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 B, 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 их 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.

Lande 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 interferences. — «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.

Widdovson 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 подоболочек 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 подоболочек (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 lewels.— «Phil. Mag.», 1924, ser. 6, v. 48, p. 719—736.

Дж. Мэйн Смит (в Англии) предложил схему распределения электронов по подоболочкам (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 иридистом 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. Блэкетт (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.

Elsasser 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. Блэкетт (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). Блэкетт 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 Блэкетту, 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 Блэкетта 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».

Свинне 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.

Fajans 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 5*f*-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 5*f*-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 полуцелым 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. Cambr. 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 ($^{14}N + {}^4He \rightarrow {}^1H + {}^{17}O$)».

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: $\Delta x \cdot \Delta p_x \geqslant h$.

Соотношение неопределенностей оказало существенное влияние на развитие квантовой механики.

Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der guantentheoretischen 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 их 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 $l = 0,1,2,3, \ldots$ Z_l составляли соответственно 0,15; 4,2; 19,4; 53,2).

Fermi E. Un metodo statistico per la determinazione di alcine propertietá 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.

Davisson 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 $^{16}O = 16$ 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 $^{16}O = 16$ прижилась в физике и получила в дальнейшем (до введения в сентябре 1960 г. шкалы $^{12}C = 12$) 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 difraction 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.

Dirac 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.

Klemm W., Rockstroh 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 5*f*-уровень. Однако нельзя однозначно утверждать, что эти электроны заполняют 6*d*-уровень.

Duschman 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 обусловливает 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 $см^3$, плотность примерно 16 $г/см^3$, температура плавления — — 1700 °С. 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) апериодические, изменяющиеся с увеличением Z монотонно или почти монотонно (молекулярный объем соединений, основность, растворимость солей, ионный радиус и т. д.) и связанные главным образом с 5*d*- и 6*s*-электронами, число которых признавалось одинаковым для всех лантаноидов; 2) периодические, обусловленные 4*f*-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 4*f*-подоболочкой) и Lu^{3+} (со структурой атома ксенона и заполненной 4*f*-подоболочкой) как обладающие «особо предпочтительной электронной конфигурацией», играли роль своеобразных инертных газов. «Периодическая система» ионов Me^{3+} редкоземельных элементов изображалась Клеммом следующим образом:

$$\begin{array}{ll} & La^{3+} \\ Ce^{3+} \ldots\ldots\ldots\ldots & Gd^{3+} \\ Tb^{3+} \ldots\ldots\ldots\ldots & Lu^{3+} \end{array}$$

Предполагалось, что 4*f*-электроны впервые появляются у церия, а формирование 4*f*-подоболочки завершается у лютеция.

Klemm W. Eine Systematik der seltenen Erden, begründet auf periodischen Eigenschaftsänderungen ihrer Ionen.— «Z. anorg. Chem.», 1929, Bd 184, S. 345—351.

В. Жиок 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.

Giauque W. F., Johnston 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.

Klemm W., Schüth 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 Stickstoffkerne der Boseschen Statistik?— «Naturwiss.», 1929, Bd 17, S. 673—674.

С. Розенблюм (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 magnètique 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. Астон 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., Iwanenko 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 нейтрино — 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 водорода 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 4*s*-электрона у калия вместо 3*d*-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.

Sommerfeld 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.

Langer R., Rosen 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.

Aston 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. Астон 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}Ar 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: $Z_l = 0{,}155\ (2l + 1)^3$.

Зоммерфельд А. 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 particles 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. Gapon E., Iwanenko D. 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.

Iwanenko D. The neutron hypotesis.— «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.

Паули В. 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:

$$^{7}\mathrm{Li} + p \rightarrow 2\ ^{4}\mathrm{He}.$$

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 deflectable 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 5*f*-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

иона 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».

Wu T., Goudsmith 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. Астон Ф. Масс-спектры и изотопы. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

Г. Льюис и Р. Макдональд (в США) получили тяжелую воду.

Lewis G., MacDonald R. Concentration of H^2 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:

$$^9\mathrm{Be} + \alpha \rightarrow {}^{12}\mathrm{C} + n.$$

Curie I., Joliot F. Preuves expériments 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.

Sargent 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.

Elsasser 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: $n \rightleftarrows p + e^-$ и $p \rightleftarrows n + e^+$, 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.

Перрен 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».

Иваненко 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 бо́льшую проникающую способность.

P a u l i W. Noyaux Atomiques. Proc. Solvay Congress. Bruxelles, 1933, p. 324.

П. Блэкетт 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.

B l a c k e t t P., O c c h i a l i n i 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.

A u g e r 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.

A s t o n 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: $\gamma \longrightarrow e^+ + e^-$.

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 наполовину заполненной электронной подоболочки 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), использовав гипотезу о нейтрино 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: $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$ и $p \rightarrow n + e^+ + \nu$. Ферми вывел также уравнение, связывающее значение максимальной энергии распада ($E_{макс}$) с так называемой приведенной продолжительностью жизни ядра λ: $\lg\lambda = \lg k + S\lg E_{макс}$, где k — некоторая константа, зависящая от типа перехода частиц. Далее, Ферми сформулировал правило отбора, согласно которому различаются переходы (протон $\rightleftarrows$ 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).

Fermi 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.

Селинов 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. Бёте 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 $\widetilde{\nu}$) $\rightarrow (N, Z \pm 1) + e^{\pm}$. Вероятность этого процесса крайне мала, однако его идея впоследствии была использована для экспериментального 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 $^{40}Ar — ^{40}K$ 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 $^{238}U\ (n, \gamma)^{239}U \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}93$.

Ученые считали этот элемент аналогом Re и Mn (поскольку он соосаждался с MnO_2); ему было дано название аузоний (Ao). Они полагали, что элемент $^{239}93$, 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 соосаждении 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, корые 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 предсказывания 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.

Guggenheimer 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.

Fermi E. Radioattivita indotta da bombardamento di neutroni. I.— «Ricer. Scient.», 1934, v. 5[1], p. 283 (L); Radioattivita provocatta da bombardmento di neutroni. II.— Ibid., p. 330—331 (L).
Fermi E., Amaldi E., D'Agostino O., Rasetti F., Segre 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.

Gamov 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}Be $(n, 2n)$ $^{8}Be \rightarrow 2^{4}He$, 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. Глесстон 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 $Z=97$:

$$_{92}U + n \longrightarrow {}_{92}U \xrightarrow[10\ сек]{\beta^-} {}_{93}Ao \xrightarrow[2{,}2\ мин]{\beta^-} {}_{94}Hs \longrightarrow$$

$$\xrightarrow[59\ мин]{\beta^-} Ека Ir \xrightarrow[66\ ч]{\beta^-} Ека Pt \xrightarrow[2{,}5\ ч]{\beta^-} {}_{97}Ека Au\ (?),$$

$$_{92}U + n \longrightarrow {}_{92}U \xrightarrow[40\ сек]{\beta^-} {}_{93}Ao \xrightarrow[16\ мин]{\beta^-} {}_{94}Hs \xrightarrow[5{,}7\ ч]{\beta^-} {}_{95}Ека Ir\ (?),$$

$$_{92}U + n \longrightarrow {}_{92}U \xrightarrow[23\ мин]{\beta^-} {}_{93}Ao\ (?).$$

Исследователи считали, что ближайшие трансурановые элементы будут 6*d*-элементами, аналогами соответствующих 5*d*-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): $2n \rightarrow 2p + 2e^- + 2\tilde{\nu}$ 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:

$$(A, Z) \rightarrow \begin{matrix}(A, Z+2) + 2e^- + 2\tilde{\nu}\,. \\ (A, Z-2) + 2e^+ + 2\nu.\end{matrix}$$

Это так называемый двухнейтронный двойной β-распад. Его вероятность, согласно Гёпперт-Майер, очень мала: период полураспада должен быть порядка 10^{21} лет.

Göppert-Mayer 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 плеяде изотопов урана.

Dempster A. Isotopic constitution of uranium.— «Nature», 1935, v. 136, p. 180.

Разными учеными был исследован изотопный состав платины, палладия, золота и иридия.

См. Астон. 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*.

Kourtchatow B., Kourtchatow I., Myssowsky L., Roussinow L. Sur un cas de radioactivité artificielle provoquée par un bombardment 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}N (α, p) ^{17}O.

См. Глесстон 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 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. Вейцзеккер (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}Cu 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. Ноддак 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 апериодические 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».

Noddack W., Brukl A. Die Reductionspotentiale 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.

Klemm W., Bommer 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

$$^{A}_{42}\mathrm{Mo}\,(d,\ n)^{A+1}_{43}\mathrm{X}$$

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), использовав 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 radioélements formés dans l'uranium irradè par les neutrons. II.— «J. Phys.», 1938, v. 9, p. 355—359; Sur la nature de radioélément de pêriode 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 schellen 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 нейтрино, 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 разделения 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 $^{238}_{92}U + {}^{1}n \rightarrow {}^{98}_{37}Rb + {}^{141}_{55}Cs$.

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 $^{141}_{59}$Pr и $^{98}_{42}$Mo.

Joliot 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.

M. Перей (во Франции) открыла элемент 87 и предложила для него название франций (Fr). Тщательно исследуя излучение ^{227}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.

Perey 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».

Bohr 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 вероятность деления возрастает с увеличением отношения Z^2/A. Ученые предсказали также возможность спонтанного деления

урана с периодом полураспада порядка 10^{22} лет (для изотопа ^{238}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 UII). 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. Сегре (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 $^{209}Bi\,(\alpha, 2n)^{211}X$ 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 $^{238}U(n, \gamma)\,^{239}U \xrightarrow[23\ мин]{\beta^-} {}^{239}93$. 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 5*f*-семейства, поскольку отсутствие сходства нептуния с рением и близость свойств U и Np свидетельствовали о том, что в области элементов с $Z \geqslant 92$ происходит заполнение 5*f*-подоболочки.

McMillan E., Abelson P. Radioactive element 93.— «Phys. Rev.», 1940, v. 57, p. 1185—1186.

К. Штаркe (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 $^{238}U\ (d, 2n)\ ^{238}Np \xrightarrow[2{,}1\ дня]{\beta^-}\ ^{238}94$. 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 $Z \geqslant 92$ 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: $Z_p = 2P(2\times 1 - 1) + 2(P - 1)(2\times 2 - 1) + 2(P - 3)\times (2\times 3 - 1) + 2(P - 5)(2\times 4 - 1) + \ldots + 2(P - 2n + 3)\times (2n - 1)$. По Виллару, это уравнение отражает закономерность образования электронных конфигураций инертных газов. Числа 1, 2, 3, 4, ... соответствуют подоболочкам s, p, d, f, ... 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}U — 10^{16} — 10^{17} лет, ^{235}U — 10^{14} — 10^{15} лет и ^{234}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. Глесстон 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, Il 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 ($730 \cdot 10^{-24}$ *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 $^{238}U(n, 2n)\ ^{237}U \xrightarrow[6{,}75\ дня]{\beta^-}\ ^{237}Np$ (его период полураспада составляет $2{,}2 \cdot 10^6$ лет).

Wahl A., Seaborg G. Nuclear properties of 93^{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 $_{93}Np^{237}$. — «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 $^{239}Pu(\alpha, n)^{242}96$. Элемент был назван кюрием

(Cm). 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.— «Science», 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 5*f*-подоболочки. Однако в вопросе о том, можно ли считать уран первым членом 5*f*-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 5*f*-электрон появляется у тория». Сиборг привел вариант таблицы элементов, в которой элементы 4*f*- и 5*f*-семейств впервые размещались следующим образом:

Ряд лантанидов	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Il	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tu	70 Yb	71 Lu
Ряд актинидов	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm							

Сиборг предположил далее, что «характерной для этого ряда (актиноидов.— *Авт.*) степенью окисления (т. е. степенью окисления, которую проявляют элементы, содержащие семь и четырнадцать 5*f*-электронов) является степень окисления, равная III». Важно следующее его замечание: «Для некоторых элементов ряда вопрос о том, приписать ли им электроны 5*f* или 6*d*, 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 $Z \geqslant 90$ 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. Кориелл (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., Boyd 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: $^{239}\mathrm{Pu}(n, \gamma)^{240}\mathrm{Pu}(n, \gamma)^{241}\mathrm{Pu} \xrightarrow[13\ \text{лет}]{\beta^-} {}^{241}95$. 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;
Giorso 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 t, а при данном t — 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.

A x y m o v E. 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:

$$E_{ord} = \frac{(n+l)(n+l+2)}{4} + \frac{1-(-1)^{n+l}}{8} - l.$$

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, prometium.— «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 94^{239} 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 $^{241}Am(\alpha, 2n)^{243}97$. 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 systéme 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; Пропавшие периссады и артиады, лишенные 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^{-11} *моль*). Тем не менее удалось достоверно установить, что электроположительные свойства астатина проявляются более резко, чем у иода. 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}Ar. 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}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}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 schell 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 порождать 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 periodique.— «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 изопотов 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 обусловливают 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. Каннингэм 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:

$$^{237}Np \xrightarrow[2{,}2\cdot10^{6}\ лет]{\alpha} {}^{233}Pa \xrightarrow[27{,}4\ дня]{\beta^-} {}^{233}U \xrightarrow[1{,}62\cdot10^{5}\ лет]{\alpha} {}^{229}Th \xrightarrow[7340\ лет]{\alpha} \longrightarrow$$

$$\longrightarrow {}^{225}Ra \xrightarrow[14{,}8\ дня]{\beta^-} {}^{225}Ac \xrightarrow[10\ дней]{\alpha} {}^{221}Fr \xrightarrow[4{,}8\ мин]{\alpha} {}^{217}At \xrightarrow[0{,}018\ сек]{\alpha} \longrightarrow$$

$$\longrightarrow {}^{213}Bi \begin{cases} \xrightarrow{\alpha\ (2\%)} {}^{209}Tl \xrightarrow[2{,}2\ мин]{\beta^-} {}^{209}Pb \\ \xrightarrow{\beta^-(98\%)} {}^{213}Po \xrightarrow[4{,}2\cdot10^{-6}\ сек]{\alpha} {}^{209}Pb \end{cases} \xrightarrow[3{,}3\ ч]{\beta^-} {}^{209}Bi.$$

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 бо́льшим значением этой суммы; 2) в пределах каждой $(n + l)$-группы заполнение уровней происходит последовательно от подгрупп уровней с меньшим значением n и бо́льшим l к подгруппам с бо́льшим 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:

	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$ $3s^2$	$3p^6$ $4s^2$	$3d^{10}$ $4p^6$ $5s^2$	$4d^{10}$ $5p^6$ $6s^2$	$4f^{14}$ $5d^{10}$ $6p^6$ $7s^2$	$5f^{14}$ $6d^{10}$ $7p^6$ $8s^2$	$l=3$ $l=2$ $l=1$ $l=0$
$(n+l)$	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: $^{238}U(n, \gamma)\ ^{239}U \xrightarrow[2{,}3\ мин]{\beta^-} {}^{239}Np \xrightarrow[2{,}3\ дня]{\beta^-} {}^{239}Pu$.

Levine G., Seaborg G. The occurence 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. Клечковский (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 бо́льшим], 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 $5\,s^2$ 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.

Hakala 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.

Ghiorso 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 $(^{237}Np/^{238}U) = 1{,}8 \cdot 10^{-12}$.

Peppard D., Mason G., Gray P., Mesh J. Occurence 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:

$$^{98}\mathrm{Mo} + n \longrightarrow {}^{99}\mathrm{Mo} \xrightarrow[67\ ч]{\beta^-,\ \gamma} {}^{99}\mathrm{Tc}.$$

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.

Merill 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.— «Experienta», 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 ($N_{пер}$):

$$N_{пер} = 0{,}5(n + 1)^2$$ для нечетных значений n

и

$$N_{пер} = 0{,}5(n + 2)^2$$ 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 $\gamma(Z_l) = \left(\frac{1}{6\pi}\right)\left[0{,}02\ln Z + 0{,}38\right]^{-3/2}$, $\gamma(Z_l) \approx 0{,}169$.

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 $n + l$

$$Z_n = 1/6\,[(n + 1)^3 + 2\,(n + 1)] - 1;$$

$$Z_{n_r} = 1/6\,(n_r + 1)\,(n_r + 2)\,(n_r + 3) - 1;$$

$$Z_{n+l} = 1/6\,[(n + l)^3 - (n + l)] + 1;$$

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}Es(α, 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 остававшиеся 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 мендеелевская 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, иттротанталат 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 occurence 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 $p + \tilde{\nu} \rightarrow n + e^+$). Эксперименты подтвердили существование нейтрино.

Cowan Ch. e. a. Detection of the free neitrino: 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:

$$Z_{P_m} = [2(P-3)(2\times 1-1)+6]+[2(P-3)(2\times 2-1)+$$
$$+6]+[2(P-3)(2\times 3-1)-(10-m)]+[2(P-5)(2\times$$
$$\times 4-1)]+\ldots+[2(P-2n+3)(2n-1)].$$

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 ± 0,1 *Мэв* и $T_{1/2} \approx 10$ *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 ± 0,4 *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}Cm (^{12}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 $Z \geqslant 100$ 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 ÷ 120 ($8s$-электроны) и в меньшей степени 103 ÷ 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 *Мэв* и $T_{1/2} = 3$ *сек*). В течение длительного времени эта работа рассматривалась как наиболее убедительное доказательство синтеза элемента 102.

Ghiorso A. UCRL-8714 (1959); см. также Гиорсо 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 $11{,}7 \pm \pm 0{,}3$ *мин*.

Сосновский А. Н., Спивак П. Е., Прокофьев Ю. А., Кутиков И. Е., Добрынин 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 ($\mathcal{E}_k$). По Клечковскому, величину $\mathcal{E}_k$ можно определить как число электронов, недостающих в основном состоянии атома до заполнения всех $(n + l)$-групп, уже начатых заполнением. Математически зависимость $\mathcal{E}_k$ от Z, вытекающая из правил последовательного заполнения $(n + l)$-групп, дается выражением

$$\mathcal{E}_k = 1/6\,(y+1)^3 + (y+1)\,(1/2 \sin^2 1/2\,\pi y - 1/6) - Z,$$

где целочисленный параметр y определяется следующим условием

$$1/6y^3 + y\,(1/2\cos^2 1/2\,\pi y - 1/6) < Z \leqslant 1/6\,(y+1)^3 + \\ + (y+1)\,(1/2\sin^2 1/2\,\pi y - 1/6).$$

Клечковский В. М. К характеристике типа электронной конфигурации атомов.—«Докл. АН СССР», *1960, т. 135, с. 655—658; см. также Клечковский В. М. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения (n + l)-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 $k (k = {}^1/_2, {}^3/_2, {}^5/_2, \ldots, l + {}^1/_2)$:

$$N_k = 4\,(6Z)^{1/3}\,k\,\left[1 - (4/3Z)^{1/3}\,k\right].$$

Tietz 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.

Ghiorso 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.

Гольданский 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}B и ^{11}B. 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 $^{257}103$, 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 $^{257}103$, 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 $^{99}Tc \approx 1 \cdot 10^{-9}$ *г*.

Kenna B., Kuroda P. Isolation of naturally occuring 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) $Xe^+(PtF_6)^-$.— «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.·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 $T_\alpha = 6{,}3 \times \times 10^9$ лет.

Nurmia M., Kauranen P., Siivola A. ^{145}Pm: *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. Kripton 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 °С.

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}Pu (^{22}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 зависит от давления» и что «началу изменения менделеевской периодичности для тяжелых элементов соответствует давление $10^4 — 10^5$ *кГ/см²*». 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 бóльшими 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 $^{256}103$ путем облучения мишени из ^{243}Am ускоренными ионами ^{18}O. Регистрация и идентификация изотопа $^{256}103$ проводилась по дочернему продукту ^{252}Fm радиоактивного распада $^{256}103$; последний мог превращаться в ^{252}Fm двумя способами: 1) $^{256}103 \xrightarrow{\alpha} {}^{252}Md \xrightarrow{Э.З.} {}^{252}Fm$ и 2) $^{256}103 \xrightarrow{Э.З.} {}^{256}102 \xrightarrow{\alpha} {}^{252}Fm$. Поэтому обнаружение в продуктах реакции ядер ^{252}Fm свидетельствовало о том, что шел процесс $^{243}Am\ (^{18}O, 5n)^{256}103$. Фермий химически выделялся с помощью ионообменных методов. Хотя факт синтеза $^{256}103$ представлялся несомненным, радиоактивные характеристики изотопа непосредственно не определялись. Однако по изучению дочерних продуктов распада $^{256}103$ 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. Клечковский (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 Клечковскому, «общая картина перестройки электронной оболочки с увеличением давления характеризуется... сначала переходом части электронов из состояния с меньшим орбитальным моментом в состояние с бóльшим орбитальным моментом (и тем же главным квантовым числом), а затем из состояния с меньшим главным квантовым числом в состояние с бóльшим главным квантовым числом».

Клечковский 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. Калинкин (в СССР) рассчитали одночастичные протонные и нейтронные уровни области $Z \geqslant 82$ и $N \geqslant 126$ 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, $^{36}Ar + {}^{242}Cm \rightarrow {}^{278}114$) 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 лютеций 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

$$Z_{Pm} = [2(P-3)(2\times 1-1)+6]_s + [2(P-3)(2\times 2-1)+6]_p +$$

$$+ [2(P-3)(2\times 3-1)-(10-m)]_d + [2(P-5)(2\times 4-1)]_f + \ldots$$

$$+ [2(P-2n+3)(2n-1)]_n,$$

для f-элементов

$$Z_{Pm} = [2(P-5)(2\times 1-1)+10]_s + [2(P-5)(2\times 2-$$

$$-1)+18]_p + [2(P-5)(2\times 3-1)+10]_d +$$

$$+ [2(P-5)(2\times 4-1)-(14-m)]_f + \ldots +$$

$$+ [2(P-2n+3)(2n-1)]_n.$$

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., Шилов 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 $^{230}Th + {}^{10}B$ *и* $^{230}Th + {}^{11}B$. *— Препринт ОИЯИ Р-2862, Дубна, 1966.*

1967

В. М. Клечковский (в СССР) сопоставил закономерности заполнения 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 ($N_{маг}$):

$$N_{маг} = \begin{cases} 1/3\, q\,(q+1)\,(q+2), & \text{если} \quad q \leqslant 3, \\ 1/3\,(q^3 - q) + 2q, & \text{если} \quad q \geqslant 3, \end{cases}$$

причем $q = 1,2,3, \ldots$ Вычисленные значения $N_{маг}$ 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.

Meldner 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 $N = 184$.

Gustafson 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.

Strutinsky 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}U (^{22}Ne, $4n$) $^{256}102$. В итоге было показано, что степень окисления элемента 102 не выше III и, следовательно, он имеет свойства актиноида.

Чубурков Ю. Т. и др. Опыты по химии элемента 102.— «Радиохимия», 1967, т. 9, с. 637—642.

В. А. Друин с сотрудниками (в СССР) синтезировали изотоп $^{255}102$. Оказалось, что у изотопа $^{255}102$ $T_{1/2} = 3$ *мин*, а энергия α-частиц составляет 8,09 *Мэв*. Ядерные реакции синтеза имели следующий вид: ^{238}U (^{22}Ne, $5n$) $^{255}102$ и ^{242}Pu (^{18}O, $5n$) $^{255}102$.

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 $^{256}103$ 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 $^{257}103$ для проверки результатов, полученных американскими учеными в 1961 г. (см. с. 207). Изотоп получали в ходе ядерной реакции ^{243}Am (^{18}O, $4n$) $^{257}103$. Однако α-частицы с энергией 8,6 *Мэв* не наблюдались, а период полураспада изотопа $^{257}103$ 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 $[118]8s^2 6f^{1} 5g^{n}$. 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., Waber 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 5*g*-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 6*d*-, 7*p*-, 8*s*- и 7*d*-подоболочки (соответственно элементы 119 и 120 оказываются экафранцием и экарадием, или 8*s*-элементами, элемент 121 — экаактинием, или 7*d*-элементом), и «суперактинидов» (122—153) — элементов, в атомах которых заполняются 6*f*- и 5*g*-подоболочки, может быть, в смешанной последовательности; начиная с элемента 154 возобновляется заполнение 7*d*-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 $^{48}Ca + {}^{244}Pu \rightarrow {}^{288}114 + 4n$.

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. Музычка, 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.

Музычка 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 одни 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 К-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 $T_{сп} = 10^{15}$ 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}Am (^{22}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 5*g*-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	1*s*	2*s*	2*p*	3*s*	3*p*	4*s*	3*d*	4*p*	5*s*	4*d*	5*p*	6*s*	4*f*	5*d*	6*p*	7*s*
$(n-l)$	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 обнаружились 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^2d); 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.

Waber 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. Иёргенсен (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. Propiétés 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, Mand Nbinding 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 $^{238}\mathrm{U} + {}^{68}\mathrm{Zn} \rightarrow {}^{302}122 + 4n$.

Musychka 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 $^{248}\mathrm{Cm} + {}^{40}\mathrm{Ar} \rightarrow {}^{284}114 + 4n$, $^{248}\mathrm{Cm} + {}^{64}\mathrm{Ni} \rightarrow {}^{308}124 + 4n$.

Nilsson S., e. a. 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 $^{252}Cf + {}^{48}Ca \rightarrow {}^{290}114 + {}^{4}He + 4n$; 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 occurence 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}Th (^{80}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 superheavy 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 $5g^26f^3$ вместо ожидаемой $5g^2 6f^2\ 8p^1$.

Mann J., Waber J. SCF relativistic Hartree-Fcck 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 $106 \leqslant Z \leqslant 128$, $176 \leqslant N \leqslant 204$. 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}Kr 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}Cf (^{15}N, $4n$) ими был синтезирован изотоп $^{260}105$ 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, $^{20, 21}N$, $^{23, 24}O$, $^{23-25}F$, $^{25, 26}Ne$).

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 $l = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots$ соответственно получаются значения $Z = 1, 5, 21, 58, 125, \ldots$

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 $Z \geqslant 137$ 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}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

$$^{235,\ 238}\mathrm{U}\ (^{28}\mathrm{Si},\ xn)\ 106;$$

$$^{246}\mathrm{Cm}\ (^{22}\mathrm{Ne},\ xn)\ 106;$$

$$^{235,\ 238}\mathrm{U}\ (^{31}\mathrm{P},\ xn)\ 107.$$

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}Ti и ^{78}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 a 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 6*g*- и 7*f*-подоболочек. Начиная со степени окисления +8 для ряда электронов на замкнутых подоболочках 9*s*, $9p_{1/2}$ и $8p_{3/2}$ становится энергетически более выгодным переход на свободную 6*g*-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 off all elements from Z=1 to Z=120.— «Theor. chim. acta», 1973, v. 28, p. 369—390.

Дж. Малы́ 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.

Maly J., Hussonnois M. SCF Dirac — Hartree — Fock calculations in the periodic system. II. Binding energies and first ionisation potentials sor 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 $A \geqslant 40$), проводилась ядерная реакция $^{207, 208}Pb + {}^{54}Cr$. 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.

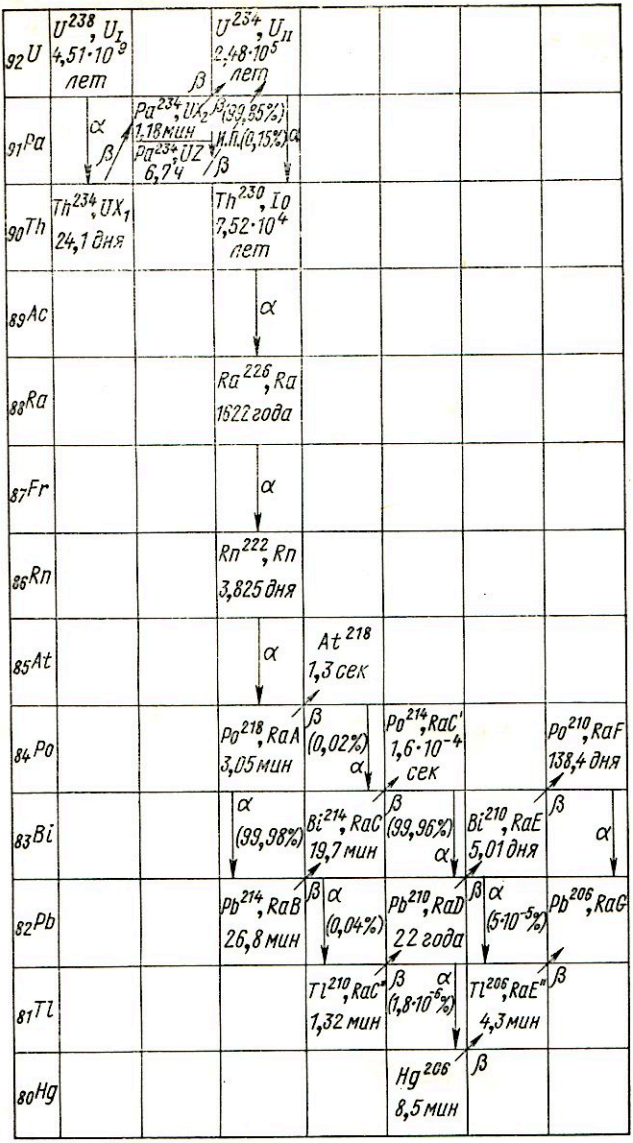


Рис. 1. Семейство урана $(4n + 2)$*.

---

* Все радиоактивные семейства приведены по книге Г. Фридлендера, Дж. Кеннеди, Дж. Миллера «Ядерная химия и радиохимия». Пер. с англ. М., «Мир», 1967.

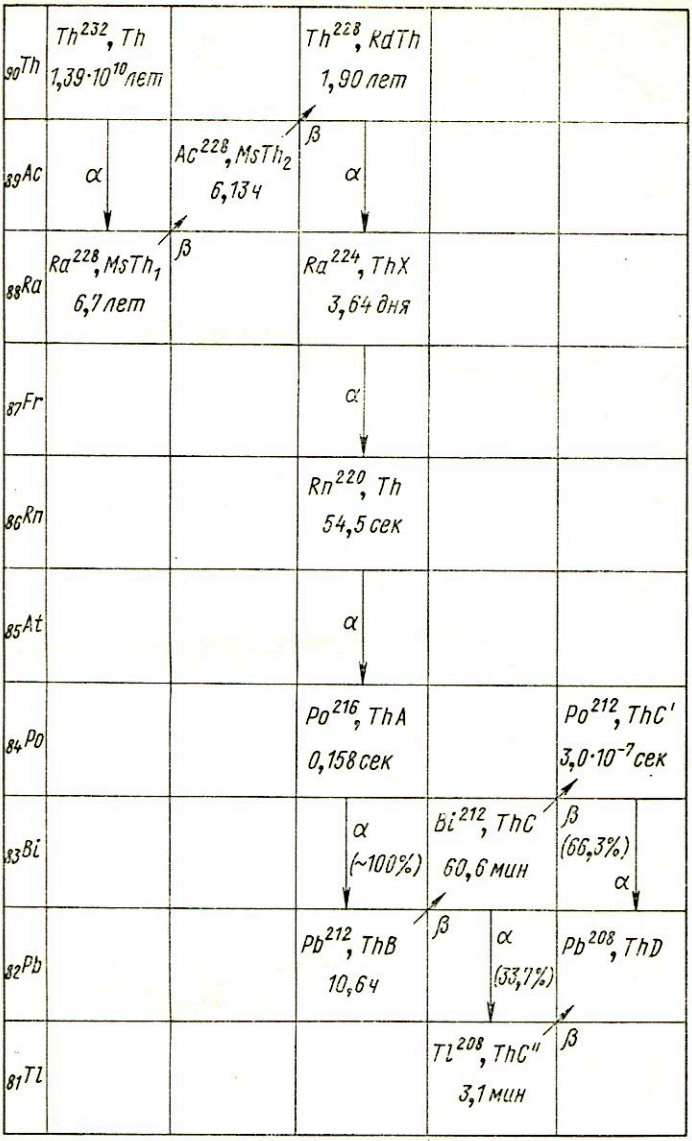


Рис. 2. Семейство тория (4*n*).

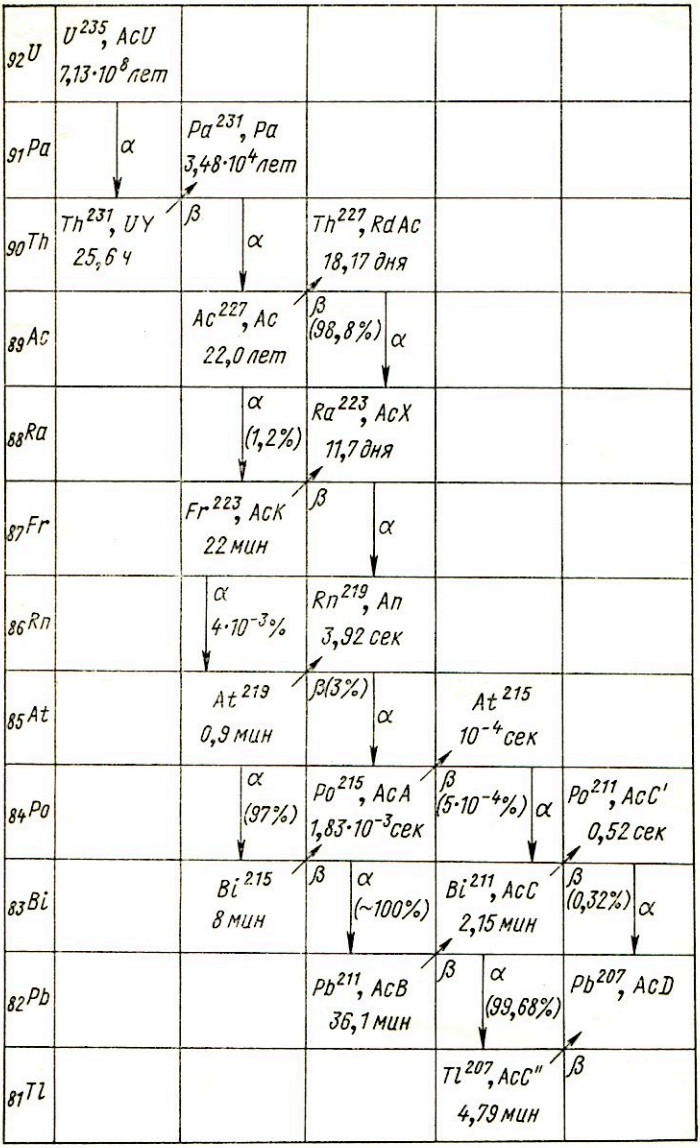


Рис. 3. Семейство актиния ($4n + 3$).

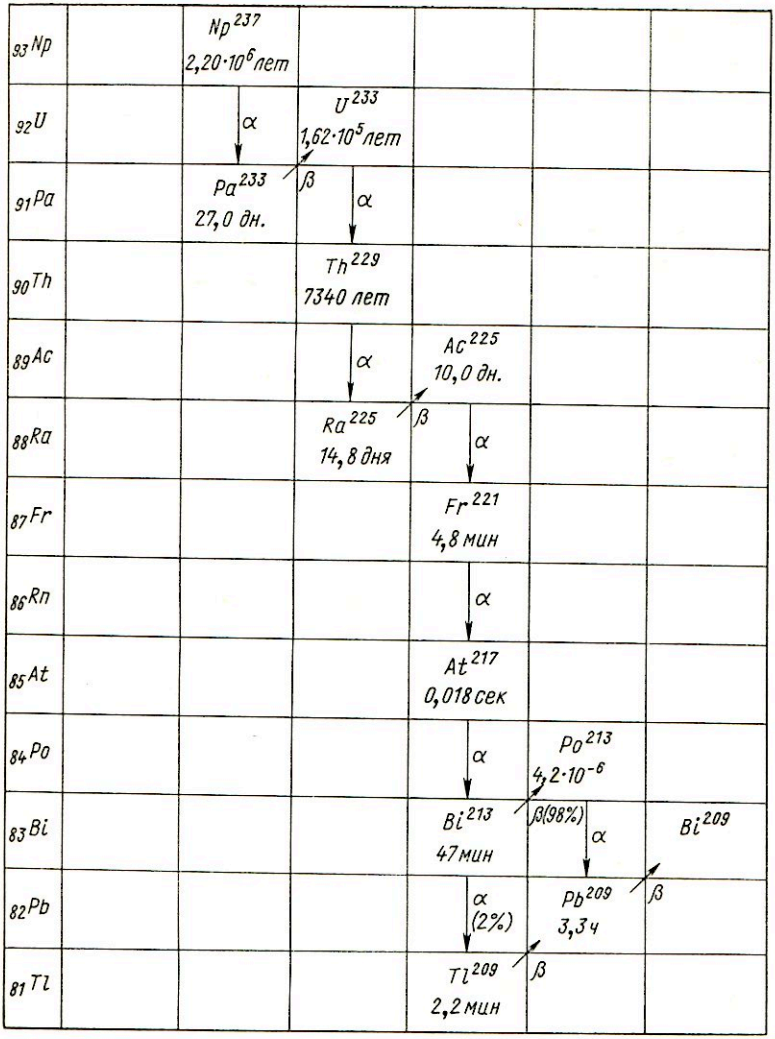


Рис. 4. $(4n + 1)$-семейство.

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.

Глесстон 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. I. 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	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	(H)						1 H 1,0079 Водород	2 He 4,00260 Гелий		
2	Li 3 6,941 Литий	Be 4 9,01218 Бериллий	B 5 10,81 Бор	C 6 12,011 Углерод	N 7 14,0067 Азот	O 8 15,9994 Кислород	F 9 18,99840 Фтор	Ne 10 20,179 Неон		
3	Na 11 22,98977 Натрий	Mg 12 24,305 Магний	Al 13 26,98154 Алюминий	Si 14 28,086 Кремний	P 15 30,97376 Фосфор	S 16 32,06 Сера	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон		
4	K 19 39,098 Калий	Ca 20 40,08 Кальций	Sc 21 44,9559 Скандий	Ti 22 47,90 Титан	V 23 50,9414 Ванадий	Cr 24 51,996 Хром	Mn 25 54,9380 Марганец	Fe 26 55,847 Железо	Co 27 58,9332 Кобальт	Ni 28 58,71 Никель
	29 Cu 63,546 Медь	30 Zn 65,38 Цинк	31 Ga 69,72 Галлий	32 Ge 72,59 Германий	33 As 74,9216 Мышьяк	34 Se 78,96 Селен	35 Br 79,904 Бром	36 Kr 83,80 Криптон		
5	Rb 37 85,4678 Рубидий	Sr 38 87,62 Стронций	Y 39 88,9059 Иттрий	Zr 40 91,22 Цирконий	Nb 41 92,9064 Ниобий	Mo 42 95,94 Молибден	Tc 43 98,9062 Технеций	Ru 44 101,07 Рутений	Rh 45 102,9055 Родий	Pd 46 106,4 Палладий
	47 Ag 107,868 Серебро	48 Cd 112,40 Кадмий	49 In 114,82 Индий	50 Sn 118,69 Олово	51 Sb 121,75 Сурьма	52 Te 127,60 Теллур	53 I 126,9045 Иод	54 Xe 131,30 Ксенон		
6	Cs 55 132,9054 Цезий	Ba 56 137,34 Барий	La * 57 138,9055 Лантан	Hf 72 178,49 Гафний	Ta 73 180,9479 Тантал	W 74 183,85 Вольфрам	Re 75 186,2 Рений	Os 76 190,2 Осмий	Ir 77 192,22 Иридий	Pt 78 195,09 Платина
	79 Au 196,9665 Золото	80 Hg 200,59 Ртуть	81 Tl 204,37 Таллий	82 Pb 207,2 Свинец	83 Bi 208,9804 Висмут	84 Po [209] Полоний	85 At [210] Астат	86 Rn [222] Радон		
7	Fr 87 [223] Франций	Ra 88 226,0254 Радий	Ac ** 89 [227] Актиний	Ku 104 [261] Курчатовий	105					

Обозначение элемента: Li 3 (Атомный номер) 6,941 (Атомная масса) Литий

* Л А Н Т А Н О И Д Ы

Ce 58 140,12 Церий	Pr 59 140,9077 Празеодим	Nd 60 144,24 Неодим	Pm 61 [145] Прометий	Sm 62 150,4 Самарий	Eu 63 151,96 Европий	Gd 64 157,25 Гадолиний	Tb 65 158,9254 Тербий	Dy 66 162,50 Диспрозий	Ho 67 164,9304 Гольмий	Er 68 167,26 Эрбий	Tm 69 168,9342 Тулий	Yb 70 173,04 Иттербий	Lu 71 174,97 Лютеций

** А К Т И Н О И Д Ы

Th 90 232,0381 Торий	Pa 91 231,0359 Протактиний	U 92 238,029 Уран	Np 93 237,0482 Нептуний	Pu 94 [244] Плутоний	Am 95 [243] Америций	Cm 96 [247] Кюрий	Bk 97 [247] Берклий	Cf 98 [251] Калифорний	Es 99 [254] Эйнштейний	Fm 100 [257] Фермий	Md 101 [258] Менделевий	(No) 102 [255] (Нобелий)	(Lr) 103 [256] (Лоуренсий)

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.

Цена 1 р. 14 к.