интерпериодической группы и возвратом к его прежним представлениям 1881 г. Однако существенным достоинством рассматриваемой работы явилось то, что Браунер впервые достаточно четко сформулировал представление о наличии в семействе редкоземельных элементов внутренней периодичности. По мнению Браунера, по ряду своих свойств (основность, степень электроположительности и пр.) редкоземельные элементы не составляют непрерывного ряда, а образуют два параллельных. Далее Браунер впервые подчеркнул особое сходство лантана, гадолиния и лютеция; этот факт впоследствии приобрел особое значение для систематики редкоземельных элементов. В новом варианте Браунера самарий непосредственно следовал за неодимом, хотя в дискуссии по своей работе Браунер говорил, что разница в атомных весах этих элементов представляется ему аномально большой.

Brauner B. Über die Stellung der Elemente der seltenen Erden im periodischen System von Mendelejeff. — «Z. Elektrochem.», 1908, Bd 14, S. 525—528.

В. Рамзай (в Англии) предложил своеобразную периодическую систему, попытавшись поместить в ней радиоактивные инертные газы — эманации радия, тория и актиния. Он считал, что атомные веса эманаций равны соответственно 172, 216 и 260.

Ramsay W. A search for possible new members of the inactive series of gases. — «Proc. Roy. Soc.», 1908, ser. A, v. 81, p. 178—180.

Ж. Урбен и К. Янтч (во Франции) доказали наличие четырехвалентного состояния у тербия.

Urban G., Jantsch C. Sur quelques composés du terbium et du dysprosium. — «Compt. rend.», 1908, v. 146, p. 127—129.

В. Ритц (в Германии) сформулировал так называемый комбинационный принцип: «Если даны формулы серий

и известны входящие в них постоянные, то путем комбинации в виде сумм или разностей можно новую открытую линию вывести из ранее известных». Фундаментальное значение комбинационного принципа состоит в том, что, представляя волновое число спектральной линии в виде разности двух термов, можно определить два различных состояния, или уровня, энергии рассматриваемого атома. Таким путем, анализируя много линий или серий линий одного и того же элемента, можно установить большое число его состояний, или уровней, энергии. Комбинационный принцип является фундаментом не только боровской, но и квантовомеханической теории спектров.

Ritz W. Gesammelte Werke, Herausgegeben von der Schweizer Phys. Ges., Paris, 1911, S. 162.

О. Ган (в Германии) показал, что мезоторий состоит из двух продуктов. Новый радиоэлемент (с периодом полураспада 6,2 ч) оказался промежуточным между мезоторием (MsTh) и радиоторием (RaTh). Поэтому мезоторий был переименован в мезоторий I, а новый радиоэлемент назван мезоторием II. Изучение кривых распада показало, что никаких других радиоэлементов между торием и радиоторием не существует.

Hahn O. Ein kurzlebiger Zwischenprodukt zwischen Mesothor und Radiothor.— «Phys. Z.», 1908, Bd 9, S. 246—248.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии), изучая β -излучатели в активном осадке актиниевого ряда, открыли новый радиоэлемент AcC (ныне AcC').

Hahn O., Meitner L. Aktinium C, ein neues kurzlebiger Produkt des Aktiniums.— «Phys. Z.», 1908, Bd 9, S. 649—655.

Б. Болтвуд (в США) экспериментально оценил вклад каждого радиоэлемента уранового ряда в общую радиоактивность урановых минералов с достигнутым равновесным состоянием. Поскольку отношение активности актиниевых продуктов к активности урановых продуктов постоянно в различных минералах, то Болтвуд сделал вывод, что актиний и его продукты являются боковой ветвью

распада урана. Болтвуд также пришел к выводу, что каждый атом урана испускает две α -частицы на каждую α -частицу последующего продукта. Это было фактически первое указание на существование вскоре открытого III.

Boltwood B. B. On the radio-activity of uranium minerals.— «Amer. J. Sci.», 1908, v. 25, p. 269—298.

Б. Болтвуд (в США) показал, что урановые минералы содержат новый радиоактивный элемент, названный им ионием. Химическое поведение иония подобно химическому поведению тория, и оба элемента не могут быть разделены. Повышение содержания радия в растворах иония служит доказательством того, что радий образуется при распаде иония. По Болтвуду, ионий является промежуточным продуктом между UX и Ra.

Boltwood B. B. On ionium. A new radio-active element.— «Amer. J. Sci.», 1908, v. 25, p. 365—381.

Дж. Дьюар (в Англии) вычислил скорость накопления гелия в препаратах радия; ее значение оказалось очень близким к теоретическому значению, вычисленному Резерфордом и Гейгером (см. с. 68), что доказало хорошую точность измеренного ими заряда α -частицы.

Dewar J. The rate of production of helium from radium.— «Proc. Roy. Soc.», 1908, ser. A, v. 81, p. 280—286.

Г. Гейгер (в Англии) выполнил эксперименты по рассеянию α -частиц из различных источников на тонких фольгах. «Эксперименты проводились с различными веществами... в надежде установить некоторую связь между энергией рассеяния и энергией поглощения этих материалов». При этом было отмечено, что рассеяние α -частиц происходит на значительные углы.

Geiger H. On the scattering of the α -particles by matter.— «Proc. Roy. Soc.», 1908, ser. A, v. 81, p. 174—177.

Э. Резерфорд и Г. Гейгер (в Англии) измерили заряд, переносимый α -частицей: $9,3 \cdot 10^{-10}$ ед. СГСЭ.

Был вычислен удельный заряд электрона ($e = 4,65 \cdot 10^{-10}$). Было показано, что α -частица идентична дважды ионизированному атому гелия.

Rutherford E., Geiger H. The charge and nature of the α -particle.— «Proc. Roy. Soc.», 1908, ser. A, v. 81, p. 162—173.

Г. Бронсон (в Канаде) тщательно проверил предположение Э. Резерфорда об испускании α -излучателем только одной α -частицы в каждом акте распада в ториевом и актиниевом семействах. Оказалось, что распад эманаций тория и актиния сопровождается двойными вспышками на чувствительном экране спинтарископа, т. е. AcEm и ThEm испускают по две α -частицы на акт распада. Этот результат объясняется тем, что Бронсон впервые наблюдал короткоживущие продукты ториевой и актиниевой эманаций (А-продукты).

Bronson H. On the relative activity of the emanation and the active deposit from thorium and from actinium.— «Phil. Mag.», 1908, ser. 6, v. 16, p. 291—299.

Ч. Баркла и Ч. Сандлер (в Англии) показали, что каждый элемент при облучении катодными и рентгеновскими лучами испускает характеристические первичные или вторичные рентгеновские лучи строго определенной длины волны. Эксперименты показали простую зависимость жесткости характеристических лучей от атомного веса излучающего элемента: жесткость увеличивается с ростом атомного веса. Для соединений характеристическое излучение является суммой излучений элементов, из которых состоит соединение. Результаты, полученные Баркла, позволили сделать вывод, что характеристическое рентгеновское излучение есть фундаментальное свойство атома.

Баркла установил два ряда характеристических лучей, которые он назвал K - и L -излучением, причем K -излучение Баркла наблюдал у элементов от водорода до серебра, а L -излучение — у тяжелых металлов. Обозначения, введенные Баркла (K -, L - и т. д.), позднее были приняты для обозначения электронных оболочек атома. В экспериментах Г. Мозли (см. стр. 94) открытие Баркла оказалось ключом к определению порядковых номеров элементов.

Barckla C h., Sandler C h. Homogeneous secondary Röntgen radiations.— «Phil. Mag.», 1908, ser. 6, v. 16 p. 550—584.

1909

Д. Стрёмгольм и Т. Сведберг (в Швеции) на основании экспериментов по изучению химии радиоэлементов

пришли к выводу о необходимости помещать в одну клетку периодической системы по несколько радиоэлементов. Ученые установили, используя явление изоморфизма как средство изучения химических свойств радиоэлементов, что ThX является аналогом щелочноземельных элементов, причем ThX неотделим химически от радия и AcX; ионий, торий, UX и RaTh с RaAc неотделимы друг от друга; актиний суть аналог лантана. Эта работа явилась важным звеном в предыстории открытия изотопии.

Strömholm D., Svedberg T. Untersuchungen über die Chemie der radioaktiven Grundstoffe.— «Z. anorg. Chem.», 1909, Bd 61, S. 338—346; Bd 63, S. 197—206.

Дж. Томсон (в Англии) обсудил важнейшие вопросы атомной структуры: «1) Существует ли определенная единица положительного электричества? 2) Если да, то чему равна ее величина?» Ответить на эти вопросы, по его мнению, можно лишь при условии изучения движущихся положительных ионов (α -частиц или каналовых лучей). Обсуждена возможность построения простейшего атома как нейтральной комбинации носителя положительного и отрицательного зарядов. Отношение e/m для положительно заряженного иона иногда много больше, чем 10^4 .

Thomson J. J. Positive electricity.— «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 821—845.

Ф. Содди (в Англии) на основании длительных экспериментов с UX пришел к выводу, что между UX и ионием существует, по крайней мере, один промежуточный продукт — UA с периодом полураспада около 1 года, и предложил следующую цепочку распада: $U \rightarrow UX \rightarrow UA \rightarrow$ «родитель» радия \rightarrow радий.

Soddy F. The relation between uranium and radium.— «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 846—858.

Ф. Содди (в Англии) тщательно исследовал излучение UX и отметил, что количество α -частиц не возрастает при распаде UX; в то же время UX всегда дает незначительное

число α -частиц, но, как считал Содди, это обусловлено трудноотделимой примесью урана. Таким образом, открыть новый продукт между UХ и радием Содди не удалось, хотя Содди и наблюдал α -излучение UИИ.

Soddy F. The rays and product of uranium X.— «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 858—865.

Дж. Мак-Леннан (в Канаде) открыл стабильный продукт распада радиевой серии — RaG.

McLennan J. C. On the relation of «recoil» phenomena to the final radio-active product of radium.— «Nature», 1909, v. 80, p. 490—491.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) с помощью метода радиоактивной отдачи доказали сложный характер RaC. Было показано, что этот продукт испускает α - и β -частицы, в результате чего образуются два различных продукта.

Hahn O., Meitner L. Nachweis der komplexen Natur von Radium C.— «Phys. Z.», 1909, Bd 10, S. 697—703.

В. Маковер (в Англии) подсчитал число β -частиц, испускаемых RaC, находящихся в равновесии с 1 г Ra; оно равно $5,0 \cdot 10^{10}$. Знание этой величины помогло позднее выделить побочный продукт в «радиоактивной вилке» у RaC.

Makower W. On the number and the absorption by matter of the β -particles emitted by radium.— «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 17, p. 171—180.

Дж. Грэй (в Англии), спектроскопически исследуя различные старые урансодержащие минералы, подтвердил гипотезу Б. Болтвуда (см. с. 58), что только свинец может быть конечным продуктом урановой серии.

Gray J. A. The ultimate product of the uranium disintegration series.— «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 816—818.

Б. Китман (в Германии) установил, что UХ и торий не могут быть разделены химическими способами. Ионий,

с другой стороны, тоже невозможно отделить химически от тория.

Keetman B. Über Ionium. — «Jahrb. Radioakt. Elektr.», 1909, Bd 6, S. 265—274.

Г. Гейгер и Э. Марсден (в Англии) экспериментально доказали, что незначительная часть α -частиц (около $1/8000$, если использовать в качестве источника α -излучения RaC) способна рассеиваться на очень большие углы, причем с увеличением атомного веса рассеивающего элемента растет и число таких частиц.

Geiger H., Marsden E. On a diffuse reflection of the α -particles. — «Proc. Roy. Soc.», 1909, ser. A, v. 82, p. 495—500.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) методом радиоактивной отдачи открыли новый β -излучатель в ториевой серии — ThD.

Hahn O., Meitner L. Eine neue Methode zur Herstellung radioaktiver Zerfallsprodukte; Thorium D., ein kurzlebige Produkt des Thoriums. — «Berichte», 1909, Bd 11, S. 55—62.

Ф. Содди и А. Рассел (в Англии) предположили, что β -излучение сопровождается переходом UX в радий, а γ -излучение — переход UX в актиний.

Soddy F., Russell A. The γ -rays of uranium and radium. — «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 620—649.

Ф. Содди (в Англии) обсудил трудность «создания какой бы то ни было модели механизма дезинтеграции, описывающей определенные свойства этого процесса». Ученый предложил модель «составного» распада радиоактивного атома. Такой распад характеризуется несколькими константами (λ_1 , λ_2 и т. д.) и может иллюстрировать предполагаемые радиоактивные вилки.

Soddy F. Multiple atomic disintegration. A suggestion in radioactive theory. — «Phil. Mag.», 1909, ser. 6, v. 18, p. 739—744.

А. Камерон (в Англии) попытался разместить все радиоэлементы в периодической системе на основании вида их излучения; при этом ученый предложил следующие правила сдвига: при α -распаде радиоэлемент переходит в соседнюю клетку периодической системы (с более низким атомным весом); при β -распаде происходит переход в эту же клетку либо радиоэлемент остается на прежнем месте. Таким образом, радиоэлементы были размещены в периодической системе произвольно, причем Камерон не учитывал их химические характеристики. Тем не менее, он справедливо помещал по нескольку радиоэлементов в одну клетку периодической системы, радиоактивные ряды шли у него параллельными рядами в периодической системе и, начинаясь ураном, торием и актинием, кончались свинцом.

Cameron A. T. The position of the radioactive elements in the periodic table.— «Nature», 1909, v. 82, p. 67—68.

1910

Р. Милликэн (в США) определил заряд электрона: $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$ (значение, хорошо совпадающее с полученным Э. Резерфордом и Г. Гейгером в 1908 г. — см. с. 67). Среднее значение, вычисленное на основании пяти результатов различных исследователей (Планка, Резерфорда и Гейгера, Регенера, Милликена), — $4,69 \times 10^{-10}$. Отсюда расчет массы атома водорода давал значение $1,62 \cdot 10^{-24}$ г.

Millikan R. A. A new modification of the cloud method of determining the elementary electrical charge and the most probable value of that charge.— «Phil. Mag.», 1910, ser. 6, v. 19, p. 209—228.

В. Рамзай и Р. Витлоу-Грей (в Англии) точно измерили атомный вес эманации радия. Среднее (из пяти) значение атомного веса $RaEm$ оказалось равным 222,5. Таким образом, для $RaEm$ были теперь известны физические свойства, спектр, атомный вес, положение в периодической системе. Ученые предложили называть $RaEm$ нитонем (в переводе — «блестящий») и поместить в периодической системе с символом Nt .

Ramsay W., Whittlaw-Gray R. La densité de l'émanation du radium.— «Compt. rend.», 1910, v. 151, p. 126—128.

Г. Н. Антонов (в Англии) измерил $T_{1/2}$ для RaE, получив значение 5 дней; $T_{1/2}$ для RaD был определен равным $16,5 \pm 0,5$ лет. Между RaD и RaE промежуточных продуктов не обнаружено. Показано, что RaD, RaE, Po и Ra имеют различные химические свойства и могут быть полностью отделены друг от друга.

Antonoff G. N. Radium D and its products of transformation. — «Phil. Mag.», 1910, ser. 6, v. 19, p. 825—839.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) отметили некоторую аналогию между урановым и ториевым радиоактивными рядами. Так, ионий и радиоторий испускают α -частицы и химически неотделимы друг от друга, радий и ThX обладают свойствами щелочноземельных металлов, RaEm и ThEm — инертных газов.

Hahn O., Meitner L. Eine neue β -Strahlung beim Thorium X; Analogien in der Uran- und Thoriumreihe. — «Phys. Z.», 1910, Bd 11, S. 493—497.

М. Кюри и А. Дебьерн (во Франции) впервые выделили чистый металлический радий.

Curie M., Debierne A. Sur le radium métallique. — «Compt. rend.», 1910, v. 151, p. 523—525.

М. Кюри и А. Дебьерн (во Франции) из нескольких тонн урановых отходов выделили 2 мг вещества, содержащего 0,1 мг чистого полония. В спектре препарата наблюдалось четыре новые линии, принадлежащие, возможно, полонию. Было доказано образование гелия из полония.

Curie M., Debierne A. Sur le polonium. — «Le Radium», 1910, v. 7, p. 38—40.

Л. Бланки (во Франции) показала сложный характер распада AcB (теперь AcC) и предположила существование нового, еще не открытого продукта AcB'.

Blanquies L. Sur les constituants de la radio-activité induite de l'actinium. — «Compt. rend.», 1910, v. 151, p. 57—60.

В. Марквальд (в Германии) в результате тщательных исследований доказал невозможность химического разделения мезотория и радия.

Markwald W. Zur Kenntnis des Mesothorium. — «Berichte», 1910, Bd 43, S. 3420—3422.

Ф. Содди (в Англии), комментируя результаты работ Д. Стрёмгольма и Т. Сведберга (см. с. 69), В. Марквальда (см. с. 74), О. Гана и Л. Мейтнер (см. с. 73), писал: «Эти закономерности могут явиться началом новых обобщений, которые прольют свет не только на радиоактивные процессы, но и на элементы вообще и на Периодический закон». Содди предположил, что налицо «не простые химические аналогии, но химические тождества». Поскольку все эти радиоэлементы незначительно отличаются по своему атомному весу, то «химическая однородность более не является гарантией того, что всякий предложенный элемент не является смесью нескольких с различными атомными весами или что атомный вес не есть просто среднее число». Эти идеи Ф. Содди явились подготовкой к открытию изотопии.

Soddy F. Radioactivity. — «Ann. Report Progr. Chem.», 1910, v. 7, p. 285, 286.

Г. Гейгер и Э. Резерфорд (в Англии) сцинтилляционным методом проверили число α -частиц, испускаемых в одном акте распада ураном и торием. Для урана было отмечено испускание двух α -частиц на каждую α -частицу, испускаемую его последующим продуктом. Это подтвердило правильность работы Б. Болтвуда (1908 г.) Две α -частицы могли бы означать существование двух последующих α -продуктов в серии урана или одновременный выброс двух α -частиц одним атомом. Вскоре был открыт III.

Geiger H., Rutherford E. The number of α -particles emitted by uranium and thorium and by uranium minerals. — «Phil. Mag.», 1910, ser. 6, v. 20, p. 691—698.

В. Брэгг (в Англии) высказал предположение, что γ -лучи (а возможно, и рентгеновские) могут представлять собой поток электрически нейтральных частиц-дублетов,

состоящих из одного отрицательного и одного положительного (гипотетического) электронов.

Bragg W. H. The consequences of the corpuscular hypothesis of the γ - and X-rays and the range of β -rays.— «Phil. Mag.», 1910, ser. 6, v. 20, p. 385—416.

1911

А. Рассел и Ф. Содди (в Англии) пытались установить связь между энергией γ - и β -излучений всех радиоэлементов трех семейств и обсудили возможность существования такой связи между α - и β -излучениями.

Russel A., Soddy F. The γ -rays of thorium and actinium.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 21, p. 130—154.

К. Фаянс (в Англии) впервые экспериментально доказал существование радиоактивной вилки у RaC. Он пришел к выводу, что для RaC $T_{1/2} = 19,5$ мин, для RaC₂ $T_{1/2} = 1,38$ мин. Образование RaC₂ происходит только в одном случае из 20 000 распадов RaC.

Fajans K. Über die komplexe Natur von Radium C.— «Phys. Z.», 1911, Bd 12, S. 369—377.

А. Ван-ден-Брук (в Голландии) разработал «кубический» вариант графического изображения периодической системы, в котором, оставив без изменения основные положения своей первой работы, но уже без «альфона» (см. с. 63), разместил все известные тогда радиоактивные элементы. Однако открытые вскоре новые радиоактивные элементы (Ull, ThA, AsA) не могли найти места в его таблице.

Van den Broek A. Das Mendelejeffische «kubische» periodische System der Elemente und die Einordnung der Radioelemente in dieses System.— «Phys. Z.», 1911, Bd 12, S. 490—497.

Э. Резерфорд (в Англии) в мае опубликовал статью «Рассеяние α - и β -частиц веществом и строение атома», в которой он предложил и описал новую атомную модель. Ученый предположил, что отклонение α -частиц на большие углы является следствием однократного рассеяния

в сильном кулоновском поле. Это можно было объяснить при условии, если «атом содержит центральный заряд, распределенный в очень малом объеме». Первоначально Резерфорд ничего не говорил о знаке «центрального» заряда, так как рассеяние α -частиц можно было объяснить независимо от знака заряда, и считал, что «атом имеет заряд $\pm Ne$ в центре, окруженном наэлектризованной сферой, содержащей заряд $\mp Ne$, который мыслится распределенным по всей сфере с радиусом R ». Другим важным выводом работы было установление факта, что внутриатомные заряды приблизительно равны половине атомного веса.

Таким образом, в противовес модели Томсона (см. с. 72) модель Резерфорда четко разграничивала в атоме центральный заряд и расположенные вокруг него электроны.

Rutherford E. The scattering of α - and β -particles by matter and the structure of the atom. — «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 21, p. 669—688.

Ф. Бурион и Ж. Урбен (во Франции) получили соединения двухвалентного европия.

Urbain G., Bourion F. Sur le chlorure européen. — «Compt. rend.», 1911, v. 153, p. 1155—1158.

Н. А. Орлов (в России), принимая в целом браунеровскую идею об интерпериодической группе, возражал против безоговорочного отнесения редкоземельных элементов к IV группе периодической системы, так как «все эти элементы от лантана до лютеция остаются по типу соединений элементами третьей группы». Орлов пытался также провести аналогию между особой близостью свойств редкоземельных элементов, с одной стороны, и идентичностью свойств отдельных плеяд радиоактивных веществ (например, эманаций актиния, тория и радия), — с другой. Исследования Орлова в то время опубликованы не были, и его воззрения приводятся здесь в изложении П. Н. Чирвинского, с которым Орлов переписывался.

См. Чирвинский П. Н. В кн.: Тр. Минералогического музея. Т. 2, Л., 1928.

Г. Вильсон (в Канаде) на основании модели атома Дж. Томсона попытался получить приблизительное решение

проблемы распределения n электронов в положительной сфере, а также рассчитать число электронов в любом атоме на основании атомного веса элемента. Вильсон получил уравнение, показывающее, что число электронов в атоме должно быть примерно в 8 раз больше его атомного веса.

Wilson H. The number of electrons in the atom.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 21, p. 718—722.

А. Ван-ден-Брук (в Голландии) обратил внимание на то, что, согласно результатам Э. Резерфорда (см. с. 59) и Ч. Баркла (см. с. 76) (число электронов в атоме примерно равно половине атомного веса) и его «кубическому» варианту периодической таблицы (см. с. 75), получалось, что число возможных элементов от водорода до урана должно быть равно 120. Отсюда Ван-ден-Брук сделал важный вывод: «Число возможных элементов равно числу постоянных зарядов каждого знака в атоме, или каждому возможному постоянному заряду (обоих знаков) в атоме принадлежит один возможный элемент».

По существу, это была первая попытка сформулировать гипотезу о величине заряда ядра.

Van den Broek A. The number of possible elements and Mendeleeff's «cubic» periodic system.— «Nature», 1911, v. 87, p. 78.

В. Брэгг (в Англии) попытался связать α -, β -, γ - и X-лучи общим представлением об их корпускулярности. Он считал, что движение этих лучей подобно движению молекул газа; различие состоит лишь в скорости движения, ибо по сравнению с быстрыми потоками α -, β -, γ - и X-лучей газовые молекулы можно считать неподвижными. Таким образом, явление радиоактивности, по Брэггу, является четвертым состоянием материи, а теорию радиоактивности Брэгг рассматривал как кинетическую теорию этого состояния.

Bragg W. Radio-activity as a kinetic theory of a fourth state of matter.— «Chem. News», 1911, v. 104, p. 110—113.

Г. Гейгер (в Англии) доказал существование очень короткоживущего продукта между AcEm и AcA . Период

полураспада нового продукта, оцененный по длине пробега его α -частиц, равнялся примерно 1/500 сек.

Geiger H. The transformation of the actinium emanation.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 201—204.

Г. Н. Антонов (в Англии) изучал аномальный ход кривой спада активности у UХ. Ученый доказал наличие в исследуемом растворе нового радиоэлемента — UУ, период полураспада которого 1,5 дня. Химическая природа нового продукта была «очень подобна» химической природе UХ, и «не найдена возможность химического отделения их друг от друга». Количество UУ в урановых минералах значительно меньше, чем UХ, поэтому Антонов сделал вывод, что UУ является побочным продуктом урановой серии.

Antonoff G. N. The disintegration products of uranium.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 419—432.

Э. Резерфорд и Б. Болтвуд (в Англии) определили, что 1 г радия испускает в год 158 мм³ эманации радия (если радий находится в равновесии со своими продуктами распада). Этот результат был проверен в разных опытах, и всюду были получены близкие значения.

Boltwood B., Rutherford E. Production of helium by radium.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 586—604.

Г. Гейгер и А. Ф. Коварик (в Англии) на основании измерения числа β -частиц, испускаемых радиоэлементами с достигнутым радиоактивным равновесием, пришли к выводу, что AcС, ThС, RaВ и, возможно, RaС испускают по две β -частицы, следовательно, они состоят из двух последовательных β -излучателей, один из которых может являться побочным продуктом (предсказание радиоактивных вилок).

Geiger H., Kovarik A. F. The relative number of ions produced by the β -particles from the various radioactive substances.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 604—613.

Г. Гейгер и Дж. Нэттол (в Англии), повторяя эксперименты В. Брэгга (см. с. 77) по определению длины про-

бега α -частиц в воздухе, подтвердили предположение Э. Резерфорда, высказанное им еще в 1907 г., о связи между длиной пробега α -частиц и периодом полураспада α -излучателя. Ученые установили графическую зависимость между этими величинами. Первоначально опыты были выполнены только с продуктами уранового и актиниевого семейств.

Geiger H., Nuttall J. M. The ranges of the α -particles from various radioactive substances and a relation between range and period of transformation.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 613—621.

Э. Резерфорд и Г. Гейгер (в Англии) предложили новую номенклатуру радиоактивных веществ. Поскольку в ториевом и актиниевом семействах были обнаружены очень короткоживущие продукты между эманацией и соответствующим А-продуктом, то ученые предложили называть их А-продуктами, прежние А-продукты именовать В-продуктами и т. д. Эту номенклатуру важно иметь в виду, сравнивая данные, полученные для радиоэлемента любого активного осадка до и после 1911 г.

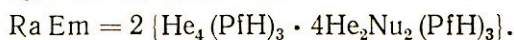
Rutherford E., Geiger H. Transformation and nomenclature of the radioactive emanations.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 621—629.

Г. Мозли и К. Фаянс (в Англии) тщательно измерили периоды полураспада новых короткоживущих А-продуктов в ториевом и актиниевом семействах: они оказались равными 0,14 и 0,002 сек соответственно. Авторы попытались методом отдачи выделить из АсС побочный продукт (по аналогии с ториевым и радиевым семействами здесь ожидалась радиоактивная вилка), но получили только чистый АсD.

Moseley H. G. J., Fajans K. Radio-active products of short life.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 629—638.

Дж. Никольсон (в Англии) предложил свою теорию атомного строения элементов. В основе всех атомов, считал Никольсон, лежат комбинации простейших элементов — «протилов»: корония (атомный вес 0,51282), водорода (1,008), небулия (1,6281), протофтора (2,3615). На-

пример, гелий построен из небулия и протофтора: $\text{He} = \text{Nu} + \text{Pf}$. Международная комиссия установила атомный вес гелия равным 3,99; атомный вес, подсчитанный Никольсоном, равен 3,9896. Эманация радия, по Никольсону, записывалась так:



Атомный вес актиния, по Никольсону, равен 159, причем актиний, возможно, образуется в результате распада UY. Таким образом, Никольсон первый увидел связь между ураном UY и актинием.

Nicholson J. W. A structural theory of the chemical elements.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 864—889.

Ф. Содди (в Англии) издал обобщающую монографию «Химия радиоэлементов», которая привлекла внимание многих исследователей к проблеме размещения радиоэлементов в периодической системе. В этой работе Содди обсудил аналогии между радиоактивными рядами, а также факт химической неотделимости некоторых радиоэлементов. Рассматривая на фоне периодической системы изменение химических свойств радиоэлементов в процессе распада, Содди показал, что при испускании α -частицы валентность результирующего продукта всегда изменяется на две единицы (так называемое «альфа-правило Содди»). Однако в отношении радиоэлементов активных осадков Содди сделал ошибочное заключение, считая, что они не могут быть представлены в периодической системе.

Soddy F. The chemistry of the radioelements. London, Longmans, Green and Co., 1911.

Р. Росси (в Англии) занимался изучением связи между атомными объемами и спектрами элементов. Он установил, что для каждой группы элементов между основной частотой спектральной серии и атомным объемом существует прямая связь:

$$\nu_0 = A\nu^{-B}$$

(здесь ν_0 — основная частота; ν — атомный объем; A и B константы).

Rossi R. On a relation between the atomic volumes and the spectra of elements.— «Phil. Mag.», 1911, ser. 6, v. 22, p. 922—925.

1912

Э. Резерфорд (в Англии), редактируя рукопись своей книги «Радиоактивные вещества и их излучения», впервые ввел термин «ядро» вместо громоздкого прежнего термина «центральное заряженное тело в атоме».

Rutherford E. Radioactive substances and their radiation. London—Edinburgh, 1913, p. 699.

Г. Хевеши (в Англии) показал, что известные радиоактивные элементы и обычные металлы имеют сходные электрохимические свойства.

Hevesy G. The electrochemistry of radio-active bodies.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 23, p. 628—646.

Ч. Дарвин (в Англии) для описания явления поглощения и рассеяния α -частиц в среде предложил формулу, выведенную на основании атомной модели Э.Резерфорда. Дарвин отметил невозможность точного решения уравнения из-за незнания двух констант — радиуса атома σ и числа электронов в атоме n .

Darwin Ch. A theory of the absorption and scattering of the α -rays.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 23, p. 901—920.

Г. Шредер (в Англии) показал, что короткоживущие радиоэлементы, ранее считавшиеся особыми переходными формами между обычными химическими элементами, имеют специфические химические свойства и способны образовывать характерные химические соединения.

Schrader H. On the existence of chemical compounds of short-lived radio-active elements.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 24, p. 125—134.

А. Ив (в Канаде) на основании измерения ионизации в закрытых сосудах отметил большое сходство рентгеновских и γ -лучей.

Ive A. S. A comparison of the ionisation within closed vessels due to Röntgen and gamma-rays.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 24, p. 432—436.

И. Штарк (в Германии) высказал предположение о сходной природе γ - и рентгеновских лучей.

Stark I. Zur Diskussion über die Struktur der γ -Strahlen.— «Phys. Z.», 1912, Bd 13, S. 161—162.

Э. Мейер (в Германии) экспериментально показал, что γ -лучи имеют тождественную природу с рентгеновскими лучами, но являются более жесткими.

Meyer E. Zur Diskussion über die Struktur der γ -Strahlen.— «Phys. Z.», 1912, Bd 13, S. 253—254.

А. Флек (в Англии) показал, что существуют три группы химически неотделимых радиоэлементов: 1) UX не отделим от тория; 2) радиоактивный не отделим от тория; 3) ThV не отделим от свинца.

Fleck A. The chemical nature of uranium X, radioactinium and thorium B.— «Chem. News», 1912, v. 106, p. 128.

Э. Резерфорд (в Англии), опираясь на свою атомную модель, попытался объяснить природу α - и β -излучений, а также сплошной спектр β -излучения. Ученый считал, что в атомах радиоактивных элементов неустойчивостью могут обладать в равной степени и ядро, и кольца электронов. В зависимости от того, что неустойчиво (ядро или электронное кольцо), распад сопровождается соответственно α - или β -излучением. При прохождении через несколько электронных колец β -частица способна терять значительную часть своей энергии, что и объясняет сплошной спектр β -излучения.

Rutherford E. The origin of β - and γ -rays from radioactive substances.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 24, p. 454—462.

Г. Гейгер и Дж. Нэттол (в Англии) показали, что α -излучатели уранового, ториевого и актинового семейств подчиняются определенной закономерности: их постоянные распада λ связаны с длиной пробега α -частиц (R_α) следующим образом: $\lg \lambda = A \lg R_\alpha + B$, причем константа A у всех трех радиоактивных рядов одинакова,

а константы B отличаются незначительно (закон Гейгера—Нэттола). В работе были также оценены периоды полураспада U^{III} ($T_{1/2} = 2 \cdot 10^6$ лет) и иония ($T_{1/2} = 2 \cdot 10^5$ лет).

Geiger H., Nuttall J. The ranges of the particles from the thorium and actinium products.— «Phil. Mag.», 1912, ser. 6, v. 24, p. 647—654.

К. Фаянс (в Германии) показал, что между RaC и RaD существует короткоживущий продукт — α -излучатель RaC' . Его $T_{1/2}$ примерно равен 10^{-6} сек (вычислено с помощью соотношения Гейгера—Нэттола).

Fajans K. Über die Verzweigung der Radium—Zerfallsreihe.— «Phys. Z.», 1912, Bd 13, S. 699—705.

А. Рассел и Р. Росси (в Англии) изучали спектр смеси иония и тория (содержание $\text{Io} > 10\%$.) Несмотря на высокое разрешение спектрометра, в полном спектре смеси не была найдена ни одна линия, которую можно было бы приписать ионию. Авторы показали, что период полураспада иония, ранее считавшийся равным 100 000 лет, не может превышать 12 000 лет. Следовательно, между ураном и ионием должен находиться долгоживущий радиоэлемент. (Этот элемент — U^{III} — был открыт в этом же году Г. Гейгером и Дж. Нэттолом.) Комментируя доказанное тождество спектров иония и тория, Рассел и Росси писали: «Объяснение ..., возможно, заключается в том, что два очень похожих вещества в действительности являются различными членами одной и той же группы элементов, но различие в их химических свойствах менее выражено, чем различие между другими членами той же группы, по причине малого различия в атомном весе».

Russell A., Rossi R. An investigation of the spectrum of ionium.— «Proc. Roy. Soc.», 1912, ser. A, v. 87, p. 478—484.

М. Лауэ со своими сотрудниками В. Фридрихом и П. Книппингом (в Германии) обнаружили явление дифракции рентгеновских лучей на кристалле сульфида цинка. Теоретические вычисления Лауэ, основанные на волновой теории света, показали, что при прохождении света через дифракционную решетку (расстояние между ее щелями было одного порядка с длиной световой волны)

лучи, идущие в определенных направлениях, усиливают или гасят друг друга. Поскольку в кристаллах атомы и молекулы расположены на расстоянии примерно 10^{-8} см друг от друга, то, согласно Лауэ, кристалл должен был играть роль дифракционной решетки. Дифракционные картины на фотопластинках впоследствии получили название лауэграмм.

Таким образом, было доказано, что природа рентгеновских и световых лучей одинакова, но первые имеют гораздо меньшую длину волны. Открытие Лауэ и его сотрудников легло в основу метода определения длин волн рентгеновских лучей и определения межатомных расстояний в кристаллах; кроме того, это открытие подготовило почву для исследований Г. Мозли.

Friedrich W., Knipping P., von Laue M. Interferenz. — Erscheinungen bei Röntgenstrahlen (beim Durchgang durch Kristalle). — «Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss.», 1912, S. 303—322.

Р. Мейер и О. Хаузер (в Германии) опубликовали монографию «Анализ редких земель», в которой высказаны важные идеи о свойствах редкоземельных элементов. Авторы отмечали, что «все химические и физические свойства редкоземельных элементов указывают на то, что здесь мы имеем дело с весьма уплотненной группой веществ, различия свойств которых очень малы», и разделяли идею Браунера об интерпериодической группе, размещая редкоземельные элементы в IV группе.

Meyer R., Hauser O. Die Analyse der seltenen Erden und der Erdsäuren. Ceriterden, Yttererden, Zirkonerde und Thorererde, Titansäure, Niobsäure und Tantalssäure. (Die chemische Analyse). Stuttgart, F. Enke, 1912.

1913

А. Ван-ден-Брук (в Голландии) опубликовал 1 января 1913 г. статью «Радиоэлементы, периодическая система и строение атома» (статья поступила в редакцию 15 ноября 1912 г.), в которой на основе анализа всех тогда известных в науке фактов о внутриатомных зарядах и в развитие своих предыдущих работ выдвинул гипотезу: «Порядковый номер (Folgenummer) каждого

элемента в выстроенном по возрастающим атомным весам ряду... равен половине атомного веса и также равен внутриатомному заряду». Эта гипотеза была использована Н. Бором в его теории строения атома (сентябрь 1913 г. — см. с. 91). Позднее, в письме в «Nature» от 27 ноября 1913 г., Ван-ден-Брук, основываясь на экспериментах Гейгера и Марседена (см. с. 89), самостоятельно уточнил ее формулировку: «Предложенная гипотеза хорошо соответствует ряду Менделеева, но ядерный заряд не равен половине атомного веса».

Он оценил порядковые номера Pt и Au и выдвинул гипотезу об ядерных электронах, просуществовавшую в науке до открытия нейтрона.

Таким образом, Ван-ден-Бруку принадлежит важное теоретическое открытие — порядковый номер элемента в периодической системе элементов Менделеева равен заряду ядра его атомов.

Van den Broek A. Die Radioelemente, das periodische System und die Konstitution der Atome. — «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 32—41; Intra-atomic charge. — «Nature», 1913, v. 92, p. 372—373; Intra-atomic charge and the structure of the atom. — «Nature», 1913, v. 92, p. 476—478.

10 января К. Фаянс (в Германии) на заседании Химического общества в Карлсруэ доложил о сформулированных им правилах радиоактивных смещений на основании которых он разместил радиоэлементы в периодической системе.

Fajans K. Die Stellung der Radioelemente im periodischen System. — «Chemiker-Ztg», 1913, Bd 37, S. 151, 242.

Г. Хевеши (в Англии) 15 февраля опубликовал результаты своего исследования химических свойств радиоэлементов. Обсуждая влияние типа распада на изменение химических свойств результирующего продукта, Хевеши сделал вывод, что β -излучение вызывает прямо противоположное («полярное») изменение химических свойств (по сравнению с действием α -излучения).

Hewesey G. Die Valenz der Radioelemente. — «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 49—62.

А. Рассел (в Англии) 30 января систематизировал химические свойства и виды излучения большинства радиоэлементов и предложил схему размещения радиоэлементов в периодической системе, опирающуюся на сформулированные им же правила сдвига: при испускании α -частицы радиоэлемент переходит в периодической системе на две клетки вправо или влево; при испускании β -частицы — на одну клетку вправо или влево. При размещении радиоэлементов Расселом был допущен ряд серьезных ошибок (неправильно помещены радиоэлементы активных осадков, введен элемент радиоактиний II и т. д.). Вместе с тем схема Рассела предсказывала существование неоткрытого еще β -излучателя UX_2 .

Russell A. S. The periodic system and the radioelements.— «Chem. News», 1913, v. 107, p. 49—52.

А. Флек (в Англии) показал неправильность размещения А. Расселом ThD в периодической системе. Вопреки точке зрения Рассела (ThD должен быть аналогом либо свинца, либо ртути), А. Флек доказал, что ThD должен быть аналогом висмута или теллура.

Fleck A. The periodic system and the radioelements.— «Chem. News», 1913, v. 107, p. 95.

А. Флек (в Англии) провел систематическое изучение химических свойств большого числа известных радиоэлементов. Ученый использовал химическую неотделимость некоторых из них, чтобы точно установить, с какими элементами образуют неразделимые смеси известные радиоэлементы. Так, UX оказался неотделимым от тория; RdAc тоже неотделим от тория, MsTh₂ химически тождествен актинию; ThB, RaB и AcB оказались тождественными обыкновенному свинцу, а ThC, RaC и AcC — висмуту, RaE — аналогичен висмуту, RaD — свинцу и RaF — полонию.

Fleck A. The chemical nature of some radioactive disintegration products.— «J. Chem. Soc.», 1913, v. 103, p. 381—399.

К. Фаянс (в Германии) 15 февраля опубликовал обобщения, касающиеся размещения радиоэлементов в периоди-

ческой системе. Фаянс впервые четко сформулировал правила радиоактивного смещения: при β -распаде радиоэлемент переходит в соседнюю клетку вправо, при α -распаде — на две клетки влево в периодической системе. На основании этих правил сдвига Фаянс правильно разместил все радиоэлементы в периодической системе. Он предсказал также существование нового радиоэлемента — UX_2 ; совокупность радиоэлементов, размещенных в одной клетке периодической системы, назвал плеядой, а также обсудил возможность экспериментального доказательства различия атомных весов конечных продуктов ториевого и уранового радиоактивных рядов — ^{208}Pb и ^{206}Pb .

Fajans K. Über eine Beziehung zwischen der Art einer radioaktiven Umwandlung und dem elektrochemischen Verhalten der betreffenden Radioelemente.— «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 131—136; Die Stellung der Radioelemente im periodischen System.— Ibid., S. 136—142.

Ф. Содди в (Англии) 28 февраля опубликовал статью (будучи знаком с работами Рассела и Фаянса), в которой обобщил факты химической неотделимости и расположил радиоэлементы в порядке изменения их химических свойств, причем для химической характеристики короткоживущих радиоэлементов, химия которых не была изучена, им были использованы правила сдвига, ранее предложенные Расселом и Фаянсом. Содди предсказал, что спектры химически неотделимых элементов также должны быть тождественны.

Soddy F. The radio-elements and the periodic law.— «Chem. News», 1913, v. 107, p. 97—99.

А. Флек (в Англии) продолжил изучение химических свойств радиоэлементов. По мнению А. Флека, RaA и полоний имеют одинаковые химические свойства, ThD ведет себя как аналог таллия, AcB тождествен свинцу, AcD аналогичен таллию.

Fleck A. The chemical nature of some radioactive disintegration products. Part II.— «J. Chem. Soc.», 1913, v. 103, p. 1052—1061.

Ф. Содди (в Англии) опубликовал схему превращений всех радиоэлементов, связав ее со структурой периодической системы. Он предположил, что актиний образуется в результате α -распада Ux_2 .

S o d d y F. Die Radioelemente und das periodische Gesetz.—«Jahrb. Radioakt. Elektr.», 1913, Bd 10, S. 188—197.

В. Брэгг (в Англии) теоретически установил зависимость между длиной волны рентгеновских лучей, характером расположения пятен на лауэграмме и структурой кристалла. Рассматривая отражения волн различных длин от каждой из плоскостей кристалла, Брэгг по расположению и интенсивности пятен сумел определить структуру ряда кристаллов. Ученым было найдено условие получения максимумов отражения рентгеновских лучей: $n\lambda = 2d \sin\theta$, где λ — длина волны; d — расстояние между соседними отражающими плоскостями атомов, ионов или молекул; θ — угол скольжения; n — целое число (1, 2, 3,...). Если $\sin\theta = \frac{n\lambda}{2d}$, то при этом значении угла скольжения будет наблюдаться максимум отражения. Из уравнения Брэгга также вытекало, что если известна величина d , то, измерив угол отражения θ , можно определить длину волны λ . Таким образом, уравнение Брэгга легло в основу рентгеноспектрометрии. Работы Г. Мозли явились одним из первых важнейших следствий ее применения.

B r a g g W. L. The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal.—«Proc. Camb. Phil. Soc.», 1913, v. 17, p. 43—57.

Г. Мак-Кой и Ш. Виоль (в США) провели фундаментальное исследование химических свойств всех радиоэлементов ториевого семейства. Они предложили новые методы для выделения чистых радиоэлементов, провели точные измерения относительной активности чистых продуктов ториевого семейства. Были исправлены значения периодов полураспада некоторых радиоэлементов.

M c C o y G., V i o l C h. H. The chemical properties and relative activities of the radioproducts of thorium.—«Phil. Mag.», 1913, ser. 6, v. 25, p. 333—359.

Г. Гейгер и Э. Марсден (в Англии) провели экспериментальную проверку формулы рассеяния α -частиц, введенной Резерфордом (см. с. 75). Они работали с семью различными рассеивающими веществами и с α -частицами различных скоростей. Ученые пришли к следующему заключению: «Результаты наших исследований находятся в хорошем согласии с теоретическими выводами профессора Резерфорда и доказывают правильность лежащего в их основе допущения, что атом содержит в центре сильный электрический заряд, размеры которого малы по сравнению с диаметром атома». Однако точность экспериментальных результатов Гейгера и Марсдена была недостаточно высока, и полученные ими значения зарядов ядра могли отличаться от истинных более чем на 20%. Можно было лишь утверждать, что положительный заряд ядра примерно равен половине атомного веса соответствующего элемента.

Geiger H., Marsden E. The laws of deflexion of α -particles through large angles.— «Phil. Mag.», 1913, ser. 6, v. 25, p. 604—623.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) предположили существование радиоактивной вилки у III. В этом случае побочной ветвью явилось бы актиниевое семейство.

Hahn O., Meitner L. Zur Frage nach der komplexen Natur des Radioaktiniums und der Stellung des Aktiniums im periodischen System.— «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 752—758.

К. Фаянс и О. Гёринг (в Германии) предприняли поиск предсказанного А. Расселом (см. с. 86), К. Фаянсом (см. с. 86) и Ф. Содди (см. с. 87) $U\text{X}_2$. Этот элемент должен был испускать β -частицы и по химическим свойствам быть высшим аналогом тантала. Такой радиоэлемент с периодом полураспада $T_{1/2} = 1,15$ мин был открыт и назван бревием.

Fajans K., Göhrring O. Über das Uran X_2 — das neue Element der Uranreihe.— «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 877—884.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) подтвердили открытие К. Фаянсом и О. Гёрингом нового радиоэлемента в урановом ряду — UX_2 .

Hahn O., Meitner L. Über das Uran X_2 — «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 758, 759.

Дж. Томсон (в Англии) разработал метод анализа положительных (каналовых) лучей и способ измерения величины e/m в том случае, когда в пучке имеются ионы нескольких видов. Каналовые лучи подвергались взаимному действию сильных полей — магнитного и электрического, параллельных друг другу и перпендикулярных к направлению пучка. Отклонение, вызываемое магнитным полем, было прямо пропорционально величине e/m ионов и обратно пропорционально их скорости. Электрическое поле отклоняло ионы в направлении, перпендикулярном к их отклонению в магнитном поле, причем величина отклонения оказывалась прямо пропорциональной e/m и обратно пропорциональной квадрату скорости. Таким образом, осуществлялась сепарация ионов с разными скоростями (следовательно, с разными массами). Когда пучок ионов с разными скоростями попадал на фотопластинку, возникала темная линия, являвшаяся отрезком параболы; параметры параболы зависели от величины отношения e/m .

Анализируя неон, Томсон обнаружил для элемента две параболы: слабую (она соответствовала ионам Ne с массой 22) и сильную (с массой 20). Как оказалось впоследствии, это было первым наблюдением изотопии у легких нерadioактивных элементов.

Thomson J. Rays of positive electricity.— «Proc. Roy. Soc.», 1913, ser. A, v. 89, p. 1—20.

К. Фаянс (в Германии) впервые проанализировал связь между типом распада, $T_{1/2}$ и массовым числом у радиоэлементов одной плеяды (изотопов). Он показал, что $T_{1/2}$ β -излучателей одного элемента всегда уменьшается с ростом их массового числа, а $T_{1/2}$ α -излучателей преимущественно увеличивается с ростом их массового числа.

Fajans K. Remarques sur le travail «Position des éléments radioactifs dans le système périodique». — «Le Radium», 1913, v. 10, p. 171—174.

О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) подтвердили открытие К. Фаянсом и О. Гёрингом нового радиоэлемента в урановом ряду — UX_2 .

Hahn O., Meitner L. Über das Uran X_2 — «Phys. Z.», 1913, Bd 14, S. 758, 759.

Дж. Томсон (в Англии) разработал метод анализа положительных (каналовых) лучей и способ измерения величины e/m в том случае, когда в пучке имеются ионы нескольких видов. Каналовые лучи подвергались взаимному действию сильных полей — магнитного и электрического, параллельных друг другу и перпендикулярных к направлению пучка. Отклонение, вызываемое магнитным полем, было прямо пропорционально величине e/m ионов и обратно пропорционально их скорости. Электрическое поле отклоняло ионы в направлении, перпендикулярном к их отклонению в магнитном поле, причем величина отклонения оказывалась прямо пропорциональной e/m и обратно пропорциональной квадрату скорости. Таким образом, осуществлялась сепарация ионов с разными скоростями (следовательно, с разными массами). Когда пучок ионов с разными скоростями попадал на фотопластинку, возникала темная линия, являвшаяся отрезком параболы; параметры параболы зависели от величины отношения e/m .

Анализируя неон, Томсон обнаружил для элемента две параболы: слабую (она соответствовала ионам Ne с массой 22) и сильную (с массой 20). Как оказалось впоследствии, это было первым наблюдением изотопии у легких нерadioактивных элементов.

Thomson J. Rays of positive electricity.— «Proc. Roy. Soc.», 1913, ser. A, v. 89, p. 1—20.

К. Фаянс (в Германии) впервые проанализировал связь между типом распада, $T_{1/2}$ и массовым числом у радиоэлементов одной плеяды (изотопов). Он показал, что $T_{1/2}$ β -излучателей одного элемента всегда уменьшается с ростом их массового числа, а $T_{1/2}$ α -излучателей преимущественно увеличивается с ростом их массового числа.

Fajans K. Remarques sur le travail «Position des éléments radioactifs dans le système périodique». — «Le Radium», 1913, v. 10, p. 171—174.

Н. Бор (в Дании) написал свою знаменитую работу «О строении атомов и молекул».

Он принял за основу модель атома Резерфорда и предположил, что процесс излучения есть квантовое явление. Согласно Бору, «классическая электродинамика недостаточна для описания систем атомного размера», поскольку модель атома Резерфорда неустойчива с точки зрения классической электродинамики. Поэтому «каким бы ни оказалось изменение в законах движения электронов, кажется необходимым ввести в эти законы величины, чуждые классической электродинамике, т. е. постоянную Планка».

Основываясь на этом положении, Бор сформулировал два основных постулата теории атома: 1) условие существования стационарных состояний атома и 2) условие частот излучения. В соответствии с первым атом может существовать, не излучая, в определенных стационарных состояниях, каждое из которых характеризуется значением энергии E , в соответствии со вторым переход атома из одного стационарного состояния в другое осуществляется посредством поглощения или испускания определенных порций энергии — квантов. В согласии с законом сохранения энергии, частоты спектра поглощения или испускания определяются совокупностью уравнений $E_n - E_k = h\nu_{nk}$ (здесь E_n и E_k — энергии стационарных состояний); переход от одного к другому сопровождается поглощением или испусканием кванта $h\nu_{nk}$.

Далее Бор сформулировал условие отбора стационарных состояний (условие устойчивости орбиты электрона в атоме): $m_0 v_0^2 r = nh$, где m_0 — масса электрона; v_0 — скорость его движения; r — радиус орбиты, а n — так называемое квантовое число, принимающее положительные целочисленные значения (1, 2, 3, ...). Используя это условие для водородоподобного атома с зарядом ядра Ze и применяя законы классической механики, Бор определил скорость движения электрона по орбите $v_n = (e^2 Z / nh)$, радиус n -ой орбиты $r_n = (n^2 h^2 / m_0 c^2 Z)$ и полную энергию электрона на n -й орбите $E_n = (m_0 e^4 Z^2 / 2h^2 n^2)$. Следовательно, по Бору, основное стационарное состояние водородоподобного атома есть состояние с минимальным значением энергии E_n , соответствующим $n = 1$. Отсюда радиус первой электронной орбиты $r_1 = 0,529 \cdot 10^{-8}$ см (его называют боровским радиусом).

Наконец, Бор теоретически вычислил значение константы Ридберга $R = (2\pi^2e^4m)/h^3$, см^{-1} ; R оказалась равной $107\,300\ \text{см}^{-1}$, тогда как экспериментальное значение — $109\,700\ \text{см}^{-1}$. Столь блестящее совпадение способствовало всеобщему признанию теории Бора.

B o h r N. On the constitution of atoms and molecules.— «Phil. Mag.», 1913, v. 26, p. 1—25, 476—502, 857—875.

В декабре Н. Бор (в Дании) выступил с докладом «О спектре водорода» на заседании Физического общества в Копенгагене. Ученый уточнил некоторые из выдвинутых им идей, в частности вопрос о спектрах элементов, атомы которых содержат несколько электронов. Согласно Бору, «постоянная Ридберга не может быть одной и той же для всех элементов. В выражение этой постоянной войдет фактор $\frac{M}{M+m}$, где M — масса ядра».

B o h r N. Om brintspektret.— «Fys. Tidsskr.», 1914, Bd 12, S. 97—114.

И. Ридберг (в Швеции) опубликовал итоговую работу по изучению атомных весов элементов в связи с периодической системой. Ученый сформулировал утверждение, что система элементов представляет собой периодическую систему, в которой свойства элементов являются функцией их номера (порядкового числа), хотя физическая сущность такой зависимости ему не была ясна. Таким образом, Ридберг независимо от А. Ван-ден-Брука развивал идею о порядковом номере элемента.

R y d b e r g I. Untersuchungen über das System der Grundstoffe.— «Lunds Univ. Årsskrift», 1913, Afd. 2, Bd 9, Nr. 18.

Э. Марсден и Р. Вильсон (в Англии) тщательно изучили радиоактивную вилку в ториевом семействе у ThC. Они показали, что ThC распадается с $T_{1/2} = 60,5\ \text{мин}$, причем доля α -распада с образованием ThD составляет 35%, а 65% — доля β -распада с образованием ThC'', период полураспада которого, вычисленный по длине пробега его α -частиц (8,6 см), равен $10^{-11}\ \text{сек}$.

M a r s d e n E., W i l s o n R. H. Some experiment with the active deposit of thorium.— «Phil. Mag.», 1913 ser. 6, v. 26, p. 354—361.

И. Франк и Г. Герц (в Германии) для изучения условий возникновения спектральных серий разработали так называемый метод электронных ударов. Суть метода состояла в том, что электроны, испускаемые раскаленной нитью, ускорялись точно регулируемым напряжением, а затем попадали в пары ртути при низком давлении. При напряжении 4,9 в появлялась спектральная линия с $\lambda = 2537 \text{ \AA}$. Франк и Герц сделали вывод, что соответствующему кванту $h\nu$ отвечает энергия 4,9 в.

Опыты Франка и Герца явились подтверждением боровской теории.

Frank I., Hertz H. Über Zusammenstöße zwischen Gasmolekullen und langsamen Elektronen. — «Verh. Deutsch. Phys. Ges.», 1913, Bd 15, S. 373—390, 613—620.

И. Штарк (в Германии) обнаружил влияние электрического поля на спектральные линии (так называемый эффект Штарка).

Stark I. Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes auf Spektrallinien. — «Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss.», 1913, S. 932—946.

Ф. Содди (в Англии) предложил называть изотопами химически неотделимые радиоэлементы, которые, отличаясь атомными весами, занимают одну и ту же клетку в периодической системе. Для объяснения изотопии Содди использовал модель атома Резерфорда и гипотезу А. Ван-ден-Брука о численном равенстве порядкового номера элемента и положительного заряда ядра его атома. По Содди, изотопами называются такие разновидности атомов, которые, обладая равным положительным зарядом ядра, отличаются своим атомным весом.

Soddy F. Intra-atomic Charge. — «Nature», 1913, v. 92, p. 399—400.

В декабре Э. Резерфорд (в Англии) согласился с гипотезой Ван-ден-Брука: «Представляется очевидным, что заряд ядра является фундаментальной константой, которая определяет физические и химические свойства атома, тогда как атомный вес, хотя приблизительно и следует по-

рядку ядерного заряда, является, по-видимому, сложной функцией заряда и зависит от детальной структуры ядра».

Rutherford E. The structure of the atom.— «Nature», 1913, v. 92, p. 423.

А. Флек (в Англии) подтвердил работу Фаянса и Гёринга о существовании UX_2 . Измеренный А. Флеком период полураспада для UX_2 , оказался равным 1,1 мин. Флек четко установил, что UX_2 не может быть родительским элементом для актиния.

Fleck A. The disintegration of uranium X.— «Phil. Mag.», 1913, ser. 6, v. 26, p. 528—535.

Г. Мозли (в Англии) опубликовал первую часть работы «Высокочастотные спектры элементов». Используя в качестве материала антикатада в рентгеновской трубке химические элементы от кальция до никеля, Мозли изучал испускаемое ими характеристическое рентгеновское излучение. Ученый измерил длины волн K_α -линий для перечисленных выше элементов. Он вывел также соотношение

$$Q = \sqrt{\frac{\nu}{3/4\nu_0}} = N - \sigma_n,$$

где ν — частота; $\sigma_n = 1$ для линий K_α ; N — целое число; ν_0 — фундаментальная частота Ридберга.

В результате исследований Мозли установил: «Очевидно, что Q возрастает на постоянную величину по мере того, как мы переходим от одного элемента к следующему, имея в виду химическую последовательность элементов в периодической системе... Мы имеем здесь доказательство, что для атома существует фундаментальная величина, которая увеличивается регулярным образом при переходе от одного элемента к следующему. Эта величина может быть только зарядом центрального положительного ядра, о существовании которого мы уже имели окончательное доказательство. Резерфорд на основании изучения рассеяния α -частиц веществом показал, что ядра несут положительный заряд, приблизительно равный заряду $A/2$ электронов, где A — атомный вес. Баркла из опытов по рассеянию X-лучей нашел, что число электронов в атоме приблизительно равно $A/2$. В то же время атомный вес увеличивается в среднем на 2 единицы каждый раз, и

это сильно подкрепляет точку зрения, что при переходе от атома к атому N всегда возрастает на одну электронную единицу. Мы, таким образом, экспериментально подтвердили точку зрения, что N есть не что иное, как номер места, занимаемого элементом в периодической системе. Этот атомный номер равен для H — 1, для He — 2, для Li — 3, ..., для Ca — 20, ..., для Zn — 30 и т. д. Эта теория берет начало от Ван-ден-Брука и затем использована Бором. Мы можем с уверенностью предсказать, что в немногих случаях, когда последовательность атомных весов расходуется с химической последовательностью в периодической системе, химические свойства управляются значением N , в то время как A сам по себе является сложной функцией N . Очень большое подобие между спектрами X-лучей различных элементов показывает, что это излучение возникает внутри атома и не имеет прямой связи с запутанными световыми спектрами и химическими свойствами, которые управляются структурой внешней области атома».

Moseley H. G. J. The high-frequency spectra of the elements. — «Phil. Mag.», 1913, ser. 6, v. 26, p. 1024—1034.

1914

Н. Бор (в Дании) предположил, что между электроном и ядром имеет место кулоновское взаимодействие, и получил следующую формулу для расчета энергии электрона в стационарных состояниях атома:

$$E = - \frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{h^2 n^2 (m + M)},$$

где m — масса электрона; M — масса ядра; $n = 1, 2, 3, \dots$

Bohr N. On the effect of electric and magnetic fields on spectral lines. — «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 27, p. 506—524.

Г. Хевеши (в Англии) обсудил возможность разделения химически неотделимых радиоэлементов с помощью метода диффузии (используя незначительные различия в их массах).

Hevesy G. The diffusion and valency of the radioelements. — «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 27, p. 586—601.

Р. Мейер (в Германии) предложил вариант размещения редкоземельных элементов в периодической системе. Он доказывал, основываясь на экспериментах, что в области редкоземельных элементов имеется своя периодизация, причем эти элементы образуют три ряда (La—Eu, Gd—Er, и Tu—Lu): «Группа редких земель образует малую периодическую систему, в которой повторяются все связи основной системы». Основываясь на своих выводах, он помещал «элементы редких земель как целое в третью группу системы».

Работа Р. Мейера явилась наиболее законченной попыткой решить вопрос о месте редкоземельных элементов в системе. Р. Мейер развил также идею о генетической связи редкоземельных элементов между собой, подобной той, которая имеет место у радиоактивных элементов.

Meyer R. Die Stellung der Elemente der seltenen Erden im periodischen System.— «Naturwiss.», 1914, Bd 2, S. 781—787.

И. Ридберг (в Швеции) предложил вариант графического изображения периодической системы элементов, поставив в ее начале электрон и допустив существование двух неизвестных элементов между H и He — корония с порядковым номером и атомным весом, равными 2, и небулия с порядковым номером и атомным весом, равными 3. Далее, Ридберг объединил парные периоды в одну группу и пришел к следующему представлению о структуре периодической системы:

Группа	G_1	G_2	G_3	G_4	...	G_p
Число элементов в группе	4×1^2	4×2^2	4×3^2	4×4^2	...	$4 \times p^2$
	4	16	36	64	...	$4p^2$
Число элементов в половине группы (в каждом из парных периодов)	2×1^2	2×2^2	2×3^2	2×4^2	...	$2 \times p^2$
	2	8	18	32	...	$2p^2$

Таким образом, в половине группы (периода) содержалось $2p^2$ элементов, где p — номер группы. В варианте системы Ридберга порядковые номера элементов были на 2 единицы больше, чем в менделеевской периодической системе. По Ридбергу, порядковые номера инертных газов

могли быть выражены простым математическим рядом чисел:

$$2(1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2 + 3^2 + 3^2 + 4^2 + 4^2 + \dots).$$

Отсюда, по Ридбергу, порядковый номер He составлял $2(1^2 + 1^2) = 4$, неона — $2(1^2 + 1^2 + 2^2) = 12$, аргона — $2(1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2) = 20$ и т. д. Для менделеевской системы этот ряд несколько видоизменялся, и атомный вес He можно было представить как $2 \cdot 1^2 = 2$, неона — $2(1^2 + 2^2) = 10$, аргона — $2(1^2 + 2^2 + 2^2) = 18$, криптона — $2(1^2 + 2^2 + 2^2 + 3^2) = 36$ и т. д. «Математическая модель» системы элементов, предложенная Ридбергом, сыграла важную роль в разработке теории периодической системы.

R y d b e r g I. The ordinals of the elements and the high-frequency spectra.— «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 28, p. 144—149.

Г. Мозли (в Англии) опубликовал вторую работу, посвященную изучению характеристического рентгеновского излучения (см. с. 94). На этот раз объектом исследования стал более широкий интервал элементов — от алюминия до золота, в связи с чем в спектрах тяжелых элементов изучалась *L*-серия. В работе был приведен график зависимости квадратного корня из частоты характеристического излучения от порядкового номера исследованных элементов. Результаты своих исследований Г. Мозли сформулировал следующим образом: «1. Каждый элемент от алюминия до золота характеризуется целым числом *N*, которое определяется спектром *X*-лучей. Любые детали в спектре элемента могут, таким образом, быть предсказаны из спектров его соседей. 2. Это целое число *N*, атомный номер элемента, тождественно числу положительных единиц электричества, содержащихся в атомном ядре. 3. Атомные номера для всех элементов от Al до Au распределены в таблице на основе предположения, что *N* равен 13 для Al. 4. Последовательность атомных номеров та же самая, что и последовательность атомных весов, за исключением тех случаев, когда последняя не согласуется с последовательностью химических свойств. 5. Известные элементы соответствуют всем номерам между 13 и 79, исключая три случая. Здесь располагаются три возможных элемента которые еще не открыты. 6. Частота любой линии в спектре

X-лучей приблизительно пропорциональна $A(N - b)^2$, где A и b — константы».

Таким образом, Г. Мозли установил порядковые номера для элементов в промежутке между Al и Au и выяснил число еще неизвестных элементов в этом промежутке, подтвердив тем самым гипотезу А. Ван-ден-Брука. Кроме того, исследование характеристического излучения стало с этого времени способом поиска и идентификации еще не открытых элементов.

Moseley H. G. J. The high-frequency spectra of the elements. Part II.— «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 27, p. 703—713.

Р. Свинне (в Германии) обсудил вопрос о существовании у элементов конца периодической системы радиоактивных изотопов, более долгоживущих, чем известные. Существование более устойчивых изотопов, по мнению Свинне, могло объяснить изменение скорости распада при α - и β -превращениях ядер, обладающих одинаковым зарядом, но различной массой. Свинне сформулировал следующее правило: у α -излучателей при данном заряде ядра скорость превращения с убыванием атомного веса сначала возрастает до некоторого максимального значения, а затем очень быстро падает (например, изотопы Po с $Z = 84$). Строя такие кривые для различных семейств радиоэлементов, ученый пришел к выводу, что огибающая этих кривых, проходящая через их максимумы, имеет такой же ход, как и кривая для одинаковых Z и разных атомных весов. Для β -излучателей кривые имеют противоположный ход. Это правило, по мнению Свинне, позволяло предсказать вероятность α - и β -распадов неизвестных изотопов с данным Z , притом не только для изотопов элементов, заключенных между ураном и таллием, но и для элементов с $Z < 83$ и $Z > 92$.

По относительному возрастанию атомного веса с увеличением порядкового номера на единицу Свинне пытался приближенно установить те области периодической системы, где α -активные элементы прерывают ряд β -активных элементов. Вследствие такого чередования в системе элементов должны появиться совокупности относительно стабильных элементов. Экстраполируя эту закономерность в область $Z > 92$, Свинне пришел к выводу, что элементы, следующие непосредственно за ураном, должны быть ко-

роткоживущими, тогда как элементы с $Z = 98 \div 102$ и $Z = 108 \div 110$ должны обладать сравнительно большой продолжительностью жизни.

S w i n n e R. Lebensdauer und Atomgewicht der Radioelemente. — «Z. angew. Chem.», 1914, Bd 27, S. 3—12, 596—599.

Ф. Содди и Г. Хаймен (в Англии) измерили атомный вес свинца, полученного из цейлонского торита. Анализ этого минерала показал наличие ThO_2 (61, 95%), U_3O_8 (0,85%) и PbO (0,39%). Поскольку свинца в образцах содержалось мало, исследователи решили, что весь он радиоактивного происхождения. Теоретический атомный вес этого свинца 208,2, так как 10 частей тория (атомный вес ториевого свинца 208,4) приходится на 1 часть урана (атомный вес уранового свинца 206,0).

S o d d y F., H y m a n H. The atomic weight of lead from ceylon thorite. — «J. Chem. Soc.», 1914, v. 105, p. 1402—1408.

Морис Кюри (во Франции) измерил атомный вес свинца из различных образцов урановой смолки: свинец из урановых минералов имел атомный вес от 206,36 до 206,65, тогда как свинец из монацита имел атомный вес 207,08.

C u r i e M. Sur les écart de poids atomiques obtenus avec le plomb provenant de divers minéraux. — «Compt. rend.», 1914, v. 158, p. 1676—1679.

О. Хёнигшмид и С. Горовиц (во Франции) измерили атомный вес свинца из урановой смолки, получив значение 206,736 как среднее из 9 определений.

H ö n i g s c h m i d O., M - l l e H o r o v i t z S t. Sur le poids atomique du plomb de la pechblende. — «Compt. rend.», 1914, v. 158, p. 1796—1798.

Т. Ричардс и М. Лемберт (в США) по предложению К. Фаянса измерили атомный вес свинца, имеющего радиоактивное происхождение. Ученые получили следующие значения для свинца различных минералов (атомный вес обычного свинца — 207,15): из уранинита (Новая

Каролина) — 206,4, урановой смолки (Иоахимсталь) — 206,57, карнотита (Колорадо) — 206,59, торанита (Цейлон) — 206,28, урановой смолки (Англия) — 206,84.

Richards T. W., Lemberg M. E. The atomic weight of lead of radioactive origin.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1914, v. 36, p. 1329—1344.

В марте Э. Резерфорд (в Англии) опубликовал работу «Строение атома», в которой подвел итоги исследования проблемы атомной структуры за период с 1911 г.

Rutherford E. The structure of the atom.— «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 27, p. 488—498.

Ф. Содди (в Англии), развивая понятие изотопии, отмечал, что место, занимаемое элементом в периодической системе, не является простой функцией массы, а зависит в основном от заряда ядра атома и лишь в меньшей степени от массы. Отсюда он делал вывод, что химический элемент может состоять из атомов различных атомных весов, а то, что принято называть атомным весом, может быть просто средним арифметическим числом. Содди считал, что идентичность химических свойств изотопов является более простым и убедительным доказательством того, что последовательность мест в системе определяется изменением заряда на единицу, чем то доказательство, которое дал Мозли.

Soddy F. The chemistry of the radioelements, v. II, London, 1914.

В апреле, выступая с лекциями в Вашингтоне, Э. Резерфорд впервые высказал предположение о возможности искусственного превращения элементов: «Возможно, что ядро атома может изменяться при непосредственном столкновении с очень быстрыми электронами или атомами гелия, испускаемыми радиоактивным веществом... При благоприятных условиях эти частицы должны подходить очень близко к ядру и могут привести к разрушению ядра или соединиться с ним».

См. Глессстон С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961.

Э. Марсден (в Англии) обнаружил, что α -частицы, испускаемые RaC, при прохождении через водород и водородсодержащие вещества, выбивают быстрые частицы с большой длиной пробега; эти частицы были отождествлены с ядрами водорода и наблюдались на фосфоресцирующем экране из сульфида цинка.

Marsden E. The passage of α -particles through hydrogen.— «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 27, p. 824—830.

Э. Резерфорд и Е. Андраде (в Англии) положили конец дискуссии о природе (волновой или корпускулярной) γ -лучей. Исследуя взаимодействие γ -лучей с веществом, ученые доказали, что γ -лучи являются электромагнитным излучением; они сходны с рентгеновскими, но отличаются от последних меньшей длиной волны. Резерфорду и Андраде удалось обнаружить дифракцию γ -лучей на кристалле. Наряду с этим Резерфорд и Андраде доказали идентичность рентгеновских спектров изотопов одного и того же элемента, исследуя спектр RaB. Длина волны L-излучения RaB оказалась такой, которая, согласно Мозли, наблюдалась у обычного свинца. Таким образом, идентичность порядковых номеров изотопов впервые получила чисто физическое подтверждение.

Rutherford E., da Andrade E. N. The spectrum of the penetrating γ -rays from radium B and radium C.— «Phil. Mag.», 1914, ser. 6, v. 28, p. 263—273.

В. Коссель (в Германии), основываясь на предположении, что электроны внешней зоны атома расположены на нескольких «оболочках», рассмотрел механизм возникновения характеристических рентгеновских спектров K-, L- и M-серий. Согласно Косселю, в основе этого механизма лежит процесс перескока электронов между оболочками, последовательно окружающими ядро. Например, возникновение K_{α} - и K_{β} -линий спектра объясняется процессом перехода, при котором электрон, недостающий в K-оболочке, замещается одним из электронов соответственно из L- и M-оболочек. Косселю удалось изобразить полный высокочастотный спектр элемента в виде схемы, в которой произведение любого из термов на постоянную Планка могло быть приравнено к энергии, необходимой для удаления электрона из атомной оболочки в область сплошного спек-

ра. Из работ Косселя следовало, что в основном состоянии все внутренние оболочки атома полностью заполнены.

K o s s e l W. «*Verh. Dtsch. phys. Ges.*», 1914, Bd 16, S. 899, 953.

1915

В. Гаркинс и Э. Вильсон (в США) провели всесторонний числовой анализ атомных весов элементов. Они заметили, что отклонения атомных весов от целых чисел (в предположении, что атомный вес водорода равен 1) для почти всех элементов начала периодической системы одинаковы по знаку и среднее процентное отклонение для большинства из них постоянно. В связи с этим было высказано следующее предложение: «Чтобы иметь термин для процентного уменьшения в весе, хорошо было бы назвать это явление эффектом упаковки, или процентным отклонением от общепринятого закона суммирования: масса атома равна сумме масс его частей».

Физической причиной эффекта упаковки (теперь — дефекта масс) ученые считали перекрывание электромагнитных полей в малом объеме ядра и пытались оценить этот эффект. Они отметили, что его можно легко определить из анализа атомных весов элементов. Ученые вывели формулу для приближенных значений атомных весов легких элементов:

$$W = 2n + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(-1)^{n-1},$$

где W — атомный вес; n — порядковый номер элемента. Отмечая, что для гелия и других атомов эффект упаковки одинаков, они сделали вывод: ядра гелия должны быть более прочными образованиями, чем ядра более сложных элементов. Этим, по их мнению, объясняется факт испускания при радиоактивном распаде именно α -частиц. В статье приводился предполагаемый состав ядер легких атомов из гелиевых групп и ядер водорода.

Важнейшими результатами этих статей являются: введение понятия эффекта упаковки и оценка этого эффекта из анализа атомных весов элементов; теоретическое обоснование закона «целых чисел», экспериментально подтвержденного работами Ф. Астона; наконец, в этих статьях содержится первое теоретическое обобщение труда большого

числа исследователей по определению атомных весов элементов.

Harkins W. D., Wilson E. The changes of mass and weight involved in the formation of complex atom — «J. Amer. Chem. Soc.», 1915, v. 37, p. 1367—1383; The structure of complex atoms. The hydrogen—helium system.— Ibid., p. 1383—1396.

Дж. Макленнан и Дж. Гендерсон (в Англии), развивая исследования И. Франка и Г. Герца (см. с. 93), изучили свечение возбужденных ускоренными электронами атомов Cd, Zn, Mg, Ce, Sr, Ba и других металлов. Ученые сделали вывод, что во всех случаях при строго определенном значении ускоряющего электрического напряжения («резонансном напряжении») всегда появляется одна линия («резонансная линия»), которая играет у этих атомов такую роль, как и линия $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ у ртути. При постепенном повышении напряжения и достижении им определенного значения наблюдается полный спектр атома. Значение этого предельного напряжения соответствует ионизации атома и получило название ионизационного потенциала.

McLennan J. C., Henderson J. P. Ionisation potentials of mercury, cadmium and zinc, and the single- and many-lined spectra of these elements.— «Proc. Roy. Soc.», 1915, ser. A, v. 91, p. 485—491.

Е. В. Бирон (в России) ввел представление о явлении вторичной периодичности. Принимая во внимание теорию Абегга о нормальных валентностях и контрвалентностях элементов (см. с. 51), Бирон показал, что некоторые свойства являются периодической функцией атомного веса элементов данной подгруппы. Подобную закономерность ученый назвал вторичной периодичностью и доказал ее проявление у элементов нулевой группы, щелочных металлов, металлов подгруппы цинка и неметаллов V, VI и VII групп. В связи с этим Бирон предложил, что вторичная периодичность является общим свойством элементов. Этой периодичности, по Бирону, подчиняются физические и химические свойства соединений, которые образованы из элементов, проявляющих контрвалентности.

Бирон Е. В. Явления вторичной периодичности.— «ЖРФХО», 1915, т. 47, ч. хим., с. 964—988.

Э. Марсден и У. Лантсберри (в Англии), продолжая свои исследования, начатые еще в 1914 г., высказали предположение, что «Н-частицы испускаются самими радиоактивными атомами». Они работали с эманацией радия и заметили длиннопробежные частицы, появление которых никак не могло быть объяснено в проведенных ими опытах влиянием примесей водорода.

Marsden E., Lantsberry W. C. The passage of α -particles through hydrogen. II. — «Phil. Mag.», 1915, ser. 6, v. 30, p. 240—243.

В декабре К. Фаянс (в Германии) обобщил исследования изотопии радиоэлементов в радиоактивных семействах. Он впервые «замкнул» радиоактивные вилки на D-продуктах и предсказал существование двух продуктов перед актинием в актиниевом семействе. «Свойства элементов являются периодической функцией ядерного заряда их атомов, причем ядерный заряд равен порядковому номеру элемента в периодической системе Менделеева», — писал Фаянс. Он также объяснил аномалии значений атомных весов (когда более тяжелый элемент предшествовал более легкому) повышенным содержанием в природе тяжелых изотопов соответствующих элементов (аргона, кобальта, теллура). Им впервые было показано, что должны наблюдаться незначительные различия в химических свойствах и спектрах у изотопов одного элемента, что обусловлено различием их масс.

Fajans K. Das periodische System der Elemente, die radioaktiven Umwandlungen und die Struktur der Atome. — «Phys. Z.», 1915, Bd 14, S. 456—486.

1916

В. Коссель (в Германии) предложил статическую электронную теорию строения атомов и молекул, которая основывалась на представлениях Абега и на некоторых положениях теории Бора. Согласно Косселю, электроны внешней зоны атомов распределяются по оболочкам. Все элементы, следующие в периодической системе после гелия, имеют внутреннюю группу электронов (названную Г. Льюисом атомным остатком), которая соответствует электронной структуре ближайшего предшествующего инертного газа. Начало каждого

периода системы элементов соответствует появлению новой оболочки в структуре атома. Каждая оболочка содержит определенное максимальное число электронов. Числа электронов в оболочках равны числам в математическом ряду Ридберга (см. с. 96).

Электроны, принимающие участие в обычных химических реакциях, находятся во внешней оболочке атома. Они могут быть перенесены с одного атома на другой, причем атом, теряющий электрон, становится положительным ионом, а приобретающий — отрицательным. Те элементы, которые располагаются в таблице непосредственно после инертного газа, легко теряют электроны, а размещающиеся непосредственно перед ним — легко их захватывают. Процесс ионизации, по мнению Косселя, заключается в превращении данного атома в структурный аналог ближайшего инертного газа.

Коссель четко сформулировал представление об особой устойчивости внешней оболочки, проявляющейся у атомов инертных газов, и стремлении соседних с ними атомов приобрести в ходе химических реакций подобную устойчивую структуру. Косселем заложена основа представлений об ионном типе связи атомов. Коссель дал схемы распределения электронов для элементов от H до Mn; далее, однако, возникло затруднение, поскольку восьмой элемент после аргона (Fe, $Z=26$) не является инертным газом, хотя система с 26 электронами, по Косселю, должна быть устойчивой.

K o s s e l W. Über Molekülbildung als Frage des Atombaus. — «Ann. Phys.», 1916, Bd 49, S. 229—362.

Г. Льюис (в США) предложил статическую теорию строения атомов и молекул, основанную на следующих положениях: 1) каждый атом включает в себя ядро, которое остается неизменным при всех химических процессах и обладает положительным зарядом, равным порядковому номеру элемента; 2) электронная оболочка в нейтральном атоме содержит столько электронов, сколько «чистых» положительных зарядов несет ядро (при химических процессах число электронов в оболочке может изменяться в пределах от 0 до 8); 3) для атома характерно стремление удерживать в оболочке четное число электронов (в особенности восемь); 4) две оболочки взаимно не-

проницаемы; 5) как правило, электроны в наружной оболочке могут легко меняться местами.

Согласно Льюису, электроны образуют вокруг ядра несколько концентрических оболочек. Те электроны, которые расположены во внешней оболочке, называются валентными, причем их не может быть больше восьми. Остальная часть атома представляет собой «зерно» (атомный остаток). В атомах инертных газов нет валентных оболочек, и каждый из таких атомов сам по себе является «зерном». Атомы стремятся к образованию электронной структуры инертного газа двумя путями: 1) теряя внешние валентные электроны или присоединяя электроны и образуя атомный остаток инертного газа следующего периода (ионная валентность); 2) образуя пары электронов, одновременно принадлежащие двум атомам (ковалентность). Второе положение является важнейшим вкладом Льюиса в развитие представлений о валентности.

Lewis G. The atom and the molecule. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1916, v. 38, p. 762—785.

Р. Свинне (в Германии) высказал предположение, что у инертных газов при переходе от каждого из них к следующему с бóльшим атомным номером число сохраняющихся неизменными электронных группировок возрастает на единицу. Он считал, что для такой завершенной группы электронов главное квантовое число увеличивается на единицу по мере присоединения новой законченной группы (это согласовывалось с данными рентгеновской спектроскопии). Для инертных газов после аргона Свинне принимал следующие группы электронов: Kr = 2 + 8 + 8 + 18; Xe = 2 + 8 + 8 + 18 + 18; Rn = 2 + 8 + 8 + 18 + 18 + 32.

Swinnе R. Zum Ursprung der γ -Strahlenspektren und Röntgenstrahlenserien. — «Phys. Z.», 1916, Bd 17, S. 481—488.

А. Зоммерфельд (в Германии) завершил цикл теоретических исследований, представляющих собой дальнейшее развитие первоначальной теории Бора. Зоммерфельд предложил идею о движении электрона по эллиптическим орбитам и заменил боровское квантовое условие устойчивости круговых орбит двумя условиями для эллиптических орбит; для этого было введено два квантовых числа —

радиальное n_r и азимутальное n_φ . Азимутальное квантовое число определяло (как и квантовое число n в модели Бора) момент количества движения электрона. Формула для энергии электрона была такой же, как и в боровской теории (см. с. 91), но число n , по Зоммерфельду, выражалось суммой $n = n_r + n_\varphi$. Эта сумма была названа главным квантовым числом. В зависимости от значений чисел n_r и n_φ при данном значении их суммы электроны могли двигаться по эллипсам различной вытянутости, имея, однако, одно и то же значение энергии.

Исследования Зоммерфельда явились важным шагом к разработке формальных моделей атомов (представлений о характере формирования электронных конфигураций с ростом Z). Он фактически ввел представление о двух квантовых числах: n (главном) и k (побочном, которое могло принимать значения от 1 до n). Расчеты Зоммерфельда показали, что одному и тому же стационарному состоянию атома водорода (характеризуемому значением n) могут соответствовать орбиты различной формы.

Sommerfeld A. Zur Quantentheorie der Spekt-rallinien.— «Ann. Phys», 1916, Bd 51, S. 1—94.

А. Зоммерфельд и П. Дебай (в Германии) показали, что для описания действия однородного слабого внешнего магнитного поля, кроме двух квантовых чисел (главного n и азимутального k) требуется третье квантовое число. Это число Зоммерфельд назвал внутренним квантовым числом и обозначил через j . Оно определяет пространственную ориентировку орбиты внешнего электрона относительно остова атома. Дебай и Зоммерфельд показали, что компоненты момента количества движения в направлении магнитного поля также квантуются. Тем самым в физику вошло важное понятие о пространственном квантовании, вскоре подтвержденное опытами Штерна и Герлаха (см. с. 118).

Sommerfeld A. Zur Theorie des Zeeman—Effekts der Wasserstofflinien, mit einem Anhang über den Stark—Effekt.— «Phys. Z.», 1916, Bd 17, S. 491—507.

Debye P. Quantenhypothese und Zeeman—Effect.— «Phys. Z.», 1916, Bd 17, S. 507—516.

Т. Ричардс и Ч. Уодсворт (в США) измерили атомные веса свинца из различных урансодержащих минералов и

доказали, что эти атомные веса всегда меньше атомного веса обычного свинца.

Richards T. W., Wadsworth Ch. Further study of the atomic weight of lead of radioactive origin.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1916, v. 38, p. 2613—2622.

1917

В. Гаркинс (в США) выдвинул идею ядерной периодичности, поставив цель «представить периодическую систему элементов, которая связывает их распространенность со структурой ядер их атомов. Эта система названа новой, чтобы отличить ее от обычной периодической системы Менделеева, к которой она не имеет отношения».

Все элементы, по Гаркинсу, распадаются на четные (состав ядер $n\text{He}$) и нечетные (состав ядер $n\text{He} + 3\text{H}$), причем четные элементы более распространены в природе, чем нечетные (правило Гаркинса). Отсюда он заключил, что в то время как в обычной периодической системе нет периодичности, меньшей чем в 8 элементов, в структуре ядер проявляется периодичность в 2 элемента. На основе обширного геохимического материала Гаркинс проанализировал распространенность элементов в метеоритах и земной коре и убедительно показал справедливость своей гипотезы о ядерной периодичности. Результаты работы он суммировал следующим образом: «Водородно-гелиевая система имеет фундаментальное отношение к структуре ядер атомов, и эта структура не влияет на устройство внешних электронов, поскольку последнее зависит только от заряда ядра... Однако структура ядра должна оказывать влияние на его устойчивость, что находит свое выражение в распространенности соответствующих элементов».

Harkins W. D. The evolution of the elements and the stability of complex atoms.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1917, v. 39, p. 856—879.

М. Зигбан и В. Стенстрём (в Германии) сравнили рентгеновские спектры обыкновенного свинца и радиоактивного изотопа RaC и обнаружили идентичность длин волн L -серий. Таким образом, было получено еще одно подтверждение идентичности порядковых номеров и расположения

периферийных электронов для изотопов одного и того же элемента.

Siegbahn M., Stenström W. Über die Röntgenspektren der isotopischen Elemente. — «Phys. Z.», 1917, Bd 18, S. 547—548.

Ф. Содди (в Англии) впервые высказал гипотезу о возможности существования «изотопов высшего порядка», в дальнейшем открытых среди радиоактивных изотопов О. Ганом (см. с. 119) и среди искусственных изотопов И. В. Курчатовым с сотрудниками (см. с. 163) и названных изомерами.

Soddy F. The complexity of the chemical elements. — «Nature», 1917, v. 99, p. 414—418, 433—438.

1918

Н. Бор (в Дании) выдвинул так называемый принцип соответствия: в области больших значений главного квантового числа n результаты квантовой и классической теорий совпадают, а при средних значениях n имеется соответствие между этими теориями.

Bohr N. On the quantum theory of line spectra. I. On the general theory. II. On the hydrogen spectrum. — «Kgl. danske vid. selskab. skr. Naturvid. og math. afd.», 1918, række 8, Bd IV, Nr. 1, S. 1—36, 37—100.

К. Фаянс (в Германии) объяснил большой разброс в значениях атомных весов свинца радиоактивного происхождения наличием в нем RaD — изотопа свинца с большим атомным весом.

Fajans K. Zur Kenntnis und Auffassung isotonen Bleiarten. — «Z. Elektrochem.», 1918, Bd 24, S. 163—169.

Л. Мейтнер (в Германии), обсуждая вопрос происхождения протактиния, предложила схему распада уранового ряда. По мнению ученой, актиниевое семейство образуется в результате радиоактивной вилки у U11.

Meitner L. Die Muttersubstanz des Aktinium, ein neues radioaktives Element von langer Lebensdauer. — «Z. Elektrochem.», 1918, Bd 24, S. 169—173.

А. Демпстер (в США) высказал идею, что если положительно заряженные частицы обладают одинаковой энергией, то для анализа их масс достаточно лишь одного магнитного поля. Эта идея была в дальнейшем использована при создании масс-спектрографа и соответствующего метода для анализа изотопного состава элементов.

Dempster A. J. A new method of positive ray analysis.— «Phys. Rev.», 1918, v. 11, p. 316—325.

О. Ган, Л. Мейтнер (в Германии) и независимо от них Ф. Содди и Дж. Крэнстон (в Англии) открыли протактиний (Pa). Название принадлежит немецким ученым. Английские ученые подтвердили предположение, что протактиний (экатантал) должен размещаться в периодической системе между торием и ураном. Для этого они при выделении протактиния использовали в качестве меченых атомов изотоп UX_2 , который с определенностью был размещен в периодической системе.

Hahn O. Meitner L. Die Muttersubstanz des Actiniums, ein neues radioactives Element von langer Lebensdauer.— «Phys. Z.», 1918, Bd 19, S. 208—218.

Soddy F., Granston J. The parent of actinium.— «Nature», 1918, v. 100, p. 498, 499.

А. Стюарт (в Англии) предложил модель структуры атома. По этой модели, в центре по круговым орбитам вращаются с большой скоростью электроны, дающие при распаде атома β -частицы. Следующую зону образуют тоже круговые орбиты положительных частиц (ядер водорода), причем из-за близкого расположения в первой зоне последние могут объединяться в радиоактивных атомах в ассоциации с электронами и образовывать наблюдаемые при распаде α -частицы. Эти две зоны, которые Стюарт называл ядром, составляют почти всю массу атома и имеют размер около 10^{-12} см.

Внешнюю оболочку атома составляют вытянутые эллиптические орбиты валентных электронов, легко отделяемых от ядра. Для инертных газов эти орбиты предполагались круговыми, чем объяснялась их химическая инертность. Стюарт пытался установить аналогию между химическими и ядерно-физическими свойствами (через эллиптические орбиты валентных электронов). В работе впервые введено понятие «изобары» для атомов с одина-

ковыми атомными весами, но разными порядковыми номерами и химическими свойствами.

Stewart A. Atomic structure from the physico-chemical standpoint.— «*Phil. Mag.*», 1918, ser. 6, v. 36, p. 326—336.

С. Мейер (в Австрии) вслед за Ф. Содди (см. с. 109), обсудил вопрос о возможности существования так называемых изотопов высшего порядка. По мнению Мейера, могут существовать ядра, которые при одинаковом заряде и одинаковом атомном весе характеризуются различным расположением структурных единиц и вследствие этого различной устойчивостью. Фактически эта идея представляет собой предвидение ядерной изомерии.

Meyer S. Zur Frage nach der Existenz von Isotopen mit gleichem Atomgewicht. Die Endprodukte der Thoriumzerfallsreihe.— «*Sitzungsber. Wien, Akad. Wiss.*», 1918, ser. 11a, Bd 127, S. 1283—1296.

1919

Э. Резерфорд (в Англии) начал публиковать серию работ, посвященных изучению столкновений α -частиц с атомами легких газов. Было замечено, что при облучении некоторых газов α -частицами появлялись частицы, по своим свойствам похожие на «положительные электроны» (протоны). Особенно сильный выход ядер водорода наблюдался при облучении азота. Резерфорд сделал вывод, что при столкновении быстрой α -частицы с ядром азота последнее распадается на два или несколько осколков-ядер с разными зарядами; одним из осколков является протон.

Таким образом, впервые наблюдалось искусственное превращение ядер, их расщепление.

Rutherford E. Collision of α -particles with light atoms. I. Hydrogen. II. Velocity of the hydrogen atom. III. Nitrogen and oxygen atoms. IV. An anomalous effect in nitrogen.— «*Phil Mag.*», 1919, ser. 6, v. 37, p. 537—587.

Ф. Астон (в Англии) разработал новый вариант «положительного лучевого спектрографа», свободного от недостатков метода парабол. Идея прибора состояла в том,

что пучки заряженных частиц (ионов) могут фокусироваться в электрическом и магнитном полях. Предварительные фотографии, полученные на новой установке, показали, что достижимая погрешность при сравнении масс равна приблизительно 0,1%.

Aston F. A positive ray spectrograph.— «*Phil. Mag.*», 1919, ser. 6, v. 38, p. 707—714.

И. Лэнгмюр (в США) предложил статическую теорию строения атома, которая во многом представляет развитие идей Льюиса. Исходным пунктом рассуждений Лэнгмюра явился математический ряд Ридберга, выражающий порядковые номера инертных газов:

$$N = 2(1^2 + 2^2 + 2^2 + 3^2 + 3^2 + 4^2 + \dots).$$

По мнению Лэнгмюра, множитель 2 указывает на существование симметрии второго порядка в структуре атомов инертных газов. Вокруг ядра располагается ряд сферических оболочек с радиусами, пропорциональными целым числам 1, 2, 3, 4, ..., в связи с чем площади оболочек пропорциональны квадратам этих чисел. Оболочки в каждом атоме расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Каждая сфера разделена на некоторое число «камер», пропорциональное площади оболочки. Все камеры данного атома имеют одинаковый объем. Отсюда вытекает максимальная «емкость» оболочек Лэнгмюра по мере их удаления от ядра, равная числу камер: 2, 8, 18, 32, ...

Каждая камера самой внутренней (ближайшей к ядру) оболочки содержит по одному электрону; всякая другая камера в атоме может содержать по два электрона. В наружной оболочке не может находиться ни один электрон, пока все внутренние не будут содержать максимального числа электронов. В наружной оболочке два электрона могут находиться в одной камере только в том случае, если во всех остальных имеется по крайней мере по одному электрону. Согласно Лэнгмюру, два электрона в одной камере не взаимодействуют друг с другом.

Таким образом, в воззрениях Лэнгмюра содержатся некоторые зародыши будущих представлений о распределении электронов по квантовым состояниям.

Langmuir I. The arrangement of electrons in atoms and molecules.— «*J. Amer. Chem. Soc.*», 1919, v. 41, p. 868.

1920

Г. Хевеши и В. Цехмайстер (в Австрии) впервые наблюдали явление изотопного обмена. Ученые растворяли в пиридине нитрат свинца, содержащий радиоактивный свинец и нормальный хлористый свинец. Оказалось, что в выкристаллизовывающемся хлористом свинце свинец наполовину так же активен, как активированный свинец в первоначальном нитрате.

Hevesy G., Zechmeister W. Über den Verlauf des Umwandlungsvorganges isomerer Ionen. — «Z. Elektrochem.», 1920, Bd 26, S. 151—153.

Ф. Астон (в Англии), работая на масс-спектрографе, окончательно доказал, что неон состоит из смеси двух изотопов — с атомными весами 20 и 22 (с погрешностью до 0,1%).

Aston F. The constitution of atmospheric neon. — «Phil. Mag.», 1920, ser. 6, v. 39, p. 449—455.

Р. Ладенбург (в Германии) обратил внимание на то, что в середине больших периодов системы расположены ряды элементов (Ti — Ni, Zr — Pd, Ta — Pt) с постоянной минимальной валентностью, равной +2, а также редкоземельные элементы с постоянной минимальной валентностью, равной +3 (кроме Sm и Eu). Все эти элементы имеют минимальные атомные объемы, образуют парамагнитные ионы и дают окрашенные растворы солей. Ладенбург сделал вывод, что в атомах этих элементов содержится постоянное число внешних, легко отделяющихся электронов. Остальные валентные электроны составляют промежуточную оболочку между внешними и внутренними электронами и ответственны за цвет солей и парамагнетизм ионов.

Ladenburg R. Atombau und periodisches System der Elemente. — «Z. Elektrochem.», 1920, Bd 26, S. 262—274.

Э. Резерфорд (в Англии) высказал предположение о существовании нейтрона и тяжелого изотопа водорода: «Очень вероятно, что один (ядерный) электрон может связывать два ядра водорода или, что также возможно, одно ядро водорода. В первом случае это влечет за собой воз-

возможность существования атома (который должен рассматриваться как изотоп водорода) с массой, почти равной 2, и с единичным зарядом. В другом же случае это приводит к мысли о возможности существования атома, масса которого 1 и ядерный заряд 0. Такой атом имел бы новые свойства. Его внешнее поле было бы практически везде нулевым, за исключением случая наибольшей близости от ядра; поэтому он мог бы свободно проходить через вещество. Он должен был бы свободно проходить в структуру атомов и мог бы или соединиться с ядром, или разрушаться его сильным полем, результатом чего возможен был бы вылет заряженного атома водорода, или электрона, или же их обоих.

Таким образом, Резерфорд правильно предсказал основные свойства нейтрона.

Rutherford E. Bakerian lecture: nuclear constitution of atoms.— «Proc. Roy. Soc.», 1920, ser. A, v. 97, p. 374—400.

Ф. Астон (в Англии) написал обобщенную работу о проведенных экспериментах на своем первом масс-спектрографе (см. с. 111). Он опубликовал найденные значения масс изотопов одиннадцати элементов (H, He, C, N, O, Ne, Cl, Ar, Kr, Xe, Hg) — всего около 30 изотопов, в том числе по два изотопа Ne и Cl, шесть изотопов Xe, и сформулировал «правило целых чисел»: «... все массы (за исключением H_1 , H_2 , H_3) — атомные и молекулярные — элементов или сложных соединений, которые были измерены, — суть целые числа в пределах точности опыта... С другой стороны, не нужно полагать, что правило целочисленности соблюдается с математической точностью... Электромагнитная теория утверждает, что масса в общем не аддитивна и... обычно масса ядра меньше, чем сумма масс составных частей». Астон полагал, что можно обнаружить этот эффект, повысив разрешающую способность масс-спектрографа. Другим важным выводом было то, что, например, атом гелия имеет массу меньшую, чем четыре атома водорода.

Астон предложил для обозначения изотопов снабжать символ химического элемента индексом, соответствующим массовому числу изотопа, например, ^{22}Ne , ^{23}Na и т. д.

Этой работой Астона было закреплено открытие изотопии среди нерадиоактивных элементов.

Aston F. The mass-spectra of chemical elements.— «Phil. Mag.», 1920, ser. 6, v. 39, p. 611—625.

Дж. Чэдвик (в Англии) осуществил проверку вывода Г. Мозли о том, что заряд точно равен порядковому номеру элемента. В качестве объектов исследования были выбраны медь, серебро и платина. Ученый нашел, что заряды ядер атомов этих элементов равны соответственно 29,3; 46,3; 77,4 единичных зарядов (с погрешностью 1—2%), а порядковые номера этих элементов — 29, 47 и 78. Кроме того, он показал, что закон кулоновского рассеяния для α -частиц выполняется для платины до расстояний 10^{-11} см, т. е. до K -оболочки электронов в атоме, и сделал вывод, что «электроны не присутствуют в области между ядром и K -оболочкой».

Chadwick J. The charge on the atomic nucleus and the law of force.— «Phil. Mag.», 1920, ser. 6, v. 40, p. 734—746.

В. Гаркинс (в США), продолжая развивать идеи своих предшественников работ, вывел формулы и привел таблицы состава ядер легких (до кобальта) и радиоактивных элементов. В качестве структурных единиц он брал электроны, ядра гелия и водорода и допускал справедливость принципа аддитивности для рассматриваемых областей периодической системы. Для середины периодической таблицы, где атомные веса в целом следуют случайному распределению относительно целых чисел, Гаркинс сделал вывод, что это объясняется существованием изотопов у этих элементов. Им правильно была отмечена аномалия в структуре ядер бериллия, азота и некоторых других атомов. В качестве возможных структурных единиц В. Гаркинс рассматривал также группу $\nu = \eta_3 \beta_2$ (η — ядро водорода, β — «ядерный» электрон), которую он связывал с гипотетическим небуллием или изотопом водорода с массой 3. Он рассматривал, как возможные, также группы $\eta_2 \beta$ и $\eta_2 \beta_2$, но только в смысле удобства записи формул состава ядер.

С современной точки зрения можно сказать, что Гаркинсом был описан в целом правильный состав ядер (их устойчивых изотопов).

Harkins W. D. The nuclei of atoms and the new periodic system.— «Phys. Rev.», 1920, v. 15, p. 73—94.

В. Гаркинс (в США) впервые предложил в терминах протонно-электронной модели «естественную» классификацию изотопов в зависимости от четного или нечетного числа «внутриядерных» электронов — отрицательных (собственно электронов, N) и положительных (протонов, P), распределив все изотопы по убывающей распространенности на Земле и в метеоритах: четно-четные, четно-нечетные, нечетно-нечетные, нечетно-четные (по N и P).

Эта классификация была модифицирована в дальнейшем для протонно-нейтронной модели ядра — по отношению к протонам и нейтронам.

Harkins W. D. Natural systems for the classification of isotopes, and the atomic weights of pure atomic species as related to nuclear stability. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1921, v. 43, p. 1039—1061.

В. Гаркинс (в США) вывел формулу для большинства атомных ядер $(p_2e)_M (pe)_n$, где $M = P - N$, P — число протонов, N — число «ядерных» электронов, p — протон, e — электрон. В этой же работе он ввел понятие изотопического числа n , которое нужно добавить к удвоенному порядковому номеру, чтобы получить численное значение атомного веса, или: «изотопическое число может быть определено как число нейтронов (pe), которое нужно добавить к атому того же самого порядкового номера, но с нулевым изотопическим числом, чтобы получить состав ядра. Поэтому формула любого ядра может быть такой $(p_2e)_M (pe)_n$ ». Гаркинс, в частности, отметил, что «отрицательные электроны в атомных ядрах, по-видимому, объединяются в пары» и что число изотопов четных элементов больше числа изотопов нечетных элементов, причем наблюдается периодичность в распространенности элементов по изотопическому числу n .

Harkins W. D. Isotopes: their number and classification. — «Nature», 1921, v. 107, p. 202, 203.

1921

Н. Бор (в Дании) выступил 18 октября в Копенгагенском физическом обществе с докладом «Строение атомов и физико-химические свойства элементов», где, основываясь на своих представлениях о строении ато-

мов, дал первый набросок теории периодической системы элементов, связав периодичность их химических и спектральных свойств с характером формирования электронных конфигураций по мере увеличения Z . Им было введено главное n и побочное k квантовые числа, причем было постулировано, что завершение главной группы (с данным n) происходит тогда, когда число электронов в ней становится равным $2n^2$.

Н. Бор также объяснил близость свойств редкоземельных элементов достройкой их внутренних оболочек.

Bohr N. Atomkernes bygning af stoffernes fysiske og kemiske egenskaber. — «Fys. Tidsskr.», 1921, Bd 19, S. 153—220; см. также Бор Н. Три статьи о спектрах и строении атомов. М.—Пг., ГИЗ, 1923, с. 76.

К. Бэри (в США) предложил статическую модель атома, основанную на следующих положениях: 1) последовательные электронные оболочки содержат соответственно максимум 2, 8, 18, 32 и т. д. электронов; 2) группы из 8 и 18 электронов в оболочках устойчивы даже тогда, когда оболочка может содержать и большее число электронов; 3) нормальное максимальное число электронов в наружной оболочке равно 8 (число электронов в данной оболочке может стать больше 8 только тогда, когда во вновь образующейся наружной оболочке накопится некоторое число электронов); 4) в ходе превращения во внутренней оболочке устойчивой группы из 8 электронов в группу из 18 электронов или группы из 18 в группу из 32 электронов возникают ряды переходных элементов, причем структура атомов последних непостоянна; например, атом титана с порядковым номером 22 может существовать в трех состояниях, отличающихся числами электронов в оболочках: (2, 8, 8, 4), (2, 8, 9, 3), (2, 8, 10, 2), что обуславливает способность титана отдавать четыре, три или два валентных электрона.

Вывод Бэри сводится к следующему: как только в какой-либо оболочке, независимо от ее емкости, окажется 8 электронов, должно начаться формирование новой наружной оболочки.

Bury C. R. Langmuir's theory of the arrangement of electrons in atoms and molecules. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1921, v. 43, p. 1602—1609.

Л. Мейтнер (в Германии) предположила, что ядра гелия, будучи главной структурной единицей атомных ядер, могут быть отчасти нейтрализованы парами «ядерных электронов». В таком случае, например, ядро урана с зарядом 92 должно иметь формулу $46\alpha + 13(\alpha' + 2\beta) + 2H + 2e$, где α — ядра гелия со свободным зарядом; α' — ядра гелия, нейтрализованные электронами 2β ; $2H$ — ядра водорода; $2e$ — электроны, нейтрализующие водородные ядра.

Наличие в ядре α -частиц со свободным зарядом и комплексов $\alpha' + 2\beta$, по мнению Мейтнер, позволяло объяснить закономерности α - и β -распадов в радиоактивных семействах. В частности, она заключила, что ряд актиния должен происходить от UII.

Meitner L. Über die verschiedenen Arten des radioaktiven Zerfalls und die Möglichkeit ihrer Deutung aus der Kernstruktur.— «Z. Phys.», 1921, Bd 4, S. 146—156.

М. Нейбургер (в Германии), основываясь на предложенной Л. Мейтнер модели ядра (см. выше), выдвинул классификацию изотопов радиоактивных элементов «на 3 или даже 4 класса», исходя из идентичности или различия их атомных весов, строения и отношения к распаду.

Эта работа является одной из первых попыток классификации изотопов.

Neuburger M. L. The isotopy of the radioelements.— «Nature», 1921, v. 108, p. 180.

О. Штерн и В. Герлах (в Германии) экспериментально доказали наличие пространственного квантования в магнитном поле. Изучая отклонение пучка атомов серебра в сильном неоднородном магнитном поле, ученые показали, что атом серебра в своем основном состоянии обладает магнитным моментом, по величине равным боровскому магнетону. Тем самым Штерн и Герлах продемонстрировали пространственное квантование атома в магнитном поле и выяснили атомистическую природу магнитного момента.

Gerlach W., Stern O. Der experimentelle Nachweis des magnetischen Moments des Silberatoms.— «Z. Phys.», 1921, Bd 8, S. 110—111.

О. Ган (в Германии) обнаружил, что UZ является изотопом UX_2 и имеет одинаковое с ним массовое число. Однако скорости радиоактивного распада UX_2 и UZ различны.

Таким образом, Ган впервые наблюдал явление ядерной изомерии (этот термин был введен Л. Мейтнер в 1936 г.) у изотопов естественных радиоактивных элементов (^{234}Pa).

H a h n O. Über eine neue radioaktive Substanz im Uran.— «Ber. Dtsch. chem. Ges.», 1921, Bd 54, S. 146, 1131—1142.

Ф. Астон (в Англии) провел анализ изотопного состава щелочных металлов, пользуясь методом «горячего анода» (в разрядную трубку масс-спектрографа вводили в качестве анода платиновую пластинку, нагреваемую электрическим током; на пластинку помещали расплавляемые соли щелочных металлов). Астону удалось обнаружить изотопы лития с массовым числом 7 и 6, а также найти массовые числа изотопов натрия, калия, рубидия и цезия.

A s t o n F. The mass spectra of the alkali metals.— «Phil. Mag.», 1921, ser. 6, v. 42, p. 436—441.

Дж. Глессон (в Англии) попытался синтезировать ядра «нулевого элемента» (нейтрона). Ученый предполагал, что во время сильного электрического разряда в атмосфере водорода образуются в большом количестве протоны и электроны, при столкновении которых могли возникать нейтроны. Однако наблюдать образование нейтронов ему не удалось.

G l a s s o n J. L. Attempts to detect the presence of neutrons in a discharge tube.— «Phil. Mag.», 1921, ser. 6, v. 42, p. 596—600.

Дж. Томсон (в Англии) предложил метод определения относительной распространенности изотопов данного элемента. Этот метод одновременно позволял измерять атомный вес элемента чисто физическим путем. Экспериментально проблема впервые была решена Демпстером.

T h o m s o n J. Rays of Positive Electricity, 1921, p. 120.

Э. Резерфорд и Дж. Чэдвик (в Англии) опубликовали результаты работы по изучению искусственного расщепления легких элементов. Ученые впервые получили надежное доказательство того, что под действием α -частиц не только азот, но также бор, фтор, натрий, алюминий и фосфор испускают частицы, длина пробега которых в воздухе составляет от 40 до 90 см. По мнению ученых, во всех случаях эти частицы представляют собой «Н-атомы с различной максимальной скоростью, зависящей от природы элемента и скорости α -частиц».

Rutherford E., Chadwick J. The artificial disintegration of light elements.— «Phil. Mag.», 1921, ser. 6, v. 42, p. 809—825.

Ж. Перрен (во Франции) впервые высказал идею, что при бомбардировке α -частицами различных элементов возможен захват α -частицы ядром.

Perrin J. Rapport et discussion du conseil de physique tenu à Bruxelles 1—6 avril. 1921, p. 1923.

1922 Н. Бор (в Швеции) 11 декабря прочитал Нобелевскую лекцию «Строение атома», в которой подвел итог развитию представлений о строении атома и структуре периодической системы элементов.

Bohr N. The structure of the atom.— «Nature», 1923, v. 112 p. 29—44.

Ф. Панет (в Германии) опубликовал работу «Периодическая система химических элементов». Основываясь на теории Бора, Панет предположил, что элемент 72 должен находиться в одной подгруппе с цирконием и «его следует искать в циркониевых минералах».

Panet F. Das periodische System der chemischen Elemente.— «Naturwiss.», 1922, Bd 10, S. 3.

Был исследован [главным образом Ф. Астоном (в Англии)] изотопный состав олова, ксенона, железа, алюминия и сурьмы.

См. Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

Э. Резерфорд и Дж. Чэдвик (в Англии), продолжая совместные исследования (см. с. 120), опубликовали работу «Расщепление элементов α -частицами». Ученые изучили взаимодействие α -частиц со всеми легкими элементами до калия включительно (кроме гелия, неона и аргона). Ученые пришли к выводу, что «активными» (т. е. испускающими ядра водорода) являются имеющие нечетные порядковые номера В, N, F, Na, Al и P, причем «H-ядра, освобождаемые из активных элементов, вероятно, являются спутниками, обращающимися вокруг главной массы ядра».

Rutherford E., Chadwick J. The disintegration of elements by α -particles.— «Phil. Mag.», 1922 ser. 6, v. 44, p. 417—432.

Ч. Эллис (в Англии) предложил объяснение непрерывности энергетического спектра β -излучений, обнаруженной ранее Дж. Чэдвиком. По Эллису, основная часть электронов, испускаемых радиоактивными элементами и обладающих непрерывным распределением по энергиям, состоит из тех β -частиц, которые образуются непосредственно при радиоактивном распаде. Таким образом, Эллис считал, что за непрерывность β -спектра «ответственны» первичные электроны.

Ellis Ch. β -ray spectra and their meaning.— «Proc. Roy. Soc.», 1922, ser. A, v. 101, p. 1—17.

Л. Мейтнер (в Германии) высказала мнение, что непрерывность энергетического спектра β -излучений является следствием вторичных процессов, в которых участвуют первичные электроны, испускаемые радиоактивным ядром.

Meitner L. Über die Entstehung der β -Strahlspektren radioactiver Substanzen.— «Z. Phys.», 1922, Bd 9, S. 131—144.

Л. де Бройль (во Франции) поставил вопрос о целесообразности согласования корпускулярных и волновых свойств излучений в рамках единой теории. Он предложил, в частности, что «атомы света» (кванты) должны обладать ничтожно малой, но конечной массой, равной 10^{-50} г.

De Broglie L. Rayonnement noir et quanta de lumière.— «J. Phys.», 1922, v. 3, p. 422—428.

1923

Д. Костер и Г. Хевеши (в Дании) методом рентгеноспектрального анализа нашли в норвежской цирконовой руде новый элемент, имеющий порядковый номер 72. Элемент получил название гафний (Hf). Его свойства оказались сходными со свойствами циркония и существенно отличались от свойств редкоземельных элементов.

Этот результат явился важным аргументом в пользу формальной теории периодической системы элементов и, в частности, поддержкой боровской теории строения атомов.

Coster D., Hevesy G. Über das Element der Atomzahl 72. — «Naturwiss.», 1923, Bd 11, H. 8, S. 133.

А. Ланде (в Германии), изучая влияние сильного магнитного поля на стационарные орбиты электронов, пришел к выводу, что трех квантовых чисел (n , k и j) недостаточно для характеристики электронных орбит, и ввел четвертое так называемое магнитное квантовое число m . Предложенная им схема распределения электронов по оболочкам уже намечала вероятные емкости электронных оболочек и подоболочек.

Landé A. Warum hat das System der chemischen Elemente die Periodenlängen 2, 8, 8, 18, 18, 32? — «Naturwiss.», 1923, Bd 12, S. 604—606.

А. Зоммерфельд (в Германии) предпринял попытку решить проблему строения атома гелия на основе квантовой теории.

Sommerfeld A. The model of the neutral helium atom. — «J. Amer. Opt. Soc.», 1923, v. 7, p. 509.

В. Паули (в Германии) опубликовал работу «Закономерности аномального эффекта Зеемана», сыгравшую решающую роль в установлении принципа запрета (принципа Паули).

Pauli W. Über die Gesetzmässigkeiten des anomalen Zeemaneffektes. — «Z. Phys.», 1923, Bd 16, S. 155—164.

С. А. Щукарев (в СССР) выдвинул идеи, касающиеся статистики изотопов и их связи с периодической системой. Согласно Щукареву, систему элементов следует рассмат-

ривать как результат сложения четырех систем, отвечающих семействам элементов, характеризуемым атомными массами вида $4n$, $4n + 1$, $4n + 2$ и $4n - 1$. Члены каждой из таких систем связаны друг с другом, как α - и β -излучатели в радиоактивных рядах, законом сдвига и описываются моделью строения атомного ядра, предложенной Л. Мейтнер. Из выводов, к которым пришел Щукарев, нужно отметить следующие: 1) в отношении устойчивости изотопов каждой цепочки распада $\alpha - \beta - \beta$ первый и третий нечетные изобары не обнаруживаются масс-спектрографом, в то время как второй изобар можно наблюдать; первый и третий четные изобары можно наблюдать, второй — не наблюдается (таким образом, здесь содержатся основные положения правила нестабильности изобаров, сформулированного И. Маттаухом в 1934 г. — см. с. 158); 2) значения логарифмов распространенности нечетных элементов уменьшаются с возрастанием порядкового номера приблизительно в полтора раза быстрее, чем значения логарифмов распространенности четных элементов.

С. А. Щукарев в этих работах подчеркнул, что «периодичность есть свойство, заложенное в самом ядре атома»; устойчивость атомных ядер и сложность изотопных плеяд представляют периодическую функцию порядкового номера.

Щукарев С. А. Система химических элементов и учение об изотопах. — «ЖРФХО», 1924, т. 55, ч. хим., вып. 1—9, с. 447—476; Периодическая система химических элементов с точки зрения учения об изотопах. — В кн.: Новые идеи в химии, вып. 9, М.—Л., 1924.

Различными учеными [главным образом Ф. Астоном (в Англии)] был проведен изотопный анализ германия, меди, скандия, титана, ванадия, хрома, марганца, кобальта, галлия, стронция, иттрия и серебра.

См.: Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

А. Комптон (в США) заметил явление, позднее получившее название эффекта Комптона: если рентгеновские лучи падают на вещества с малым атомным весом (например, на углерод), то рассеянное на электронах излучение содержит лучи с большей длиной волны, чем падающие. Обнару-

женное явление стало важным аргументом в пользу фотонной (корпускулярной) природы излучения.

Compton A. Absorption measurements of the change of wave-length accompanying the scattering of X-rays.— «Phil. Mag.», 1923, ser. 6, v. 46, p. 897—911.

Л. де Бройль (во Франции) выдвинул идею, ставшую одним из важнейших принципов волновой механики. «Новая динамика свободной материальной точки, — писал он, — есть по отношению к прежней динамике то же самое, что и волновая оптика по отношению к геометрической».

De Broglie L. Quanta de lumière, diffraction et interférences.— «Compt. rend.», 1923, v. 177, p. 548—550.

Л. де Бройль (во Франции) предсказал возможность явления дифракции электронов: «Путь светового атома не является прямым, когда атом пересекает узкое отверстие, — это есть явление дифракции. Тогда необходимо отказаться от принципа инерции, и мы должны допустить, что любое движущееся тело будет тогда изгибаться при прохождении через достаточно малое отверстие. Динамика должна испытать ту же самую эволюцию, которой подвергалась оптика, когда волновое движение заняло место чисто геометрической оптики».

De Broglie L. Waves and quanta.— «Nature», 1923, v. 112, p. 540.

А. Рассел (в Англии) выдвинул гипотезу о существовании четвертого радиоактивного семейства, или $(4n + 1)$ -семейства, и пытался прогнозировать его вероятную структуру. По Расселу, родоначальником семейства мог являться изотоп ^{237}U , а конечным продуктом ^{209}Bi .

Russel A. Radio-active disintegration series and the relation of actinium to uranium.— «Phil. Mag.», 1923, ser. 6, v. 46, p. 642—656.

1924 В. Виддовсон и А. Рассел (в Англии) высказали новое предположение о структуре четвертого, или $(4n + 1)$ -семейства радиоэлементов. Они полагали, что цепочка последовательных радиоактивных превраще-

ний должна проходить через изотопы еще не открытых элементов 85 и 87 (в отличие от известных радиоактивных семейств). Ученые провели эксперименты по обнаружению изотопов $(4n + 1)$ -семейства, но успеха не добились.

Widdowson W., Russel A. Radio-active disintegration series.— «Phil. Mag.», 1924, ser. 6, v. 48, p. 293—310.

Э. Стонер (в Англии), занимаясь проблемой построения электронных подоболочек в атомах, предположил, что состояние электрона в атоме характеризуется тремя квантовыми числами — главным (n), азимутальным (k) и внутренним (j). Согласно Стонеру, максимальное число электронов в подгруппе (подоболочке) равно $2j$ [в соответствии с современными обозначениями квантовых чисел — $2(2l + 1)$]. Физический смысл этого утверждения сводился к тому, что число возможных состояний электронов в данной подгруппе также равно $2j$, причем различные орбиты электронов отличаются своей ориентацией относительно атома как целого. Основная идея Стонера состояла в том, что построение каждой подоболочки идет до тех пор, пока подоболочка не заполнится целиком. Стонер, таким образом, правильно определил емкость подболочек в порядке увеличения азимутального квантового числа k (в современных обозначениях $l = k - 1$): 2, 6, 10, 14. По сравнению с теорией Бора это было шагом вперед, поскольку Бор неправильно полагал (см. с. 117), что каждая оболочка (группа электронов) состоит из подболочек (подгрупп), содержащих одинаковое число электронов. Наряду с этим Стонер сделал следующий важный вывод: при заданном значении главного квантового числа число энергетических уровней отдельного электрона в спектрах щелочных металлов во внешнем магнитном поле равно числу электронов в замкнутой оболочке инертного газа, соответствующей этому значению главного квантового числа. Этот вывод позволил в дальнейшем В. Паули сформулировать принцип запрета.

Stoner E. The distribution of electrons among atomic levels.— «Phil. Mag.», 1924, ser. 6, v. 48, p. 719—736.

Дж. Мэйн Смит (в Англии) предложил схему распределения электронов по подболочкам (подгруппам), почти аналогичную стонеровской.

Main Smith J. Chemistry and atomic structure. London, 1924.

А. Зоммерфельд (в Германии) выпустил в свет четвертое издание своей книги «Строение атома и спектры», в которой была помещена специальная глава, посвященная теории периодической системы. Изложив основы этой теории, базирующейся на боровской атомной модели, Зоммерфельд отметил, однако, что теория носит во многом качественный характер: «На основании многочисленных спектральных данных мы с еще большей уверенностью можем полагаться на качественную справедливость этой теории периодической системы, хотя точный расчет и заставит себя ждать, вероятно, еще очень долго».

Sommerfeld A. Atombau and Spektrallinien. Braunschweig, 1924; Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. М.—Л., ГИЗ, 1926.

В. Паули (в Германии) для объяснения мультиплетности в сверхтонкой структуре атомов выдвинул гипотезу о существовании магнитных моментов ядер, т. е. расщепление спектральных линий многих тяжелых атомов является результатом магнитного взаимодействия орбитальных электронов атома с магнитным моментом ядра.

Pauli W. Zur Frage der theoretischen Deutung der satelliten einiger Spektrallinien und ihrer Beeinflussung durch magnetische Felder.— «Naturwiss.», 1924, Bd 12, S. 741—743.

В. Паули (в Германии), пытаясь объяснить дублетную структуру спектров щелочных элементов, высказал предположение, что она возникает вследствие характерной двузначности квантовых свойств электрона, которую нельзя объяснить «классически». То, что Паули именовал «двузначностью электрона», позднее нашло воплощение в понятии спина.

Pauli W. Über den Einfluß der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Elektronenmasse auf den Zeemaneffekt.— «Z. Phys.», 1924, Bd 31, S. 373—400.

В. Гольдшмидт (в Германии) высказал предположение, что элементы с $Z = 94 \div 96$ должны быть высшими гомологами элементов платиновой группы. Он предложил для этих элементов название «группа нептуния» и считал,

что с помощью современных методов исследования элементы с $Z = 94$ и $Z = 96$ можно отыскать в платиновых рудах или иридийном осмии, предполагая, что эти элементы достаточно долгоживущие. Далее, по Гольдшмидту, обрыв периодической системы на уране лишь кажущийся, поскольку уран является последним из известных литофильных элементов, а последующие (вплоть до гипотетического $Z = 119$) должны быть сидерофильны.

Goldschmidt V. M. Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. Beziehungen zwischen den geochemischen Verteilungsgesetzen und dem Bau der Atome, 1924, Bd 2, S. 23, 28.

Был исследован [главным образом Ф. Астоном (в Англии)] изотопный состав бария, лантана, празеодима, неодима, циркония, церия, кадмия, теллура и висмута.

См. Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М.—Л., Изд-во иностр. лит., 1948.

Э. Резерфорд (в США) на заседании Франклиновского института в Филадельфии выступил с докладом «Естественное и искусственное разложение элементов», в котором дал обзор предшествующих работ по расщеплению ядер α -частицами, проведенных главным образом им и Дж. Чэдвиком.

Из доклада, в частности, вытекало два важных вывода: 1) различие в способности к расщеплению у ядер с нечетными и четными порядковыми номерами; 2) недостаточность энергии α -частиц используемых радиоактивных препаратов для расщепления средних и тяжелых элементов периодической системы. Э. Резерфорд развил также гипотезу о нейтроне, высказанную им в 1920 г. (см. с. 113). Так, он предположил существование «особых ядерных сил», действующих лишь на малых расстояниях.

Резерфорд высказал также весьма интересные соображения о происхождении и эволюции элементов.

Rutherford E. Natural and artificial disintegration of the elements. — «J. Frankl. Inst.», 1924, v. 198, p. 725—744.

Л. де Бройль (во Франции) в своей диссертации развил положение о том, что дуализм волновых и корпускулярных

свойств излучения должен иметь место и у материальных частиц, в том числе и у электронов. Используя уравнение квантовой теории Планка и соотношение Эйнштейна, устанавливающее связь между массой и энергией, де Бройль показал, что частица с массой m , движущаяся со скоростью v , связана с длиной волны λ следующим образом: $\lambda = \frac{h}{mv}$, где h — постоянная Планка. Таким образом, в физику был введен принцип двойственности: для материи признавалась двойственная — корпускулярная и волновая — природа.

De Broglie L. Sur le parallelisme entre la dynamique du point material et l'optique geometrique.— «J. Phys.», 1926, v. 7, p. 1—6; Les principes de la nouvelle mecanique ondulatoire.— Ibid., p. 321—337.

С. Бозе (в Германии) опубликовал работу, посвященную разработанной им новой, квантовой статистике, которой подчиняются световые кванты. Эта статистика описывала поведение фотонов (фотонного газа) в пустоте и распределение их энергии.

Bose S. Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese.— «Z. Phys.», 1924, Bd 26, S. 178—192.

А. Эйнштейн (в Германии) применил квантовую статистику, разработанную Бозе, для описания молекул идеального газа. Согласно этой статистике, число частиц с целочисленным спином в каждом квантовом состоянии, характеризуемом определенным набором квантовых чисел для каждой частицы, может быть любым.

Einstein A. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases.— «Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss.», 1924, S. 261—267; 1925, S. 3—14.

1925

В. Ноддак, И. Такке (Ноддак) и О. Берг (в Германии) опубликовали результаты поисков в минералах ранее неизвестных аналогов марганца (т. е. элементов с порядковыми номерами 43 и 75). При исследовании они применили менделеевский метод предсказания свойств неизвестных элементов. Ноддак, Такке и Берг оценили значения распространенности элементов 43 и 75 (равные, по их

расчетам, 10^{-12} — 10^{-13} вес. %), а также наметили минералы, в которых следует вести поиски (в основном, платиновые руды, колумбиты и танталиты). В результате анализа рентгеновских спектров обогащенных препаратов в колумбитовом концентрате было обнаружено 0,5% элемента 43 и 5% элемента 75. Первый получил название «мазурий» с символом Ma, второй — «рений» с символом Re. Открытие рения явилось достоверным, тогда как открытие мазурия оказалось ошибочным.

Noddack W., Tacke I., Berg O. Zwei neue Elemente der Mangangruppe. — «Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.—math. Kl.», 1925, No. 19, S. 400—409. Noddack W., Tacke I. Die Ekamangane. Chemischer Teil. — «Naturwiss.», 1925, Bd 13, S. 567—571. Berg O., Tacke I. Röntgenspektroskopischer Teil. — Ibid., S. 571—574.

П. Блэккетт (в Англии), изучая фотографии столкновений α -частиц с ядрами азота в камере Вильсона, окончательно доказал, что α -частица присоединяется к ядру и вызывает его превращение, в результате которого образуется протон и изотоп кислорода ^{17}O .

Blackett P. M. S. The ejection of protons from nitrogen nuclei, photographed by the Wilson method. — «Proc. Roy. Soc.», 1925, ser. A., v. 107, p. 349—360.

В. Гольдшмидт (в Германии) ввел термин лантаниды для обозначения 14 элементов, следующих за лантаном, и выдвинул представление о лантанидном сжатии. Изучение молекулярных объемов полуторных окислов лантанидов (Me_2O_3) показало, что эти величины закономерно и медленно уменьшаются с увеличением Z . Причина этого, по Гольдшмидту, заключалась в монотонном уменьшении атомных и ионных радиусов лантанидов.

Goldschmidt W. Geochimische Verteilungsgesetze der Elemente. Beziehungen zwischen den geochimischen Verteilungsgesetzen und den Bau der Atome, 1925, Bd 5, S. 10—53.

В. Паули (в Германии) сформулировал принцип запрета (принцип Паули), что явилось своеобразным завершением создания формальной теории периодической системы. Па-

ули изложил свой принцип следующим образом: «В атоме не может существовать двух или больше эквивалентных электронов, для которых значения всех квантовых чисел — n, k_1, k_2, m_1 — в магнитном поле одинаковы. Если в атоме находится электрон, для которого эти числа имеют определенное значение, то это состояние занято». Квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме, которыми оперировал Паули, связаны с современными квантовыми числами l, m_l и m_s следующими соотношениями: $k_1 = l + 1$, $k_2 = m_l + 1/2$, и $m_1 = m_s$.

Принцип Паули позволил однозначно определить число электронов в замкнутых оболочках и подоболочках. Формулу Стонера (см. с. 125) для числа электронов в подоболочках $2(2l + 1)$ Паули объяснил, исходя из предположения, что каждое состояние, характеризуемое четырьмя квантовыми числами, занято лишь одним электроном. Так, состояния с $l = 0, m_l = 0$ и m_s могут занимать два электрона с противоположными спинами; при $l > 0, m_l = 2l + 1$, и следовательно, общее число электронов составляет $2(2l + 1)$. Далее, согласно Паули, число электронов в замкнутых оболочках равно $\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2n^2$.

Следует подчеркнуть, что в рассматриваемой работе Паули еще не пользовался понятием спина электрона и не высказал предположения, что электрон обладает внутренним моментом $m_s = \pm 1/2$, хотя и близко подошел к этому выводу.

Pauli W. Über den Zusammenhang des Abschlusses der Electronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren. — «Z. Phys.», 1925, Bd 31, S. 765—783.

В. Эльзассер (в Германии) предложил проверить волновую природу электрона путем использования кристаллов в качестве дифракционной решетки.

E l s a s s e r W. Bemerkungen zur Quantenmechanik freier Elektronen. — «Naturwiss.», 1925, Bd 13, S. 711.

Г. Уленбек и С. Гоудсмит (в Голландии) четко сформулировали гипотезу о спине электрона, содержащую три положения: 1) электрон вращается; 2) электрон обладает механическим моментом с составляющей по заданному направлению $m_s = \pm 1/2$; 3) электрон обладает магнитным мо-

ментом, равным $2m_s$. Таким образом, было введено квантовое число m_s , соответствующее спину (моменту количества движения собственного вращения) электрона и имеющее значение $+1/2$ или $-1/2$ (в зависимости от направления вращения).

Гипотеза о спине возникла как результат изучения так называемого аномального эффекта Зеемана — более сложного, чем предсказываемое классической теорией и теорией Бора, расщепления спектральных линий в магнитном поле (например, дублетная структура линий в спектрах атомов щелочных металлов).

Uhlenbeck G., Goudsmit S. Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons.— «Naturwiss.», 1925, Bd 13, S. 953—954; «Nature», 1926, v. 117, p. 264, 265.

Г. Рассел и А. Саундерс (США) пришли к выводу, что орбитальные моменты количества движения всех электронов в атоме прочно связаны друг с другом и при векторном сложении дают результирующий момент, выражающийся квантовым числом L . Аналогичным образом связаны спины, что приводит к результирующему квантовому числу S . Возможные значения L определяются способами векторного сложения значений l отдельных электронов при ограничении, налагаемом квантовой теорией: L равно 0 или целому числу. Для многоэлектронных атомов определение возможных значений L упрощается тем, что результирующий орбитальный момент заполненных подоболочек (S^2 , P^6 , D^{10} и т. д.) равен 0. Квантовое число S получается алгебраическим сложением m_s электронов; при четном числе электронов S равно 0 или целому числу (в зависимости от направления спинов), а при нечетном — полуцелому числу. Сформулированные выше правила получили название связь Рассела — Саундерса (или LS -связь). При сложении L и S получается квантовое число J , соответствующее полному моменту количества движения атома.

Russell H., Saunders A. New regularities in the spectra of the alkaline earths.— «Astrophys. J.», 1925, v. 61, p. 38—69.

П. Блэккетт (в Англии) впервые получил экспериментальные доказательства механизма расщепления ядер α -час-

тицами. Для этого он (совместно с Дж. Чэдвиком) усовершенствовал метод фотографирования треков α -частиц в камере Вильсона (камеру заполняли азотом, поскольку вероятность расщепления для этого элемента считалась наибольшей). Блэккетт получил более 20 000 фотографий, на которых было зарегистрировано более 400 000 треков α -частиц, причем 8 треков имели форму вилки и изображали процесс столкновения α -частицы с ядром азота с последующим расщеплением этого ядра. Из двух зубцов вилки один принадлежал треку протона, а другой — треку ядра отдачи. Согласно Блэккетту, если бы процесс расщепления сводился лишь к испусканию ядром протона, то наблюдались бы четыре трека (т. е. кроме треков протона и ядра отдачи были бы видны треки α -частицы до и после столкновения). Поскольку треков было три, то напрашивался вывод: α -частица входит в ядро азота, и образующееся промежуточное ядро испускает протон. Таким образом, результаты Блэккетта приводили к выводу, что при бомбардировке азота α -частицами происходит не разрушение ядра, а его превращение.

Blackett P. The ejection of protons from nitrogen nuclei, photographed by the Wilson method.— «Proc. Roy. Soc.», 1925, ser. A, v. 107, p. 349—360.

Л. Мейтнер (в Германии) экспериментально доказала, что ядром, возникающим после испускания α - или β -частицы, испускается γ -излучение.

Meitner L. Die γ -Strahlung der Actiniumreihe und der Nachweis, daß die γ -Strahlen erst nach erfolgtem Atomzerfall emittiert werden.— «Z. Phys.», 1925, Bd 34, S. 807—818.

А. Эйнштейн (в Германии) независимо от Л. де Бройля (см. с. 124) предсказал явление дифракции электронов: «По-видимому, пучок газовых молекул, проходящий через некоторое отверстие, должен отклониться, подобно световому лучу». Эйнштейн отмечал также, что подобное явление может наблюдаться, когда длина волны сравнима с размерами отверстия.

Einstein A. Einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität.— «Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., phys. math. Kl.», 1925, № 3, S. 414—419.

1926

Р. Свинне (в Германии) опубликовал обобщающую работу, в которой, в частности, рассмотрел вопрос о верхней границе периодической системы. По Свинне, обрыв системы на уране можно объяснить тремя причинами: 1) неустойчивостью соответствующих ядер; 2) неустойчивостью соответствующих атомов (вследствие взаимодействия ядра с ближайшим электроном и «падением» последнего на ядро); 3) геохимическими особенностями элементов тяжелее урана — «трансуранов» (в связи с особенностями электронных структур атомов и химических свойств трансураны отсутствуют в доступных породах). Обсуждая первую причину, Свинне высказал идею, что если экстраполировать сформулированное им в 1914 г. правило (см. с. 98) на элементы с $Z > 92$, то можно сделать следующие выводы: 1) элементы, непосредственно следующие за ураном, должны быть короткоживущими; 2) в интервалах $Z = 98 \div 102$ и $Z = 108 \div 110$ должны встречаться долгоживущие изотопы, а в промежутках — только короткоживущие. (Этот вывод Свинне весьма интересен с точки зрения современных представлений о существовании «островков относительной стабильности» в области элементов с очень большими Z — см. с. 211.) Свинне экспериментально исследовал рентгенографически и на радиоактивность образцы так называемой полярной пыли, собранной Э. Норденшельдом на ледниках Гренландии в 1878 г.: «Исследование дало указание на присутствие веществ, ... обладающих слабой радиоактивностью, которая давала возможность заключить о наличии по крайней мере трех элементов. Рентгенографическое исследование дало недостоверное указание на присутствие элемента с $Z = 108$. Это заключение... с точки зрения теоретических предпосылок, ни в коем случае не представляется невозможным».

С в и н н е Р. Периодическая система химических элементов в свете теории строения атома. — «УФН», 1926, т. 6, с. 330—374.

К. Фаянс (в Германии) на примере α -излучателей висмута указал на отклонение от своего правила (см. с. 90), связывающего периоды полураспада, тип распада и массы радиоактивных изотопов данного элемента.

F a j a n s K. Über die Beziehung zwischen Atomgewicht, Lebensdauer und Umwandlungsart von Isotopen. — «Naturwiss.», 1926, Bd 14, S. 963—965.

И. Сугиура и Г. Юри (в США) путем теоретических расчетов распределения электронов на основе анализа рентгеновских термов пришли к выводу, что «уровни, соответствующие $5f$ -электронам, должны появиться не раньше, чем у элемента с атомным номером 95».

Sugiura Y., Urey H. On the quantum theory explanation of the anomalies in the 6th and 7th periods of the periodic table.— «Kgl. Danske Vid. Selsk.», 1926, v. VII, No. 13, p. 1—18.

Дж. Мак Леннан, А. Маклей и Г. Смит (в Англии) предположили, что первый $5f$ -электрон появляется у тория. Обсуждая структуру конца периодической системы, ученые допускали две возможности: Th, Pa и U являются аналогами соответственно Hf, Ta и W или Ce, Pr и Nd. Какая из этих возможностей соответствует действительности, должно было решить тщательное изучение дуговых спектров урана и тория.

McLennan J. C., McLay A. B., Smith H. G. Atomic states and spectral terms.— «Proc. Roy. Soc.», 1926, ser. A, v. 112, p. 76—94.

Э. Шредингер (в Австрии) вывел так называемое волновое уравнение, лежащее в основе квантовой механики и теории строения атома. Например, волновое уравнение, описывающее поведение электрона в атоме водорода, изображается следующим образом:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \psi = 0,$$

где ψ — волновая функция; m — масса электрона; h — постоянная Планка; E — полная энергия электрона; e — заряд электрона; r — расстояние от электрона до ядра. При решении уравнения Шредингера появляются целочисленные параметры n , l и m_l — соответственно главное, орбитальное и магнитное квантовые числа. Однако если в теории атома Бора — Зоммерфельда они носили в известной степени формальный характер, то в квантовой механике они оказываются следствием строгой физической теории.

Уравнение Шредингера не учитывало спин электрона и допускало точное решение только для атома водорода и водородоподобных ионов.

Для атомов с несколькими электронами требовалась разработка специальных приближенных методов.

Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem. — «Ann. Phys.», 1926, Bd 79, S. 361—376, 489—527, 734—756; Bd 80, S. 437—490; Bd 81, S. 109—139.

Э. Ферми (в Италии) и П. Дирак (в Англии) разработали квантовую статистику, описывающую поведение частиц с полужелым спином (статистика Ферми — Дирака).

Согласно этой статистике, в каждом квантовом состоянии, характеризуемом определенным набором квантовых чисел для каждой частицы, может находиться только одна частица.

Fermi E. Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico. — «Rend. Lincei», 1926, v. 3, p. 145—149;

Dirac P. Zur Quantelung des idealen einatomigen Gases. — «Z. Phys.» 1926, Bd 36, S. 902—912.

Л. Томас (в Англии) опубликовал работу, в которой были заложены основы построения статистической модели атома (так называемый статистический метод приближенного решения волнового уравнения для многоэлектронных атомов).

Thomas L. Calculation of atomic fields. — «Proc. Camb. Phil. Soc.», 1926, v. 23, p. 542—548.

Г. Петтерссон и Г. Кирш (в Австрии) опубликовали работу «Расщепление атома», в которой был дан всесторонний анализ проблемы искусственного превращения элементов. В частности, они пришли к четкому выводу: результатом бомбардировки ядер азота α -частицами является «не перестройка его в изотоп углерода с массой 13, а создание изотопа кислорода с массой 17 после захвата α -частицы ($^{14}\text{N} + ^4\text{He} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H}$)».

Петтерссон и Кирш впервые высказали предположение о возможности более «глубокого» расщепления бомбардируемого ядра, если иметь в виду другие (кроме протонов) частицы, покидающие промежуточное ядро и «лишь из-за своей малой скорости» до сих пор остающиеся незамеченными. «Это могут быть электроны ядра, дополнительные протоны, но могут быть и другие осколки атома». Поэтому они считали целесообразным проведение «спектрометрического обследования масс осколков ядра».

Pettersson H., Kirsch G. Atomzertrümmerung. Leipzig, Akad. Verlag. 1926.

В. Гейзенберг (в Германии) установил соотношение неопределенностей (принцип неопределенности): невозможно точно и одновременно определить положение частицы и ее импульс или какое-либо связанное с ним свойство (например, скорость или энергию). В математической форме для координаты x и импульса p_x соотношение неопределенностей имеет вид: $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$.

Соотношение неопределенностей оказало существенное влияние на развитие квантовой механики.

Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. — «Z. Phys.», 1927, Bd 43, S. 172—198.

И. и В. Ноддаки (в Германии) сообщили о получении первых 100 мг металлического рения.

Noddack I. und W. Darstellung und einige chemische Eigenschaften des Rheniums. — «Z. phys. Chem.», 1927, Bd 125, S. 264—274.

Г. Хевеши (в Австрии) предложил систематику редкоземельных элементов, подразделив их на два ряда: от Ce до Eu и от Gd до Lu. Систематика Хевеши основывалась: 1) на представлениях Е. Стонера о структуре 4f-подоболочки (см. с. 125), согласно которым последняя состояла из двух групп, содержащих 6 и 8 электронов; 2) на анализе хода изменения молекулярных объемов сульфатов $Me_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ (очень небольшие изменения при переходе от самария к европию и от иттербия к лютецию); 3) на измерении значений магнитной восприимчивости ионов Me^{3+} (кривая распадалась на две ветви: Ce — Sm и Eu — Lu, причем максимумы наблюдались у празеодима и диспрозия).

Хевеши предпринял также попытку объяснить аномальную валентность церия (Ce^{4+}). По мнению ученого, образование четырехвалентных производных церия объясняется стремлением элемента достичь электронной конфигурации ближайшего инертного газа ксенона. Систематика Хевеши явилась важным опорным пунктом для последовавших вскоре работ В. Клемма.

Хевеши Г. Редкие земли с точки зрения строения атома. Пер. с нем. Л., НХТИ, 1929.

В. Гайтлер и Ф. Лондон (в Германии) впервые объяснили с точки зрения квантовой механики возможность об-

разования молекулы водорода. Успех этой работы послужил основой всего дальнейшего развития квантовой химии. Гайтлер и Лондон также обосновали предположение, что способность атомов соединяться связана с их спином, причем спины атомов при соединении должны взаимно компенсироваться. В качестве количественной характеристики способности атомов к соединению можно пользоваться величиной удвоенного суммарного спина (или спина атома), которая численно равна величине химической валентности атома. Таким образом, Гайтлер и Лондон заложили основы квантовой теории валентности.

Heitler W., London F. Wechselwirkung neutraler Atome und Homöpolare Bindung nach der Quantenmechanik.— «Z. Phys.», 1927, Bd 44, S. 455—472.

Ф. Хунд (в Германии) опубликовал фундаментальную монографию «Спектры и периодическая система элементов», в которой, в частности, были четко сформулированы правила, позволяющие решать вопрос о том, какие именно из эквивалентных орбиталей незаполненной подоболочки заполняются в том или ином случае. Суть этих правил состоит в следующем: 1) электроны преимущественно располагаются на разных орбиталях; 2) если два электрона занимают две эквивалентные орбиты, то низшей энергии отвечает параллельное расположение их спинов. Представления Хунда сыграли важную роль в разработке квантовой теории валентности.

Hund F. Linienspektren und periodisches System der Elemente. Berlin, Springer, 1927.

Э. Ферми (в Италии) одновременно с Л. Томасом (в Англии) (см. с. 135) разработал основы статистической модели атома (модель атома Томаса — Ферми). Модель рассматривает атомные электроны статистически как электронный газ при абсолютном нуле. Принимается непрерывное распределение заряда электронов. Отрицательно заряженное электронное облако образует вокруг ядра подобие атмосферы, остающейся в равновесии благодаря притяжению ядра и отталкиванию электронов. В модели Томаса — Ферми определяется ход плотности электронов и ход потенциала в атоме. Статистическая модель дает хорошее приближение для атомов с большими Z (более 10), причем детали элект-

ронной структуры отражения не получают. Для свойств атомов, сильно изменяющихся с ростом Z (например, для энергии ионизации), статистический метод дает лишь усредненные значения. Напротив, применение его для определения свойств атома, изменяющихся с ростом Z монотонно (например, положение рентгеновских термов), приводит к хорошему согласию с опытом.

Ферми также сделал попытку применить статистическую теорию к объяснению структуры периодической системы и рассмотрел вопрос о том, при каких значениях Z впервые появляются в атоме электроны с заданным значением орбитального квантового числа l . Рассчитанные значения Z_l обнаружили хорошее совпадение с наблюдаемыми (для $l = 0, 1, 2, 3, \dots$ Z_l составляли соответственно 0,15; 4,2; 19,4; 53,2).

Fermi E. Un metodo statistico per la determinazione di alcune proprietà dell'atomo. — «Rend. Lincei», 1927, v. 6, p. 602—607; Eine statistische Methode zur Bestimmung einiger Eigenschaften des Atoms und ihre Anwendung auf die Theorie des periodischen System der Elemente. — «Z. Phys.», 1928, Bd 48, S. 73—79.

Ч. Дэвиссон и Л. Джермер (в США) обнаружили дифракцию при отражении пучков электронов от поверхности кристаллов. Немного позднее Дж. П. Томсон и А. Рейд (в Англии), фотографируя пучки быстро движущихся электронов, прошедших через тонкие металлические фольги, обнаружили дифракционные картины, состоящие из серии концентрических кругов.

Таким образом, было получено непосредственное экспериментальное доказательство волновых свойств электрона.

Davissson Ch., Germer L. H. Diffraction of electrons by a crystal of nickel. — «Phys. Rev.», 1927, v. 30, p. 707—740; Thomson J. P., Reid A. Diffraction of cathode rays by a thin film. — «Nature», 1927, v. 119, p. 890.

Ч. Эллис и В. Вустер (в Англии) провели точные микрокалометрические измерения β -частиц, испускаемых RaE (RaE не дает сопутствующего γ -излучения), и доказали, что непрерывное распределение энергии в β -спектрах объясняется первичными электронами, возникающими при радиоактивном распаде (электроны атомных оболочек не влияют

на распределение энергии электронов). Отсюда следовало, что закон сохранения энергии при β -распаде не сохраняется.

Ellis Ch. D., Wooster W. A. The average energy of disintegration of radium E.—«Proc. Roy. Soc.», 1927, ser. A, v. 117, p. 109—123.

Ф. Астон (в Англии), работая на новом усовершенствованном масс-спектрографе (погрешность в определении масс атомов около 0,01%), измерил отклонения масс атомов от целых чисел. Он вычислил процентные отклонения масс атомов от целых чисел по шкале $^{16}\text{O} = 16$ и разделил эти отклонения на массовые числа атомов. Полученные значения Астон назвал «упаковочным множителем на одну частицу», поскольку эти значения «являются мерой плотности упаковки частиц, образующих ядра атома». Далее, Астон нашел зависимость упаковочного множителя от массового числа.

Эта зависимость стала важной основой последующих работ по оценке стабильности ядер и исследований в области атомной энергии.

Выбранная Ф. Астоном шкала $^{16}\text{O} = 16$ прижилась в физике и получила в дальнейшем (до введения в сентябре 1960 г. шкалы $^{12}\text{C} = 12$) название «физическая шкала атомных масс».

Aston F. W. Bakerian lecture: A new mass-spectrograph and the whole number rule.—«Proc. Roy. Soc.», 1927, ser. A, v. 115, p. 487—51.

Дж. П. Томсон (в Англии), фотографируя пучки электронов, прошедших через тонкие металлические фольги, обнаружил дифракционные картины, состоящие из серии концентрических кругов. Таким образом, были экспериментально обнаружены волновые свойства электронов.

Thomson J. P. Experiments on the diffraction of cathode rays.—«Proc. Roy. Soc.», 1927, ser. A, v. 117, p. 600—609.

П. Дирак (в Англии) связал квантовую механику с теорией относительности и вывел волновое уравнение, составляющее основу релятивистской квантовой механики. Если

уравнение Шредингера не включало в себя представления о спине, то из уравнения Дирака вытекало наличие собственного момента непосредственно, без введения каких-либо дополнительных представлений. Из уравнения Дирака также следовало, что собственный магнитный момент электрона может иметь только два направления ориентации по отношению к магнитному полю: параллельно или антипараллельно ему. Уравнение Дирака позволило решить ряд проблем, которые не были решены в рамках уравнения Шредингера.

D i r a c P. *The quantum theory of the electron.*— «*Proc. Roy. Soc.*», 1928, ser. A, v. 117, p. 610—624; *The quantum theory of the electron. Part. II.*— «*Proc. Roy. Soc.*», 1928, ser. A, v. 118, p. 351—361.

В. Клемм и И. Рокстро (в Германии) наметили основные принципы систематики редкоземельных элементов и сделали попытку объяснить аномальные валентности некоторых лантанидов. По их мнению, электронные конфигурации трехзарядных ионов La^{3+} , Gd^{3+} и Lu^{3+} должны обладать «особой предпочтительностью», и соседние лантаноиды, вступая в химические реакции, как бы стремятся достичь этих конфигураций. Например, ионы Ce^{4+} и Tb^{4+} приобретают конфигурации соответственно La^{3+} и Gd^{3+} , а Eu^{2+} — конфигурацию Gd^{3+} . По аналогии можно было ожидать двухвалентного состояния у иттербия.

В работе впервые была высказана идея, что заполнение электронной подоболочки наполовину сказывается на свойствах соответствующего элемента.

K l e m m W., R o c k s t r o h I. *Messungen an zwei- und vierwertigen Verbindungen der seltenen Erden (I). Beiträge zur Kenntnis der Samariumhalogenide.*— «*Z. anorg. Chem.*», 1928, Bd 176, S. 181—199.

С. Дашмен (в Англии) высказал предположение, что в атомах Th и двух следующих элементов очередные электроны вряд ли будут заполнять 5f-уровень. Однако нельзя однозначно утверждать, что эти электроны заполняют 6d-уровень.

D u s c h m a n S. *Line spectra and the periodic arrangement of the elements.*— «*Chem. Rev.*», 1928, v. 5, p. 109—171.

Д. Хартри (в Англии) разработал приближенный метод решения волнового уравнения для многоэлектронных атомов, получивший название метода самосогласованного поля. При помощи этого метода можно с достаточной точностью определить распределение электронов у атомов и ионов с большими порядковыми номерами (например, у Hg и Cs⁺). Существенный недостаток метода — необходимость больших численных расчетов, что ограничивает область применения метода.

Hartree D. R. The wave mechanics of an atom with a non-Coulomb central field. I. Theory and methods. II. Some results and discussions.— «Proc. Cambr. Phil. Soc.», 1928, v. 24, p. 89, 111.

Г. Гамов (в Англии) и независимо от него Р. Герни и Э. Кондон (в США) применили представления квантовой механики к объяснению явления α -распада. Гамов допустил, что α -частица как бы заранее образуется в ядре. Согласно классической теории, она не может преодолеть энергетический потенциальный барьер ядра и покинуть его, если ее энергия меньше 25 Мэв. В соответствии с квантовой механикой существует определенная вероятность, что α -частица может проникнуть через барьер даже при значительно меньшей энергии (этот вероятностный процесс получил название туннельного эффекта). На основании квантовомеханической теории α -распада в работе было выведено соотношение между постоянной распада λ и энергией α -частицы, которое оказалось очень похожим на соотношение Гейгера и Нэттола.

Gamow G. Zur Quantentheorie des Atomkernes.— «Z. Phys.», 1928, Bd 51, S. 204—212;
Gurney R., Condon E. Quantum mechanics and radioactive disintegration.— «Nature», 1928, v. 122, p. 439.

Г. Бек (в Австрии) составил таблицу наиболее изученных изотопов от $Z = 9$ до $Z = 60$, на основе анализа которой выдвинул ряд важных идей по строению ядра. «Простейшее предположение, которое можно сделать, — писал он, пытаясь объяснить обнаруженные в таблице закономерности, — состоит в том, что можно представить себе ядро, по аналогии с электронным строением атома, построенным из оболочек...». Другое предположение Бека связано с обнаруженным им «способом включения электронов в объеди-

нения... Из закономерностей таблицы обнаруживается тенденция к четным количествам ядерных электронов... Спин должен быть той причиной, которая обуславливает появление электронов парами». Наконец, так же, как для атомной оболочки, «принцип Паули, по-видимому, остается также справедливым и для ядра». Таким образом, если для описания поведения и распределения элементов в атоме оказались достаточными принцип Паули, спин и кулоновское взаимодействие, то для ядра, по Г. Беку, также должны быть справедливы понятия спина и принципа Паули. Что же касается ядерных сил, то о них было известно только, что они существенно отличаются от кулоновских. Во второй статье Г. Бек пытался для ядерных сил «получить некий принцип, не зависящий от специальной модели, для объяснения эмпирически полученных соотношений».

Эти работы Г. Бека имели очень важное значение для первых шагов в изучении структуры ядра.

Beck G. Über die Systematik der Isotopen. — «Z. Phys.», 1928, Bd 47, S. 407—416; 1928, Bd 50, S. 548—554.

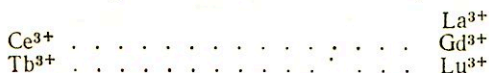
А. Гроссе (в Германии), основываясь на периодической системе, предсказал некоторые свойства протактиния: средний атомный вес — 234, атомный объем — около $14,5 \text{ см}^3$, плотность примерно 16 г/см^3 , температура плавления — $1700 \text{ }^\circ\text{C}$. Протактиний должен проявлять валентность главным образом $+5$.

Гроссе А. Выделение и получение элемента 91 — протактиния. — «ЖРФХО», 1928, т. 60, ч. хим., с. 843—854.

1929

В. Клемм (в Германии) опубликовал статью «Систематика редких земель, основанная на периодическом изменении свойств их ионов», в которой рассматривал две группы свойств редкоземельных элементов: 1) аперiodические, изменяющиеся с увеличением Z монотонно или почти монотонно (молекулярный объем соединений, основность, растворимость солей, ионный радиус и т. д.) и связанные главным образом с $5d$ - и $6s$ -электронами, число которых признавалось одинаковым для всех лантаноидов; 2) периодические, обусловленные $4f$ -элек-

тронами (окраска ионов, парамагнетизм, аномальная валентность). В. Клемм использовал периодические свойства для построения своей систематики, в которой ионы La^{3+} (со структурой атома ксенона), Gd^{3+} (со структурой атома ксенона и наполовину заполненной $4f$ -подоболочкой) и Lu^{3+} (со структурой атома ксенона и заполненной $4f$ -подоболочкой) как обладающие «особо предпочтительной электронной конфигурацией», играли роль своеобразных инертных газов. «Периодическая система» ионов Me^{3+} редкоземельных элементов изображалась Клеммом следующим образом:



Предполагалось, что $4f$ -электроны впервые появляются у церия, а формирование $4f$ -подоболочки завершается у лютеция.

K l e m m W. Eine Systematik der seltenen Erden, begründet auf periodischen Eigenschaftsänderungen ihrer Ionen.— «Z. anorg. Chem.», 1929, Bd 184, S. 345—351.

В. Жюк и Г. Джонстон (в Англии), проводя спектрометрический анализ атмосферного кислорода, обнаружили редкие изотопы кислорода ^{17}O и ^{18}O .

В результате этого открытия «физическая шкала атомных масс» Ф. Астона (см. с. 139) и химическая шкала атомных масс оказались различными.

G i a u q u e W. F., J o h n s t o n H. L. An isotope of oxygen, mass 18.— «Nature», 1929, v. 123, p. 318; An isotope of oxygen of mass 17 in the earth's atmosphere.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1929, v. 51, p. 3528—3534.

В. Клемм и А. Шют (в Германии) получили хлорид двухвалентного иттербия YbCl_2 , предсказанный Клеммом на основании своей систематики.

K l e m m W., S c h ü t h A. Ytterbiumdichlorid.— «Z. anorg. Chem.», 1929, Bd 184, S. 352—358.

В. Гайтлер и Г. Герцберг (в Германии) впервые показали, что ядро азота с $Z = 7$ и массовым числом 14 обладает спином, равным единице, и подчиняется статистике Бозе — Эйнштейна.

Ими было высказано соображение, что для объяснения экспериментальных фактов нужно допустить, что электроны в ядре должны терять как магнитный, так и механический момент (спин).

Heitler W., Herzberg G. Gehorchen die Sticksstoffkerne der Boseschen Statistik?— «Naturwiss.», 1929, Bd 17, S. 673—674.

С. Розенблум (во Франции), анализируя спектры α -частиц магнитным спектрометром с фокусировкой, опроверг ранее принятое представление о том, что все α -частицы, испускаемые α -активным препаратом, имеют одинаковую энергию, и на примере ThC наблюдал излучение нескольких групп α -частиц, различающихся по энергии.

В дальнейшем он обнаружил сложный спектр α -излучений и у других радиоактивных элементов.

Rosenblum S. Structure fine du spectre magnétique des rayons α du thorium C.— «Compt. rend.», 1929, v. 188, p. 1401—1403.

1930

Л. Мейтнер и В. Ортманн (в Германии), повторив эксперименты Ч. Эллиса и В. Вустера (см. с. 138), пришли к выводу, что непрерывность спектра β -излучения есть свойство первичных β -частиц.

Meitner L., Orthmann W. Über eine absolute Bestimmung der Energie der primären β -Strahlen von Radium E.— «Z. Phys.», 1930, Bd 60, S. 143—155.

В. Клемм (в Германии), опираясь на данные по изучению спектров редкоземельных элементов и правило Хунда (см. с. 137), предпринял попытку физической интерпретации подразделения семейства лантаноидов на две группы: цериевую (Ce — Gd) и иттриевую (Tb — Lu). Клемм исходил из предположения, что спины $4f$ -электронов в атомах ряда Ce — Gd имеют одинаковое направление (как и спины электронов в ряду Tb — Lu), но спины электронов во второй половине $4f$ -подоболочки антипараллельны спинам электронов в первой половине.

Klemm W. Messungen an zwei- und vierwertigen Verbindungen der seltenen Erden (IV).— «Z. anorg. Chem.», 1930, Bd 187, S. 29—32.

Различными учеными был исследован изотопный состав хрома, молибдена и вольфрама.

См. А с т о н Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

В. А. Фок (в СССР) развил метод самосогласованного поля, предложенный Д. Хартри (см. с. 141), введя учет обменного взаимодействия электронов.

Fock W. Näherungsmethode zur Lösung des quantenmechanischen Mehrkörperproblems.— «Z. Phys.», 1930, Bd 61, S. 126—148; «Selfconsistent Field» mit Austausch für Natrium.— Ibid., Bd 62, S. 795—805.

П. Дирак (в Англии) опубликовал работу «Теория протонов и электронов», в которой была развита так называемая теория «дырок». Основная трудность, связанная с волновым уравнением Дирака (см. с. 139), заключалась в существовании состояний с отрицательной энергией. Переход из обычного состояния в «отрицательное» не запрещался правилами отбора, поэтому можно было ожидать, что все электроны перейдут в отрицательные состояния, чего в действительности не наблюдалось. Дирак назвал эти вакантные состояния с отрицательной энергией «дырками» и по аналогии с незанятыми рентгеновскими уровнями заключил, что «дырка» обладает положительной энергией и движется во внешнем электромагнитном поле подобно электрону, но с положительным зарядом. По этой причине Дирак отождествил их с протонами.

Dirac P. A theory of electrons and protons.— «Proc. Roy. Soc.», 1930, ser. A, v. 126, p. 360—365.

Р. Оппенгеймер (в США) показал, что «дырки» отличаются от протонов и назвал их положительными электронами, или позитронами.

Oppenheimer R. J. On the theory of electrons and protons.— «Phys. Rev.», 1930, v. 35, p. 562, 563.

Ф. Разетти (в Италии), изучая полосатые спектры молекулярного азота, убедительно показал, что ядра азота подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна, т. е. имеют

целочисленное значение спина. Между тем ранее казалось совершенно очевидным, что спин азота нецелочисленный (при условии, что ядро азота состоит из 14 протонов и 7 электронов) и ядра азота подчиняются статистике Ферми—Дирака. Результаты, полученные Разетти, явились сильнейшим ударом по протонно-электронной гипотезе строения атомного ядра; ситуация, сложившаяся в связи с этим в физике, получила название «азотной катастрофы».

Rasetti F. Über die Rotations-Ramanspektren von Stickstoff und Sauerstoff.— «Z. Phys.», 1930, Bd 61, S. 598—601.

В. А. Амбарцумян и Д. Д. Иваненко (в СССР), основываясь на теории «дырок», развитой П. Дираком, высказали идею, что электроны в ядре отсутствуют. Испускание же β -частиц в процессе радиоактивного распада ученые объяснили их «рождением» по аналогии с излучением фотонов.

Ambarzumian V., Ivanenko D. Les électrons inobservables et les rayons β .— «Compt. rend.», 1930, v. 190, p. 582.

В. Боте и Г. Беккер (в Германии) обнаружили, что при бомбардировке α -частицами некоторых легких элементов возникает сильнопроникающее излучение. Особенно отчетливо этот эффект проявлялся при бомбардировке бериллия, поэтому излучение было названо бериллиевым. Его жесткость оказалась выше, чем у γ -лучей, в связи с чем его нельзя было связать с перестройкой электронных конфигураций атомов. Возникло предположение, что источником бериллиевого излучения является атомное ядро.

*Bothe W., Becker H. Künstliche Erregung von Kern- γ -Strahlen.— «Z. Phys.», 1930, Bd 66, S. 289—306; Eine γ -Strahlung des Poloniums.— *Ibid*, S. 310.*

В. Паули (в Швейцарии) 4 декабря обратился с письмом к участникам семинара в Тюбингене. В этом письме он впервые высказал идею, что при β -распаде вместе с электроном испускается другое, сильнопроникающее излучение, состоящее из новых нейтральных частиц (по его мнению, это объясняет непрерывность β -спектров и оставляет в силе закон сохранения энергии). Паули писал:

«Имеется возможность того, что в ядрах существуют электрически нейтральные частицы, которые я буду называть нейтронами и которые обладают спином $1/2$; они подчиняются принципу запрета и отличаются от световых квантов помимо этого еще и тем, что движутся не со скоростью света. Масса нейтрона по порядку величины должна быть сравнимой с массой электрона и во всяком случае не более 0,01 массы протона. Непрерывный β -спектр стал бы понятным, если предположить, что при β -распаде вместе с электроном испускается еще нейтрон таким образом, что сумма энергии нейтрона и электрона остается постоянной». Так впервые была сформулирована гипотеза о нейтрине — частице, которую Паули сначала назвал нейтроном («настоящий» нейтрон в это время еще не был открыт).

Паули В. К старой и новой истории нейтрино. — В кн.: Теоретическая физика 20 века. М., Изд-во иностр. лит., 1962, с. 390.

1931

А. Зоммерфельд (в Германии), ставя задачей «генетически описать построение элементов от во-

дородо до урана», ввел представление о так называемой идеальной системе элементов. Ученый писал: «Действительной периодической системе химиков мы противопоставляем... идеальную систему, образующуюся путем последовательного прибавления одного, двух, трех... электронов к ядру с большим зарядом (скажем, $Z = 100$) ... Мы принимаем в идеальной системе заряд ядра постоянным и допускаем возрастание только числа электронов. Благодаря выбранной большой величине заряда ядра исключаются все вопросы стабильности, играющие роль в действительной системе. В идеальной системе электроны образуют оболочки и подгруппы в правильной последовательности; энергию связи можно прямо заимствовать из данных по рентгеновским спектрам». Зоммерфельд отмечал далее отклонения «поведения действительной системы от идеальной» (появление 4s-электрона у калия вместо 3d-электрона по идеальной системе и т. д.)

Однако воображаемый процесс, предложенный Зоммерфельдом, не мог служить удовлетворительной основой для объяснения строения реальной периодической системы (кроме ее начальной части: H — Ar), поскольку хими-

ческие свойства элементов связаны главным образом с периферической частью электронной оболочки.

Впоследствии при описании идеальной последовательности формирования электронных конфигураций стали исключать фактор взаимодействия между электронами, что превращало идеальную систему в фикцию, хотя в трактовке Зоммерфельда она сохраняла значение теоретической схемы некоторого объективного процесса.

S o m m e r f e l d A. Atombau und Spektrallinien. Braunschweig, 1931, S. 168; см. также: Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. Т. 1. М., ГИТТЛ, 1956, с. 141.

Р. Ленджер и Н. Розен (в США) теоретически показали, что существование атома водорода в более низком энергетическом состоянии, чем нормальное, невозможно. Таким образом, модель нейтрона как атома нулевого элемента, состоящего из тесной комбинации протона и электрона, оказалась несостоятельной. Поэтому включение гипотетического «нулевого» элемента в периодическую систему потеряло смысл.

L a n g e r R., R o s e n N. The neutron.— «Phys. Rev.», 1931, v. 37, p. 1579—1582.

Ф. Астон (в Англии) провел исследование изотопного состава урана и таллия на масс-спектрометре. Ученый обнаружил в спектре урана только одну линию, соответствующую массовому числу 238. Астон сделал заключение, что «уран, вероятно, простое тело, за исключением 2 или 3% примесей». Таллий оказался состоящим из двух изотопов: 203 и 205.

A s t o n F. Constitution of thallium and uranium.— «Nature», 1931, v. 128, p. 725.

Разными учеными был исследован изотопный состав осмия, рутения, рения, таллия и урана.

См. А с т о н Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

В. Паули (в Швейцарии) на заседании Американского физического общества в Пасадене высказал идею о ней-

тральной частице, вылетающей при β -распаде вместе с электроном. Следует заметить, что Паули уже не считал эти частицы составными компонентами ядер, не называл их нейтронами (см. с. 147) и не пользовался для них специальными названиями. Доклад Паули напечатан не был.

Паули В. К старой и новой истории нейтрино.— В кн.: Теоретическая физика 20 века. М., Изд-во иностр. лит., 1962, с. 391.

Г. Джонстон (в США) составил таблицы известных изотопов по сериям $4n$, $4n + 1$, $4n + 2$, $4n + 3$ в координатах: число ядерных электронов, не входящих в α -частицы как структурные единицы ядра (ось абсцисс) — число таких α -частиц (ось ординат). Эти таблицы (от водорода до Nd и Ce) указывали на определенную периодичность в структуре ядра и, по мнению ученого, позволяли предсказать еще не известные изотопы. Автор не дал какой-либо интерпретации замеченным закономерностям, вытекающим из его таблиц.

Johnston H. L. A periodic arrangement of the atomic nuclei. The prediction of isotopes.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1931, v. 53, p. 2867—2871.

Э. Лоуренс и М. Ливингстон (в США) предложили метод получения частиц больших энергий без использования высоких напряжений (последовательное ступенчатое ускорение иона, описывающего спиральный путь в сильном магнитном поле). Построенная ими установка получила название магнитный резонансный ускоритель, или циклотрон.

Lawrence E. O., Livingston M. S. A method of producing high speed hydrogen ions without the use of high voltages.— «Phys. Rev.», 1931, v. 37, p. 1707; The production of high speed light ions without the use of high voltages.— «Phys. Rev.», 1932, v. 40, p. 19—35.

Г. Юри (в США) рассмотрел оригинальный графический способ изображения известных изотопов в координатах: число протонов — число электронов в ядрах. Это позволило ему предсказать ряд изотопов между ^{36}Ag и ^{63}Cu .

Urey H. C. The natural system of atomic nuclei.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1931, v. 53, p. 2872—2880.

1932

А. Зоммерфельд (в Германии), продолжая исследования Э. Ферми по определению порядкового номера элемента, в атоме которого впервые появляются электроны с заданным значением l (см. с. 138), получил выражение Z_l в виде явной функции $l: Z_l = 0,155 (2l + 1)^3$.

Zommerfeld A. Волновая механика. Т. 2. Пер. с нем. М., ГТТИ, 1933.

Г. Юри, Ф. Брикведде, Г. Мэрфи (в США) открыли тяжелый изотоп водорода — дейтерий. Они рассчитали по формуле Н. Бора возможные изотопические компоненты бальмеровских линий и затем наблюдали их в эксперименте.

Urey H., Brickwedde F., Murphy G. An isotope of hydrogen of mass 2 and its concentration.—«Phys. Rev.», 1931, v. 39, p. 164—165, 864; v. 40, p. 1—15.

Г. Хевеши и М. Поль (в Австрии) обнаружили α -активность у природного изотопа самария.

Hevesy G., Pahl M. Radioactivity of samarium.—«Nature», 1932, v. 130, p. 846—847.

Различными учеными был исследован изотопный состав ниобия и тантала.

См. Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

И. и Ф. Жолио-Кюри (во Франции), повторив опыты В. Боте и Г. Беккера (см. с. 146), показали, что если на пути нового излучения поместить слой водородсодержащего вещества (например, парафина), то этот слой испускает быстрые протоны. Согласно измерениям, пробег протонов, возникающих под действием «бериллиевого» излучения, равен 26 см в воздухе, что соответствует скорости $3 \cdot 10^9$ см/сек.

Curie I., Joliot F. Emission de protons de grande vitesse les substances hydrogénés sous l'influence des rayons γ .—«Compt. rend.», 1932, v. 194, p. 273; Sur la nature du rayonnement pénétrant excité dans le noyaux légers par les particules α .—«Compt. rend.», 1932, v. 194, p. 1229.

Дж. Чэдвик (в Англии), обсудив эксперименты с «бериллиевым» излучением, показал, что их «результаты очень трудно объяснить на основании гипотезы, это излучение бериллия представляет собой электромагнитное излучение, но они непосредственно вытекают из предположения, что излучение состоит из частиц, которые имеют массу, приблизительно равную массе протона, но не имеют заряда».

Таким образом, Дж. Чэдвик доказал существование нейтрона.

Chadwick J. Possible existence of a neutron.— «Nature», 1932, v. 129, p. 402; The existence of a neutron.— «Proc. Roy. Soc.», 1932, Ser. A, v. 136, p. 692.

Дж. Бартлетт (в США), Д. Д. Иваненко и Е. Н. Гапон (в СССР) впервые высказали соображения эмпирического и теоретического характера о том, что в легких ядрах имеется возможность заполнения s -, p -, d - и т. д. уровней независимо нейтронами и протонами.

Bartlett J. Structure of atomic nuclei (I).— «Phys. Rev.», 1932, v. 41, p. 370—371; Structure of atomic nuclei (II).— «Phys. Rev.», 1932, v. 42, p. 145—146. Гапон Е., Иваненко Д. Zur Bestimmung der Isotopenzahl.— «Naturwiss.», 1932, Bd 20, S. 792—793.

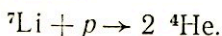
Д. Д. Иваненко (в СССР) и В. Гейзенберг (в Германии) развили представления о протонно-нейтронной модели строения ядра.

Ivanenko D. The neutron hypothesis.— «Nature», 1932, v. 129, p. 789. Heisenberg W. Über den Bau der Atomkerne.— «Z. Phys.», 1932, Bd 77, S. 1—11; 1932, Bd 78, S. 156—168; 1933, Bd 80, S. 587.

Э. Ферми (в Италии) предложил название «нейтрино» для нейтральной частицы, постулированной В. Паули.

Pauli W. К старой и новой истории нейтрино.— В кн.: Теоретическая физика 20 века. М., Изд-во иностр. лит., 1962, с. 392.

Дж. Кокрофт и Э. Уолтон (в Англии) ускоряя протоны на специально построенной установке, осуществили ядерную реакцию на литии:



Cockroft J. D., Walton E. T. Experiments with high velocity positive ions. II. The disintegration of elements by high velocity protons.— «Proc. Roy. Soc.», 1932, ser. A, v. 137, p. 229—242.

Ф. Перрен (во Франции) высказал точку зрения, что нейтроны в ядрах состоят из электронов и протонов. Он же выдвинул гипотезу, что ядерные протоны состоят из нейтронов и позитронов. Таких же взглядов придерживался Дж. Бартлетт. Позже Ф. Перрен отказался от гипотезы сложного состава нейтронов и протонов.

Perrin F. L'existence des neutrons et la constitution des noyaux atomiques légers.— „Compt. rend.“, 1932, v. 194, p. 1343—1346; La constitution des noyaux atomiques et leur spin.— Ibid., v. 195, p. 236—237.
Bartlett J. H. Structure of atomic nuclei. I and II.— «Phys. Rev.», 1932, v. 41, p. 370—371; v. 42, p. 145—146.

К. Андерсон (в США), изучая фотографии космических лучей, сделал, в частности, вывод о возможном существовании частицы, аналогичной электрону, но несущей положительный заряд (позитрон). Позже было установлено, что позитроны могут также возникать при облучении тяжелых элементов жестким γ -излучением (см. с. 158).

Anderson C. The apparent existence of easily deflected positives.— «Science», 1932, v. 76, p. 238—239; Energies of cosmic-ray particles.— «Phys. Rev.», 1932, v. 41, p. 405—421; The positive electron.— «Phys. Rev.», 1933, v. 43, p. 491—494.

1933

Т. Ву и С. Гоудсмит (в США) высказали предположение о начале формирования $5f$ -семейства.

Используя уравнение Шредингера, ученые вычислили энергии различных электронов в атомах и ионах (сверх структуры атома радона) и пришли к следующему выводу: «Начиная с элемента 93 для получения

нона с оболочкой радона нужно рассматривать шестикратно ионизированный атом. В этом ионе низшим свободным уровнем является, несомненно, уровень 5f. Поэтому весьма вероятно, что нейтральный атом с $Z = 93$ содержит по крайней мере один 5f-электрон.

W u T., G o u d s m i t h S. Low states of the heaviest elements.— «Phys. Rev.», 1933, v. 43, p. 496.

Различными учеными был исследован изотопный состав неодима, самария, европия, гадолиния и тербия.

См. А с т о н Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

Г. Льюис и Р. Макдональд (в США) получили тяжелую воду.

L e w i s G., M a c D o n a l d R. Concentration of H² isotope.— «J. Chem. Phys.», 1933, v. 1, p. 341—344.

И. и Ф. Жолио-Кюри (во Франции) высказали предположение, что объяснить испускание нейтронов при облучении α -частицами бериллия можно следующей схемой ядерной реакции:



C u r i e I., J o l i o t F. Preuves expérimentales de l'existence du neutron.— «J. phys. radium», 1933, v. 4, p. 21.

Б. Сарджент (в Канаде) показал, что между максимальной энергией β -излучения и постоянными радиоактивного распада имеется соотношение, аналогичное закону Гейгера — Нэттола для α -распада. Сарджент установил, что если для различных природных радиоизотопов построить кривую зависимости $\lg \lambda$ (λ — постоянная распада) от $\lg E_{\text{макс}}$ ($E_{\text{макс}}$ — максимальная энергия β -частиц), то большая часть точек попадет на две прямые линии или расположится вблизи их (так называемые линии Сарджента). Из работ Сарджента следовало, что проявляется тенденция к сокращению времени жизни β -активных элементов при увеличении энергии испускаемых электронов.

S a r g e n t B. The maximum energy of the β -rays from uranium X and other bodies.— «Proc. Roy. Soc.», 1933, ser. A, v. 139, p. 659—673.

В. Эльзассер (во Франции) обратил внимание на своеобразную периодичность в расположении наиболее распространенных, самых тяжелых и самых легких изотопов элементов. Основываясь на этих данных и привлекая данные по дефектам масс легких ядер и энергиям α -распада тяжелых ядер, Эльзассер пришел к выводу, что ядра с числами нейтронов или протонов, равными 2, 8, 20, 50, особенно стабильны.

E l s a s s e r W. Sur le principe de Pauli dans les noyaux. — «J. phys. radium», 1933, v. 4, p. 549—555.

Ф. Перрен (Франция) в докладе на Первой всесоюзной конференции по атомному ядру (Ленинград, 24—30 сентября 1933 г.) коснулся вопроса о протонно-нейтронной модели строения ядра. По его мнению, эта модель может быть принята при условии, если нейтрон превращается в протон путем испускания электрона или в результате поглощения позитрона. Возможно протекание двух противоположно направленных реакций: $n \rightleftharpoons p + e^-$ и $p \rightleftharpoons n + e^+$, причем первая должна иметь место при β^- -распаде.

Придерживаясь точки зрения, что α -частица сохраняет определенную индивидуальность внутри атомных ядер, Перрен предлагал рассматривать все ядра как совокупности одних α -частиц, α -частиц и нейтронов или α -частиц, нейтронов и одного протона.

П е р р е н Ф. Структурные элементы атомных ядер. — В кн.: Атомное ядро. Л., 1934, с. 29—49.

Д. Д. Иваненко (в СССР) в докладе на Первой всесоюзной конференции по атомному ядру высказал следующее замечание: «Заманчиво рассматривать ядра, по аналогии с внешней электронной оболочкой, состоящими из заполненных слоев протонов и нейтронов, оставляя в стороне α -частицы: минимумы на кривой Астона относительно протонов и нейтронов, а не α -частиц, будут указывать на образование заполненного слоя. Первый слой во всяком случае соответствует α -частице, но уже для бериллия мы должны допустить, что вторая α -частица не существует здесь в готовом виде».

И в а н е н к о Д. Д. Модель ядра. — В кн.: Атомное ядро. Л., 1934, с. 51—64.

В. Паули (Швейцария) в докладе на Сольвеевском конгрессе (Брюссель, октябрь) четко сформулировал основные гипотезы о нейтрино. В дополнение к своим прежним идеям (см. с. 148) Паули высказал мнение, что «собственная масса нейтрино равна нулю и оно, следовательно, должно, подобно фотонам, двигаться со скоростью света», но иметь существенно большую проникающую способность.

Pauli W. Noyaux Atomiques. Proc. Solvay Congress. Bruxelles, 1933, p. 324.

П. Блэккетт и Г. Оккиалини (в Англии) при помощи усовершенствованной методики и на большом экспериментальном материале доказали существование положительного электрона (позитрона). Они показали, что космические лучи взаимодействуют с веществом, вызывая образование «ливней частиц», которые состоят из приблизительно равного числа электронов и позитронов. Свое доказательство они связали с теорией Дирака.

Blackett P., Occhialini G. Some photographs of the tracks of penetrating radiation.— «Proc. Roy. Soc.», 1933, ser. A, v. 139, p. 699—726.

П. Оже впервые открыл и исследовал медленные нейтроны, испускаемые, наряду с быстрыми нейтронами, при бомбардировке бериллия α -частицами.

Auger P. Sur la diffusion de neutrons. Chocs non élastiques sur les noyaux.— «Compt. rend.», 1933, v. 196, p. 170—172; Sur les rayons produits par le passage des neutrons a travers les substances hydrogénées.— «Compt. rend.», 1934, v. 198, p. 365—368.

Ф. Астон (в Англии) установил исключительную редкость в природе изобар с нечетными массовыми числами. Позже, на основании теоретических соображений к такому же заключению пришел И. Маттаух (см. с. 158), который сделал вывод о невозможности существования изобар двух соседних элементов.

Aston F. Mass spectra and isotopes. Ed. I. 1933, p. 175.

Э. Ферми (в Италии) опубликовал в первоначальном виде свою теорию β -распада. В обобщающем виде эта тео-

рия была опубликована им в различных журналах в 1934 г. (см. с. 157).

Fermi E. Tentativo di una teoria dell'emissione dei raggi «beta».— «Ricer. Scient.», 1933, v. 20, p. 491—495.

И. и Ф. Жолио-Кюри (во Франции), Л. Мейтнер и К. Филипп (в Германии), К. Андерсон (в США), Дж. Чэдвик, П. Блэккет и Г. Оккиалини (в Англии) независимо друг от друга обнаружили, что при энергии очень жесткого γ -излучения (более 1 Мэв) вблизи тяжелых ядер происходит рождение электрон-позитронной пары: $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$.

Curie I., Joliot F. Sur l'origine des électrons positifs.— «Compt. rend.», 1933, v. 196, p. 1105, 1581—1583.
Anderson C. A. Free positive electrons resulting from the impact upon atomic nuclei of the photons from ThC.— «Science», 1933, v. 77, p. 432.
Meitner L., Philipp K. Die bei Neutronenanregung auftretenden Elektronenbahnen.— «Naturwiss.», 1933, Bd 21, S. 286—287.

1934

И. Ноддак (в Германии) опубликовала статью, в которой подвела итоги поискам элемента 61 в природе, в том числе и собственным работам в этой области. Она убедительно показала, что все предшествующие результаты были неправильными и вскрыла причины ошибок. Ноддак сделала вывод, что элемент 61 вообще отсутствует в природе.

Noddack I. Das periodische System der Elemente und seine Lücken.— «Angew. Chem.», 1934, Bd 47, S. 301—305.

С. А. Щукарев (в СССР) развил идею о влиянии на половину заполненной электронной подболочки на свойства соответствующих элементов.

Щукарев С. А. Современное состояние периодического закона Д. И. Менделеева.— В кн.: Труды Юбилейного менделеевского съезда. Т. 1. М.—Л., ОНТИ—Госхимиздат, 1936, с. 23—35.

Э. Ферми (в Италии), используя гипотезу о нейтринно и основываясь на протон-нейтронной модели ядра, предложил теорию β -распада. Он исходил из предположения, что протон и нейтрон являются только двумя основными состояниями одной и той же частицы — нуклона. Согласно Ферми, подобно тому как при переходе электрона в оболочке атома с одного уровня на другой возникает фотон с энергией $h\nu$, так и частицы в ядре могут переходить из одного состояния в другое; при этом испускается электрон или позитрон, а также антинейтрино или нейтрино. Эти процессы можно записать следующим образом: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ и $p \rightarrow n + e^+ + \nu$. Ферми вывел также уравнение, связывающее значение максимальной энергии распада ($E_{\text{макс}}$) с так называемой приведенной продолжительностью жизни ядра λ : $\lg \lambda = \lg k + S \lg E_{\text{макс}}$, где k — некоторая константа, зависящая от типа перехода частиц. Далее, Ферми сформулировал правило отбора, согласно которому различаются переходы (протон \rightleftharpoons нейтрон) разрешенные, характеризующиеся большой вероятностью, и запрещенные — с малой вероятностью. В целом, теория Ферми удовлетворительно объяснила явление β -распада, что косвенно доказывало существование нейтрино.

Результаты, полученные Ферми, оказались в хорошем согласии с выводами Б. Сарджента (см. с. 153).

F e r m i E. Versuch einer Theorie der β -Strahlen. — «Z. Phys.», 1934, Bd 88, S. 161—171; Tentativo di teoria dei raggi β . — «Nuovo cimento», 1934, v. 11, p. 1—19.

И. П. Селинов (в СССР) показал, что «периодичность в системе изотопов проявляется: 1) в замедленном возрастании числа нейтронов; 2) в распространенности изотопов; 3) в аномальной распространенности изотопов с числами нейтронов... 50 и 82; 4) в кривой дефектов масс». По мнению Селинова, эти закономерности являются свидетельством в пользу оболочечной структуры ядра, причем на ядрах, содержащих 50 и 82 нейтрона, завершаются соответствующие ядерные оболочки и периоды в системе изотопов.

С е л и н о в И. П. Периодическая система изотопов. — «ЖЭТФ», 1934, т. 4, с. 666—667.

М. Олифант, П. Гартек и Э. Резерфорд (в Англии) открыли сверхтяжелый изотоп водорода с массовым числом 3 — тритий.

Oliphant M., Hartek P., Rutherford E. Transmutation effects observed with heavy hydrogen.— «Proc. Roy. Soc.», 1934, ser. A, v. 144, p. 692.

Различными учеными был исследован изотопный состав диспрозия, гольмия, эрбия, тулия, иттербия и лютеция, а также гафния и родия.

См. Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

И. и Ф. Жолио-Кюри (во Франции) обнаружили, что бор, магний и алюминий, облученные γ -лучами полония, сами становятся радиоактивными. После прекращения облучения эти элементы испускали позитроны, причем интенсивность позитронного излучения падала по экспоненциальному закону. Таким образом, был обнаружен новый вид радиоактивного превращения (позитронный, или β^+ -распад), и было показано, что радиоактивные изотопы можно получать искусственным путем (открытие искусственной радиоактивности).

Curie I., Joliot F. Un nouveaux type de radioactivité.— «Compt. rend.», 1934, v. 198, p. 254—256.

Г. Б те и Р. Пайерлс (в Англии) высказали идею о возможности так называемого обратного β -распада — процесса, в результате которого ядро захватывает нейтрино или антинейтрино и одновременно испускает электрон или позитрон: $(N, Z) + \nu$ (или $\bar{\nu}$) $\rightarrow (N, Z \pm 1) + e^{\pm}$. Вероятность этого процесса крайне мала, однако его идея впоследствии была использована для экспериментально-го обнаружения нейтрино.

Bethe H., Peierls R. The «neutrino».— «Nature», 1934, v. 133, p. 532.

И. Маттаух (в Германии) сформулировал следующее правило: разность чисел протонов двух стабильных изобаров должна быть больше единицы. Иначе говоря, не дол-

жно существовать пар стабильных изобаров, заряды ядер которых различаются на единицу. Поэтому изобары двух соседних по периодической системе элементов не могут быть оба стабильны: один из них обязательно будет радиоактивным (существует лишь два исключения из этого правила: пары изобаров ^{113}Cd — ^{113}In и ^{123}Sb — ^{123}Te). Следует отметить, что идея этого правила содержится в работах С. А. Щукарева (см. с. 123), поэтому его следует называть правилом Щукарева—Маттауха.

На основе этого правила было подтверждено предположение об отсутствии стабильных изотопов у элементов с Z , равным 43 и 61, и показано, что в паре ^{40}Ag — ^{40}K последний изобар является радиоактивным.

Mattauch I. Zur Systematik der Isotopen.— «Z. Phys.», 1934, Bd 91, S. 361—371.

Э. Ферми (в Италии), подводя итог работам (вместе с группой сотрудников) по облучению урана медленными нейтронами, сообщил об образовании по крайней мере четырех β^- -активных изотопов с периодами полураспада 10 и 40 сек, 13 и 90 мин. Было показано, что большинство изотопов с $T_{1/2}$, равными 13 и 90 мин, соосаждается с двуокисью марганца, притом в таких условиях, в каких природные радиоактивные элементы, предшествующие урану, не должны соосаждаться. Исходя из отмеченного факта, Ферми и сотрудники пришли к выводу, что при бомбардировке урана медленными нейтронами образуется трансурановый элемент с $Z = 93$, согласно ядерной реакции $^{238}\text{U} (n, \gamma) ^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{93}$.

Ученые считали этот элемент аналогом Re и Mn (поскольку он соосаждался с MnO_2); ему было дано название аузоний (Ao). Они полагали, что элемент $^{239}\text{93}$, будучи β^- -активным, превращается в элемент с $Z = 94$, который назвали гесперием (Hs).

С современной точки зрения, в экспериментах Ферми действительно имел место синтез изотопов с Z , равными 93 и 94, однако их химическая идентификация проводилась по неправильному пути, основанному на предполагаемой аналогии этих изотопов с рением и осмием соответственно.

Fermi E. Possible production of elements of atomic number higher than 92.— «Nature», 1934, v. 133, p. 898—899.

И. Ноддак (в Германии) подвергла критике вывод Ферми и сотрудников о синтезе и выделении ими трансурановых элементов с Z , равным 93 и 94. По мнению Ноддак, многие элементы середины периодической системы при сосаждении могут захватывать MnO_2 , поэтому нельзя однозначно идентифицировать трансурановые элементы, не проведя тщательных систематических исследований и не доказав отсутствия всех известных элементов. Более того, во взглядах Ноддак содержалось предвидение деления ядер урана под действием нейтронов: «Можно с одинаковым правом считать, что в этом новом типе ядерного расщепления, вызываемом нейтронами, имеют место ядерные реакции, отличающиеся от тех, которые наблюдались до этого при воздействии на атомные ядра протонов и α -частиц. Возможно, что при бомбардировке нейтронами тяжелых ядер последние разделяются на несколько больших осколков, которые в действительности представляют собой изотопы известных элементов, но не являются соседями облучаемых элементов».

N o d d a c k I. Über das Elemente 93. — «Angew. Chem.» 1934, Bd 47, S. 653—655.

И. Ноддак в докладе на Юбилейном менделеевском съезде в Ленинграде подтвердила свое скептическое отношение к работам Ферми по выделению трансурановых элементов. Она сделала попытку предсказать свойства элементов, непосредственно следующих за ураном ($Z = 93 \div 96$): «Пока что можно сказать, что элементы 93—96 будут сравнительно неблагородными металлами, которые во всяком случае не являются в минералах спутниками платиновых металлов. Рассматривая их стойкость, можно заключить, что элемент 93 будет очень недолговечным радиоактивным элементом, который как таковой нельзя будет химически найти. Начиная с элемента 94 стойкость будет быстро падать; для элемента 94, быть может, еще существует возможность доказать его наличие и без радиоактивных методов, чисто химическим путем».

Таким образом, в отношении химических свойств трансурановых элементов с $Z = 93 \div 96$ прогнозы Ноддак оказались близкими к действительности.

Н о д д а к И. Современные методы предсказания элементов. — В кн.: Труды Юбилейного менделеевского съезда. Т. 2. М.—Л., ОНТИ—Госхимиздат, 1937, с. 379—386.

К. Гюгенхеймер (во Франции) опубликовал работу, в которой была помещена протонно-нейтронная диаграмма ядер всех известных к этому времени изотопов. Ученый предложил термин «изотоны» (т. е. содержащие одинаковое число нейтронов) и указал, что наибольшее число изотопов имеет место при 50 и 82 нейтронах.

G u g g e n h e i m e r K. Remarques sur la constitution des noyaux atomiques. I.— „J. phys. radium.” 1934, v. 5, p. 253—256.

Э. Ферми с сотрудниками (в Италии) впервые получили радиоактивные изотопы при облучении различных веществ нейтронами. Всего ими было получено таким образом более 60 искусственных изотопов.

*F e r m i E. Radioattività indotta da bombardamento di neutroni. I.— «Ricer. Scient.», 1934, v. 5¹, p. 283 (L); Radioattività provocata da bombardamento di neutroni. II.— Ibid., p. 330—331 (L).
F e r m i E., A m a l d i E., D' A g o s t i n o O., R a s e t t i F., S e g r e E. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment.— «Proc. Roy. Soc.», 1934, ser. A, v. 146, p. 483—500.*

Г. Гамов (в США) впервые сделал попытку теоретически объяснить ядерную изомерию, введя понятие о метастабильном возбужденном состоянии. По Гамову, причина метастабильности заключалась в существовании в некоторых ядрах гипотетических частиц — антипротонов.

G a m o v G. Negative protons and nuclear structure.— «Phys. Rev.», 1934, v. 45, p. 728—729.

Л. Сциллард (в Англии) высказал идею о возможности осуществления цепной ядерной реакции. В качестве такой реакции он рассматривал ядерную реакцию ${}^9\text{Be}(n, 2n){}^8\text{Be} \rightarrow 2{}^4\text{He}$, в которой при захвате одного нейтрона выделяется два, причем происходит освобождение энергии. Сциллард полагал, что если такая реакция практически возможна, то она может быть использована для проведения сильных взрывов.

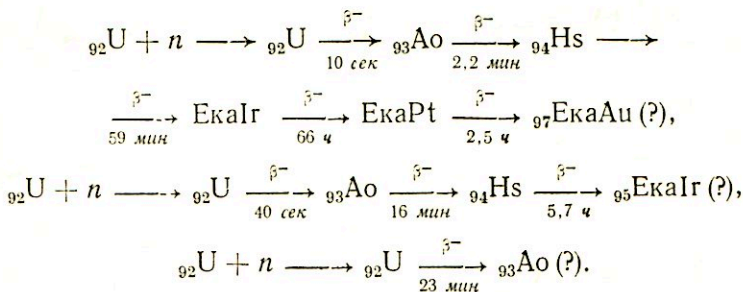
См. Г л е с с т о н С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 434.

У. Либби (в США) наблюдал в очень чистых образцах неодима слабую β -активность с энергией β -частиц около 11 кэв. Он предположил, что эта активность относится к изотопу неодима с $T_{1/2} = 1,46 \cdot 10^{12}$ лет.

Libby W. Beta-radioactivity of neodymium. — «Phys. Rev.», 1934, v. 45, p. 845—846.

1935

О. Ган, Л. Мейтнер и Ф. Штрассман (в Германии) начали цикл работ по исследованию трансурановых элементов, приняв за основу гипотезу Ферми. Ученые уточнили значения $T_{1/2}$ для изотопов, которые наблюдал Ферми, обнаружили новые радиоактивные изотопы, относящиеся к «трансурановой области», разработали дополнительные методы химического разделения и идентификации новых элементов. В итоге Ган, Мейтнер и Штрассман пришли к выводу о справедливости гипотезы Ферми и предложили несколько схем последовательных β^- -распадов облученного нейтронами урана, продолжающихся вплоть до элемента с $Z=97$:

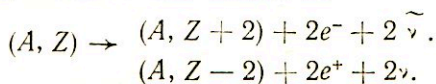


Исследователи считали, что ближайшие трансурановые элементы будут 6d-элементами, аналогами соответствующих 5d-элементов в шестом периоде менделеевской системы.

Hahn O., Meitner L. Über die künstliche Umwandlung des Urans durch Neutronen. — «Naturwiss.», 1935, Bd 23, S. 37—38; Neue Umwandlungsprozesse bei Bestrahlung des Urans mit Neutronen. — Ibid., 1936, Bd 24, S. 158—159.

М. Гёпперт-Майер (в США) опубликовала работу, посвященную теоретическому исследованию возможных

свойств нейтрино и впервые предложила возможность двойного β -распада. Суть его состоит в следующем. В природе существует большое число пар стабильных изобаров с Z , различающимися на 2 единицы, причем промежуточный изобар, заряд которого отличается от заряда крайних изобаров на 1, обладает массой, большей чем последние. Поэтому превращение одного из крайних изобаров в другой, более легкий, не может идти путем двух последовательных β -распадов. Однако можно допустить возможность распада, приводящего к изменению Z сразу на 2 единицы, посредством одновременного испускания двух β -частиц (электронов или позитронов), сопровождаемых двумя антинейтрино (или двумя нейтрино): $2n \rightarrow 2p + 2e^- + 2\bar{\nu}$ или $2p \rightarrow 2n + 2e^+ + 2\nu$. В результате такого процесса ядро с зарядом Z и массовым числом A превращается в ядро с зарядом $Z \pm 2$ и массовым числом A :



Это так называемый двухнейтронный двойной β -распад. Его вероятность, согласно Гёпперт-Майер, очень мала: период полураспада должен быть порядка 10^{21} лет.

G ö p p e r t - M a y e r M. Double beta-disintegration.— «Phys. Rev.», 1935, v. 48, p. 512—516.

А. Демпстер (в США) обнаружил на масс-спектрографе второй изотоп урана с массовым числом 235 (актиноуран) и оценил его распространенность: меньше 1% в плееде изотопов урана.

D e m p s t e r A. Isotopic constitution of uranium.— «Nature», 1935, v. 136, p. 180.

Разными учеными был исследован изотопный состав платины, палладия, золота и иридия.

См. А с т о н. Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

Б. В. Курчатов, И. В. Курчатов, Л. В. Мысовский и Л. И. Русинов (в СССР) обнаружили явление ядерной изомерии у искусственного радиоактивного изотопа ^{80}Br .

Оказалось, что этот изотоп имеет два ядерных изомера с периодами полураспада 18 мин и 4,5 ч.

Kouritchatow B., Kouritchatow I., Myssovsky L., Roussinow L. Sur un cas de radioactivité artificielle provoquée par un bombardement de neutrons, sans capture du neutron.— «Compt. rend.», 1935, v. 200, p. 1201—1203.

Х. Юкава (в Японии) высказал гипотезу о сущности ядерных сил, которые, по его мнению, должны иметь обменный характер. Согласно Юкаве, нуклоны в ядре могут обмениваться энергией путем излучения или поглощения «квантов» с массой покоя, большей, чем масса электрона, подобно тому, как атомы или молекулы переходят из одного энергетического состояния в другое посредством излучения или поглощения фотонов. Юкава предполагал, что масса этой гипотетической частицы примерно в 200 раз превосходит массу электрона.

Yukawa H. On the interaction of elementary particles. I.— «Proc. Phys.—Math. Soc. Japan», 1935, v. 14, p. 48—56.

Г. Хевеши (в Германии) показал, что из природных изотопов калия радиоактивным является ^{40}K .

Hevesy G. Natural and artificial radioactivity of potassium.— «Nature», 1935, v. 135, p. 96.

Г. Боте (в Германии) предложил общепринятую ныне схему записи уравнений ядерных реакций: $A(x, y)B$, где A — изотоп, подвергающийся бомбардировке частицами x ; B — ядро образовавшегося изотопа; y — вылетевшая частица. Например, реакция превращения азота в кислород запишется так: $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$.

См. Глессстон С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 253.

Х. Юкава и Ш. Саката (в Японии) предсказали возможность захвата ядром орбитального электрона как процесса, альтернативного по отношению к испусканию позитрона.

Yukawa H., Sakata S. On the theory of the β -disintegration and allied phenomenon.— «Proc. Phys. Mat. Soc. Japan», 1935, v. 17, p. 467—480.

1936

Н. Бор (в Дании) развил представления о составном ядре. По его мнению, частица, входящая в ядро атома, образует вместе с ним составное ядро, причем энергия частицы быстро распределяется между всеми нуклонами. Перераспределение энергии происходит непрерывно; со временем один из нуклонов (или комбинация нуклонов) приобретает достаточную энергию для того, чтобы вылететь из ядра. С помощью модели составного ядра впервые был объяснен механизм ядерных реакций.

Bohr N. Neutron capture and nuclear constitution. «Nature», 1936, v. 137, p. 344—348.

К. Вейцеккер (в Германии) предложил гипотезу о причинах ядерной изомерии. Эта гипотеза легла в основу современных теоретических представлений.

Weizsäcker C. Metastabile Zustände der Atomkerne.— «Naturwiss.», 1936, Bd 24, S. 813—814.

Г. Ван-Вургис (в США) показал, что искусственный радиоактивный изотоп ^{64}Si распадается с испусканием как электронов, так и позитронов. Позднее было установлено, что этот изотоп может превращаться и путем орбитального захвата.

См. Глесстон С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 313.

1937

В. Нодда и А. Брукль (в Германии) пришли к выводу, что все редкоземельные ионы Me^{3+} могут быть восстановлены до Me^{2+} , «по крайней мере, временно». В количественном отношении эта тенденция, согласно их исследованиям, выражалась следующим образом:

Степень восстанавливаемости Me^{3+} до Me^{2+} , %	Eu	Yb	Sm	Gd	Ce	Pr	Nd	La
	90	80	70	15	4—5			

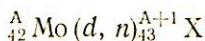
По мнению Ноддака и Брукля, редкоземельное семейство должно быть разделено на три группы (La—Nd, Sm—Gd, Tb—Lu), а не на две, как полагал Клемм. Ноддак и Брукль возражали против классификации Клемма, считая, что она «охватывает только маленький сектор всех свойств редких земель», игнорирует их аперiodические свойства (см. с. 142). В связи с этим Ноддак и Брукль сделали вывод: «До сих пор не имеется никакой систематики редкоземельных элементов, которая бы рационально охватывала их свойства и распределяла в периодической системе».

N o d d a c k W., B r u k l A. Die Reduktionspotentiale der dreiwertigen Erden.—«Angew. Chem.», 1937, Bd 50, S. 362—365; Zur klemmischen Systematik der seltenen Erden.—Ibid., 1938, Bd 51, S. 576—577.

В. Клемм и А. Боммер (в Германии) рассчитали на основании рентгенографических данных плотность нескольких лантаноидов и, пользуясь полученными значениями, вычислили атомные объемы редкоземельных элементов. Кривая атомных объемов обнаружила явно периодический (резко выраженные максимумы у европия и иттербия; небольшие минимумы у церия и тербия) характер. Ученые объяснили указанное явление тем, что в кристаллических решетках металлических европия и иттербия присутствуют, наряду с ионами Me^{3+} , ионы Me^{2+} , а в решетках церия и тербия — ионы Me^{4+} (правда, в меньшем количестве, чем Me^{2+} у европия и иттербия). Ход кривой атомных объемов лантаноидов явился дополнительным подтверждением разделения редкоземельного семейства на две группы.

K l e m m W., B o m m e r A. Zur Kenntnis der Metalle der seltenen Erden.—«Z. anorg. Chem.», 1937, Bd 231, s. 138—171.

К. Перрье и Э. Сегре (в США) сделали попытку выделить следы элемента 43 из молибденовой пластинки-мишени, которая была подвергнута бомбардировке дейтронами, ускоренными на циклотроне Калифорнийского университета. В результате ядерной реакции



должен был образоваться изотоп элемента 43. Из облученного молибдена Перрье и Сегре извлекли примерно 10^{-10} г нового элемента и определили его химическую природу. Свойства искусственно полученного элемента 43 оказались подобными свойствам рения. В знак того, что он был первым неизвестным ранее элементом, искусственно полученным человеком, элементу 43 в 1947 г. было дано название технеций (Tc) от греческого слова «технетос» — искусство. Синтез технеция открыл эпоху синтеза новых элементов.

Perrier C., Segre E. Radioactive isotopes of element 43. — «Nature», 1937, v. 140, p. 193—194; Some chemical properties of element 43. — «J. Chem. Phys.», 1937, v. 5, p. 712—716.

Н. Бор и Ф. Калькар (в Дании), используя идею об аналогии свойств ядра и капли несжимаемой жидкости, развили представление о так называемой капельной модели атомного ядра. Согласно капельной модели, нуклоны в ядре сильно взаимодействуют друг с другом подобно молекулам в капле жидкости. Уровни энергии в ядре рассматриваются как квантовые состояния не отдельного нуклона, а ядра в целом.

Bohr N., Kalckar F. On the transmutation of atomic nuclear by impact of material particles. — «Kgl. Danske Vid. Selskabs, Mathem.—Fys. Meddelelser», 1937, v. 14, Nr. 10, p. 40.

1938

М. Пул и Л. Квилл (в США) опубликовали сообщение о попытке синтеза изотопов элемента 61. Исследователи облучали неодимовую мишень быстрыми дейтронами и, как полагали, обнаружили среди продуктов ядерных реакций 15 ранее неизвестных изотопов редкоземельных элементов. Один из них, с массовым числом 144 (предположительно), β -активный с $T_{1/2} \approx 12,5$ ч, по мнению Пула и Квилла, был изотопом элемента 61. Однако химическая идентификация этого изотопа не проводилась, поэтому результат Пула и Квилла нельзя считать достоверным.

Pool M. L., Quill L. L. Radioactivity induced in the rare earth elements by fast neutrons. — «Phys. Rev.», 1938, v. 53, p. 437—446.

И. Кюри и П. Савич (во Франции), измеряя β^- -активность продуктов, образующихся при бомбардировке урана нейтронами, обнаружили радиоактивный изотоп с периодом полураспада 3,5 ч [ученые назвали его «R(3,5 час)»]. Этот изотоп удалось отделить от других, которые могли быть приняты за трансурановые изотопы. Дальнейшие химические исследования показали, что «R(3,5 час)» соосаждается с оксалатом лантана. Ученые предположили, что этот изотоп является актинием, однако соосаждение оксалатов из раствора, содержащего и лантан и актиний, показало, что «R(3,5 час)» более похож на лантан. Кюри и Савич так сформулировали окончательный вывод: «В целом свойства «R (3,5 час)» являются свойствами лантана, которым он остается, пока не завершится разделение посредством фракционирования». Таким образом, Кюри и Савич вплотную подошли к открытию деления урана, поскольку «R(3,5 час)», как выяснилось впоследствии, действительно был изотопом лантана.

Curie J., Savitch P. Sur les radioéléments formés dans l'uranium irradié par les neutrons. II.— «J. Phys.», 1938, v. 9, p. 355—359; Sur la nature de radioélément de période 3.5 heures formés par les neutrons.— «Compt. rend.», 1938, v. 206, p. 1643—1644.

О. Ган и Ф. Штрассман (в Германии) повторили эксперименты И. Кюри и П. Савича и пришли к выводу, что при одновременном использовании бария и лантана как носителей осаждаются радиоактивные вещества, имеющие периоды полураспада 25 мин, 110 мин и несколько дней. Из них образовывались дочерние вещества с $T_{1/2}$, соответственно равными 40 мин, 4 ч и 60 ч. Первые две активности были приписаны изомерным ядрам ^{231}Ra , а последняя — ^{231}Ac . По мнению Гана и Штрассмана, здесь имела место тройная изомерия, причем изомерные ядра могли возникать при быстром испускании двух α -частиц из возбужденного ядра ^{239}U , образовавшегося при захвате нейтронов.

Hahn O., Strassmann F. Über die Entstehung von Radiumisotopen aus Uran durch Bestrahlen mit schnellen und verlangsamten Neutronen.— «Naturwiss.», 1938, Bd 26, S. 755—756.

В декабре О. Ган и Ф. Штрассман (в Германии), продолжая свою предшествующую работу, сделали попытку

химическим путем подтвердить образование изотопов радия путем их отделения от U, Pa, Th, Ac и всех предполагаемых трансурановых элементов. При этом ученые обнаружили, что интересовавшие их изотопы радия невозможно отделить от бария, но они легко отделяются от радиотория (изотопа радия). Свои результаты Ган и Штрассман изложили в статье, датированной 22 декабря. Они писали: «Мы приходим к такому заключению. Наши «радиоактивные» изотопы обладают свойствами бария. Как химики мы должны подтвердить, что это новое вещество является не радием, а барием. Несомненно, что здесь нельзя предположить присутствия других элементов кроме радия и бария. Как физики, знакомые со свойствами ядра, мы не можем, однако, решиться на такое утверждение, противоречащее предшествующему опыту ядерной физики».

Одновременно Ган и Штрассман пришли к выводу, что трансурановые элементы могут быть изотопами элемента 43, рутения и т. д., но отнюдь не изотопами рения, осмия и т. д., что было доказано химическим путем. Ученые показали, что «сумма массовых чисел бария и мазурия $138 + 101$ дает 239», т. е. значение, которое равно сумме масс атома урана и нейтрона. Таким образом, Ган и Штрассман фактически открыли процесс деления урана.

Hahn O., Strassmann F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. — «Naturwiss.», 1939, Bd 27, S. 11.

А. Демпстер (в США) провел большое число точных измерений разностей упаковочных множителей элементов и построил кривую упаковочных множителей для тяжелых элементов (в значительной степени более точную, чем кривая Астона).

Dempster A. The atomic masses of the heavy elements. — «Phys. Rev.», 1938, v. 53, p. 64—75, 869.

Л. Альварец (в США) экспериментально доказал явление орбитального захвата электрона из ближайшей к ядру *K*-оболочки (так называемый *K*-захват). Поскольку вся выделяющаяся при *K*-захвате энергия уносится нейтринно, то обнаружить этот вид радиоактивного превращения очень трудно. Альварец обнаружил *K*-захват по-

средством измерения характеристического рентгеновского излучения ядра с зарядом $Z-1$, образовавшегося после захвата электрона ядром с зарядом Z (на освободившееся место в K -оболочке переходит электрон из L -оболочки, на вакантное место в L -оболочке — электрон из M -оболочки и т. д.; при каждом переходе испускается характеристическое рентгеновское излучение определенной частоты). Из теории β -распада Ферми (см. с. 157) следует, что из-за K -захвата не могут существовать ядра с $Z > 137$, поскольку они будут немедленно поглощать электрон из K -оболочки и превращаться в ядра с меньшим зарядом. Это вытекает из того, что в формулу, оценивающую вероятность K -захвата, входит величина энергии поглощаемого электрона E , равная $(1 - \alpha^2 Z^2)^{1/2}$ (она равна нулю при $Z = 1/\alpha = 137$). Однако впоследствии эти расчеты были пересмотрены на иной основе и привели к выводам, что верхняя граница существования атомных структур материи лежит значительно выше $Z = 137$ (если абстрагироваться от фактора неустойчивости ядер). Позднее было установлено, что электронный захват является весьма распространенным типом радиоактивного превращения для ядер с недостатком нейтронов, причем отношение вероятностей испускания позитронов (β^+ -распад) и электронного захвата зависит от Z : оно растет (при данной энергии распада) с увеличением Z .

Alvarez L. The capture of orbital electrons by nuclei. — «Phys. Rev.», 1938, v. 54, p. 486—497.

Л. И. Русинов и А. Л. Юзефович (в СССР) и Б. Понтекорво (в США) открыли явление конверсионного излучения ядерных изомеров.

Русинов Л. И., Юзефович А. Л. Мягкое излучение брома. — «Докл. АН СССР», 1938, т. 20, с. 647—648.

Pontecorvo B. Nuclear isomerism and internal conversion. — «Phys. Rev.», 1938, v. 54, p. 542.

Г. Гольдхабер, Р. Хилл и Л. Сциллард (в США) на примере индия показали, что ядерная изомерия существует также у стабильных ядер.

Goldhaber H., Hill R., Szillard L. Radioactivity induced by nuclear excitation. I. Excitation by neutrons. — «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 47—49

1939

О. Фриш (в Дании) экспериментально подтвердил предположение о делении ядра урана под действием нейтронов.

Frisch O. Physical evidence for the division of heavy nuclei under neutron bombardment.— «Nature», 1939, v. 143, p. 276.

Л. Мейтнер и О. Фриш (в Швеции) впервые дали теоретическое объяснение результатов, наблюдавшихся О. Ганом и Ф. Штрассманом. Ученые отмечали: «На первый взгляд, этот результат очень трудно понять. Возможность образования элементов, лежащих много ниже урана, рассматривалась и раньше, но всегда отвергалась по ряду физических причин, пока данные, полученные химическим путем, еще не были вполне очевидны. Испускание в течение короткого времени большого числа заряженных частиц можно считать исключенным вследствие малой проницаемости кулоновского барьера... Однако на основе новых представлений о поведении тяжелых ядер возникает совершенно другая... картина этих новых процессов распада... Представляется возможным, что ядро урана имеет лишь небольшую устойчивость формы и может после захвата нейтрона разделиться на два ядра примерно одинакового размера».

Этот процесс деления ядра урана на два осколка примерно равной массы был по предложению Фриша назван делением. Мейтнер и Фриш показали далее, что, поскольку отношение числа нейтронов к числу протонов в ядрах-осколках исключительно высоко, последние должны испытывать последовательные β^- -превращения вплоть до образования стабильных продуктов. Периоды полураспада этих β^- -активных изотопов ранее ошибочно приписывались трансурановым элементам. Наряду с этим Мейтнер и Фриш предсказали, что деление ядер должно сопровождаться выделением больших количеств энергии. Вскоре Фриш доказал это экспериментально.

Meitner L., Frisch O. Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction.— «Nature», 1939, v. 143, p. 239—240; Products of the fission of the uranium nucleus.— Ibid., p. 471—472.

Ф. Жолио-Кюри (во Франции) привел следующую возможную схему деления урана ${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{37}^{98}\text{Rb} + {}_{55}^{141}\text{Cs}$.

По мнению ученого, из осколков, имеющих значительный избыток нейтронов по сравнению со стабильными ядрами того же Z , в результате цепи последовательных β^- -распадов в качестве конечных продуктов могут образоваться стабильные ${}_{59}^{141}\text{Pг}$ и ${}_{42}^{98}\text{Мо}$.

J o l i o t F. Preuve expérimentale de la rupture explosive des noyaux d'uranium et de thorium sous l'action des neutrons. — «Compt. rend.», 1939, v. 208, p. 341—343.

М. Перей (во Франции) открыла элемент 87 и предложила для него название франций (Fr). Тщательно исследуя излучение ${}^{227}\text{Ac}$, она установила, что наряду с β^- -распадом актинию в малой степени (1,2%) свойственно α -превращение, в результате чего образуется изотоп элемента 87 (AcK) с периодом полураспада 21 мин и массовым числом 223.

P e r e y M. L'élément 87: AcK, dérivé de l'actinium. — «J. Phys. Radium.» 1939, v. 10, p. 435—437.

Н. Бор (в США) развил качественную теорию явлений, протекающих в тяжелых ядрах при их взаимодействии с нейтронами. По его мнению, имеет место двухстадийный процесс: «Сначала из урана и нейтрона образуется составное ядро, в котором энергия, связанная с захватом нейтрона, находится в форме, напоминающей тепловое движение жидкости или твердого тела. Второй стадией является или излучение этой энергии, или же ее переход в такую форму, которая может привести к дезинтеграции составного ядра». Деление ядра можно объяснить тем, что «значительная часть энергии должна перейти в особого рода движение всего ядра в целом, вызывающее такую деформацию поверхности ядра, которая может привести к разрыву ядра наподобие образования двух капель жидкости из одной».

B o h r N. Resonance in uranium and thorium disintegration and the phenomenon of nuclear fission. — «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 418—419.

Н. Бор и Дж. Уилер (в США) развили количественную теорию деления ядер. Было показано, что вероятност- деления возрастает с увеличением отношения Z^2/A . Ученые предсказали также возможность спонтанного деления

урана с периодом полураспада порядка 10^{22} лет (для изотопа ^{233}U).

Bohr N., Wheeler J. The mechanism of nuclear fission.— «Phys. Rev.», 1939, v. 56, p. 426—450.

Я. И. Френкель (в СССР) независимо от Н. Бора разработал теорию деления ядер.

Френкель Я. И. Электрокапиллярная теория расщепления тяжелых ядер медленными нейтронами.— «ЖЭТФ», 1939, т. 9, с. 641—653.

А. Нир (в США) обнаружил третий (очень редкий) изотоп урана с массовым числом 234 (известный ранее как UIII). Нир оценил относительную распространенность природных изотопов урана: ^{238}U — 99,28%, ^{235}U — 0,71% и ^{234}U — 0,006%.

Nier A. The isotopic constitution of uranium and the half-lives of the uranium isotopes. I.— «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 150—153.

Р. Робертс, Р. Мейер и П. Ванг (в США) обнаружили явление испускания продуктами деления урана запаздывающих нейтронов.

Roberts R., Meyer R., Wang P. Further observation on the splitting of uranium and thorium.— «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 510—511.

В. Цинн и Л. Сциллард (в США) разработали метод определения числа нейтронов, вылетающих при делении, и получили среднее значение — 2,3 нейтрона на акт деления.

*Zinn W., Szillard L. Instantaneous emission of fast neutrons in the interaction of slow neutrons with uranium.— «Phys. Rev.», 1939, v. 55, p. 799—800; Emission of neutrons by uranium.— *Ibid.*, v. 56, p. 619—624.*

1940

Д. Корсон, К. Маккензи и Э. Серге (в США) осуществили синтез элемента 85. В качестве мишени они выбрали висмут, в качестве бомбардирующих частиц — α -частицы, ускоренные на циклотроне Калифорнийского университета. В результате ядерной реакции $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{X}$ образовывался изотоп элемента 85 с периодом полураспада $T_{1/2} =$

=7,5 ч. Поскольку все изотопы этого элемента оказались нестабильными, для него в 1947 г. было предложено название «астатин» (At) (от греческого «астатос» — неустойчивый).

Corson D., Mackenzie K., Segre E. Artificially radioactive element 85.— «Phys. Rev.», 1940, v. 57, p. 250, 459; v. 58, p. 672—678.

Э. Макмиллан и П. Абельсон (в США) поставили эксперимент по синтезу трансуранового элемента с $Z = 93$. На циклотроне в Беркли ученые бомбардировали тонкие слои нитрата уранила медленными нейтронами; продукты деления урана удалялись путем использования метода ядерной отдачи. В результате Макмиллан и Абельсон обнаружили β^- -активный изотоп с периодом полураспада 23 мин. Дальнейшее исследование показало, что найденный изотоп превращается в другой с $T_{1/2} = 2,3$ дня. Отсюда Макмиллан и Абельсон сделали вывод, что им удалось синтезировать первый изотоп трансуранового элемента с $Z = 93$, который образуется по ядерной реакции $^{238}\text{U}(n, \gamma) ^{239}\text{U} \xrightarrow[23 \text{ мин}]{\beta^-} ^{239}\text{93}$. Элемент был назван нептунием (Np).

Макмиллан и Абельсон показали далее, что Np не является химическим аналогом Re, как это предполагалось в некоторых предшествующих работах, а по многим свойствам подобен урану. Нептуний имеет две степени окисления — IV и VI, причем в этих окислительных состояниях его свойства похожи на свойства урана. Было отмечено, что для окисления нептуния до шестивалентного состояния требуется более сильный окислитель, чем для урана; это обстоятельство легло в основу одной из схем разделения нептуния и урана. Таким образом, Макмиллан и Абельсон впервые экспериментально определили возможную нижнюю границу 5f-семейства, поскольку отсутствие сходства нептуния с рением и близость свойств U и Np свидетельствовали о том, что в области элементов с $Z \geq 92$ происходит заполнение 5f-подоболочки.

McMillan E., Abelson P. Radioactive element 93.— «Phys. Rev.», 1940, v. 57, p. 1185—1186.

К. Штарке (в Германии) независимо от Э. Макмиллана и П. Абельсона синтезировал элемент 93 (изотоп с массовым числом 239).

Starke K. Abtrennung des Elements 93.— «Naturwiss», 1942, Bd 30, S. 107—108.

Г. Сиборг, Э. Макмиллан, Дж. Кеннеди и А. Валь (в США) получили изотоп элемента с $Z = 94$ при облучении урана дейтронами на циклотроне в Беркли. Изотоп синтезировали по ядерной реакции $^{238}\text{U}(d, 2n)^{238}\text{Np} \xrightarrow[2,1 \text{ дня}]{\beta^-} ^{238}\text{Pu}$. Новый элемент был назван плутонием (Pu). Химия плутония была изучена на изотопе ^{238}Pu . Выяснилось, что химические свойства плутония, нептуния и урана сходны. Этот факт явился дополнительным подтверждением того, что в области элементов с $Z \geq 92$ происходит заполнение $5f$ -подоболочки.

Seaborg G., McMillan E., Kennedy J., Wahl A. Radioactive element 94 from deuterons on uranium.— «Phys. Rev.», 1946, v. 69, p. 366—367.

Г. Виллар (в Уругвае) рассмотрел вопрос о структуре седьмого периода периодической системы и вывел уравнение, позволяющее вычислять значения Z , которые отвечают порядковым номерам инертных газов 2, 10, 18, 36, 54, 86, ..., Z_p , где Z_p — порядковый номер инертного газа, находящегося в периоде с номером P . Уравнение имеет вид: $Z_p = 2P(2 \times 1 - 1) + 2(P - 1)(2 \times 2 - 1) + 2(P - 3) \times (2 \times 3 - 1) + 2(P - 5)(2 \times 4 - 1) + \dots + 2(P - 2n + 3) \times (2n - 1)$. По Виллару, это уравнение отражает закономерность образования электронных конфигураций инертных газов. Числа 1, 2, 3, 4, ... соответствуют подоболочкам s, p, d, f, \dots Ученый сделал вывод, что седьмой период подобно шестому должен состоять из 32 элементов и структура этих периодов должна быть одинаковой.

Villar G. On a suggested revision of the seventh period of the periodic table.— «J. Chem. Educ.», 1942, v. 19, p. 286.

К. А. Петржак и Г. Н. Флеров (в СССР) экспериментально обнаружили процесс спонтанного деления урана. Ученые пришли к выводу, что «спонтанное деление следует приписать одному из невозбужденных изотопов урана с периодами полураспада $^{238}\text{U} - 10^{16} - 10^{17}$ лет, $^{235}\text{U} - 10^{14} - 10^{15}$ лет и $^{234}\text{U} - 10^{12} - 10^{13}$ лет».

Петржак К. А., Флеров Г. Н. Спонтанное деление урана.— «Докл. АН СССР», 1940, т. 28, с. 500—501.

Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) опубликовали работу, где сформулировали выводы о возможности осуществления цепной реакции деления урана.

Зельдович Я. Б., Харитон Ю. Б. Деление и цепной распад урана.— «УФН», 1940, т. 23, с. 329—357.

Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) провели детальный количественный анализ цепной реакции деления урана на медленных нейтронах и сформулировали условие взрыва, т. е. условие возникновения бесконечно разветвляющихся цепей.

Зельдович Я. Б., Харитон Ю. Б. О цепном распаде урана под действием медленных нейтронов.— «ЖЭТФ», 1940, т. 10, с. 29—36; Кинетика цепного распада урана.— Там же, с. 477—480.

Группа ученых во главе с А. Ниром (в США) впервые осуществили разделение изотопов ^{235}U и ^{238}U в заметных количествах на масс-спектрометре. Было также показано, что при облучении урана медленными нейтронами делению подвергается изотоп ^{235}U .

Nier A., Booth E., Dunning J., Grosse A. Nuclear fission of separated uranium isotopes.— «Phys. Rev.», 1940, v. 57, p. 564.

Л. Альварец (в США) на 94-сантиметровом циклотроне в Беркли впервые добился ускорения многозарядных тяжелых ионов углерода (C^{6+}) до энергии около 50 Мэв.

См. Глестон С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961, с. 285.

1941

Г. Лоу, М. Пул, Д. Курбатов и Л. Квилл (в США) провели обширную серию экспериментов по искусственному синтезу изотопов элемента 61. Мишени из неодима и празеодима подвергались бомбардировке быстрыми дейтонами, протонами, α -частицами и нейтронами. Исследователи предполагали, что одним из продуктов ядерных реакций яв-

ляются изотопы элемента 61 с массовыми числами 144, 147 и 149, однако их химическое выделение не проводилось. Для элемента 61 было предложено название циклоний.

Law H., Pool M., Kurbatov J., Quill L. Radioactive isotopes of Nd, H and Sm.— «Phys. Rev.», 1941, v. 59, p. 936.

М. Гёпперт-Майер (в США) опубликовала важную теоретическую работу, касающуюся вычисления значений Z , при которых в атомах впервые появляются $4f$ - и $5f$ -электроны. Основываясь на статистической модели атома Томаса—Ферми, она рассчитала собственные функции для $4f$ - и $5f$ -электронов и пришла к выводу, что «результаты расчета для группы редких земель довольно хорошо согласуются с экспериментальными фактами. Теория предсказывает, что $4f$ -орбиты начинают заполняться не раньше, чем у атома с $Z = 61$ или $Z = 60$. В действительности первый $4f$ -электрон появляется у атома с $Z = 58$. В соседстве с $Z = 92$ теория предсказывает появление второй «редкоземельной» группы. Первый занятый $5f$ -уровень должен появиться у атома $Z = 91$ или 92 . Согласно экспериментальным данным, у урана, по-видимому, нет $5f$ -электронов. Но в вычислениях, основанных на статистической модели, вполне возможна ошибка на несколько единиц».

Göppert-Mayer M. Rare-earth and transuranic elements.— «Phys. Rev.», 1941, v. 60, p. 184—187.

Дж. Кеннеди, Г. Сиборг, А. Валь и Э. Сегре (в США) выделили и идентифицировали изотоп ^{239}Pu в качестве продукта β -распада ^{239}Np . Изотоп ^{239}Pu оказался α -активным. Ученые также доказали, что ^{239}Pu делится под действием медленных нейтронов, причем эффективное сечение деления очень велико ($730 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$).

Это обстоятельство оказалось чрезвычайно перспективным для использования ^{239}Pu в качестве ядерного горючего.

Kennedy J., Seaborg G., Wahl A., Segre E. Properties of $^{94}(239)$.— «Phys. Rev», 1946, v. 70, p. 555—556.

1942

Б. Каннингэм и Л. Вернер (в США) впервые выделили чистый плутоний в весовых количествах.

Cunningham B., Werner L. The transuranium elements, N. N. E. S., v. 14B, Paper 18, N. Y., 1949.

А. Валь и Г. Сиборг (в США) синтезировали наиболее долгоживущий изотоп нептуния ^{237}Np по ядерной реакции $^{238}\text{U}(n, 2n) ^{237}\text{U} \xrightarrow[6,75 \text{ дня}]{\beta^-} ^{237}\text{Np}$ (его период полураспада составляет $2,2 \cdot 10^6$ лет).

Wahl A., Seaborg G. Nuclear properties of $^{93}\text{Np}^{237}$. — «Phys. Rev.», 1948, v. 73, p. 940—941.

1943

Б. Карлик и Т. Бернерт (в Австрии) обнаружили природный астатин. Исследователи доказали, что в радиоактивном семействе ^{238}U изотоп ^{218}Po , наряду с обычным α -распадом, в $5 \cdot 10^{-2}\%$ случаев испытывает β^- -превращение, в результате которого образуется весьма короткоживущий ^{218}At (с $T_{1/2} \approx 1,3$ сек). Далее Карлик и Бернерт в семействе актиния обнаружили изотоп ^{215}At (с $T_{1/2} \approx 10^{-4}$ сек), также находящийся на боковом ответвлении.

Karlik B., Bernert T. Eine neue natürliche α -Strahlung. — «Naturwiss», 1943, Bd 31, S. 298—299; Ein weiterer dualer Zerfall in der Thoriumreihe. — Ibid., S. 492; Das Element 85 in der Actiniumreihe. — Ibid., 1944, Bd 32, S. 44.

1944

Л. Магнуссон и Т. Лашапелль впервые выделили изотоп ^{237}Np в весовых количествах.

Magnusson L. B., La Chapelle T. J. The first isolation of element 93 in pure compounds and a determination of the half-life of $^{93}\text{Np}^{237}$. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1948, v. 70, p. 3534—3538.

Г. Сиборг, Р. Джемс и А. Гиорсо (в США) синтезировали первый изотоп элемента 96. Он был найден среди продуктов облучения α -частицами ^{239}Pu , согласно ядерной реакции $^{239}\text{Pu}(\alpha, n)^{242}\text{96}$. Элемент был назван кюрием

(См). Синтез кюрия и америция осуществлялся практически одновременно, но идентификация кюрия имела место несколько ранее. ^{242}Cm образуется также из ^{241}Am в результате интенсивного облучения последнего нейтронами.

Seaborg G. Artificial radioactive tracers: applications to chemistry and medicine.— «Sciences», 1947, v. 105, p. 349—354;

Seaborg G., James R., Giorso A. The transuranium elements, N. N. E. S., v. 14B, Paper 22.2, N. Y., 1949.

1945

Г. Сиборг (в США) рассмотрел вопрос о месте трансурановых элементов с $Z = 93 \div 96$ в периодической системе. Исходя из того, что нептуний и плутоний не обнаруживают сходства с рением и осмием или элементом 43 и рутением, Сиборг считал: в атомах нептуния и плутония происходит заполнение $5f$ -подоболочки. Однако в вопросе о том, можно ли считать уран первым членом $5f$ -семейства, ученый был осторожен, полагая, что этого нельзя установить «на основании одних только химических данных». Тем не менее, Сиборг счел возможным выдвинуть «гипотезу о том, что ряд типа редких земель начинается с актиния, так же как ряд лантанидов начинается с лантана». «Поэтому, — писал Сиборг, — мы можем назвать новый ряд «актинидами» и предположить, что первый $5f$ -электрон появляется у тория». Сиборг привел вариант таблицы элементов, в которой элементы $4f$ - и $5f$ -семейств впервые размещались следующим образом:

Ряд лантанидов	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	11	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
Ряд актинидов	89	90	91	92	93	94	95	96							
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm							

Сиборг предположил далее, что «характерной для этого ряда (актиноидов.— *Авт.*) степенью окисления (т. е. степенью окисления, которую проявляют элементы, содержащие семь и четырнадцать $5f$ -электронов) является степень окисления, равная III». Важно следующее его замечание: «Для некоторых элементов ряда вопрос о том, приписать ли им электроны $5f$ или $6d$, является до некоторой степени академическим, так как энергия, необходимая для перехода из одной электронной подоболочки в другую, может быть порядка энергий химических связей. Электронная

конфигурация элемента может меняться при переходе от соединения к соединению и даже при изменении физического состояния данного вещества». Сиборг считал, что подобное изменение электронной конфигурации наиболее характерно для урана, нептуния и плутония. Наконец, по мнению Сиборга, ряд актинидов отличается по химическим свойствам от ряда лантанидов тем, что первые актиниды «легче окисляются до степени окисления выше III», но с ростом Z стабильность низких степеней окисления и, особенно степени окисления III, увеличивается. Так, кюрий с его семью $5f$ -электронами должен иметь конфигурацию, сходную с конфигурацией гадолиния (семь $4f$ -электронов), и проявлять почти исключительно степень окисления III. Наличие семи $5f$ -электронов в структуре Cm^{3+} Сиборг считал «наиболее существенным критерием для помещения тяжелых элементов в ряд актинидов», появление же первого $5f$ -электрона у тория, по Сиборгу, столь же существенным критерием не является. Так, «до открытия трансурановых элементов было общепризнано, что в элементах с $Z = 89 \div 92$ имеет место простое заполнение $6d$ -подоболочки».

Рассмотренные выше положения легли в основу сформулированной Сиборгом гипотезы о месте элементов с $Z \geq 90$ в периодической системе — так называемой актиноидной гипотезы.

Seaborg G. The transuranium elements. — «Science», 1946, v. 104, p. 379—386.

Дж. Маринский, Л. Гленденин и Ч. Корнелл (в США) получили первое неопровержимое доказательство искусственного синтеза изотопов элемента 61. Ученые применили для этой цели ионообменный метод разделения редкоземельных элементов. Выделялись фракции радиоактивных изотопов элемента 61 из осколков деления урана и продуктов облучения неодима медленными нейтронами. На хроматограмме пик элемента 61 располагался между пиками неодима и самария. Удалось идентифицировать два изотопа элемента 61 с массовыми числами 147 ($T_{1/2} = 3,7$ года) и 149 ($T_{1/2} = 47$ ч). Для элемента было предложено название прометий (Pm).

Marinsky J., Glendenin L., Coryell Ch. The chemical identification of radioisotopes of neodymium and of element 61. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1947, v. 69, p. 2781—2785.

Б. Кеттль и Г. Бойд (в США) подтвердили результаты Дж. Маринского и его коллег.

Kettle B., Bayd G. The exchange adsorption of ions from aqueous solutions by organic zeolites. IV. The separation of the yttrium group rare earths.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1947, v. 69, p. 2800—2812.

Г. Сиборг, Р. Джемс, П. Морган и А. Гиорсо (в США) синтезировали изотоп трансуранового элемента с $Z = 95$ посредством интенсивного облучения плутония нейтронами в ядерном реакторе: $^{239}\text{Pu}(n, \gamma)^{240}\text{Pu}(n, \gamma)^{241}\text{Pu} \xrightarrow[13 \text{ лет}]{\beta^-} ^{241}\text{95}$. Новый элемент был назван америцием (Am).

Результаты химического исследования, проведенного методом меченых атомов, привели к выводу, что в водных растворах америций, по-видимому, существует только в степени окисления III. Таким образом, было подмечено, что в ряду трансурановых элементов с увеличением Z появляется тенденция к стабилизации низких степеней окисления.

Seaborg G. Artificial radioactive tracers: applications to chemistry and medicine.— «Science», 1947, v. 105, p. 349—354;

Giorgio A., James R., Morgan P., Seaborg G. Preparation of transplutonium isotopes by neutron irradiation.— «Phys. Rev.», 1950, v. 78, p. 472.

Б. Каннингэм (в США) впервые получил чистые соединения америция.

Cunningham B. The Transuranium Elements, N. N. E. S., v. 14B, Paper 19.2, N. Y., 1949.

1946

Ю-Та (во Франции) впервые обратил внимание на закономерность, которой подчиняется формирование электронных конфигураций атомов с увеличением Z . Эта закономерность состоит в том, что последовательность заполнения электронных уровней зависит от суммы главного и орбитального квантовых чисел ($n + l$), причем заполнение происходит от меньших значений $n + l$ к большим. Ю-Та ввел представление о так называемом смешанном квантовом числе

t , равном сумме $n + l$, и сформулировал правило: «Подслои электронной оболочки атома строятся в порядке возрастающих значений квантового числа l , а при данном l — по возрастающим значениям n ». Однако Ю-Та ничего не говорил ни об особых $(n + l)$ -группах электронов в атомах, ни тем более о существовании $(n + l)$ -области атомных состояний. Это было сделано В. М. Клечковским; он же дал строгую формулировку $(n + l)$ -правила, т. е. правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп (см. с. 190).

Y e o u - T a . Une nouvelle représentation du tableau périodique des éléments.— «Ann. phys.», 1946, v. 1, p. 88—89.

Е. И. Ахумов (в СССР), пытаясь решить вопрос о нижней границе периодической системы, предложил рассматривать составные части атома как элементы в обычном понимании. Согласно Ахумову, поскольку заряд протона и позитрона равен $+1$, то их можно считать как бы изотопами водорода. Нейтрон и нейтрино, не имеющие заряда, должны быть расположены слева от водорода как элементы с $Z = 0$. Наконец, электрон, имея заряд -1 , размещается левее «плеяды» нейтрона. Ахумов ввел в периодическую систему нулевой период, где разместил электрон и нейтрон.

А х у м о в Е. И. О нулевом периоде периодической системы элементов.— «ЖОХ», 1946, т. 16, 961—963; О периодической системе химических элементов.— Там же, 1947, т. 17, с. 1241—1246.

1947

У. Меггерс (в США) обобщил данные по спектрам редкоземельных элементов и сделал заключение, что $4f$ -подоболочка наполовину заполняется у европия ($Z = 63$), а полностью — у иттербия ($Z = 70$). Было показано, что нормальный атом церия содержит два $4f$ -электрона, а $5d$ -электроны содержатся лишь в конфигурациях лантана, гадолиния и лютеция.

M e g g e r s W. The electronics configuration of rare-earths and transuranic elements.— «Science», 1947, v. 105, p. 514.

1948

Г. Сиборг и А. Уол (в США) обсудили вопрос о свойствах нептуния и плутония и их месте в периодической системе. Ученые рассматривали две возможности: 1) нептуний и плутоний являются соответственно аналогами рения и осмия; 2) нептуний и плутоний относятся к семейству элементов, принадлежащих III и IV группе. Сиборг и Уол пришли к выводу, что нептуний и плутоний ни в коей мере не являются аналогами рения и осмия, хотя и не отрицали категорически, что в определенных условиях нептуний и плутоний могут быть окислены до семи- и даже восьмивалентного состояния. Сиборг и Уол сделали заключение об их принадлежности к семейству элементов, до некоторой степени аналогичному редкоземельному, хотя родоначальника первого не могли определенно назвать.

Seaborg G., Wahl A. The chemical properties of elements 94 and 93.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1948, v. 70, p. 1128—1134.

Р. Хакала (в США) впервые дал эмпирическую формулу для описания последовательности n, l -подгрупп электронов (т. е. подгрупп с заданной комбинацией значений главного и орбитального квантовых чисел), соответствующей очередности их заполнения с увеличением Z , и ввел понятие порядкового номера n, l -подгруппы (E_{ord}) в последовательности этих подгрупп, соответственно реальной схеме формирования электронных конфигураций атомов. Формула Хакала имеет вид:

$$E_{\text{ord}} = \frac{(n+l)(n+l+2)}{4} + \frac{1 - (-1)^{n+l}}{8} - l.$$

Hakala R. Letter to the Editor.— «J. Chem. Educ.», 1948, v. 25, p. 229.

С. Фрид (в США) впервые приготовил металлический технеций (0,1 мг) методом восстановления сульфида Tc_2S_7 водородом при температуре 1000—1100 °С.

Fried S. The preparation of technetium metal.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1948, v. 70, p. 442.

Г. Паркер и П. Лантц (в США) выделили первые 6 мг прометия (изотопа ^{147}Pm) из продуктов деления урана тепловыми нейтронами.

Parker G., Lantz P. The absorption spectrum of element 61, promethium.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1950, v. 72, p. 2834—2836.

Г. Сиборг и М. Перлман (в США) выделили следы природного плутония из образцов урановой смолки.

Seaborg G., Perlman M. Search for elements 94 and 93 in nature. Presence of ^{239}Pu in pitchblende.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1948, v. 70, p. 1571—1573.

М. Гёпперт-Майер (в США) развила гипотезу о спин-орбитальном взаимодействии применительно к теории ядерных оболочек. На основе этой гипотезы было обосновано существование «магических» ядер при Z (и N) = 2, 8, 20, 50, 82 и N = 126.

Göppert-Mayer M. On closed shells in nuclei.— «Phys. Rev.», 1948, v. 74, p. 235—239.

Н. Баллоу (в США) на основании теории Бора—Уиллера рассчитал относительную устойчивость ядер прометия и высказал предположение, что ^{145}Pm должен быть α -активным изотопом с большим периодом полураспада T_α .

Ballou N. Considerations on the existence of element 61 in nature.— «Phys. Rev.», 1948, v. 73, p. 630.

1949

Г. Сиборг (в США) выступил с четкой формулировкой актиноидной гипотезы. К этому его побудили, в частности, неудачные эксперименты по выделению америция и кюрия в виде шестивалентных производных. Сиборг предсказал, основываясь на актиноидной концепции, наличие у элемента 97 (будущего берклия) степени окисления IV.

Seaborg G. The Transuranium Elements, N. N. E. S., vol. 14B, Paper 21.1, Div. IV, N. Y., 1949; Place in periodic system and electronic structure of the heaviest elements.— «Nucleonics», 1949, ser. 5, v. 5, p. 16—36.

С. Томпсон, А. Гиорсо и Г. Сиборг (в США) синтезировали первый изотоп элемента 97 согласно ядерной реакции $^{241}\text{Am}(\alpha, 2n)^{243}\text{97}$. Новому элементу было дано название берклий (Bk).

Thompson S., Ghiorso A., Seaborg G. Element 97.— «Phys. Rev.», 1950, v. 77, p. 838—839.

М. Гайсинский (во Франции) рассмотрел вопрос о положении цис- и трансурановых элементов в периодической системе и высказал ряд возражений против актиноидной концепции Сиборга. С точки зрения Гайсинского, актиний, торий, протактиний и уран не только являются истинными гомологами предшествующих им элементов в соответствующих группах, но в наиболее устойчивых окислительных состояниях заметно отличаются друг от друга. Поэтому «классификация трех цисурановых элементов с ураном в новую редкоземельную серию, называемую актинидами, ... противоречит химическому смыслу первой редкоземельной серии, лантанидов». Гайсинский выдвинул идею о пентаде элементов (включающей U, Np, Pu, Am, и Cm), подобной триадам переходных *d*-элементов; в обоих случаях высшие значения валентностей уменьшаются слева направо. Общий вывод заключается в том, что химические различия между цис- и трансурановыми элементами проявляются слишком хорошо, чтобы можно было объединить эти элементы в одно семейство. По мнению Гайсинского, «вопрос о существовании редкоземельной серии в седьмом периоде должен быть рассмотрен с точки зрения общей эволюции химических свойств элементов во всей периодической системе». Рассмотренные соображения Гайсинского представляют зародыш его будущей уранидной концепции.

Haissinsky M. Sur la classification des derniers éléments système périodique.— «J. Chem. Soc.», London, 1949, Suppl. 2, p. 241; «J. Chem. Phys.», 1950, v. 47, p. 415—418.

А. П. Фаустов (в СССР) высказал идею о целесообразности включения в систему элементов второй побочной подгруппы в каждой из групп и увеличения числа групп до 10.

Фаустов А. П. Новый способ изображения системы элементов Д. И. Менделеева.— «ЖОХ», 1949, т. 19, с. 396—398.

С. А. Щукарев (в СССР) опубликовал работы, посвященные изучению элементных (атомных) весов как периодической функции, и развил представления об элементах-артиадах и элементах-периссадах.

Щукарев С. А. Элементный (атомный) вес как периодическая функция и учение об элементах-двойниках.— «ЖОХ», 1949, т. 19, с. 3—16; О так называемых аномалиях и о вырожденных аномалиях элементных (атомных) весов.— Там же, с. 373—379; Правила изонуклон и распределение устойчивых субэлементов между артиадами и периссадами.— Там же, с. 380—390; Пропадавшие периссады и артиады, лишённые нечетных субэлементов — Там же, с. 351—395.

Г. Джонстон, Р. Лейнингер и Э. Сегре (в США) опубликовали работу, посвященную изучению свойств астатина. Исследования производились с ультрамалыми количествами элемента (10^{-15} — 10^{-14} моль). Тем не менее удалось достоверно установить, что электроположительные свойства астатина проявляются более резко, чем у йода. В некоторых случаях астатин ведет себя как металл (выделяется на катоде при электролизе, соосаждается с сульфидами металлов из солянокислых растворов и т. д.). Было сделано предположение о возможных валентных состояниях астатина (-1 , $+1$, $+3$, $+5$, $+7$).

Johnston G., Leininger R., Segre E. Chemical properties of astatine. I.—«J. Chem. Phys.», 1949, v. 17, p. 1—10.

Б. Понтекорво, Г. Кирквуд и Г. Ханна (в США) впервые наблюдали явление орбитального захвата электрона из *L*-оболочки (*L*-захват) у изотопа ^{37}Ag . Было найдено, что отношение вероятностей *L*- и *K*-захвата в данном случае составляет 0,08.

Pontecorvo B., Kirkwood H., Hanna G. Nuclear capture of L_1 -electrons.— «Phys. Rev.», 1949, v. 75, p. 982.

Э. Сегре, Р. Лейнингер и К. Виганд (в США) теоретически предсказали и подтвердили экспериментально, что для самых легких элементов периодической системы скорость электронного захвата зависит от химического состояния. Дело в том, что у легких элементов захватыва-

емые электроны могут быть также и валентными. Плотность электронов около ядра при изменении химического состояния элемента меняется; в связи с этим, изменяется вероятность захвата электрона и, следовательно, период полураспада. Измерения проводились с изотопом ${}^7\text{Be}$, который испытывает весьма редкий вид захвата электрона — с L -оболочки (так называемый L -захват). Оказалось, что между значениями $T_{1/2}$ у металлического бериллия и BeF_2 действительно существует разница, относительная величина которой составляет $8,4 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, захват электрона с L -оболочки ${}^7\text{Be}$, когда изотоп входит в состав соединения, происходит медленнее ($T_{1/2}$ меньше). Эта работа является первым доказательством того, что в определенных случаях внешние условия могут влиять на скорость радиоактивных превращений.

Segré E., Wiegand C. Experiments of the effect of atomic electrons on the decay constant of Be^7 . I.— «Phys. Rev.», 1949, v. 75, p. 39—43.

Leininger R. E., Segré E., Wiegand C. Experiments on the effect of atomic electrons on the decay constant of Be^7 . II.— «Phys. Rev.», 1949, v. 76, p. 897—898.

Э. Финберг (в США) обратил внимание на тот факт, что непосредственно перед «магическими» ядрами с Z и N , равными 50, 82, и 126, существуют группы изомеров с нечетными Z или N (эти группы получили название «островков изомерии»); они относятся к следующим областям Z или N : 1) от 39 до 49; 2) от 69 до 81 и 3) от 111 до 125. Именно при этих значениях Z и N ядра содержат большое число нуклонов с неспаренными спинами, и результирующие ядерные спины велики, что благоприятствует появлению изомеров.

Feenberg E. Nuclear shell structure and isomerism.— «Phys. Rev.», 1949, v. 75, p. 320—322.

1950

М. Гайсинский (во Франции) рассмотрел вопрос о положении тяжелых элементов в периодической системе. Сопоставив свойства этих элементов друг с другом и с их аналогами в предшествующих периодах, Гайсинский предложил новую идею о размещении элементов седьмого периода. Согласно Гайсинскому, «группа элементов, которая начи-

нается ураном, имеет собственное химическое лицо и представляет в периодической системе оригинальную серию, серию уранидов, которую следует записывать внизу таблицы, как это обычно делают для лантанидов. Присоединять цисурановые элементы Ac, Th, Pa к этой серии и рассматривать ее как однородное семейство, химически аналогичное лантанидам,— значит породить достойный сожаления беспорядок и наносить ущерб роли периодической системы как руководителю сложному, но надежному в лабиринтах неорганической химии». В этих словах и заключается первоначальная формулировка уранидной концепции Гайсинского.

Haïssinsky M. Sur la classification des derniers éléments du système périodique.— «J. Chem. Phys.», 1950, v. 18, p. 415—418.

И. П. Селинов (в СССР) сформулировал закономерности построения атомных ядер (с увеличением массового числа) и изменения атомных весов элементов. Он отметил, что число центральных изотопов (на построенной им диаграмме атомных ядер) у большинства элементов с четным Z равно 3 или 5, а у элементов с нечетным Z — 1 или 2. В первом случае (при трех центральных изотопах) увеличение массового числа у аналогичных центральных изотопов при переходе от элемента с $Z_{\text{четн}}$ к следующему с $Z_{\text{нечетн}}$ будет равно 4; во втором случае (при пяти центральных изотопах) оно равно 6. Соответственно этому приращение атомных весов у соседних элементов одинаковой четности будет близко к 4 и 6. Отсюда вытекают два типа строения плеяд β -устойчивых изотопов и элементов с $Z_{\text{четн}}$. Они обусловлены тем, что увеличение числа протонов и нейтронов в большинстве ядер (исключая самые легкие) центральных изотопов идет путем последовательного прибавления $2p$ и $2n$ ($\Delta M = 4$) или $2p$ и $4n$ ($\Delta M = 6$). Эти группы ($2p2n$ и $2p4n$) Селинов называет гелионными и обозначает, как α' и α'' . Закономерности в построении и чередовании двух типов гелионных групп, а также связанные с построением этих групп закономерности в распространенности изотопов и обуславливают наблюдающиеся изменения значений атомных весов элементов с ростом Z .

Селинов И. П. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева и некоторые вопросы атомной физики.— «УФН», 1951, т. 44, с. 509—526.

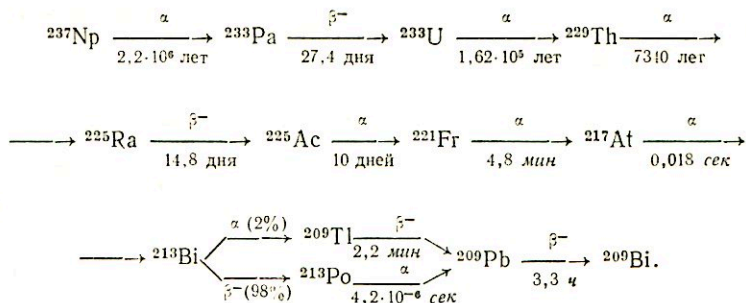
С. Томпсон, Б. Каннингем и Г. Сиборг (в США) обнаружили у берклия степень окисления, равную IV. Тем самым подтвердилось предсказание Сиборга, сделанное в 1949 г. (см. с. 184).

Thompson S., Cunningham B., Seaborg G. Chemical properties of berkelium.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1950, v. 72, p. 2798—2801.

С. Томпсон, К. Стрит, А. Гиорсо и Г. Сиборг (в США), бомбардируя α -частицами мишень из ^{242}Cm , синтезировали первый изотоп элемента с порядковым номером 98. Он оказался α -активным с энергией α -частиц 7,1 Мэв и $T_{1/2} = 45$ мин. Первоначально изотопу было приписано массовое число 244, но позднее выяснилось, что оно равно 245. Элемент был назван калифорнием (Cf).

Thompson S., Street K., Ghiorso A., Seaborg G. The new element californium (atomic number 98).— «Phys. Rev.», 1950, v. 80, p. 790—796.

Группой ученых США (в работе принимали участие Г. Сиборг и А. Гиорсо) была предложена и в деталях прослежена схема радиоактивных превращений в $(4n + 1)$ -семействе. Почти все входящие в него изотопы идентифицированы. Родоначальником $(4n + 1)$ -семейства является ^{237}Np . Схема превращений в ряду ^{237}Np может быть представлена следующим образом:



Hagemann F., Katzin L., Studier M., Seaborg G., Ghiorso A. The $4n + 1$ radioactive series: the decay products ^{233}U .— «Phys. Rev.», 1950, v. 79, p. 435—443.

1951

В. М. Клечковский (в СССР) ввел представление об $(n + l)$ -группах электронов в атоме (n — главное, l — орбитальное квантовое числа). Согласно Клечковскому, «изучение фактической последовательности заполнения электронных уровней атомов» с увеличением порядкового номера указывает на существование определенной закономерности, соблюдающейся на всем протяжении периодической системы и заключающейся в следующем: «1) заполнение электронных уровней с увеличением атомного номера элемента происходит последовательно от группы уровней с меньшим значением суммы $(n + l)$ к группам с большим значением этой суммы; 2) в пределах каждой $(n + l)$ -группы заполнение уровней происходит последовательно от подгрупп уровней с меньшим значением n и большим l к подгруппам с большим n и меньшим l ; 3) заполнение уровней $(n + l)$ -группы завершается s -электронами, после чего происходит переход к заполнению уровней следующей $(n + l)$ -группы». Общая последовательность заполнения электронных уровней атомов в соответствии с сформулированными выше $(n + l)$ -правилами выглядит так:

							$4f^{14}$	$5f^{14}$	$l=3$
				$3d^{10}$	$4d^{10}$		$5d^{10}$	$6d^{10}$	$l=2$
		$2p^6$	$3p^6$	$4p^6$	$5p^6$		$6p^6$	$7p^6$	$l=1$
	$1s^2$	$2s^2$	$3s^2$	$4s^2$	$5s^2$	$6s^2$	$7s^2$	$8s^2$	$l=0$
$(n+l)$	1	2	3	4	5	6	7	8	

Чтение этой схемы слева направо и сверху вниз дает общую последовательность формирования электронных конфигураций: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4s^2$ $3d^{10}$ $4p^6$ $5s^2$ $4d^{10}$ $5p^6$ и т. д. Клечковский отметил также, что в ряде случаев эта последовательность нарушается (например, появление $5d$ -электрона ранее $4f$ -электрона и др.).

Клечковский В. М. К вопросу о закономерности в порядке заполнения электронных уровней атома с увеличением атомного номера элемента — «Рефераты докладов ТСХА», 1951, вып. 13, с. 127—133; $(n + l)$ -группы в последовательном заполнении электронных конфигураций атомов. — «Доклады АН СССР», 1951, т. 80, с. 603—606; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

П. Шенк (в Австрии) предложил ввести вторые побочные подгруппы (*c*-подгруппы) в структуру периодической системы. Согласно Шенку, в *c*-подгруппах размещались лантаноиды и актиноиды, т. е. *f*-элементы. Соответственно в главных подгруппах (*a*-подгруппы) располагались *s*- и *p*-элементы, а в первых побочных подгруппах (*b*-подгруппах) — *d*-элементы. По мнению ученого, предложенный им вариант периодической системы имеет определенные преимущества перед ранее принятыми формами, поскольку охватывает все без исключения элементы, устраняет искажение короткой формы таблицы, обусловленное включением лантаноидов (и актиноидов) в одну клетку, и отражает внутреннюю периодичность в семействе лантаноидов. Тем не менее расположение *f*-элементов, принятое Шенком, является искусственным и выражает лишь одно из основных направлений в решении проблемы размещения лантаноидов и актиноидов.

Schenk P. Zur Einordnung der Lanthaniden und Transurane in das periodische System der Elemente.— «Angew. Chem.», 1951, Bd 63, S. 141—142.

А. Ф. Капустинский (в СССР) высказал идею, что все элементы периодической системы можно разделить на четыре цикла: 1) протоэлементы (электрон, нейтрон, водород и гелий); 2) типические элементы (литий—неон и натрий—аргон); 3) элементы «первичной достройки» (четвертый и пятый периоды, включающие *d*-элементы); 4) элементы «вторичной достройки» (шестой и седьмой периоды, включающие *f*-элементы). По Капустинскому, электрон и нейтрон размещались в нулевом периоде, а число элементов в периодах (*S*) определялось по формуле $S = 2(n_1^2 + n_2^2)$, где n_1 — номер по порядку четного периода, n_2 — нечетного. Число элементов в целом составляло $4N^2$, где N — номер цикла. Водород, согласно Капустинскому, должен занимать в таблице клетку, одновременно принадлежащую I и VII группам.

Капустинский А. Ф. Нулевой период и вторичная периодичность — «Доклады АН СССР», 1951, т. 80, с. 755—758; Структура периодической системы химических элементов.— Там же, т. 81, с. 47—50.

К. Левин и Г. Сиборг (в США) обнаружили следы плутония в ряде урановых и ториевых минералов (монацит,

карнотит, фергюсонит). Природный плутоний образуется согласно ядерной реакции: $^{238}\text{U}(n, \gamma) \xrightarrow[2,3 \text{ мин}]{\beta^-} ^{239}\text{U} \xrightarrow[2,3 \text{ дня}]{\beta^-} ^{239}\text{Pu}$.

Levine G., Seaborg G. The occurrence of plutonium in nature. — «J. Amer. Chem. Soc.», 1951, v. 73, p. 3278—3283.

Дж. Майчлих, М. Голдхабер, К. Бейнбридж и Э. Уилсон (в США) показали, что при изомерном переходе у ядра ^{99m}Tc наблюдается зависимость постоянной радиоактивного распада от химического состояния технеция. Распад ^{99m}Tc в 98,6% случаев происходит в два этапа: 1) испускание γ -кванта с энергией 2 кэв; 2) испускание γ -кванта с энергией 140 кэв. Из-за низкой энергии на первом этапе внутренняя конверсия происходит на электронах внешних оболочек, принимающих участие в химических связях. В результате всякие изменения в структуре электронной оболочки влияют на коэффициент внутренней конверсии γ -излучения и, следовательно, на период полураспада изомера ^{99m}Tc . Например, $T_{1/2}$ металлического ^{99m}Tc равен $6,04 \pm 0,003$ ч (на 1 сек больше, чем $T_{1/2}$ для KTcO_4 и на 8,6 сек меньше, чем для Tc_2S_7).

Michelich J., Goldhaber M. Cross-over transition in the decay ^{99m}Tc ; Bainbridge K., Goldhaber M., Wilson E. Influence of the chemical state on the lifetime of an isomer. — «Phys. Rev.», 1951, v. 82, p. 972—973; v. 84, p. 1260—1262.

Б. С. Джелепов (в СССР) обсудил вопрос о возможности протонной радиоактивности у легких ядер с большим дефицитом нейтронов и показал, что для элементов вплоть до кальция можно рассчитывать на синтез примерно одного изотопа с временем жизни от 10^{-5} сек до 1 года.

Джелепов Б. С. О зеркальных ядрах высших порядков. — «Изв. АН СССР, сер. физ.», 1951, т. 15, с. 496—504.

1952

В. М. Ключковский (в СССР) на основе сформулированного им в 1951 г. правила последовательного заполнения $(n+l)$ -групп электронных уровней в атомах (см. с. 190) дал определение замкнутой электронной конфигурации в

атомах. Согласно Клечковскому, «заполнение электронами совокупности s -уровня одной $(n + l)$ -группы и всех, кроме s , уровней следующей $(n + l)$ -группы [со значением $(n + l)$, на единицу большим], завершается образованием замкнутой электронной конфигурации благородного газа». В соответствии с прежними представлениями, вытекавшими из так называемой идеальной схемы формирования электронных оболочек атомов, замкнутая конфигурация рассматривалась как совокупность электронов, занимающих квантовые уровни с одинаковым главным квантовым числом n .

Клечковский В. М. Об электронных группах и замкнутых электронных конфигурациях. — «Рефераты докладов ТСХА», 1952, вып. 16, с. 320—325; см. также В. М. Клечковский. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

В. М. Клечковский (в СССР) на основе правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп электронных уровней (см. с. 198) сформулировал следующее положение: электрон, присоединяющийся к однократно ионизованному атому любого элемента, занимает в основном состоянии уровень с наименьшим возможным для него значением суммы $(n + l)$; исключение составляет лишь палладий ($4d^{10}$ вместо $5s^2$ на внешней оболочке).

Клечковский В. М. $(n + l)$ -Группы термов в спектрах щелочных элементов. — «Доклады АН СССР», 1952, т. 86, с. 691—694; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

Р. Хакала (в США) предложил математическое выражение зависимости между Z и числом электронов в n, l -подгруппе, которая появляется последней в данном интервале значений Z :

$$Z = \frac{(n+l)(n+l+1)(n+l+2)}{6} + \frac{(n+l+1)[1 - (-1)^{n+l}]}{4} - 2(l+1)^2 + N,$$

где Z — порядковый номер элемента; n и l — соответственно

главное и орбитальное квантовые числа; N — число электронов, занимающих уровни этой подгруппы.

H a k a l a R. The periodic law in mathematical form.— «J. phys. chem.», 1952, v. 56, p. 178—181.

Группой ученых во главе с А. Гиорсо и Г. Сиборгом (в США) в результате тщательного анализа образцов, содержащих элементы с большими Z , после термоядерного взрыва «Майк» на атолле Эвениток были обнаружены изотопы элементов 99 и 100. Вначале удалось идентифицировать тяжелые изотопы плутония и америция с массовым числом 246. Ученые предположили, что подобные ядра с большим избытком нейтронов могли возникнуть лишь в результате быстрых последовательных нейтронных захватов, значительно более быстрых, чем в реакторах. Поскольку такие изотопы неустойчивы к β^- -распаду, они в итоге могут превратиться в изотопы элементов с большим Z , в том числе с Z , равным 99 и 100. Анализируя образцы, исследователи сумели выделить 200 атомов элемента 100, а затем примерно столько же атомов элемента 99. Они были названы эйнштейнием ($Z = 99$, символ Es) и фермием ($Z = 100$, символ Fm).

Изотопы эйнштейния могут быть синтезированы при облучении ^{238}U ионами ^{14}N или ^{239}Pu интенсивным потоком нейтронов. Изотопы фермия были получены путем облучения калифорния потоком нейтронов или ионами ^4He , урана — ионами ^{16}O и т. д.

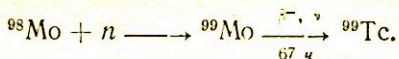
G h i o r s o A. e. a. New elements einsteinium and fermium, atomic number 99 and 100.— «Phys. Rev.», 1955, v. 99, p. 1048—1049.

Д. Пеппард, Г. Мейзон, П. Грей и Дж. Меш (в США) обнаружили следы ^{237}Np в образцах урановой смоляной руды из Конго в количестве, соответствующем отношению $(^{237}\text{Np}/^{238}\text{U}) = 1,8 \cdot 10^{-12}$.

P e p p a r d D., M a s o n G., G r a y P., M e s h J. Occurrence of the $(4n + 1)$ -series in nature.— «J. Amer. Chem. Soc.», 1952, v. 74, p. 6081—6084.

П. Мерилл (в США) в спектре звезды, относящейся к спектральному классу S, обнаружил линии технеция.

Этот факт оказал существенное влияние на развитие теорий происхождения химических элементов. Поскольку технеций не имеет стабильных изотопов, а известные его радиоактивные изотопы обладают периодами полураспада, значительно меньшими, чем возраст Земли, то обнаружение элемента 43 в звездных атмосферах можно объяснить однозначно: технеций и в настоящее время образуется в звездах определенных классов в результате ядерных процессов. Механизм образования звездного технеция можно представить следующим образом:



Любопытно, что в звездах спектрального класса S (отвечающих определенному этапу эволюции звезд) относительное содержание технеция имеет тот же порядок, что и содержание его соседей по периодической системе — молибдена и рутения. Следовательно, все эти элементы образовались в одно и то же время и в одном месте. Открытие технеция в звездах явилось, в частности, подтверждением участия нейтронов в процессах последовательного синтеза элементов.

Merrill P. Spectroscopic observation of stars of class S.—«Astrophys. J.», 1952, v. 116, p. 21—26; Technetium in the stars.—«Science», 1952, v. 115, p. 484.

1953

М. Гайсинский (во Франции), продолжая развивать свою точку зрения о строении седьмого периода системы элементов, четко сформулировал вывод, что распределение периферических электронов в атоме не всегда оказывается достаточным для характеристики химического поведения элементов и установления их места в периодической системе. Для этого необходимо принципиальное рассмотрение фундаментальных химических свойств (максимальная валентность, относительная устойчивость различных состояний окисления и т.д.) По мнению Гайсинского, сложная эволюция химических свойств особенно отчетливо проявляется в седьмом периоде, в связи с чем предлагается следующая его структура: 1) элементы от франция до урана нормально размещаются в группах от I до VI; 2) нептуний, плутоний и америций характеризуются четкой

аналогией с ураном и вместе с ним образуют группу уранидов; 3) начиная с кюрия имеет место предпочтительность окислительного состояния $+3$ и начинается группа кюридов, свойства которых оказываются подобными свойствам гадолиния, тербия, диспрозия.

Haïssinsky M. La place des éléments transuraniens dans le système périodique.— «Experientia», 1953, IX/3, p. 117—120.

В. М. Клечковский (в СССР) на основании правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп электронных уровней (см. с. 190) рассмотрел вопрос о числе элементов в периодах (n — номер периода) системы Менделеева и вывел выражения для определения «емкостей» периодов ($N_{\text{пер}}$):

$$N_{\text{пер}} = 0,5(n + 1)^2 \text{ для нечетных значений } n$$

и

$$N_{\text{пер}} = 0,5(n + 2)^2 \text{ для четных значений } n.$$

Клечковский В. М. К теории вопроса о числе элементов в периоде системы Д. И. Менделеева.— «ЖФХ», 1953, т. 27, с. 1251—1255; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат. 1968.

В. М. Клечковский (в СССР) на основании правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп получил выражение Z_l как функцию l (Z_l — порядковый номер элемента, в атоме которого впервые появляется электрон, отвечающий данному значению орбитального квантового числа l , равному 0, 1, 2, 3, ...). Это выражение имеет вид $Z_l = 1/3l(2l + 1)(2l + 2) + 1$.

Вычисленные значения Z_l для первого s , p , d , f электрона ($l = 0, 1, 2, 3$) соответственно равны 1, 5, 21 и 57. Таким образом, расхождение с действительным положением наблюдается только для $4f$ -электрона: он впервые появляется в атоме не лантана ($Z = 57$), а церия ($Z = 58$).

Клечковский также впервые обратил внимание на то, что решение задачи о первом появлении атомных электронов с данным l на основе статистической теории Томаса — Ферми приводит к выражениям, которые по своей математической

форме близки к аналогичным выражениям, вытекающим из правила последовательного заполнения $(n+l)$ -групп.

Клечковский В. М. К формулировке правил заполнения электронных уровней.— «Докл. АН СССР», 1953, т. 92, с. 923—926; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n+l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

Д. Д. Иваненко и С. П. Ларин (в СССР) дали новое решение задачи о первом появлении в электронной конфигурации электронов с заданным значением орбитального квантового числа l . Ученые ввели в рассмотрение фактор обменного взаимодействия электронов и получили уравнение $Z_l = \gamma(Z_l)(2l + 1)^3$, где $\gamma(Z_l) = \left(\frac{1}{6\pi}\right)[0,02 \ln Z + 0,38]^{-3/2}$, $\gamma(Z_l) \approx 0,169$.

Иваненко Д. Д., Ларин С. П. К теории периодической системы элементов.— «Докл. АН СССР», 1953, т. 88, с. 45—48.

Дж. Расмуссен, С. Томпсон и А. Гиорсо открыли несколько α -излучателей у элементов с $Z < 83$.

Rasmussen J., Thompson S., Ghiorso A. Alpha-radioactivity in the 82-neutron region.— «Phys. Rev.», 1953, v. 89, p. 33—35.

1954

В. М. Клечковский (в СССР) дал четкую формулировку понятия об $(n+l)$ -области. Согласно Клечковскому, она представляет некоторую область атомных состояний, в пределах которой энергетическая последовательность уровней зависит в большей степени от суммы главного и орбитального квантовых чисел, чем только от одного главного квантового числа. Существование $(n+l)$ -области — следствие взаимодействия между излучающим электроном и электронами атомного остатка в многоэлектронных атомах. Далее, по Клечковскому, $(n+l)$ -область имеет место у нейтральных многоэлектронных атомов и включает основное и некоторую совокупность близких к основному (с небольшими значениями l) возбужденных состояний, которые отличаются от

основного состояния положением одного из внешних электронов. Поскольку $(n + l)$ -область распространяется на внешние электроны и энергетические состояния, отвечающие невысоким значениям l , то закономерности, обусловленные ее существованием, имеют громадное значение для химии. Нужно также отметить, что $(n + l)$ -область не распространяется на небольшие значения Z , на внутренние глубоколежащие оболочки многоэлектронных атомов и на уровни с высокими значениями l ($l > 4$); для этих случаев энергетическая последовательность уровней зависит преимущественно от главного квантового числа.

Клечковский В. М. О правилах, формулируемых при помощи $(n + l)$ -группировки квантовых уровней. — «Изв. ТСХА», 1954, вып. 2 (6), с. 205; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

В. М. Клечковский (в СССР) на основе правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп (см. с. 190), вывел аналитические выражения для определения порядковых номеров элементов, в электронных конфигурациях атомов которых впервые появляются электроны с заданным значением главного (n) и радиального (n_r) квантовых чисел, а также с заданным значением суммы $(n + l)$. Эти выражения имеют вид:

для нечетных значений n , n_r и $n + l$

$$Z_n = 1/6 [(n + 1)^3 + 2(n + 1)] - 1;$$

$$Z_{n_r} = 1/6 (n_r + 1)(n_r + 2)(n_r^2 + 3) - 1;$$

$$Z_{n+l} = 1/6 [(n + l)^3 - (n + l)] + 1;$$

для четных значений n , n_r и $n + l$

$$Z_n = 1/6 n(n + 1)(n + 2) - 1;$$

$$Z_{n_r} = 1/6 [(n_r + 2)^3 + 2(n_r + 2)] - 1;$$

$$Z_{n+l} = 1/6 [(n + l)^3 + 2(n + l)] + 1.$$

Клечковский В. М. О первых атомных электронах с данным значением главного, радиального или суммы главного и орбитального квантовых чисел. — «Рефераты докладов ТСХА», 1954, вып. 20, с. 309—316; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

1955

А. Гиорсо, Б. Харвей, Г. Чоппин, С. Томпсон и Г. Сиборг (в США), облучая мишени, содержащие очень малые количества ^{253}Es ($2 \cdot 10^9$ атомов, или $9 \cdot 10^{-7}$ мкг), ионами гелия синтезировали первый изотоп элемента 101. Ядерная реакция синтеза, по предположению, имела следующий вид: $^{253}\text{Es}(\alpha, n) ^{256}101$. Поскольку количество эйнштейния было чрезвычайно мало, выход изотопа $^{256}101$ составил всего 1 атом/ч (!), а в целом в первых опытах было зарегистрировано всего 17 атомов изотопа $^{256}101$. Ученые назвали новый элемент менделевием (Md). Было установлено, что ^{256}Md распадается посредством спонтанного деления с $T_{1/2} \approx 30$ мин.

Синтез менделевия явился своеобразным переломным моментом в развитии ядерного синтеза новых элементов. Предшествующие трансурановые элементы были получены методом облучения мишеней нейтронами (если в качестве мишеней использовали уран и плутоний) или α -частицами (когда мишени изготовляли из элементов с Z , на 2 единицы меньшими, чем у синтезируемого изотопа). Все попытки получить этим путем элементы с $Z > 100$ заранее были обречены на неудачу из-за малых $T_{1/2}$ у промежуточных изотопов и недостаточной интенсивности нейтронных потоков в реакторах. Менделевий удалось синтезировать старым способом (по приведенной выше реакции) только лишь потому, что ^{256}Md оказался достаточно долгоживущим. Это же обстоятельство позволило идентифицировать химическую природу менделевия прежними методами, основанными на применении ионообменной хроматографии. Синтез элементов с $Z > 101$ потребовал уже качественно иного подхода (применение тяжелых ионов, необходимость разработки новых экстремальных методов идентификации). Еще одна особенность синтеза менделевия заключалась в том, что в данном случае элемент пришлось идентифицировать по единичным атомам.

Ghiorso A., Harvey B., Choppin G., Thompson S., Seaborg G. New element mendelevium, atomic number 101. — «Phys. Rev.», 1955, v. 98, p. 1518—1519.

1956

А. Ф. Капустинский (в СССР) высказал гипотезу о том, что под действием сверхвысоких давлений (в недрах Земли) должно происходить «вдавлива-

ние» электронов, расположенных в периферической части атомов, во внутренние оболочки, ранее оставшиеся недостроенными. В связи с этим, по мнению Капустинского, в условиях сверхвысоких давлений электронные конфигурации атомов окажутся сформированными в соответствии с так называемой идеальной схемой, когда новая оболочка не начинает застраиваться, прежде чем целиком не заполнится предыдущая. В итоге, по словам Капустинского, происходит «вырождение» периодической системы, в результате чего менделеевская периодичность свойств элементов исчезает и заменяется иной формой периодичности. Иными словами, при сильном сжатии может осуществляться идеальная схема формирования электронных конфигураций с ростом Z , лежащая в основе идеальной системы элементов. Капустинский привел схематическое изображение последней — ее первые пять периодов: H — He, Li — Ne, Na — Ni, Cu — Nd, Pm — 110.

Ученым была также предложена трехслойная модель Земли: она состояла из перисферы — наружной оболочки, где свойства элементов подчиняются менделеевской периодичности, интерсферы — промежуточной оболочки, где свойства элементов отвечают идеальной системе (имеет место вырожденная периодичность), и центрисферы, где вообще отсутствует химическая периодичность в связи с полным разрушением электронных оболочек вследствие сверхвысокого давления.

Капустинский А. Ф. К теории Земли. — В кн.: Вопросы геохимии и минералогии. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 37—71.

Г. Бойд и К. Ларсон (в США) сообщили о поисках технеция в различных минералах (молибденовый блеск, осмиево-иридиевый концентрат, иттрианталат и др.) и железоникелевых метеоритах. Для исследования применялись спектрометрический, масс-спектрометрический, спектрохимический и активационный методы. Количество определенного технеция в образцах колебалось примерно от $1,6 \cdot 10^{-8}$ до $6 \cdot 10^{-11}$ г/кг. Анализируя полученные результаты, Бойд и Ларсон категорически отрицали возможности существования на Земле первичного технеция и пришли к выводу, что если технеций и содержится в земных минералах, то имеет вторичное происхождение, образуясь в результате

действия на молибден, рутений и ниобий жесткого космического излучения.

Boyd G., Larson Q. Report on the occurrence of technetium on the earth's crust. — «J. phys. chem.», 1956, v. 60, p. 707—715.

Ч. Коуэн с сотрудниками (в США) поставили прямые эксперименты по поискам нейтрино. Суть этих экспериментов заключалась в обнаружении нейтронов и позитронов, возникавших при поглощении антинейтрино, испускаемых из уранового реактора (т. е. использовалась реакция $p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$). Эксперименты подтвердили существование нейтрино.

Cowan C. h. e. a. Detection of the free neutrino: a confirmation — «Science», 1956, v. 124, p. 103—104.

1957

Г. Виллар (в Уругвае) предложил следующую модификацию периодической системы элементов:

1) побочная подгруппа III группы должна состоять из скандия ($Z=21$), иттрия ($Z=39$), лютеция ($Z=71$) и элемента с $Z=103$; 2) семейства лантаноидов и актиноидов должны быть включены в побочную подгруппу III группы; 3) семейство лантаноидов должно состоять из лантана и следующих за ним 13 элементов; 4) семейство актиноидов должно состоять из актиния и следующих за ним 13 элементов.

Эти выводы Виллар основывал на закономерности, отражением которой является уравнение, выведенное ученым для определения значений Z_{P_m} , где P — номер периода, а m — номер места, занимаемого d -элементом в переходной d -серии соответствующего периода. Уравнение Виллара записывается следующим образом:

$$Z_{P_m} = [2(P-3)(2 \times 1 - 1) + 6] + [2(P-3)(2 \times 2 - 1) + 6] + [2(P-3)(2 \times 3 - 1) - (10 - m)] + [2(P-5)(2 \times 4 - 1)] + \dots + [2(P-2n+3)(2n-1)].$$

Виллар пришел к выводу, что: 1) лантан и актиний являются первыми элементами семейств соответственно лантаноидов и актиноидов; 2) непосредственными аналогами скандия и иттрия следует считать лютеций и элемент 103.

Эта точка зрения — одна из разновидностей представлений о начале и структуре f -семейств элементов.

Villar G. Nuevos argumentos en favor de la serie de los actinidos.—«*Biol. Fac. ingr. y agrimensura Montevideo*», 1957, v. 6, p. 125—142.

Группа американских, английских и шведских ученых в Нобелевском институте физики в Стокгольме предприняли попытку синтеза элемента 102. Мишени из смеси изотопов кюрия (95% ^{244}Cm , 1% ^{245}Cm и 4% ^{246}Cm) облучали пучком ионов ^{13}C . Идентификацию полученных продуктов проводили методом, основанным на ионообменной хроматографии. В итоге во фракции, соответствующей на хроматограмме элементу 102, была обнаружена α -активность с энергией $8,5 \pm 0,1 \text{ Мэв}$ и $T_{1/2} \approx 10 \text{ мин}$. Исследователи зарегистрировали 20 случаев предполагаемого рождения элемента 102. Поскольку свойства этого элемента совпали с ожидаемыми, наблюдавшийся α -распад был приписан одному из изотопов с $Z = 102$, причем, по мнению исследователей, это могли быть изотопы с массовыми числами 253, 251 или 255. Для нового элемента было предложено название нобелий (No). Попытка синтеза нобелия знаменовала начало нового этапа в искусственном получении элементов, а именно использования в качестве бомбардирующих агентов ускоренных многозарядных ионов, поскольку нейтронное облучение (из-за малых значений периодов полураспада для изотопов с $Z = 102$) уже не давало шансов на успех.

Fields P. e. a. Production of the new element 102.—«*Phys. Rev.*», 1957, v. 107, p. 1460—1462.

1958

Группа ученых во главе с А. Гиорсо (в США) сделали попытку подтвердить результаты работ по синтезу элемента 102, проведенных в 1957 г. в Стокгольме. Хотя условия исследования в Беркли были гораздо лучше, чем в Стокгольме (большая интенсивность пучка ионов ^{12}C и ^{13}C , более быстрый метод идентификации), ни в одном из экспериментов не удалось подтвердить результаты, полученные в Нобелевском институте.

Ghiorso A. e. a. Attempts to confirm the existence of the 10-minute isotope of 102.—«*Phys. Rev. Lett.*», 1958, v. 1, p. 17—18.

Группа ученых во главе с Г. Н. Флеровым (в СССР) предложили схему нового метода идентификации короткоживущих продуктов ядерных реакций синтеза тяжелых элементов. Метод основан на быстром механическом переносе ядер — продуктов реакции, вылетавших из мишени, к детекторам излучения, регистрирующим α -частицы или осколки спонтанного деления исследуемого изотопа. Было обращено внимание на необходимость тщательной очистки мишеней от примеси других элементов, в особенности висмута и свинца, поскольку в ходе облучения они могут превращаться в посторонние α -активные изотопы.

Для синтеза элемента 102 советские ученые использовали мишени из изотопов ^{241}Pu и ^{239}Pu , которые облучали ионами ^{16}O . Итог эксперимента состоял в следующем: было предположено, что образуется изотоп с энергией α -распада $8,6 \pm 0,4 \text{ Мэв}$ и временем жизни в интервале 2—40 сек с возможным массовым числом 252 или 253.

Флеров Г. Н. и др. Опыты по получению 102-го элемента. — «Докл. АН СССР», 1958, т. 120, с. 73—75.

Группа ученых во главе с А. Гиорсо (в США) предложили вариант метода идентификации короткоживущих продуктов. Ядра, выбитые из мишени, тормозились в атмосфере гелия и собирались затем на ленту-конвейер, находящуюся под отрицательным потенциалом. Эта лента с определенной скоростью перемещалась в зону, где дочерние продукты распада попадали на вторичные сборники ядер отдачи. Поскольку характеристики дочерних продуктов уже были известны, их идентификация проводилась химическими методами. Метод позволял, однако, измерять $T_{1/2}$, но не энергию α -распада интересующего изотопа. В опытах Гиорсо и сотрудников синтез элемента 102 велся по реакции $^{246}\text{Cm} (^{12}\text{C}, 4n) ^{254}102$. Поскольку $^{254}102$ в результате α -распада превращается в уже известный ^{250}Fm , то идентификация велась по последнему изотопу. Исследователи доказали, что образование ^{250}Fm действительно имеет место. Это явилось хорошей проверкой предложенного метода.

Ghiorso A. e. a. Element № 102. — «Phys. Rev. Lett.», 1958, v. 1, p. 18—21.

В. А. Карнаухов (в СССР) оценил границы стабильности ядер (до $Z = 70$) к протонной активности. По его

мнению, возможными протонно-радиоактивными ядрами могут являться ^{39}Sc , ^{63}As и ^{106}Sb .

Карнаухов В. А. Материалы конф. по ядерн. реакциям с многозарядными ионами (Дубна, март 1958). Препринт Р-374, 1959, с. 71.

Ф. Вернер и Дж. Уилер (в США) попытались выяснить свойства ядер с $Z \geq 100$ путем экстраполяции полуэмпирических закономерностей и решения уравнения Дирака для конечного ядра. Были рассчитаны периоды β -распада, энергия β -частиц, высота барьера деления, энергия связи нейтрона, сечение ряда процессов и т. д. Ученые впервые употребили термин «сверхэлементы».

Werner F., Wheeler J. Superheavy nuclei.— «Phys. Rev.», 1958, v. 109, p. 126—144.

1959

В. М. Клечковский (в СССР), основываясь на выражениях, которые описывают зависимость между Z и распределением атомных электронов в соответствии с правилом последовательного заполнения $(n + l)$ -групп, вывел путем экстраполяции гипотетические электронные конфигурации заактинидных элементов. Клечковский указал интервалы значений Z , где экстраполяция является достаточно надежной: $113 - 118$ ($7p$ -электроны), $119 \div 120$ ($8s$ -электроны) и в меньшей степени $103 \div 112$ ($6d$ -электроны), поскольку здесь вероятны случаи $7s \rightarrow 6d$ -электронных переходов. Область значений $Z = 120 \div 161$ наименее благоприятна для предсказаний, так как в этом интервале подлежат заполнению $5g$ -, $6f$ - и $7d$ -подоболочки (причем g -электроны вообще появляются впервые), и весьма вероятны отклонения от строгой, вытекающей из $(n + l)$ -правила очередности заполнения.

Клечковский В. М. Об электронных конфигурациях заактинидных элементов.— «Докл. ТСХА», 1959, вып. 47, с. 147—155; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

Группа ученых во главе с А. Гиорсо (в США) продолжили работу по синтезу элемента 102, согласно реакции

^{246}Cm (^{12}C , $4n$) $^{254}102$, и непосредственно наблюдали α -излучение изотопа $^{254}102$ (энергия α -распада $8,3 \text{ Мэв}$ и $T_{1/2} = 3 \text{ сек}$). В течение длительного времени эта работа рассматривалась как наиболее убедительное доказательство синтеза элемента 102.

Ghiorsio A. UCRL-8714 (1959); см. также Г и о р с о А. Техника получения и идентификации трансплутониевых элементов.— «Атомная энергия», 1959, т. 7, с. 338—350.

Б. Моттельсон и С. Нильссон (в Швеции) впервые высказали предположение о возможности существования заполненной протонной оболочки у элемента с $Z = 114$.

Mottelson B., Nilsson S. The intrinsic states of odd-A nuclei having ellipsoidal equilibrium shape.— «Mat.- Pys. Skr. Dan. Vid. Selsk.», 1959, Bd 1, p. 2—105.

Спивак П. Е. и др. (в СССР) провели очень точные эксперименты по определению периода полураспада свободного нейтрона и нашли, что эта величина составляет $11,7 \pm \pm 0,3 \text{ мин}$.

Сосновский А. Н., Спивак П. Е., Прокофьев Ю. А., Кутиков И. Е., Добрыни и Ю. П. Измерение периода полураспада нейтрона.— «ЖЭТФ», 1959, т. 36, с. 1012—1018.

1960

В. М. Клечковский (в СССР) ввел понятие о конфигурационном индексе электронной структуры нормальных атомов (ε_k). По Клечковскому, величину ε_k можно определить как число электронов, недостающих в основном состоянии атома до заполнения всех $(n + l)$ -групп, уже начатых заполнением. Математическая зависимость ε_k от Z , вытекающая из правил последовательного заполнения $(n + l)$ -групп, дается выражением

$$\varepsilon_k = 1/6 (y + 1)^3 + (y + 1) (1/2 \sin^2 1/2 \pi y - 1/6) - Z,$$

где целочисленный параметр y определяется следующим условием

$$1/6y^3 + y(1/2 \cos^2 1/2 \pi y - 1/6) < Z \leq 1/6(y+1)^3 + \\ + (y+1)(1/2 \sin^2 1/2 \pi y - 1/6).$$

К л е ч к о в с к и й В. М. К характеристике типа электронной конфигурации атомов.—«Докл. АН СССР», 1960, т. 135, с. 655—658; см. также К л е ч к о в с к и й В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n+1)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

Т. Тиц (в Венгрии), основываясь на статистической модели атома Томаса — Ферми, получил новую модификацию выражения для числа N_l электронов, заполняющих в атоме уровни энергии с данным значением орбитального квантового числа l :

$$N_l = 8/3[l^3 - (l+1)^3] + (48Z)^{1/3} [(l+1)^2 - l^2].$$

Тиц получил также математическое выражение зависимости между Z и числом N_k электронов, заполняющих в атоме уровни с данным значением квантового числа $k(k = 1/2, 3/2, 5/2, \dots, l + 1/2)$:

$$N_k = 4(6Z)^{1/3} k [1 - (4/3Z)^{1/3} k].$$

T i e t z T. Elektronengruppen im periodischen System der Elemente in der statistischen Theorie der Atoms.—«Ann. Phys.», 1960, Bd 5, S. 237—240.

А. Гиорсо (в США) доложил о новых работах по синтезу элемента 103. В этих работах мишень из калифорния облучалась ускоренными ионами ^{11}B . Предполагалось, что образуются изотопы элемента 103 с массовыми числами 259 и 260, однако сколь-либо определенных выводов сделать не удалось.

G h i o r s o A. Proc. of the Second conf. on reaction between complex nuclei. Gatlinburg, May. 2—4, 1960, p. 195.

В. И. Гольданский (в СССР) дал подробный анализ границ устойчивости и энергий протонного распада нейтронодефицитных изотопов вплоть до олова ($Z = 50$), предсказал существование двухпротонной радиоактивности и описал ее главные свойства.

Г о л ь д а н с к и й В. И. О границах устойчивости, протонной и двухпротонной радиоактивности нейтронодефицитных изотопов легких ядер.—«ЖЭТФ», 1960, т. 39, с. 497—501.

С. Девонс (в США) определил, что среднее время жизни возбужденных ядер, дезактивирующихся посредством γ -излучения, составляет 10^{-15} сек.

Devons S. The measurement of very short lifetimes in nuclear spectroscopy. Part. A., N. Y., 1960, p. 512—547.

1961

В. М. Клечковский (в СССР), принимая во внимание работы Т. Тица (см. с. 206), доказал, что $(n + l)$ -правило, сформулированное ранее на основе обобщения эмпирических данных, может быть теоретически выведено на основе статистической модели Томаса — Ферми.

Клечковский В. М. К обоснованию правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. — «ЖЭТФ», 1961, т. 41, с. 465—466; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. М., Атомиздат, 1968.

А. Гиорсо, Т. Сиккеланд, А. Ларш и Р. Латимер (в США) провели эксперименты по синтезу элемента 103. В качестве мишени использовались изотопы калифорния; облучение осуществлялось ускоренными ионами $^{10}\text{В}$ и $^{11}\text{В}$. Сбор продуктов ядерных реакций производился с помощью электростатического осаждения заряженных частиц из газа. Была получена α -активность, идентификация которой осуществлялась только физическими методами. Ученые пришли к выводу, что им удалось синтезировать изотоп $^{257}\text{103}$, испускающий α -частицы с энергией 8,6 Мэв и имеющий $T_{1/2} \approx 8$ сек. Для элемента 103 было предложено название лоуренсий. Следует заметить, что в 1967 г. указанные исследователи отнесли активность, приписанную изотопу $^{257}\text{103}$, к изотопам с массовыми числами 258 или 259.

Ghiorso A., Sikkeland T., Larsh A., Latimer R. New element, lawrencium, atomic number 103. — «Phys. Rev. Lett.», 1961, v. 6, p. 473—475.

Б. Кенна и П. Курода (в США) объявили о достоверном обнаружении технеция в земных минералах как продукта спонтанного деления ^{238}U . Исследователи переработали

более 5 кг урановой смоляной руды из Конго и получили три образца с общим содержанием изотопа $^{99}\text{Tc} \approx 1 \cdot 10^{-9}\%$.

Kenna B., Kuroda P. Isolation of naturally occurring technetium.—«J. Inorg. Nucl. Chem.», 1961, v. 23, p. 142—144.

1962

Н. Бартлетт (в Канаде) синтезировал первое химическое соединение инертного газа ксенона с гексафторидом платины (XePtF_6).

Bartlett N. Xenon hexafluoroplatinate (V) $\text{Xe}^+(\text{PtF}_6)^-$.—«Proc. Chem. Soc.», 1962, p. 218.

Г. Классен, Дж. Малм и Г. Селиг (в США) синтезировали тетрафторид ксенона XeF_4 .

Classen H., Malm J., Selig H. Xenon tetrafluoride.—«J. Amer. Chem. Soc.», 1962, v. 84, p. 3593.

Дж. Уикс, К. Черник и Р. Матиссон (в США) синтезировали дифторид ксенона XeF_2 и гексафторид ксенона XeF_6 .

Weeks J., Chernick C., Matisson R. Photochemical preparation of xenon difluoride.—«J. Amer. Chem. Soc.», 1962, v. 84, p. 4612—4613.

П. Филдс, Л. Штейн и М. Цирин (в США) синтезировали фторид радона RaF_2 .

Fields P., Stein L., Zirin M. Radon fluoride.—«J. Amer. Chem. Soc.», 1962, v. 84, p. 4164—4165.

М. Нурмия, П. Кауранен и М. Сиивола (в США) провели эксперименты по обнаружению α -активности у ^{145}Pm . С этой целью 30 мг Sm_2O_3 (содержащей 94,6% ^{144}Sm) в течение 4 недель облучались потоком нейтронов [плотность потока $2 \cdot 10^{14}$ нейтрон/(см \cdot сек)]. После облучения фракция ^{145}Sm ($T_{1/2} = 340$ дней) отделялась. Спустя 7 месяцев из этой фракции выделялся дочерний продукт ^{145}Pm , после этого измеряли энергию его α -частиц. На основании этой

величины был рассчитан период полураспада $T_a = 6,3 \times 10^9$ лет.

Nurmi M., Kauranen P., Siivola A.
¹⁴⁵Pm: a new alpha activity.— «Phys. Rev.», 1962, v. 127, p. 943—944.

В. А. Карнаухов и др. (в СССР) обнаружили явление испускания протонов.

Карнаухов В. А. и др. Эксперименты по обнаружению протонной радиоактивности ядер.— Препринт ОИЯИ Р-1072, Дубна, 1962; Эксперименты по наблюдению радиоактивного распада с испусканием протонов.— «ЖЭТФ», 1963, т. 45, с. 1280—1282.

С. М. Поликанов и др. (в СССР) обнаружили явление спонтанного деления ядер в изомерном состоянии.

Поликанов С. М. и др. Спонтанное деление с аномально коротким периодом.— «ЖЭТФ», 1962, т. 42, с. 1464—1471.

И. П. Селинов (в СССР) опубликовал таблицу «Периодическая система изотопов», в комментариях к которой обсудил некоторые закономерности нуклонной периодичности.

Селинов И. П. Периодическая система изотопов. М., Изд-во АН СССР, 1962.

1963

В. М. Клечковский (в СССР) на основе статистической модели Томаса — Ферми получил аналитические выражения для величин $Z_{n,l}$ и Z_{n+l} и показал, что на основе ее удовлетворительно предсказывается начало заполнения $(n + l)$ -группы.

Клечковский В. М. О первых n, l -электронах в статистической модели атома. — «Изв. вузов. Физика», 1963, № 1, с. 43—48.

А. Гроссе с сотрудниками (в США) синтезировал тетрафторид криптона KrF_4 .

Grosse A. e. a. Krypton tetrafluoride.— «Science», 1963, v. 139, p. 1047.

Г. Сиборг (в США), основываясь на актиноидной концепции, предложил схему расположения «сверхтяжелых» химических элементов в периодической системе. Согласно этой схеме, элементы от 104 до 118 подобны элементам от гафния до радона, т. е. в них, по предположению, продолжается заполнение электронной подоболочки $6d$ и происходит заполнение электронной подоболочки $7p$.

Seaborg G. Recent research on the transuranium elements.— «J. Franklin Inst.», 1963, v. 276, p. 459—474.

Ф. Вайгель (в ФРГ) получил металлический прометий посредством восстановления его фторида PmF_3 металлическим литием. Температура плавления прометия была оценена в 1080 ± 10 °C.

Weigel E. Darstellung von metallischen Promethium.— «Angew. Chem.», 1963, Bd 75, S. 451.

1964

Группа ученых во главе с Г. Н. Флеровым (в СССР) осуществили синтез элемента 104. Мишень из плутония (^{242}Pu) облучалась ускоренными ионами ^{22}Ne . Результаты экспериментов дали основание предполагать, что удалось синтезировать изотоп элемента 104 с массовым числом 260, т. е. имела место ядерная реакция $^{242}\text{Pu} (^{22}\text{Ne}, 4n)^{260}104$. За 5 ч работы ускорителя синтезировался примерно 1 атом изотопа. Поскольку теория предсказывала для этого изотопа сильную неустойчивость по отношению к спонтанному делению, то потребовалась разработка специальной экспрессной методики для физической идентификации предполагаемого изотопа элемента 104. Период полураспада изотопа $^{260}104$ оказался равным 0,3 сек. Для нового элемента было предложено название курчатовий (Ku).

Флеров Г. Н. и др. Синтез и физическая идентификация 104-го элемента с массовым числом 260.— «Атомная энергия», 1964, т. 17, с. 310—312.

Е. Д. Донец, В. А. Щеголев, В. А. Ермаков (в СССР) осуществили надежную идентификацию элемента с $Z = 102$ (изотоп $^{256}102$).

Донец Е. Д., Щеголев В. А., Ермаков В. А. Синтез изотопа элемента 102 с массовым числом 256.— «Атомная энергия», 1964, т. 16, с. 195.

Г. Н. Флеров и В. А. Карнаухов (в СССР) предложили использовать деление возбужденных составных ядер, получаемых в реакции с тяжелыми ионами, для получения изотопов элементов (в том числе и сверхтяжелых) в качестве осколков деления.

Flerov G. N., Karnaukhov V. A. In: Compt. Rend. Congr. Intern. Phys. Nucl., 2—8 July 1964, v. 1, p. 373.

1965

С. В. Измайлов и Г. А. Шульман (в СССР) на основе статистической модели атома Томаса — Ферми дали оценку давлений, при которых возможно появление у ряда элементов первых d - и f -электронов. Ученые вывели уравнение для вычисления значения $Z_l: Z_l = 0,1698(1 - \gamma)(2l + 1)^3 - 0,24$. Множитель $(1 - \gamma)$ зависит от давления; с увеличением последнего он уменьшается, в связи с чем должно уменьшаться и значение порядкового номера элемента Z_l , при котором в сжатом атоме впервые появляется электрон с данным l . Измайлов и Шульман сделали вывод, что «первое появление электронов с данным l , а также образование электронных групп в атомах существенно зависят от давления» и что «началу изменения менделеевской периодичности для тяжелых элементов соответствует давление $10^4 - 10^5$ $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ ». По мнению ученых, строгое соответствие идеальной схеме вряд ли может иметь место, и в действительности «структура оболочек будет более сложной». В итоге, согласно Измайлову и Шульману, «высокое давление уменьшает число электронов с меньшими квантовыми числами не только на периферии, но и внутри атома, увеличивая при этом число электронов с большими квантовыми числами».

Измайлов С. В., Шульман Г. А. К теории периодической системы элементов при высоких давлениях. — «ЖТФ», 1965, т. 35, с. 1889—1896; там же, 1966, т. 36, с. 405—412.

В. Майерс и В. Святецкий (в США) высказали идею о повышенной относительной стабильности ядер в области магических ядер с заполненными протонными ($Z = 114$ и $Z = 126$) и нейтронными оболочками ($N = 184$) и произвели предварительные оценочные расчеты.

Myers W., Swiatecki W. Report UCRL-11980, 1965.

А. Гроссе (в США) методом полуэмпирической экстраполяции предсказал некоторые физические и химические свойства элемента 118, аналога радона. В фазе конденсации инертные газы близки к идеальной жидкости, и это позволило использовать при их расчете закон Ван-дер-Ваальса. Были вычислены все основные свойства гипотетического экарадона: атомный вес, критическая температура, критическое давление, поверхностное натяжение, температура тройной точки, возможные химические соединения с фтором, кислородом и ряд других.

Grosse A. Some physical and chemical properties of element 118 (EkaEm) and element 86 (Em).— «J. Inorg. Nucl. Chem.», 1965, v. 27, p. 509—519.

Е. Д. Донец, В. А. Щеголев и В. А. Ермаков (в СССР) осуществили синтез изотопа $^{256}_{103}\text{Lr}$ путем облучения мишени из ^{243}Am ускоренными ионами ^{18}O . Регистрация и идентификация изотопа $^{256}_{103}\text{Lr}$ проводилась по дочернему продукту ^{252}Fm радиоактивного распада $^{256}_{103}\text{Lr}$; последний мог превращаться в ^{252}Fm двумя способами: 1) $^{256}_{103}\text{Lr} \rightarrow ^{252}\text{Md} \xrightarrow{\alpha, \beta} ^{252}\text{Fm}$ и 2) $^{256}_{103}\text{Lr} \xrightarrow{\alpha} ^{256}_{102}\text{No} \rightarrow ^{252}\text{Fm}$. Поэтому обнаружение в продуктах реакции ядер ^{252}Fm свидетельствовало о том, что шел процесс $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 5n)^{256}_{103}\text{Lr}$. Фермий химически выделялся с помощью ионообменных методов. Хотя факт синтеза $^{256}_{103}\text{Lr}$ представлялся несомненным, радиоактивные характеристики изотопа непосредственно не определялись. Однако по изучению дочерних продуктов распада $^{256}_{103}\text{Lr}$ удалось приблизительно оценить значение его $T_{1/2}$: оно оказалось равным 45 ± 10 сек.

Донец Е. Д., Щеголев В. А., Ермаков В. А. Синтез изотопа 103-го элемента (лоуренсия) с массовым числом 256.— «Атомная энергия», 1965, т. 19, с. 109—113.

1966

В. М. Ключковский (в СССР) рассмотрел вопрос о распределении электронов в модели свободных и сжатых атомов и пришел к следующим выводам: 1) «общий характер предсказываемых статистической моделью сжатых атомов изменений в распределении электронов не находится в согласии с распространенным представлением о переходе, под действием высокого давления, к так называемой иде-

альной последовательности заполнения электронных групп и подгрупп и основанной на этом представлении гипотезой о вырожденной периодической системе элементов при высоких давлениях» (см. с. 200); 2) «высокое давление, как и другие условия, способные вызвать изменения распределения атомных электронов по сравнению с их распределением в нейтральных свободных атомах в основном состоянии, могут влиять на проявления периодического закона Менделеева и присущей системе химических элементов периодичности определенных их свойств, но они не изменяют структуры периодической системы, отражающей фундаментальную закономерность изменения совокупности этих свойств при переходе от элемента к элементу».

Далее, согласно Ключковскому, «общая картина перестройки электронной оболочки с увеличением давления характеризуется... сначала переходом части электронов из состояния с меньшим орбитальным моментом в состояние с большим орбитальным моментом (и тем же главным квантовым числом), а затем из состояния с меньшим главным квантовым числом в состояние с большим главным квантовым числом».

Ключковский В. М. О распределении электронов в модели сжатых атомов.— «Изв. ТСХА», 1967, вып. 1. с. 172.

В. М. Струтинский (в СССР) ввел полуэмпирическую оболочечную поправку к энергии деформированного ядра, рассчитанной на основе капельной модели, и, вычислив ее значения для схемы уровней Нильсона, получил хорошее согласие с опытом для большого числа тяжелых ядер.

Струтинский В. М. Влияние нуклонных оболочек на энергию ядра.— «Ядерная физика», 1966, т. 3, с. 614—625.

В. Майерс и В. Святецкий (в США) вывели полуэмпирическую формулу массы ядра как суммы «капельной» и «оболочечной» масс, придав последней экспоненциальную форму, и показали ее хорошее соответствие опыту на большом экспериментальном материале. При этом обнаружилось возрастание стабильности ядер за счет оболочечного эффекта вблизи магических чисел. Это побудило при-

менить формулу масс к сверхтяжелым ядрам в области $Z = 126$ и $N = 184$. Анализ энергетических диаграмм привел к выводу о возможности существования устойчивых относительно β -распада и спонтанного деления нуклонных систем сверхтяжелого типа вблизи двойных магических чисел («островков относительной стабильности»), причем высота барьера деления для таких ядер оказалась равной 10 Мэв.

Myers W., Swiatecki W. Nuclear masses and deformations.— «Nucl. Phys.», 1966. v. 81, p. 1—60.

К. Вонг (в США) привел дополнительные доводы в пользу магических чисел Майерса — Святецкого, рассчитав на основе потенциала оболочечной модели энергию последнего протона и последнего нейтрона, а также энергию α -распада ядра $^{310}126$.

Wong C. Additional evidence of stability of superheavy element $^{310}126$ according to the shell model.— «Phys. Letters», 1966, v. 21, p. 688—690.

А. Собичевский, Ф. Гареев и Б. Калинин (в СССР) рассчитали одночастичные протонные и нейтронные уровни области $Z \geq 82$ и $N \geq 126$ как функции массового числа. Результаты расчета подтвердили вероятность существования магических чисел Мельднера — Репера.

Sobiczewski A., Gareev F., Kalinkin B. Closed shells for $Z > 82$ and $N > 126$ in a diffuse potential well.— «Phys. Lett.», 1966, v. 22, p. 500—502.

А. Фридман (в США) привел данные о существовании замкнутой оболочки в ядре с $Z = 114$, $N = 184$ (двойное магическое ядро $^{278}114$) и методом Майерса — Святецкого показал, что это ядро стабильно относительно α - и β -распадов и деления. Он обсудил возможные реакции для получения таких ядер (например, $^{36}\text{Ar} + ^{242}\text{Cm} \rightarrow ^{278}114$) и вычислил сечения этих реакций.

Friedman A. Calculations on the production of the next closed shell nucleus and other nuclei.— В кн.: Труды Международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, 13—19 октября 1966 г. Вып. 2. Синтез и исследование свойств изотопов трансурановых элементов. Дубна, 1967, с. 39—47.

В. Вайола и Г. Сиборг (в США) на основании расчетов пришли в выводу, что периоды полураспада ядер в области островков относительной стабильности по отношению к спонтанному делению могут достигать 10^{16} лет (особенно для дважды магического ядра $Z=114$ и $N=184$). Однако поскольку время жизни таких ядер ограничивается другими видами радиоактивного распада, то в итоге оно не превышает нескольких лет. Важно, что элемент с $Z=114$ и соседние с ним лежат в области β -стабильности. Поэтому появилась надежда на возможность синтеза этих сверхтяжелых элементов.

Viola V., Seaborg G. Nuclear systematics of the heavy elements. — J. Inorg. Nucl. Chem., 1966, v. 28, p. 697—761.

В. К. Григорович (в СССР) опубликовал монографию «Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов», в которой рассмотрел сущность периодической системы Менделеева с позиции современных научных представлений. По мнению Григоровича, инертные газы с их конфигурациями электронных оболочек и способностью образовывать химические соединения нужно включать в VIII группу системы, а лантаноиды и актиноиды — размещать во II—VIII группах. Григорович дает обоснование необходимости «тонких смещений» элементов-аналогов в периодической системе из вертикальных рядов с целью отражения различной структуры их внутренних электронных оболочек и физико-химических свойств. Эти смещения осуществляются на основе анализа особенностей электронных конфигураций атомов и потенциалов ионизации. В итоге предлагается детализированная матричная форма таблицы элементов, причем в каждой группе выделено три подгруппы — *a*, *b* и *c*.

Григорович В. К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. М., «Наука», 1966.

Г. Виллар (в Уругвае) опубликовал обобщающую работу, касающуюся предлагавшегося им ранее (см. с. 201) варианта таблицы элементов. В этом варианте лутеций и элемент 103 рассматривались как непосредственные аналоги скандия и иттрия; соответственно этому, семейство

лантаноидов должно включать элементы от лантана до иттербия, а семейство актиноидов — элементы от актиния до 103. Виллар также дал уравнения, позволяющие вычислять электронные конфигурации атомов d - и f -элементов. Они имеют вид: для d -элементов

$$Z_{pm} = [2(P-3)(2 \times 1 - 1) + 6]_s + [2(P-3)(2 \times 2 - 1) + 6]_p + \\ + [2(P-3)(2 \times 3 - 1) - (10 - m)]_d + [2(P-5)(2 \times 4 - 1)]_f + \dots \\ + [2(P - 2n + 3)(2n - 1)]_n;$$

для f -элементов

$$Z_{pm} = [2(P-5)(2 \times 1 - 1) + 10]_s + [2(P-5)(2 \times 2 - \\ - 1) + 18]_p + [2(P-5)(2 \times 3 - 1) + 10]_d + \\ + [2(P-5)(2 \times 4 - 1) - (14 - m)]_f + \dots + \\ + [2(P - 2n + 3)(2n - 1)]_n.$$

В этих уравнениях P — номер периода, m — номер места элемента в d - или f -серии.

Villar G. A suggested modification to the periodic chart. — «J. Inorg. Nucl. Chem.», 1966, v. 28, p. 25—29.

И. Звара с сотрудниками (в СССР) разработали метод отделения и транспортировки быстро распадающихся атомов отдачи элементов III и IV групп путем образования высоколетучих хлоридов в потоке паров $NbCl_5$ и $ZrCl_4$ и применили этот метод для определения химической природы элемента 104 (курчатовия — Ku). Курчатовий образовывался в реакции $^{242}Pu(^{22}Ne, 4n)^{260}Ku$; его спонтанное деление регистрировалось с помощью слюдяного детектора. За 690 ч работы удалось наблюдать 12 атомов этого элемента; по своим химическим свойствам он отличался от актиноидов и был близок к гафнию. Тем самым был экспериментально подтвержден теоретический вывод об элементе 104 как первом члене трансактиноидного ряда, для которого типично заполнение $6d$ -подоболочки.

Звара И., Чубурков Ю., Цалетка Р., Зварова Т., Шалаевский М., Шолов Б. Химические свойства элемента 104. — «Атомная энергия», 1966, т. 21, с. 83—84.

Ю. Т. Чубурков с сотрудниками (в СССР) провели эксперименты по химии элемента 102. Они использовали аппаратуру для экспрессного непрерывного разделения продуктов ядерных реакций, уже применявшуюся в опытах по химии курчатовия (см. с. 216). Цель опытов заключалась в сравнении поведения хлоридов элемента 102 с поведением хлоридов тербия, калифорния и фермия. Предполагалось, что если элемент 102 является типичным актиноидом, то его хлориды должны вести себя аналогично хлоридам тербия, калифорния и фермия. Если бы свойства элемента 102 оказались сходными со свойствами элементов IV группы, то поведение его хлоридов должно было бы соответствовать поведению хлоридов циркония и гафния. Тщательные эксперименты доказали справедливость первого предположения. Таким образом, в Дубне впервые было изучено химическое поведение элемента 102 и показана его принадлежность к семейству актиноидов.

Чубурков Ю. Т. и др. Опыты по химии элемента 102. Препринт ОИЯИ Р6-3078, Дубна, 1966.

В. И. Кузнецов, Н. К. Скобелев и Г. Н. Флеров (в СССР) высказали предположение о возможности явления запаздывающего деления у тяжелых ядер.

Кузнецов В. И., Скобелев Н. К., Флеров Г. Н. Изучение спонтанно-делящихся продуктов в ядерных реакциях $^{230}\text{Th} + ^{10}\text{B}$ и $^{230}\text{Th} + ^{11}\text{B}$. — Препринт ОИЯИ Р-2862, Дубна, 1966.

1967 В. М. Клечковский (в СССР) сопоставил закономерности записывания электронных уровней в атоме с ростом Z и строения периодической системы (сформулированные ранее при помощи группировки квантовых состояний по сумме главного и орбитального квантовых чисел $n+l$) с закономерностями, которым подчиняется последовательность заполнения нейтронных и протонных уровней в модели ядерных оболочек. Согласно Клечковскому, представление об аналогии между заполнением электронных уровней в атомах и нуклонных в модели ядерных оболочек можно конкретизировать «при помощи группировки квантовых состояний по следующим значениям сумм радиального (n_r) и орбитального (l) квантовых чисел»:

1) $n_r + l$ (возрастающим значениям этой суммы отвечает энергетическая последовательность состояний атомов водорода, водородоподобных ионов и последовательность глубоких рентгеновских термов многоэлектронных атомов);

2) $n_r + 2l$ (возрастающим значениям этой суммы отвечает последовательность заполнения электронных состояний с увеличением Z и последовательность близких к основному термов в спектрах нейтральных многоэлектронных атомов с одним излучающим электроном);

3) $2n_r + l$ (возрастающим значениям этой суммы соответствует общая последовательность заполнения нуклонных состояний в модели ядерных оболочек).

Клечковским было выведено также выражение для определения магических чисел ($N_{\text{маг}}$):

$$N_{\text{маг}} = \begin{cases} 1/3 q(q+1)(q+2), & \text{если } q \leq 3, \\ 1/3 (q^3 - q) + 2q, & \text{если } q \geq 3, \end{cases}$$

причем $q = 1, 2, 3, \dots$. Вычисленные значения $N_{\text{маг}}$ составляют 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126 и 184 и вытекают из последовательности нуклонных уровней в модели оболочек с учетом спин-орбитальной связи.

Клечковский В. М. К сравнению последовательностей заполнения электронных и нуклонных уровней. — «Изв. ТСХА», 1967, вып. 5, с. 213—222.

Т. Тукер с сотрудниками (в США) объединили идею островков относительной стабильности с методом самосогласованного поля Хартри — Фока; они рассчитали волновые функции и энергии электронных оболочек сверхтяжелых элементов 114 и 126. Сообщены лишь результаты вычисления энергии K -оболочек нейтрального атома элемента 114 и 12-кратно ионизованного атома элемента 126.

Tucker T. e. a. Calculated electron wave functions and eigenenergies for elements with atomic number 114 and 126. — «Bull. Amer. Phys. Soc.», 1967, v. 12, p. 476.

Г. Мелднер (в ФРГ) рассчитал нуклонные уровни сверхтяжелых ядер. Результаты вычислений подтвердили прежний вывод автора о существовании магических чисел $Z = 114$ и $N = 184$. Для дважды магического ядра

$^{298}114$ автор изучил зависимость энергетических уровней нейтронов от спин-орбитального взаимодействия.

M e l d n e r H. Predictions of a new magic regions and masses for superheavy nuclei from calculation with relativis shell model single particle hamiltonians.— «Ark. Fys.», 1967, v. 36, p. 593—598.

Г. Густафсон с сотрудниками (в Швеции) рассчитали нуклонные уровни некоторых сверхтяжелых ядер. Результаты вычислений подтвердили вывод о существовании магического числа $Z = 114$, не подтвердили магическое число $Z = 126$ и поставили под сомнение число $N = 184$.

G u s t a f s o n G. e. a. Nuclear deformabilities in the rare-earth and actinide regions with excursions of the stability line and into the superheavy region.— «Ark. Fys.», 1967, v. 36, p. 613—627.

В. М. Струтинский (в СССР) применил свой метод для расчета уровней энергии ряда сверхтяжелых ядер, в том числе $^{260}108$, $^{276}112$, $^{288}116$, $^{310}126$. Порог деления деформированных ядер оказался в значительной степени не зависящим от Z^2/A и достаточно высоким, чтобы обеспечить стабильность ядер относительно спонтанного деления. Ученый указал на возможность множественных барьеров деления.

S t r u t i n s k y V. Shell effects in nuclear masses and deformation energies.— «Nucl. Phys.», ser. A, 1967, v. 95, p. 420—442.

Ю. Т. Чубурков и др. (в СССР) предприняли первые опыты по химии элемента 102 методом фронтальной хроматографии хлоридов на изотермической колонке. Эксперименты проводили на изотопе $^{256}102$, получаемом по ядерной реакции $^{238}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 4n) ^{256}102$. В итоге было показано, что степень окисления элемента 102 не выше III и, следовательно, он имеет свойства актиноида.

Ч у б у р к о в Ю. Т. и д р. Опыты по химии элемента 102.— «Радиохимия», 1967, т. 9, с. 637—642.

В. А. Друин с сотрудниками (в СССР) синтезировали изотоп $^{255}\text{102}$. Оказалось, что у изотопа $^{255}\text{102}$ $T_{1/2} = 3$ мин, а энергия α -частиц составляет 8,09 Мэв. Ядерные реакции синтеза имели следующий вид: $^{238}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n) ^{255}\text{102}$ и $^{242}\text{Pu} (^{18}\text{O}, 5n) ^{255}\text{102}$.

Друин В. А. и др. О ядерных свойствах изотопов элемента 102 с массовыми числами 255 и 256. — «Атомная энергия», 1967, т. 22, с. 127—128.

Г. Н. Флеров с сотрудниками (в СССР) продолжили эксперименты по синтезу и изучению свойств изотопов элемента 103. Как и в 1965 г., ученые облучали мишени из ^{243}Am ускоренными ионами ^{18}O . В экспериментах непосредственно регистрировался α -распад изотопов элемента 103. Продукты реакции собирали путем адсорбции атомов отдачи из газовой струи. Ученые показали, что синтезированный изотоп $^{256}\text{103}$ испускает α -частицы с энергией 8,35—8,50 Мэв и имеет $T_{1/2} = 3,5$ сек.

Была также проведена работа по синтезу изотопа $^{257}\text{103}$ для проверки результатов, полученных американскими учеными в 1961 г. (см. с. 207). Изотоп получали в ходе ядерной реакции $^{243}\text{Am} (^{18}\text{O}, 4n) ^{257}\text{103}$. Однако α -частицы с энергией 8,6 Мэв не наблюдались, а период полураспада изотопа $^{257}\text{103}$ оказался равным примерно 35 сек. Таким образом, данные, полученные в Беркли в 1961 г., не были подтверждены в Дубне.

Флеров Г. Н. и др. О свойствах некоторых изотопов 102-го и 103-го элементов. — Препринт ОИЯИ Р7-3556, Дубна, 1967.

Н. Н. Крот и А. Д. Гельман (в СССР) впервые получили соединения семивалентных нептуния и плутония.

Крот Н. Н., Гельман А. Д. О получении нептуния и плутония в семивалентном состоянии. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 177, с. 124—126.

Э. Хьюлет с сотрудниками (в США) показали, что Md^{3+} в кислой среде легко восстанавливается до Md^{2+} .

Hulet E. e. a. Mendelevium: divalency and other chemical properties. — «Science», 1967, v. 158, p. 486—488.

П. Фаулер с сотрудниками (в Англии) предположили присутствие в составе космических лучей ядер урана.

Fowler P. e. a. The charge spectrum of very heavy cosmic ray nuclei.— «Proc. Roy. Soc.», 1967, ser. A, v. 301, p. 39—45.

1968

А. Ларсон и Дж. Вебер (в США) рассчитали большое число электронных конфигураций сверхтяжелых элементов от 122 до 127. При этом предполагалось, что элемент 118 является последним в седьмом периоде с внешней электронной конфигурацией $7s^2 7p^6$. Для каждого рассчитанного элемента были построены трехугольные диаграммы средней энергии связи для d -, f - и g -орбиталей. Наиболее устойчивыми конфигурациями оказались $[118]8s^2 6f^4 5g^n$. Их существенными особенностями являются отсутствие оболочки $7d$, а также заполнение оболочки $5g$ еще до завершения оболочки $6f$. Показано также, что радиус оболочки $5g$ меньше радиуса атома. Отсюда вывод: g -электроны не влияют на химическую связь. Сделан также вывод об окрашивании солей суперактиноидных элементов в красный цвет и о преобладании у этих элементов валентностей $+3$ и $+2$.

Larson A., Weber J. Self-consistent-field calculations for the translawrencium elements—beginning of a 5g transition series.— «J. Chem. Phys.», 1968, v. 48, p. 5021—5025.

Т. Тукер и др. (в США) рассчитали энергии связи, а также радиусы электронных оболочек для атомов и ионов элементов 114 и 126 с точечным и протяженным ядрами (в последнем случае был произведен расчет для элемента 140). Ученые сделали вывод об относительно меньшей вероятности захвата электрона ядром в области сверхтяжелых элементов по сравнению с тяжелыми элементами.

Tucker T. e. a. Calculation of the electron binding energies and X-ray energies for the superheavy elements 114, 126 and 140 using relativistic self-consistent-fields atomic wave functions.— «Phys. Rev.», 1968, v. 174, p. 118—124.

К. Йёргенсен (в Швейцарии) на основании связей между относительной стабильностью состояний окисления в различных группах и спектрографическими данными определил возможные состояния окисления некоторых элементов с $Z > 118$. Вероятное значение валентности для этих элементов определено в $+4$; указано на возможность присутствия четырех $5g$ -электронов в элементе 126.

Jørgensen C. Neptunium (VII), nobelium (II), 126 (IV) and other unexpected oxidation states of transuranium elements.— «Chem. Phys. Lett.», 1968, v. 2, p. 549—550.

Г. Сиборг (в США) дал обстоятельный обзор работ по теоретическим расчетам электронных конфигураций сверхтяжелых элементов и сообщил новые результаты. Сиборг привел вариант графического изображения периодической системы химических элементов с продолжением в область сверхтяжелых элементов путем экстраполяции основной закономерности заполнения электронных оболочек — заполнения в последовательности типа ng , $(n+1)f$, $(n+2)d$. В результате вычленились совокупности «трансактинидных» элементов (104—121), в которых последовательно заполняются $6d$ -, $7p$ -, $8s$ - и $7d$ -подоболочки (соответственно элементы 119 и 120 оказываются экафранцием и экарадием, или $8s$ -элементами, элемент 121 — экаактинием, или $7d$ -элементом), и «суперактинидов» (122—153) — элементов, в атомах которых заполняются $6f$ - и $5g$ -подоболочки, может быть, в смешанной последовательности; начиная с элемента 154 возобновляется заполнение $7d$ -подоболочки.

Seaborg G. Element beyond 100. Present status and future prospects.— «Ann. Rev. Nucl. Sci.», 1968, v. 18, p. 53—152.

С. Нильссон и др. (в США) детально изучили поверхность потенциальной энергии ряда сверхтяжелых ядер для определения их периода полураспада относительно спонтанного деления. Были построены «топографические карты» для полной потенциальной энергии ядер $^{282}114$, $^{290}114$, $^{298}114$, $^{308}124$, изучена зависимость $T_{1/2}$ по спонтанному делению от барьера деления. Результаты вычислений позволили сделать вывод о возможности существо-

вания островков относительной стабильности в изученной области Z и N . Предложено несколько реакций для создания устойчивых сверхтяжелых ядер, например, типа $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu} \rightarrow ^{288}114 + 4n$.

Nilsson S. e. a. On the spontaneous fission of nuclei with Z near 114 and near 184.— «Nucl. Phys.», 1968, ser. A. v. 115, p. 545—562.

Ю. А. Муzychка, В. В. Пашкевич, В. М. Струтинский (в СССР) показали, что ядро изотопа $^{298}114$ стабильно по отношению к спонтанному делению, а ядро $^{310}126$ таким свойством не обладает.

Муzychка Ю. А., Пашкевич В. В., Струтинский В. М. К вопросу о стабильности сверхтяжелых ядер.— «Ядерная физика», 1968, т. 8, с. 716—720.

Р. Фаулер (в Англии) провел поиски тяжелых ядер в космических лучах. В экспериментах использовались ядерные фотоэмульсии, которые длительное время экспонировались на большой высоте над поверхностью Земли. Изучение ширины следов, оставляемых ядрами в эмульсиях, привело Фаулера к выводу, что один из следов соответствует ядру с $Z = 106$. Эта работа положила начало поискам сверхтяжелых ядер как вероятного компонента космических лучей.

См. Пауэл С. Р. Из истории открытия π - и K -мезонов.— «Вестник АН СССР», 1968, № 9, с. 5—21.

Г. Н. Флеров и В. П. Перелыгин (в СССР) экспериментально изучали спонтанное деление свинца, чтобы проверить правильность предположения о существовании в свинце следов гипотетического экасвинца ($Z = 114$). Был сделан вывод о возможности присутствия аналога свинца или сопутствующего ему элемента с $T_{\text{сп}} = 10^{15}$ лет и содержанием $10^{-12} - 10^{-13}$ г/г.

Флеров Г. Н., Перелыгин В. П. О спонтанном делении свинца.— Поиски далеких трансурановых элементов.— Препринт ОИЯИ Р7-4205, Дубна, 1968.

Ю. Т. Чубурков, И. Звара с сотрудниками (в СССР) выполнили химические эксперименты с несколькими сот-

нями атомов изотопа $^{256}103$ методом фронтальной термохроматографии. Они показали, что хлорид отличается очень низкой летучестью, что указывает на окислительное состояние не ниже III. (Оно оказалось устойчивым и в водных растворах).

Чубурков Ю. Т. и др. Опыты по химии элемента 103: адсорбция хлорида из газового потока.—Препринт ОИЯИ Д7-4085, Дубна, 1968.

А. Гиорсо с сотрудниками (в США) пришли к выводу, что для элемента с $Z = 102$ валентное состояние $+2$ в растворе является наиболее устойчивым, а ион 102^{3+} может быть получен лишь действием сильных окислителей.

Ghiorso A. e. a. Symposium Macroscopic Studies of the Actinides 155th ACS Nat. Meeting, San Francisco, 1968.

Дж. Малы с сотрудниками (в США) выполнили работы по водной химии элемента 102 (изотоп $^{255}102$, $T_{1/2} = 3$ мин) и показали, что в водных растворах устойчиво состояние II и окисление не приводит к состоянию выше III.

Malý J. e. a. Nobelium: tracer chemistry of the divalent and trivalent ions.—«Science», 1968, v. 160, p. 1114—1115.

Г. Н. Флеров с сотрудниками (в СССР) начали эксперименты по синтезу элемента 105. Мишень из ^{243}Am бомбардировали ионами ^{22}Ne . Для обнаружения α -распада у изотопов элемента 105 использовали специальную установку, которая позволяет с одинаковой эффективностью регистрировать α -частицы изотопов с любыми $T_{1/2} > 0,05$ сек. Предполагаемый ход ядерной реакции синтеза следующий: $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 4-5n) ^{261}105$ (или $^{260}105$). По результатам экспериментов был сделан предварительный вывод, что наблюдался распад двух изотопов элемента 105. Для одного из них энергия α -распада составляет $9,4 \pm 0,1$ Мэв, а $T_{1/2}$ лежит в интервале от 0,1 до 3 сек, для другого — $9,7 \pm 0,1$ Мэв и более 0,01 сек.

Флеров Г. Н. и др. Эксперименты по поиску α -радиоактивных изотопов 105 элемента. Препринт ОИЯИ Р7-3808, Дубна, 1968.

В. И. Гольданский (в СССР) обсудил вопрос о структуре восьмого периода и развил идею о так называемых октодеканидах — восемнадцати $5g$ -элементах, весьма сходных в химическом отношении.

Гольданский В. И. О строении восьмого периода системы Д. И. Менделеева. — «Докл. АН СССР», 1968, т. 180, с. 1360—1368.

Д. Н. Трифонов (в СССР) сформулировал так называемые $(n-l)$ -правила формирования электронных конфигураций атомов в соответствии с реальной схемой по мере роста Z . Это правило является определенной конкретизацией $(n+l)$ -правил В. М. Клечковского, так как устанавливает различия между соседними парными $(n+l)$ -группами. Суть $(n-l)$ -правил отражена на следующей схеме:

$(n+l)$	1	2	3	4	5	6	7	
Тип электронов	1s	2s	2p	3s 3p	4s 3d 4p	5s 4d 5p	6s 4f 5d 6p	7s
$(n-l)$	1	2	1 3	2 4	1 3 5	2 4 6	1 3 5 7	

Таким образом: 1) в пределах каждой $(n+l)$ -группы величины $(n-l)$ принимают либо только нечетные [для нечетных $(n+l)$ -групп], либо только четные [для четных $(n+l)$ -групп] значения; 2) минимальное значение $(n-l)$ равно 1 для нечетных $(n+l)$ -групп и 2 для четных; 3) значение $(n-l)$, равное 1, реализуется всякий раз, когда в атоме впервые появляется электрон с данным значением l .

Предложены, на основании $(n-l)$ -правила, аналитические выражения для некоторых граничных значений Z , а также уравнение, позволяющее определять порядковый номер элемента, в атоме которого впервые появляется электрон, отвечающий заданной комбинации четырех квантовых чисел $(n, l, m_l$ и $m_s)$:

$$Z_{n, l, m_l, m_s} = {}_{n+l}Z - 1/2 (2l + 1)^2 - m_s (2l + 1) + m_l.$$

Трифонов Д. Н. Структура и границы периодической системы. М., Атомиздат, 1969.

М. Алтуп и П. Курода (в США) в образце смоляной обманки из Конго обнаружили природный прометий (изотоп ^{147}Pm) как продукт спонтанного деления урана.

Altup M., Kuroda P. Promethium in pitchblende.— «J. inorg. nucl. chem.», 1968, v. 30, p. 699—703.

1969

Д. Гриффин, К. Эндрю и Р. Коуэн (в США) рассчитали энергию d -, f - и g -орбиталей для различных атомных конфигураций большого числа элементов вплоть до элемента с $Z = 126$. В изменении энергии связи как функции порядкового номера обнаружались внезапные скачки, указывающие на чередование электронных подоболочек; им соответствуют резкие изменения радиуса волновых функций. При $Z = 120$ резкий обрыв получился для эффективных квантовых чисел $7d$ и $6f$, при $Z = 121$ — для $5g$, в согласии с представлениями об элементе 121 как экаактинии и о начале с элемента 122 семейства суперактиноидов со смешанным заполнением подоболочек $6f$ и $5g$ и включением в некоторых случаях одного-двух $7d$ -электронов. Ученые привели наиболее вероятные электронные конфигурации атомов сверхтяжелых элементов от 121 до 126.

Griffin D., Andrew K., Cowan R. Theoretical calculations of the d -, f - and g -electron transition series.— «Phys. Rev.», 1969, v. 177, p. 62—71.

Дж. Вебер, Д. Кромер и Д. Либерман (в США) рассчитали конфигурации атомов элементов от 104 до 132 релятивистским методом Хартри—Фока. Были получены следующие результаты: элементы 104—120 подобны элементам от гафния до радия, за исключением элемента 110, для которого наиболее устойчивой конфигурацией оказалась $6d^8 7s^2$, тогда как у платины она $5d^9 6s$; $7d$ -электрон появляется у элемента 121, который поэтому оказывается экаактинием (общая конфигурация $s^2 d$); начиная с элемента 125 заполняется оболочка $5g$ (для $Z = 125$ устойчивая конфигурация имеет вид $5g^1 6f^3 7d^1 8s^2$), причем заполняется целиком до того, как полностью застроится $6f$ -оболочка.

Weber J., Cromer D., Liberman D. SCF Dirac-Slater calculations of the translawrencium elements.— «J. Chem. Phys.», 1969, v. 51, p. 664—668.

Дж. Манн (в США) применил метод Дирака—Фока (релятивистский метод со строгим учетом обменного взаимодействия) при расчете конфигураций ряда тяжелых и сверхтяжелых элементов и обнаружил, что устойчивые конфигурации электронов в элементах, начиная с 121-го, содержат, по крайней мере, один $8p$ -электрон. Для элемента 121 устойчивая конфигурация имеет вид $8s^2 8p^1$, для элемента 125 — $5g^1 6f^3 8s^2 8p^1$, в атоме элемента 126 содержится уже два $8p$ -электрона.

Mann J. Stability of 8p-electrons in superheavy elements.— «J. Chem. Phys.», 1969, v. 51, p. 841—842.

К. Йёргенсен (в Швейцарии) и М. Гайсинский (во Франции) предсказали некоторые химические свойства элемента 114. В частности, они сделали вывод о сравнительно низкой стабильности степени окисления IV при возможности существования стабильных высших состояний окисления типа (VI); отмечена возможность сходства элемента 114 с щелочноземельными металлами; указано, что сульфаты, хроматы и иодаты элемента 114 растворимы, по-видимому, более, чем соответствующие соли свинца, а карбонаты — менее и т. п.

Jørgensen C., Haïssinsky M. Propriétés chimiques probables d'element 114.— «Radiochem. Radioanal. Lett.», 1969, v. 1, p. 181—184.

Т. Карлсон, К. Нестор, Ф. Малик и Т. Тукер (в США) вычислили энергию связи электронов на первых четырех орбитах и энергию рентгеновских лучей для сверхтяжелых элементов до $Z = 120$. В основе вычислений лежал метод Дирака — Слэтера, но была также вычислена разность между результатами, полученными этим методом и методом Дирака—Фока для большого числа элементов, в том числе 104 и 114.

Carlson T., Nestor C., Malik F., Tucker T. Calculations of K, L, and N binding energies and KX-rays for elements from $Z=96 \div 120$.— «Nucl. Phys.», 1969, ser. A, v. 135, p. 57—64.

Б. Фрике и В. Грайнер (в ФРГ) применили метод Дирака — Слэтера при расчете элементов с $Z = 160 \div 170$, предполагая для элемента с $Z = 152$ конфигурацию $[118] 8s^2 6f^{14} 5g^{18}$. Наиболее интересный результат расчета — вывод о том, что, вероятно, свойствами инертного газа будет обладать элемент 164, а не элемент 168, как это предполагалось на основе экстраполяции.

Fricke B., Greiner W. On the chemistry of superheavy elements around $Z = 164$. — «Phys. Lett.», 1969, ser. B, v. 30, p. 317—319.

Ю. Музычка (в СССР) получил новое подтверждение прогноза об относительной стабильности ядер в области $Z = 114$ и $N = 184$. В качестве экспериментально осуществимых ядерных реакций получения сверхтяжелых ядер он предложил реакции типа $^{238}\text{U} + ^{68}\text{Zn} \rightarrow ^{302}122 + 4n$.

Musyckha Yu. Single-particle potentials and the stability of superheavy nuclei. — «Phys. Lett.», 1969, ser. B, v. 28, p. 539—540.

С. Нильссон и др. (в США) вычислили периоды полураспадов для α - и β -распадов сверхтяжелых ядер с $Z = 108 \div 116$ и $N = 178 \div 189$. Были вычислены характеристики наиболее устойчивых ядер в этой области: β -стабильность, $T_{1/2}$ (относительно деления — 10^{13} лет, относительно α -распада — 1 год.) Ученые предложили синтезировать сверхтяжелые ядра с помощью реакций типа $^{248}\text{Cm} + ^{40}\text{Ar} \rightarrow ^{284}114 + 4n$, $^{248}\text{Cm} + ^{64}\text{Ni} \rightarrow ^{308}124 + 4n$.

Nilsson S., et al. On the nuclear structure and stability of superheavy and heavy elements. — «Nucl. Phys.», 1969, ser. A, v. 131, p. 1—66.

У. Мозель и В. Грайнер (в ФРГ) произвели расчет для сверхтяжелых ядер в областях $Z = 114$, $N = 184$ и $Z = 164$, $N = 318$. Результаты вычисления подтвердили прежние выводы о первом «островке относительной стабильности» и позволили рассматривать вторую область как новый «островок относительной стабильности».

Mosel U., Greiner W. On the stability of superheavy nuclei against fission. — «Z. Phys.», 1969, Bd 222, S. 261—282.

И. Груманн, У. Мозель, Б. Финк и В. Грайнер (в ФРГ) оценили стабильность сверхтяжелых ядер относительно α - и β -распадов с помощью формулы масс Майерса — Святецкого. Вновь подтвердился вывод о стабильности ядер $^{298}114$ и $^{482}164$ ко всем видам распада (их периоды полураспада составляют несколько месяцев и несколько часов соответственно). Для синтеза ядер первого «островка относительной стабильности» предложены реакции типа $^{252}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{290}114 + ^4\text{He} + 4n$; ядра второго «островка относительной стабильности» можно надеяться получить при соударениях ядер урана или калифорния.

Grumann J., Mosel U., Fink B., Greiner W. Investigation of the stability of superheavy nuclei around $Z=114$ and $Z=164$.—«Z. Phys.», 1969, Bd 228, S. 371—386.

С. Нильссон, С. Томпсон и К. Чанг (в США) рассчитали среднее время жизни относительно α -распада и спонтанного деления некоторых β -стабильных ядер в области $Z = 114$ и $N = 184$. Несмотря на исключительно высокую чувствительность степени стабильности излучения сверхтяжелых ядер к неопределенности в значениях параметров потенциала и энергии α -частиц, заключение об «островке относительной стабильности» в области $^{298}114$ прозвучало весьма убедительно. Кроме того, был сделан вывод о возможном присутствии элемента $^{294}110$ в земной коре и осуществлена попытка (безуспешная) его обнаружить. Также была предпринята попытка синтеза элемента с $Z = 114$ посредством бомбардировки мишени из ^{248}Cm ионами ^{40}Ar , оказавшаяся неудачной.

Nilsson S., Thompson S., Tsang C. Stability of superheavy nuclei and their possible occurrence in nature.—«Phys. Lett.», 1969, ser. B, v. 28, p. 458—461.

А. Гиорсо (в США) сообщил о первом синтезе в США элемента с $Z = 104$.

Ghiorso A. In: Proc. R. A. Welch Found. Conf. on Chem. Res., XIII. The Transuranium Elements. The Mendeleev Centennial, Nov. 17—19, 1969, p. 107.

А. Гиорсо с сотрудниками (в США) изучали α -распад изотопов элемента 104 с массовыми числами 257, 259 и 261 и нашли для них $T_{1/2}$, соответственно равные 4,5 сек, 3 сек и 1 мин.

Ghiorso A. e. a. Positive identification of two alpha-particle-emitting isotopes of element 104.— «Phys. Rev. Lett.», 1969, v. 22, p. 1317—1320.

М. Лефором с сотрудниками (во Франции) были начаты эксперименты по облучению тория ионами криптона; целью этих экспериментов был синтез изотопов элемента с $Z = 126$ [например, по реакции $^{230}\text{Th} (^{80}\text{Kr}, xn) ^{310-x}126$].

Lefort M. e. a. Search and identification of nuclei in the mass region 280 to 310. In: Proc. Intern. Conf. Nuclear Reactions Induced by Heavy Ions. 15—18 July 1969, Heidelberg, p. 795.

Н. Н. Крот, А. Д. Гельман и В. И. Спицын (в СССР) высказали идею о целесообразности помещения нептуния и плутония в специальные (третьи) подгруппы VII и VIII групп системы элементов соответственно. Они предложили понятие об «уранидном состоянии» (шестивалентная форма) и «актинидном состоянии» (трехвалентная форма) трансурановых элементов.

Крот Н. Н., Гельман А. Д., Спицын В. И. Семивалентное состояние трансурановых элементов и их положение в периодической системе Д. И. Менделеева.— «ЖНХ», 1969, т. 14, с. 2633—2639.

1970

О. Келлер, Д. Барнет, Т. Карлсон и К. Нестор (в США) предсказали ряд физических и химических свойств элементов с Z , равным 113 и 114 (предположив, что они должны быть экаталлием и экасвинцом, и опираясь на закономерности изменения свойств в предыдущем периоде системы элементов).

Keller O. e. a. Predicted properties of the super-heavy elements. I. Elements 113 and 114, eka-thallium and eka-lead.— «J. Phys. Chem.», 1970, v. 74, p. 1127—1134.

Дж. Манн и Дж. Вебер в (США) продолжили расчеты (см. с. 227) электронных конфигураций атомов вплоть

до элемента 131 и пришли к выводу, что все элементы от 126 до 131 в своих наиболее устойчивых электронных конфигурациях содержат по два $8p$ -электрона. Ученые уточнили причины повышенной стабильности $8p$ -подоболочки в области сверхтяжелых элементов: во-первых, зависимость массы от скорости, уменьшающая размер p -орбиты и тем самым увеличивающая экранизацию ядра, что снижает влияние d -и последующих подоболочек; во-вторых, спин-орбитальная связь, являющаяся функцией вида Z^4 . Главная валентность элементов 121 — 126 определена равной $+4$, а элементов 127—131 — равной $+5$. Вычисление энергии некоторых электронных конфигураций ионов для элементов от 118 до 131 привело к ряду неожиданных открытий: например, наиболее стабильной конфигурацией иона элемента 126 оказалась $5g^2 6f^3$ вместо ожидаемой $5g^2 6f^2 8p^1$.

Mann J., Waber J. SCF relativistic Hartree-Fock calculations on the superheavy elements 118—131.— «J. Chem. Phys.», 1970, v. 53, p. 2397—2406.

С. А. Щукарев (в СССР) ввел представление о явлении кайносимметрии, т. е. об особенностях, проявляемых элементами при первом появлении новой электронной симметрии (обусловливаемой $1s$, $2p$, $3d$, $4f$ и $5g$ -электронами).

Щукарев С. А. Современное значение периодического закона Д. И. Менделеева и перспективы развития.— В кн.: Сто лет периодического закона химических элементов. Доклады на пленарных заседаниях. М., «Наука», 1971, с. 40.

Д. Н. Трифонов (в СССР) сформулировал представление о явлении «размывания периодичности» в области больших порядковых номеров элементов. Это явление связано с нарушением четких границ между соседними n , l -подоболочками и приводит к противоречию между характером изменения свойств элементов определенных совокупностей и способами размещения этих элементов в периодической системе.

Трифонов Д. Н. Периодичность четкая и размытая.— «Природа», 1970, № 5, с. 84—91; Тяжелые элементы и периодическая система.— В кн.: Периодический закон и строение атома. М., Атомиздат, 1971, с. 204.

К. Чанг и С. Нильссон (в Швеции) оценили относительную стабильность ядер в интервалах $106 \leq Z \leq 128$, $176 \leq N \leq 204$. Для всех указанных значений были рассчитаны периоды полураспада относительно спонтанного деления и α -распада, энергии α -частиц, энергии связи для нейтрона и протона. В заключение обсуждаются предположительно осуществимые реакции бомбардировки ядрами $^{86}\text{Kг}$ различных мишеней (от свинца до кюрия).

Tsang C., Nilsson S. Further theoretical results on the stability of superheavy nuclei. — «Nucl. Phys.», 1970, ser. A., v. 140, p. 289—304.

Г. Н. Флеров, Ю. Ц. Оганесян, Ю. В. Лобанов, Ю. А. Лазарев, С. П. Третьякова (в СССР) в феврале, в ходе поисков элемента с $Z = 105$ по спонтанному делению (в продуктах облучения ^{243}Am ионами ^{22}Ne), обнаружили спонтанно делящийся продукт с $T_{1/2} \approx 2$ сек. Был сделан вывод, что обнаружен изотоп элемента 105 с массой 260 или, вероятнее, 261.

Флеров Г. Н. и др. Спонтанное деление изотопов 103 и 105 элементов. — Препринт ОИЯИ Р7-4932, Дубна, 1970.

Г. Н. Флеров с сотрудниками (в СССР) продолжили работу по синтезу элемента с $Z = 105$, измерили период полураспада ($T_{1/2} = 1,8 \pm 0,6$ сек) и пришли к выводу, что массовое число изотопа равно 261.

Флеров Г. Н. и др. Синтез элемента 105. — «Атомная энергия», 1970, т. 29, с. 243—250.

И. Звара с сотрудниками (в СССР) выполнили эксперименты по химической идентификации элемента 105 методом фронтальной термохроматографии. Было найдено, что зона адсорбции элемента 105 (зарегистрировано 18 атомов) находится при температуре более низкой, чем зона HfCl_4 , но более высокой, чем зона NbCl_5 . Эти особенности летучести хлорида элемента 105 соответствуют предсказываемым свойствам экатантала.

Звара И. и др. Опыты по химической идентификации спонтанно делящегося изотопа элемента 105. — Препринт ОИЯИ, Р12-5120, Дубна, 1970.

А. Гиорсо с сотрудниками (в США) в апреле сообщили, что в результате реакции $^{249}\text{Cf} (^{15}\text{N}, 4n)$ ими был синтезирован изотоп $^{260}\text{105}$ с $T_{1/2} = 1,6 \pm 0,3$ сек и $E_{\alpha} = 9,06$ Мэв. Для элемента было предложено название ганий (Ha).

В СССР для элемента 105 предложено название нильсборий (Ns).

Ghiorso A. e. a. New element hahnium, atomic number 105. — «Phys. Rev. Lett.», 1970, v. 24, p. 1498—1503.

Дж. Черны с сотрудниками (в США) впервые наблюдали экспериментально протонную активность у изомера ^{53m}Co .

Cerny J. e.a. Confirmed proton radioactivity of ^{53m}Co . — «Phys. Lett.», 1970, ser. B, v. 33, p. 284.

А. Г. Артюх с сотрудниками и В. В. Волков с сотрудниками (в СССР), используя реакции передачи, получили доказательства существования изотопов легких элементов с исключительно большим избытком нейтронов (^{18}C , 20 , ^{21}N , 23 , ^{24}O , $^{23-25}\text{F}$, 25 , ^{26}Ne).

Artukh A. G. e. a. Report on Conf. on the Properties of Nucl. far from the Region of Beta-Stability. Leysin, Switzerland, 1970.

1971

Ю. Б. Румер и А. И. Фет (в СССР) дали математический вывод структуры периодической системы химических элементов, «полученной без использования модели Резерфорда из общих принципов симметрии, разработанных в теории адронов». Рассматривая атом как бесструктурную частицу (т. е. не имеющую ядра и электронных оболочек) и применив к нему общие принципы физики симметрии (причем кулоновское поле в теорию входит неявно), Румер и Фет показали, что состояния такого бесструктурного атома должны «изображаться векторами пространства, где определено некоторое представление группы Spin (4)». В итоге авторы построили определенную модель совокупности состояний «бесструктурного атома», которая может быть сопоставлена со структурой периодической системы элементов.

Румер Ю. Б., Фет А. И. Группа Spin (4) и таблица Менделеева. — «Теор. и мат. физика», 1971, т. 9, с. 203—210.

Д. Н. Трифонов (в СССР) предложил простое уравнение для определения значений Z_l (порядковых номеров элементов, в атомах которых впервые появляется электрон с данным l):

$$Z_l = 1/2 l(3l^2 + 3l + 2) + 1$$

или

$$Z_l = 1/2 l(3R_l - 1) + 1,$$

где R_l — порядковый номер n, l -подгруппы электронов, отвечающих вновь появляющемуся значению l . Для $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ соответственно получаются значения $Z = 1, 5, 21, 58, 125, \dots$

Трифонов Д. Н. О количественной интерпретации периодичности. М., «Наука», 1971.

П. Диттнер, Ч. Бемис, Дж. Хаксли, Р. Силва и Ч. Гудмэн (в США) провели эксперимент по идентификации элемента с $Z = 102$ путем измерения рентгеновского излучения в соответствии с законом Мозли. Идентификация основана на сравнении результатов одновременных наблюдений характеристического рентгеновского излучения K -серии, испускаемого дочерним элементом, с одной стороны, и α -распада материнского элемента, с другой. Метод применим к одиночным атомам.

Dittner P. e. a. Identification of the atomic number of nobelium by X-ray technique. — «Phys. Rev. Lett.», 1971, v. 26, p. 1037—1042.

Ю. Н. Демков и В. Н. Островский (в СССР) дали квантовомеханическое обоснование $(n + l)$ -правила заполнения электронных конфигураций атомов по мере роста Z . Выведено уравнение

$$Z_N = \left[\frac{\alpha}{2b} N(N + 1) \right]^{3/2},$$

где $N = n + l$; α и b — константы.

Демков Ю. Н., Островский В. Н. Правило заполнения $n + l$ в периодической системе Менделеева и фокусирующие потенциалы. — «ЖЭТФ», 1972, т. 62, с. 125—132.

Р. Пеннеман и Дж. Манн (в США) и К. Иёргенсен (в Швейцарии) рассчитали релятивистским методом структуру атома элемента 164 (предсказываемая электронная конфигурация $5g^{18}6f^{14}7d^{10}8s^28p_{1/2}^2$) и обсудили его важнейшие химические свойства. В противоположность выводу Б. Фрике и В. Грайнера (см. с. 228) об инертном характере этого элемента они сделали заключение о его весьма высокой химической активности и обсудили наиболее вероятные степени окисления. Последнее сделано также для элемента 184; была предсказана его способность к переменному значению степени окисления (от IV до XII).

Penneman R., Mann J., Jørgensen C. Speculations on the chemistry of superheavy elements such as $Z=164$. — «Chem. Phys. Lett.», 1971, v. 8, p. 321—326.

Б. Фрике и В. Грайнер (в ФРГ) и Дж. Вебер (в США) осуществили релятивистский расчет структур атомов элементов от 104 до 172, предполагая применимость теории Дирака в области $Z \geq 137$ при условии пространственной протяженности атомного ядра (не учитывалось влияние конечного радиуса ядра на внешние электроны, определяющие химию элементов). Они теоретически вычислили атомный вес, наиболее устойчивые конфигурации электронов, наиболее вероятные состояния окисления, потенциалы ионизации и некоторые другие свойства указанных элементов. В согласии с предыдущей работой признано, что элемент 164 не является инертным, и предложено такое завершение периодической системы, при котором восьмой период не оканчивается инертным газом, а девятый, подобно второму и третьему, содержит только восемь элементов (два $9s$ -, два $9p_{1/2}$ - и четыре $8p_{3/2}$ -элементов).

Fricke B., Greiner W., Waber J. The continuation of the periodic table up to $Z=172$. The chemistry of superheavy elements. — «Theor. chim. acta», 1971, v. 21, p. 235—260.

Б. Фрике и Дж. Вебер (в США) подвели итог исследованиям электронных конфигураций сверхтяжелых элементов от 104 до 172 и 184. Они привели таблицы теоретических значений основных физических и химических свойств — атомных весов, наиболее устойчивых степеней окисления, потенциалов ионизации, точек кипения, плотности

и т. п.; даны электронные конфигурации основных состояний элементов от 121 и выше.

Fricke B., Waber J. Theoretical predictions of the chemistry of superheavy elements continuation of the periodic table up to $Z=184$.— «Actinide Rev.», 1971, v. 1, p. 433—485.

Л. Бревер (в США) теоретически рассчитал, что для основного состояния атома лоуренсия ($Z=103$) более вероятна электронная конфигурация внешних оболочек $7s^27p$, нежели ожидаемая $7s^26d$.

Brewer L. Energies of the electronic configurations of the lanthanide and actinide neutral atoms.— «J. Opt. Soc. Amer.», 1971, v. 61, p. 1101—1109.

А. Гиорсо с сотрудниками (в США) по реакции ^{249}Bk ($^{18}\text{O}, 5n$) синтезировали второй изотоп элемента с $Z=105$ ($^{262}105$), определили период полураспада (около 40 сек) и α -спектр (основные группы α -частиц имеют энергию 8,45 и 8,66 Мэв).

Ghiorso A. e. a. Report UCRL-20478, 1971.

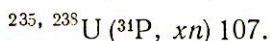
А. Маринов с сотрудниками (в Англии) заявили, что им удалось идентифицировать один или несколько изотопов элемента с $Z=112$ — аналога ртути. В экспериментах образцы вольфрама облучали в течение долгого времени протонами с энергией 24 Гэв. Предполагалось, что в таких условиях может произойти слияние двух ядер вольфрама, мгновенное деление образовавшегося «сверхядра», продуктами которого могли быть неизвестные элементы.

Marinov A. e. a. Evidence for the possible existence of a superheavy element with atomic number 112.— «Nature», 1971, v. 229, p. 464—466.

Д. Хоффман и др. (в США) обнаружили в природе первичный ^{244}Pu при масс-спектрометрических измерениях плутония, выделенного из докембрийских бастнезитов.

Hoffman D. e. a. Plutonium-244: detection in nature.— «Nature», 1971, v. 234, p. 132—134.

Г. Н. Флеров и И. Звара (в СССР) сообщили о попытках синтезировать элементы с Z , равным 106 и 107, согласно ядерным реакциям



Флеров Г. Н., Звара И. Химические элементы второй сотни. Препринт ОИЯИ Д7-6013, Дубна, 1971.

В. И. Гольданский и Л. К. Пекер (в СССР) предсказали новый вид радиоактивного превращения — двунейтронный распад. По мнению авторов, двунейтронными излучателями могут быть изотопы ${}^{70}\text{Tl}$ и ${}^{78}\text{Fe}$.

Гольданский В. И., Пекер Л. К. О возможности двупротонного и двунейтронного радиоактивного распада из многочастичных изомерных состояний ядер — «Письма ЖТФ», 1971, т. 13, с. 577—579.

Н. К. Скобелев (в СССР) описал экспериментально обнаруженное запаздывающее деление (деление ядер, удаленных от области стабильности), происходящее после β -распада.

Скобелев Н. К. О запаздывающем делении. — Препринт ОИЯИ Р7-5584, Дубна, 1971.

1972

М. Гайсинский (во Франции), допуская возможность химической аналогии в парах элементов Hf — 104, Ta — 105, W — 106 и Re — 107, предсказал для элементов с $Z = 104 \div 107$ электронные конфигурации, состояния окисления, величины ионных и атомных радиусов, потенциалы ионизации, электроотрицательности, а также некоторые характерные аналитические химические реакции.

Haïssinsky M. Application de la loi périodique du Mendeleev aux éléments de $Z=104$ à 107. — «J. Chem. Phys.», 1972, v. 69, p. 845—850.

Б. Фрике и Дж. Вебер (в США) рассчитали радиусы атомов и ионов в интервалах $Z = 104 \div 120$ и $Z = 156 \div 172$. В частности, авторы показали, что у сверхтяжелых элементов наблюдается уменьшение размеров атомов в пределах каждой подгруппы периодической системы. Они предположили, что самым крупным из существующих атомов является атом цезия.

Fricke B., Waber J. Atomic and ionic radii of superheavy elements. — «J. Chem. Phys.», 1972, v. 56, p. 3246—3248.

Б. Фрике и Дж. Вебер (в США) уточнили распределение электронов в конфигурациях атомов с $Z = 159 \div 172$ и выполнили расчеты для элемента с $Z = 184$. Авторы показали, что для высших степеней окисления этих элементов происходят изменения в характере заполнения $6g$ - и $7f$ -подоболочек. Начиная со степени окисления $+8$ для ряда электронов на замкнутых подоболочках $9s$, $9p_{1/2}$ и $8p_{3/2}$ становится энергетически более выгодным переход на свободную $6g$ -подоболочку. Подобное обстоятельство ранее нигде не было отмечено.

Fricke B., Waber J. Model calculation on the influence of quantum electrodynamical effects on the chemistry of superheavy elements. The chemistry of element E 184. — «J. Chem. Phys.», 1972, v. 57, p. 371—376.

Б. Г. Конопельченко (в СССР) дал математический вывод структуры периодической системы на основе теории групп.

Конопельченко Б. Г. Группа $SO(2,4) + R$ и таблица Менделеева. — Препринт ИЯФ СО АН СССР № 40—72. Новосибирск, 1972.

1973

Ю. Ц. Оганесян (в СССР) сообщил о результатах облучения мишени из ^{238}U ионами ^{136}Xe ; в результате наблюдались редкие события спонтанного деления. Распределение этих событий по времени соответст-

вует периоду полураспада, примерно равному 150 дням, который не может быть объяснен присутствием ни одного из известных спонтанно делящихся ядер.

Оганесян Ю. Ц. Синтез тяжелых элементов.—
Препринт ОИЯИ Р7—7410, Дубна, 1973.

Дж. Малы и М. Хьюссоннуа (в США) рассчитали основные состояния атомов элементов в интервале $Z = 1 \div 120$.

Malý J., Hussonnois M. SCF Dirac — Hartree—Fock calculation in the periodic system. I. Calculated ground states of all elements from $Z=1$ to $Z=120$.— «Theor. chim. acta», 1973, v. 28, p. 369—390.

Дж. Малы и М. Хьюссоннуа (в США) вычислили первые ионизационные потенциалы и некоторые другие характеристики для всех элементов в интервале $Z = 1 \div 120$ (кроме лантаноидов и актиноидов). Авторы показали, в частности, что для элементов с $Z = 110 \div 112$ будут характерны высокие потенциалы ионизации, что затруднит их обнаружение масс-спектроскопическими методами.

Malý J., Hussonnois M. SCF Dirac — Hartree — Fock calculations in the periodic system. II. Binding energies and first ionisation potentials for s-, p- u d-elements from $Z = 1$ to $Z = 120$. — «Theor. chem. acta», 1973, v. 31, p. 137—153.

Ч. Бемис с сотрудниками (в США) идентифицировали элемент 104 (изотоп $^{257}104$, $T_{\alpha} = 4,5$ сек) по характеристическим X-лучам K-серии дочернего изотопа с $Z = 102$.

Bemis C. e. a. X-Ray identification of element 104.— «Phys. Rev. Lett.», 1973, v. 31, p. 647—650.

М. Беррондо и О. Новаро (в США) на основе представлений об определенных группах симметрии предложили геометрическую интерпретацию структуры периодической системы и схемы заполнения электронных оболочек.

Berrondo M., Novaro O. On a geometrical realization of the Aufbau scheme. — «J. Phys. B: Atom. and Mol. Phys.», 1973, v. 6, p. 761—769.

С. В. Измайлов и Г. А. Шульман (в СССР) детально рассмотрели проблемы теории периодической системы при высоких давлениях.

Измайлов С. В., Шульман Г. А. К теории периодической системы при высоких давлениях. — В кн.: Теоретическая физика и астрономия. Л., «Наука», 1973, с. 37—74.

Н. Б. Михеев, В. И. Спицын и др. (в СССР) восстановили менделевий до одновалентного состояния.

Михеев Н. Б., Спицын В. И. и др. Восстановление Md до одновалентного состояния. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 208, № 5, с. 1146—1147.

1974

Н. Н. Крот и др. (в СССР) получили америций в степени окисления VII.

Крот Н. Н. и др. Получение семивалентного америция. — «Докл. АН СССР», 1974, т. 217, № 3, с. 589—591.

Ю. Ц. Оганесян с сотрудниками (в СССР) осуществили синтез элемента с $Z = 106$. По методу, предложенному Оганесяном (облучение мишени из стабильных или ионами с массой $A \geq 40$), проводилась ядерная реакция $^{207, 208}\text{Pb} + ^{54}\text{Cr}$. Был идентифицирован спонтанноделящийся излучатель с $T_{1/2}$, равным нескольким миллисекундам, являющийся, по мнению авторов, изотопом $^{259}106$.

Оганесян Ю. Ц. и др. Синтез нейтронодефицитных изотопов фермия, курчатовия и элемента с атомным номером 106. — Препринт ОИЯИ Д7—8099, Дубна, 1974.

92U	U^{238}, U_I $4,51 \cdot 10^9$ лет		U^{234}, U_{II} $2,48 \cdot 10^5$ лет			
91Pa	α β	Pa^{234}, U_{II} $1,18$ мин	β (99,98%) α (0,02%)	Pa^{234}, U_{II} $6,74$ / β		
90Th	Th^{234}, U_{X1} 24,1 дня		Th^{230}, I_0 $7,52 \cdot 10^4$ лет			
89Ac			α			
88Ra			Ra^{226}, Ra 1522 года			
87Fr			α			
86Rn			Rn^{222}, Rn 3,825 дня			
85At			α	At^{218} 1,3 сек		
84Po			Po^{218}, RaA 3,05 мин	β (0,02%) α	Po^{214}, RaC' $1,6 \cdot 10^{-4}$ сек	Po^{210}, RaF 138,4 дня
83Bi			α (99,98%)	Bi^{214}, RaC 19,7 мин	β (99,96%) α	Bi^{210}, RaE 5,01 дня
82Pb			Pb^{214}, RaB 26,8 мин	β α (0,04%)	Pb^{210}, RaD 22 года	Pb^{206}, RaG $(5 \cdot 10^{-5}\%)$
81Tl			Tl^{210}, RaC'' 1,32 мин	β (1,8 $\cdot 10^{-6}\%$) α	Tl^{206}, RaE'' 4,3 мин	
80Hg					Hg^{206} 8,5 мин	

Рис. 1. Семейство урана ($4n + 2$)*.

* Все радиоактивные семейства приведены по книге Г. Фридендера, Дж. Кеннеди, Дж. Миллера «Ядерная химия и радиохимия». Пер. с англ. М., «Мир», 1967.

^{90}Th	$\text{Th}^{232}, \text{Th}$ $1,39 \cdot 10^{10}$ лет		$\text{Th}^{228}, \text{RdTh}$ 1,90 лет	
^{89}Ac	α	$\text{Ac}^{228}, \text{MsTh}_2$ 6,134	β	α
^{88}Ra	$\text{Ra}^{228}, \text{MsTh}_1$ 6,7 лет	β	$\text{Ra}^{224}, \text{ThX}$ 3,64 дня	
^{87}Fr			α	
^{86}Rn			$\text{Rn}^{220}, \text{Th}$ 54,5 сек	
^{85}At			α	
^{84}Po			$\text{Po}^{216}, \text{ThA}$ 0,158 сек	$\text{Po}^{212}, \text{ThC}'$ $3,0 \cdot 10^{-7}$ сек
^{83}Bi			α (~100%) 60,6 мин	$\text{Bi}^{212}, \text{ThC}$ 60,6 мин β (66,3%) α
^{82}Pb			$\text{Pb}^{212}, \text{ThB}$ 10,64	β α (33,7%) $\text{Pb}^{208}, \text{ThD}$
^{81}Tl				$\text{Tl}^{208}, \text{ThC}''$ 3,1 мин β

Рис. 2. Семейство тория (4п).

92U	U ²³⁵ , ACU 7,13·10 ⁸ лет				
91Pa		α	Pa ²³¹ , Pa 3,48·10 ⁴ лет		
90Th	Th ²³¹ , UY 25,6 ч	β		Th ²²⁷ , RdAc 18,17 дня	
89Ac			Ac ²²⁷ , Ac 22,0 лет	β (98,8%) α	
88Ra				Ra ²²³ , AcX 11,7 дня	
87Fr			Fr ²²³ , AcK 22 мин	β α	
86Rn				Rn ²¹⁹ , Ap 3,92 сек	
85At			At ²¹⁹ 0,9 мин	β(3%) α	At ²¹⁵ 10 ⁻⁴ сек
84Po				Po ²¹⁵ , AcA 1,83·10 ⁻³ сек	Po ²¹¹ , AcC' 0,52 сек
83Bi			Bi ²¹⁵ 8 мин	β α (~100%)	Bi ²¹¹ , AcC 2,15 мин
82Pb				Pb ²¹¹ , AcB 36,1 мин	Pb ²⁰⁷ , AcD
81Tl					Tl ²⁰⁷ , AcC'' 4,79 мин

Рис. 3. Семейство актиния (4л + 3).

${}_{83}\text{Np}$		Np^{237} $2,20 \cdot 10^6 \text{ лет}$				
${}_{92}\text{U}$		$\downarrow \alpha$	U^{233} $1,62 \cdot 10^5 \text{ лет}$			
${}_{91}\text{Pa}$		Pa^{233} $27,0 \text{ дн.}$	$\nearrow \beta$	$\downarrow \alpha$		
${}_{90}\text{Th}$			Th^{229} 7340 лет			
${}_{89}\text{Ac}$			$\downarrow \alpha$	Ac^{225} $10,0 \text{ дн.}$		
${}_{88}\text{Ra}$			Ra^{225} $14,8 \text{ дня}$	$\nearrow \beta$	$\downarrow \alpha$	
${}_{87}\text{Fr}$				Fr^{221} $4,8 \text{ мин}$		
${}_{86}\text{Rn}$				$\downarrow \alpha$		
${}_{85}\text{At}$				At^{217} $0,018 \text{ сек}$		
${}_{84}\text{Po}$				$\downarrow \alpha$	Po^{213} $4,2 \cdot 10^{-6}$	
${}_{83}\text{Bi}$			Bi^{213} 47 мин	$\nearrow \beta(98\%)$	$\downarrow \alpha$	Bi^{209}
${}_{82}\text{Pb}$			$\downarrow \alpha$ (2%)		Pb^{209} $3,34$	$\nearrow \beta$
${}_{81}\text{Tl}$				Tl^{209} $2,2 \text{ мин}$	$\nearrow \beta$	

Рис. 4. $(4n + 1)$ -семейство.

БИБЛИОГРАФИЯ РАБОТ ПО ИСТОРИИ УЧЕНИЯ О ПЕРИОДИЧНОСТИ И УЧЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ

- Андерсон Д. Открытие электрона. Развитие атомных концепций электричества. Пер. с англ. М., Атомиздат, 1968.
- Астахов К. В. Современное состояние периодической системы Д. И. Менделеева. М., «Знание», 1969.
- Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд.-во иностр. лит., 1948.
- Бор Н. Воспоминания об Э. Резерфорде — основоположнике науки о ядре. Дальнейшее развитие его работ.— «Усп. физ. наук», 1963, т. 80, с. 215—250.
- Бор Н. Избранные научные труды. Т. I. Статьи 1909—1925. М., «Наука», 1970; т. 2. Статьи 1925—1961. М. «Наука», 1971.
- Быков Г. В. К истории открытия электрона.— В кн.: Вопросы истории естествознания и техники, 1963, вып. 15, с. 25—29.
- Вяльцев А. Н. Легчайшие атомные ядра. М., «Наука», 1963.
- Вяльцев А. Н. Открытие радиоактивности как узел в сети линий научного развития.— В кн.: Учение о радиоактивности. История и современность. М., «Наука», 1973, с. 23—46.
- Гайсинский М. Н. Вклад лаборатории Кюри в науку о ядре.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 69—127.
- Глестон С. Атом, атомное ядро, атомная энергия. Пер. с англ. М., Изд.-во иностр. лит., 1961.
- Гольданский В. И., Трифонов Д. Н. Краткий исторический очерк развития учения о радиоактивности.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 47—68.
- Григорович В. К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. М., «Наука», 1966.
- Ельяшевич М. А. Периодический закон Д. И. Менделеева, спектры и строение атома (к истории физической интерпретации периодической системы).— В кн.: Периодический закон и строение атома. М., Атомиздат, 1971, с. 41—106.
- Зайцева Л. Л., Фигуровский Н. А. Исследование явлений радиоактивности в дореволюционной России. М., Изд.-во АН СССР, 1961.
- Капустинская К. А. Анри Беккерель. М., Атомиздат, 1965.
- Кедров Б. М. Развитие понятия элемента от Менделеева до наших дней. М.—Л., ГТТИ, 1948.
- Кедров Б. М. День одного великого открытия. М., Соцэкгиз, 1958.
- Кедров Б. М. Философский анализ первых трудов Д. И. Менделеева о периодическом законе (1869—1871 гг.). М., Изд.-во АН СССР, 1959.
- Кедров Б. М. Три аспекта атомистики. Кн. III. Закон Менделеева. М., «Наука», 1969.
- Кедров Б. М. Менделеевские формы периодической системы элементов (1869—1871 гг.).— В кн.: Сто лет периодического закона химических элементов. М., «Наука», 1969, с. 42—56.

- Кедров Б. М., Трифонов Д. Н. Закон периодичности и химические элементы. Открытия и хронология. М., «Наука», 1969.
- Кедров Б. М. Процесс открытия периодического закона Д. И. Менделеевым.— В кн.: Периодический закон и строение атома, с. 5—40.
- Кедров Б. М. Открытие радиоактивности и радия и «новейшая революция в естествознании».— В кн.: Учение о радиоактивности ..., с. 7—22.
- Кедров Б. М., Трифонов Д. Н. О современных проблемах периодической системы. М., Атомиздат, 1974.
- Клемм В. 100 лет системы периодов химических элементов.— В кн.: Сто лет периодического закона..., с. 57—70.
- Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения ($n + l$)-групп. М., Атомиздат, 1969.
- Кривомазов А. Н. К истории открытия явления изотопии и формулировки правила сдвига.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 155—171.
- Макареня А. А., Д. И. Менделеев о радиоактивности и сложности элементов. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1965.
- Макареня А. А., Трифонов Д. Н. Периодический закон Д. И. Менделеева, М., «Просвещение», 1969.
- Макареня А. А. О формах табличного выражения периодического закона.— «Химия в школе», 1970, № 1, с. 7—9.
- Макареня А. А. Д. И. Менделеев и физико-химические науки. М., Атомиздат, 1972.
- Менделеев Д. И. Периодический закон. Основные статьи. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Менделеев Д. И. Периодический закон. Дополнительные материалы. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Немировский П. Э. К истории обоснования систематики изотопов.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1971, вып. 1 (34), с. 20—30.
- Рабинович Е., Тило Э. Периодическая система элементов. История и теория. Пер. с нем. М.—Л., ГТТИ, 1933.
- Резерфорд Э. Избранные научные труды. Т. 1. Радиоактивность. М., «Наука», 1971; т. 2. Строение атома и искусственное превращение элементов. М., «Наука», 1972.
- Селинов И. П. Периодическая система атомных ядер.— В кн.: О систематике частиц. Атомы, атомные ядра, элементарные частицы. М., Атомиздат, 1970, с. 43—73.
- Семишин В. И. Литература по периодическому закону. М., «Высшая школа», 1969.
- Сиборг Г. История трансурановых элементов и взгляд на их будущее.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1971, вып. 3—4 (36—37), с. 126—136.
- Сиборг Г. Эволюция периодической системы элементов со времен Д. И. Менделеева до наших дней.— В кн.: Сто лет периодического закона..., с. 136—157.
- Сиборг Г. и др. Современные достижения исследований по трансурановым элементам в США.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 183—211.
- Соловьев Ю. И., Петров Л. П. Вильям Рамзай. 1852—1916. М., «Наука», 1971.

- Соловьев Ю. И.** О работах В. Рамзая по радиоактивности.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 128—143.
- Старосельская-Никитина О. А.** История радиоактивности и возникновения ядерной физики. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Старосельская-Никитина О. А.** Эрнест Резерфорд (1871—1937), М., «Наука», 1967.
- Страдынь Я. П., Трифонов Д. Н.** Эволюция идеи об «островках относительной стабильности» элементов.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 212—225.
- Теоретическая физика 20 века.** Сб. ст. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
- Трифонов Д. Н.** Редкоземельные элементы и их место в периодической системе. М., «Наука», 1966.
- Трифонов Д. Н.** Элемент № 61 — прометий.. Опыт биографии химического элемента. М., «Просвещение», 1968.
- Трифонов Д. Н.** Структура и границы периодической системы. М., Атомиздат, 1969.
- Трифонов Д. Н.** Учение о периодичности.— В кн.: Ю. И. Соловьев. Эволюция основных теоретических проблем химии. М., «Наука», 1971, 227—257.
- Трифонов Д. Н.** О количественной интерпретации периодичности. М., «Наука», 1971.
- Трифонов Д. Н., Вяльцев А. Н., Кривомазов А. Н.** Как было открыто явление изотопии.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1973, вып. 2(43), с. 52—58.
- Фаянс К.** Воспоминания, связанные с историей науки о радиоактивности.— «Природа», 1973, № 10, с. 74—82.
- Фигуровский Н. А.** Открытие элементов и происхождение их названий. М., «Наука», 1970.
- Флеров Г. Н.** Исследования радиоактивности в Советском Союзе.— «Вопросы истории естествознания и техники», 1971, вып. 3—4 (36—37), с. 136—141.
- Флеров Г. Н., Звара И.** Химические элементы второй сотни.— Препринт ОИЯИ, Д7-6013, Дубна, 1971.
- Флеров Г. Н.** Эксперименты по синтезу и поискам в природе трансурановых элементов.— В кн.: Учение о радиоактивности..., с. 172—182.
- Щукарев С. А.** Современное значение периодического закона Д. И. Менделеева и перспективы развития.— В кн.: Сто лет периодического закона химических элементов. Доклады на пленарных заседаниях X Менделеевского съезда. М., «Наука», 1971, с. 40—53.
- Юз Д.** История нейтрона. Пер. с англ. М., Атомиздат, 1964.
- Andrade E. N. da C.** Rutherford and the nature of the atom. New York, 1964.
- An International bibliography on atomic energy.** Vol. 2. 1951. Suppl. I, 1952. Suppl. II, 1953.
- Badash L.** Chance favors the prepared mind: Henri Becquerel and the discovery of radioactivity.— Arch. internat. histoire Sci, 1965, N 70—71, p. 55—66.
- Badash L.** Radioactivity before the Curies.— Amer. J. Phys., 1965, v. 33, p. 128—135.
- Eve A. S.** Rutherford. Being the life and letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford. O. M. Cambridge, 1939.
- Feather N.** History of neutrons and nuclei.— Contemporary Physics, 1960, v. I, p. 257—266.

- Heilbron J. L. The scattering of α - and β -particles and Rutherford atom.— Arch. Hist. Ex. Sci., 1968, v. 4, p. 247—307.
- Hirosige T., Nisio S. Formation of Bohr's Theory of Atomic Constitution. Japan. Stud. Hist. Sci., 1964, N 3, p. 6—28.
- Hirosige T., Nisio S. The Genesis of the Bohr atom model and Plank's theory of radiation.—Japan. Stud. Hist. Sci., 1970, N 9, p.35—47.
- Hirosige T. The van den Broek hypothesis.— Japan. Stud. Hist. Sci., 1971, N 10, p. 143—162.
- Howorth M. The Life Story of Frederick Soddy. London, New World Publications, 1958.
- Mazurs E. Types of grafic representation of the periodic system of the elements. N. Y., 1957.
- Ranc A. Henri Becquerel et la découverte de la radioactivite. Paris, Editions de la Liberte, 1946.
- Romer A. The restless atom. London, Heinemann, 1962.
- Romer A. (ed.). The discovery of radioactivity and transmutation. N. Y., Dover, 1964.
- Romer A. (ed.). Radiochemistry and the discovery of isotopes. N. Y., Dover, 1970.
- Rosental S. (ed.). Niels Bohr. His life and work as seen by his friends and colleagues. Amsterdam/New York, 1967.
- Rutherford E. The collected papers of lord Rutherford of Nelson. Vol. 1. New Zealand—Cambridge—Montreal. Ed. by Sir J. Chadwick. N. Y., Interscience, 1962.
- Rutherford E. The collected papers of lord Rutherford of Nelson. Vol. 2. The Manchester period. Ed. by J. Chadwick. London. George Allen und Unwin, 1963.
- Rutherford E. The collected papers of lord Rutherford of Nelson. Vol. 3. The Cavendish Laloratory. Ed. by J. Chadwick. N. Y., Interscience, 1965.
- Seaborg G. Elements beyond 100. Present status and future prospects.— Ann. Rev. Nucl. Sci., 1968, v. 18, p. 53—152.
- Van Spronsen J. W. The periodic system of chemical elements. A history of the first hundred years. Amsterdam, 1969.
- Weeks M. The Discovery of the Elements. N. Y., 1956.

Дмитрий Николаевич Трифонов, Александр Николаевич Кривомазов,
Юрий Иванович Лисневский

УЧЕНИЕ О ПЕРИОДИЧНОСТИ И УЧЕНИЕ О РАДИОАКТИВНОСТИ

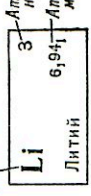
Редактор Г. М. Пчелинцева Художественный редактор А. Т. Кирьянов
Переплет художника Г. А. Жегина Технический редактор Н. А. Власова
Корректор О. М. Герасимова

Сдано в набор 20. III. 1974 г. Подписано к печати 30. IX. 1974 г. Т-13581. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 13,02. Уч.-изд. л. 12,83.
Тираж 7 690 экз. Цена 1 р. 14 к. Зак. изд. 68350. Зак. тип. 208.
Атомиздат, 103031, Москва, К-31, ул. Жданова, 5.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Периоды	VIII																
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII									
1	(H) 1							1 1,0079	2 4,00260	He Гелий							
2	3 Li Литий 6,941	4 Be Бериллий 9,01218	5 B Бор 10,81	6 C Углерод 12,011	7 N Азот 14,0067	8 O Кислород 15,9994	9 F Фтор 18,99840	10 Ne Неон 20,179									
3	11 Na Натрий 22,98977	12 Mg Магний 24,305	13 Al Алюминий 26,98154	14 Si Кремний 28,086	15 P Фосфор 30,97376	16 S Сера 32,06	17 Cl Хлор 35,453	18 Ar Аргон 39,948									
4	19 K Калий 39,098	20 Ca Кальций 40,08	21 Sc Скандий 44,9559	22 Ti Титан 47,88	23 V Ванадий 50,9415	24 Cr Хром 51,996	25 Mn Марганец 54,9380	26 Fe Железо 55,847	27 Co Кобальт 58,9332	28 Ni Никель 58,71							
5	37 Rb Рубидий 85,4678	38 Sr Стронций 87,62	39 Y Иттрий 88,9059	40 Zr Цирконий 91,22	41 Nb Нюбий 92,9064	42 Mo Молибден 95,94	43 Tc Технеций 98,9062	44 Ru Рутений 101,07	45 Rh Родий 102,9055	46 Pd Палладий 106,4							
6	55 Cs Цезий 132,9054	56 Ba Барий 137,34	57 La* Лантан 138,9055	58 Ce Церий 140,12	59 Pr Прометий 140,9077	60 Nd Неодим 144,24	61 Pm Прометий 144,9128	62 Sm Самарий 150,36	63 Eu Европий 151,964	64 Gd Гадолиний 157,25	65 Tb Тербий 158,9254	66 Dy Диспрозий 162,50	67 Ho Гольмий 164,9304	68 Er Эрбий 167,26	69 Tm Тулий 168,9342	70 Yb Иттербий 173,04	71 Lu Лютеций 174,97
7	87 Fr Франций [223]	88 Ra Радий [226]	89 Ac** Актиний [227]	90 Th Торий 232,0381	91 Pa Протактиний 231,0359	92 U Уран 238,029	93 Np Нептуний 237,0482	94 Pu Плутоний [244]	95 Am Америций [243]	96 Cm Кюрий [247]	97 Bk Берклий [247]	98 Cf Калифорний [251]	99 Es Эйнштейний [254]	100 Fm Фермий [257]	101 Md Менделевий [258]	102 (No) (Нобелий) [259]	103 (Lr) (Лоуренсий) [260]



* Л А Н Т А Н О И Д Ы

** А К Т И Н О И Д Ы

ПРИМЕЧАНИЕ: Атомная масса приведена по Международной таблице 1971 года. Точность последней цифры ±1 или ±3 (если выделена мелким шрифтом). В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

