

Кислицын А.А.


Искусственные и
трансурановые
элементы

"Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными, и к следующим поколениям людей перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, передало бы наибольшую информацию? Я считаю, что это атомно-молекулярная теория: все тела состоят из атомов и молекул - маленьких частиц, которые находятся в постоянном движении, притягиваются друг к другу на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если их плотнее прижать друг к другу. В одной этой фразе содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения."

Ричард Фейнман.

В 1869 году Д.И.Менделеев обнародовал периодический закон и его следствие - таблицу элементов. В 1870 году он назвал таблицу "естественной", а еще через год - "периодической". Вид первых вариантов таблиц был далек от современного. В то время были известны только 63 элемента (сейчас 118), не были известны инертные газы, актиноиды, а, самое главное, отсутствовали сведения о строении атомов. Таблица состояла из 6 вертикальных столбцов (предшественники современных периодов) и содержала 67 элементов (63 известных + 4 предсказанных). Три из предсказанных (экабор, экасилиций и экаалюминий) вскоре были открыты и получили названия соответственно: скандий Sc, германий Ge и галлий Ga. После этого периодический закон получил всеобщее признание.

"Короткая" форма таблицы, 2000-й год

		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII		VIII		 Периодический закон открыт Д.И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году
1	(H)	II		III		IV		V		VI		1	H	2	He	
												1.0079	ВОДОРОД	4.00260	ГЕЛИЙ	
2	Li 3 6.94, ЛИТИЙ	Be 4 9.01218, БЕРИЛЛИЙ	5	B 10.81 БОР	6	C 12.011 УГЛЕРОД	7	N 14.0067 АЗОТ	8	O 15.999, КИСЛОРОД	9	F 18.998403 ФТОР	10	Ne 20.17, НЕОН		
3	Na 11 22.98977, НАТРИЙ	Mg 12 24.305, МАГНИЙ	13	Al 26.98154, АЛЮМИНИЙ	14	Si 28.085, КРЕМНИЙ	15	P 30.97376, ФОСФОР	16	S 32.06, СЕРА	17	Cl 35.453, ХЛОР	18	Ar 39.94, АРГОН		
4	K 19 39.098, КАЛИЙ	Ca 20 40.08, КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44.9559, СКАНДИЙ	Ti 22 47.88, ТИТАН	V 23 50.9415, ВАНАДИЙ	Cr 24 51.996, ХРОМ	Mn 25 54.9380, МАРГАНЕЦ	Fe 26 55.84, ЖЕЛЕЗО	Co 27 58.9332, КОБАЛЬТ	Ni 28 58.70, НИКЕЛЬ						
	29 63.54, Cu МЕДЬ	30 65.38, Zn ЦИНК	31 69.72, Ga ГАЛЛИЙ	32 72.5, Ge ГЕРМАНИЙ	33 74.9216, As МЫШЬЯК	34 78.9, Se СЕЛЕН	35 79.904, Br БРОМ	36 83.80, Kr КРИПТОН								
5	Rb 37 85.467, 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 44 101.0, РУТЕНИЙ	Rh 45 102.9055, РОДИЙ	Pd 46 106.4, ПАЛЛАДИЙ						
	47 107.868, Ag СЕРЕБРО	48 112.41, Cd КАДМИЙ	49 114.82, In ИНДИЙ	50 118.6, Sn ОЛОВО	51 121.7, Sb СУРЬМА	52 127.6, Te ТЕЛЛУР	53 126.9045, I ИОД	54 131.30, Xe КСЕНОН								
6	Cs 55 132.9054, ЦЕЗИЙ	Ba 56 137.33, БАРИЙ	La* 57 138.905, ЛАНТАН	Hf 72 178.4, ГАФНИЙ	Ta 73 180.947, ТАНТАЛ	W 74 183.8, ВОЛЬФРАМ	Re 75 186.207, РЕНИЙ	Os 76 190.2, ОСМИЙ	Ir 77 192.2, ИРИДИЙ	Pt 78 195.0, ПЛАТИНА						
	79 196.9665, Au ЗОЛОТО	80 200.5, Hg РУТУТЬ	81 204.3, Tl ТАЛЛИЙ	82 207.2, Pb СВИНЕЦ	83 208.9804, Bi ВИСМУТ	84 [209]*, Po ПОЛОНИЙ	85 [210], At АСТАТ	86 [222], Rn РАДОН								
7	Fr 87 [223], ФРАНЦИЙ	Ra 88 226.0254, РАДИЙ	Ac** 89 [227], АКТИНИЙ	Ku 104 [261], КУРЧАТОВИЙ												

■ - s-элементы ■ - p-элементы
■ - d-элементы ■ - f-элементы

Атомные массы приведены по Международной таблице 1977 года.
 Точность последней значащей цифры ±1 или ±3, если она выделена мелким шрифтом.
 В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

* ЛАНТАНОИДЫ

Ce 58 140.12 ЦЕРИЙ	Pr 59 140.9077 ПРАЗЕОДИЙ	Nd 60 144.2, НЕОДИМ	Pm 61 [145]* ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150.4, САМАРИЙ	Eu 63 151.96, ЕВРОПИЙ	Gd 64 157.2, ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158.9254, ТЕРБИЙ	Dy 66 162.5, ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164.9304, ГОЛЬМИЙ	Er 68 167.2, ЭРБИЙ	Tm 69 168.9342, ТУЛИЙ	Yb 70 173.0, ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174.96, ЛЮТЕЦИЙ
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

** АКТИНОИДЫ

Th 90 232.0381 ТОРИЙ	Pa 91 231.0359 ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238.02, УРАН	Np 93 237.0482 НЕПУНИЙ	Pu 94 [244], ПЛУТОНИЙ	Am 95 [243], АМЕРЦИЙ	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 [259], (НОБЕЛИЙ)	(Lr) 103 [260], (ЛОУРЕНСИЙ)
-----------------------------------	---	--------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	--	--

Объяснение периодической системы элементов – одна из важнейших задач атомной физики.

Сформулируем прежде всего те принципы, на которых основано это объяснение:

1). Состояние электрона в атоме полностью определяется четырьмя квантовыми числами:

главным квантовым числом $n = 1, 2, 3, \dots;$

орбитальным

квантовым числом $l = 0, 1, \dots, n-1;$

магнитным квантовым числом $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l;$

магнитным спиновым

квантовым числом $m_s = +1/2, -1/2.$

- 2) Принцип Паули: В атоме может существовать только один электрон в состоянии, характеризуемом данными значениями четырех квантовых чисел; т.е. два электрона в одном и том же атоме должны различаться значениями по крайней мере одного квантового числа.
- 3) Атом (как и любая система) устойчив тогда, когда находится в состоянии с наименьшей возможной энергией.

Совокупность электронов, обладающих одинаковым главным квантовым числом образует слой. Слои имеют названия :

n	1	2	3	4	5	6	...
Название	К	L	M	N	O	P	...

Совокупность электронов, имеющих одинаковые n и l , образует оболочку. Названия оболочек :

l	0	1	2	3	4	5	...
Название	s	p	d	f	g	h	...

Принцип Паули ограничивает число электронов на той или иной электронной оболочке. Действительно, электроны в невозбужденном атоме стремятся перейти в состояние с наименьшей энергией (в устойчивое состояние), которое соответствует минимальным значениям главного и орбитального чисел. Однако возможность такого перехода ограничена принципом Паули. Поэтому электроны в невозбужденном атоме находятся в таких состояниях, при которых энергия атома является наименьшей, но распределение по состояниям удовлетворяет принципу Паули.

Установим теперь, сколько электронов может находиться на оболочке и в атоме.

Т.к. число m_s может иметь два значения, то в атоме может быть два электрона с одинаковыми числами n, l, m .

При заданном l квантовое число m может иметь $(2l + 1)$ значений, следовательно, на оболочке может быть $2(2l + 1)$ электронов, т.е.

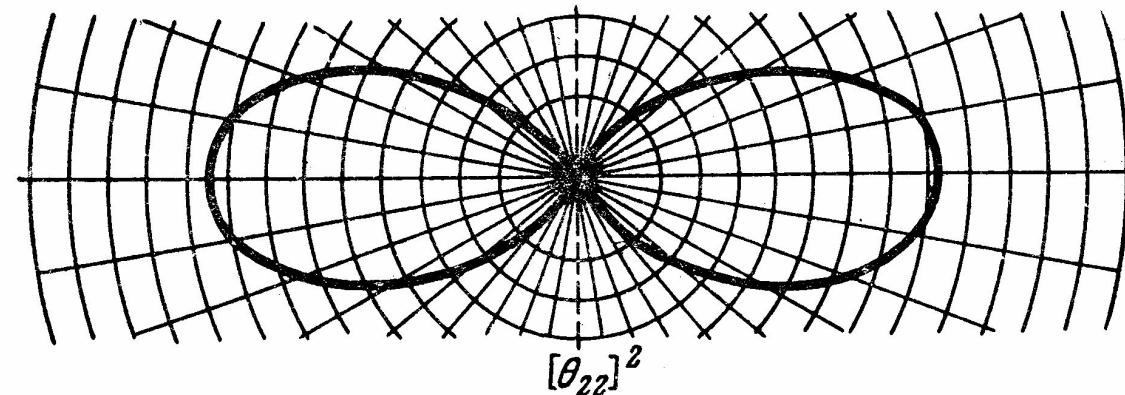
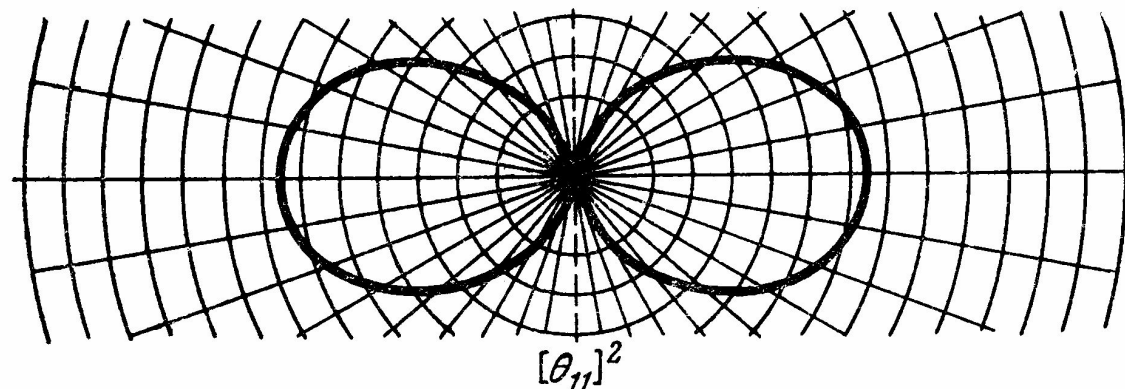
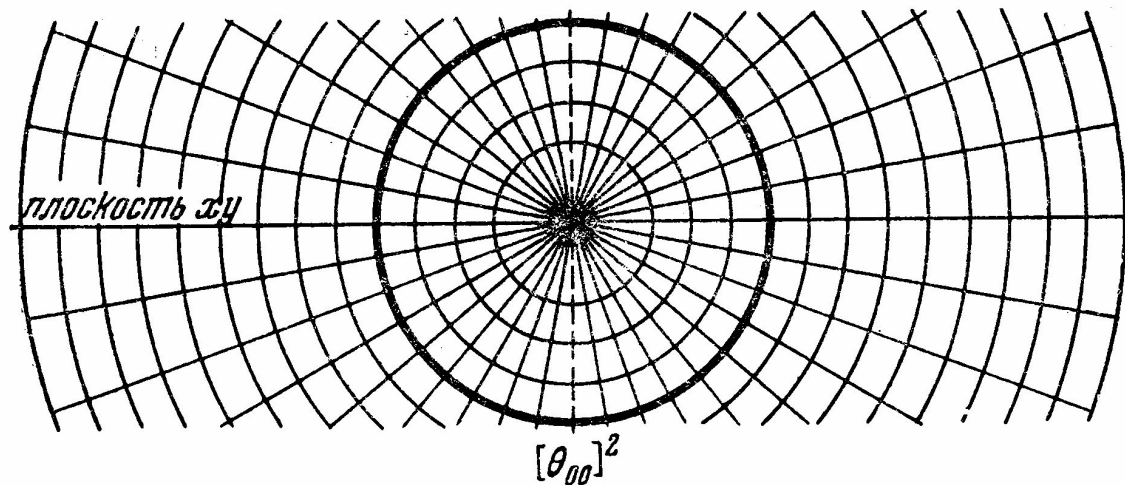
l	0	1	2	3	4	5	6
Название	s	p	d	f	g	h	i
Макс. число электронов	2	6	10	14	18	22	26

При заданном n квантовое число l может принимать n значений: $0, 1, 2, \dots, n - 1$. Поэтому максимальное число электронов в слое можно выразить суммой арифметической прогрессии:

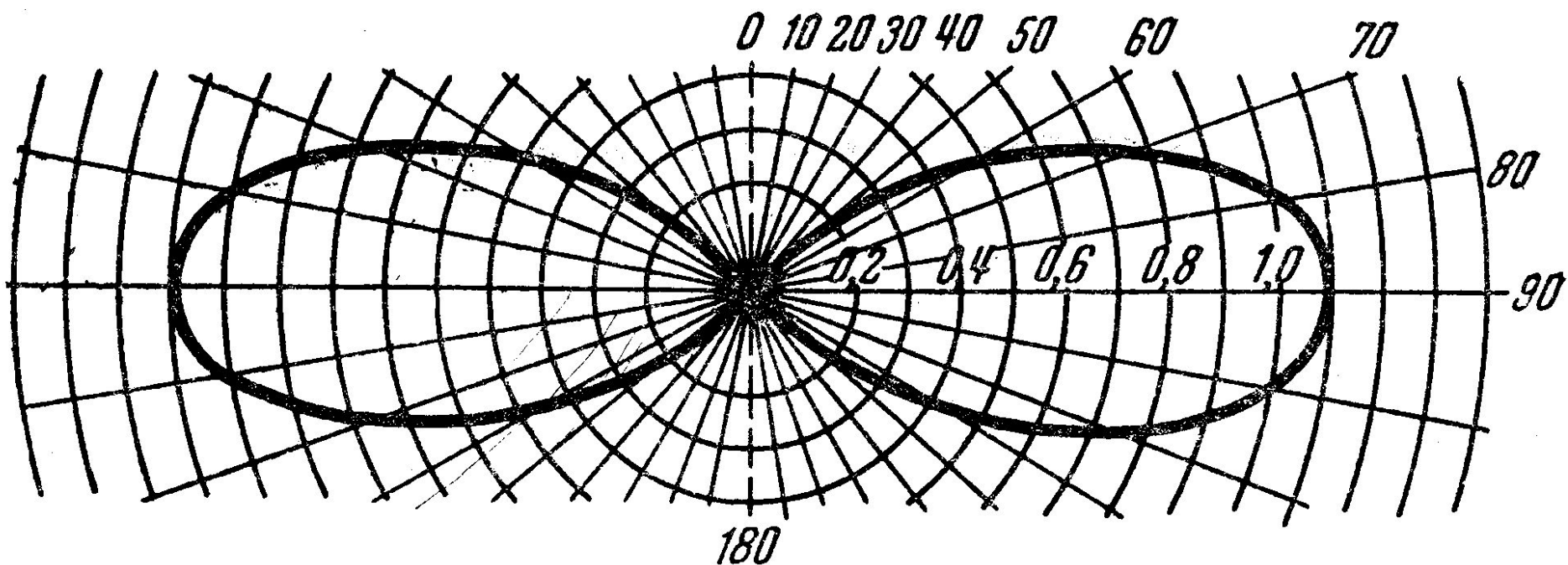
$$\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = \frac{2 + 2(2(n-1)+1)}{2} n = 2n^2 \quad (17.1)$$

n	1	2	3	4	5	6	7
Название	К	L	M	N	O	P	Q
Макс. число электронов	2	8	18	32	50	72	98

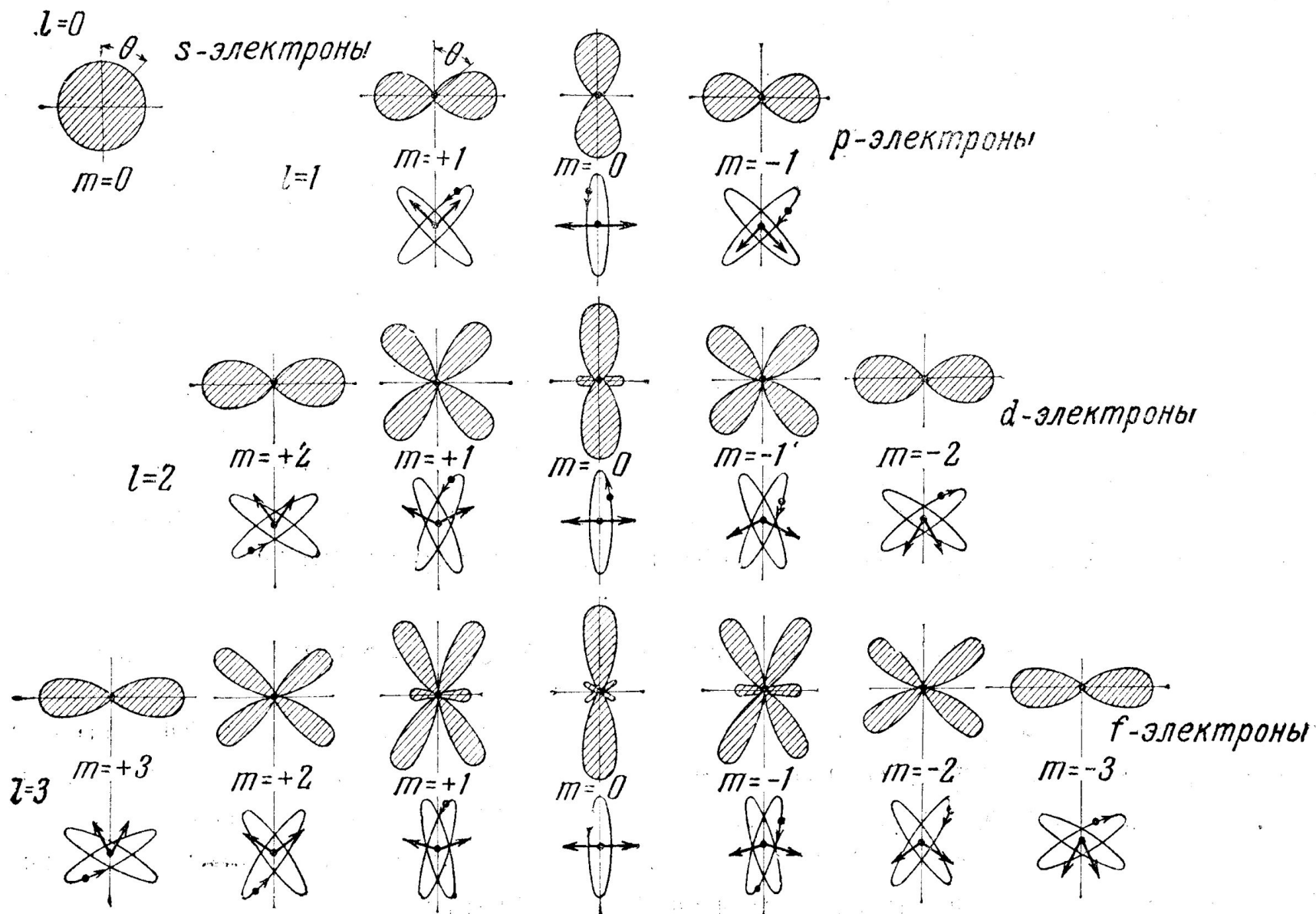
Графические
изображения
электронных
s-, *p*- и *d*-
оболочек



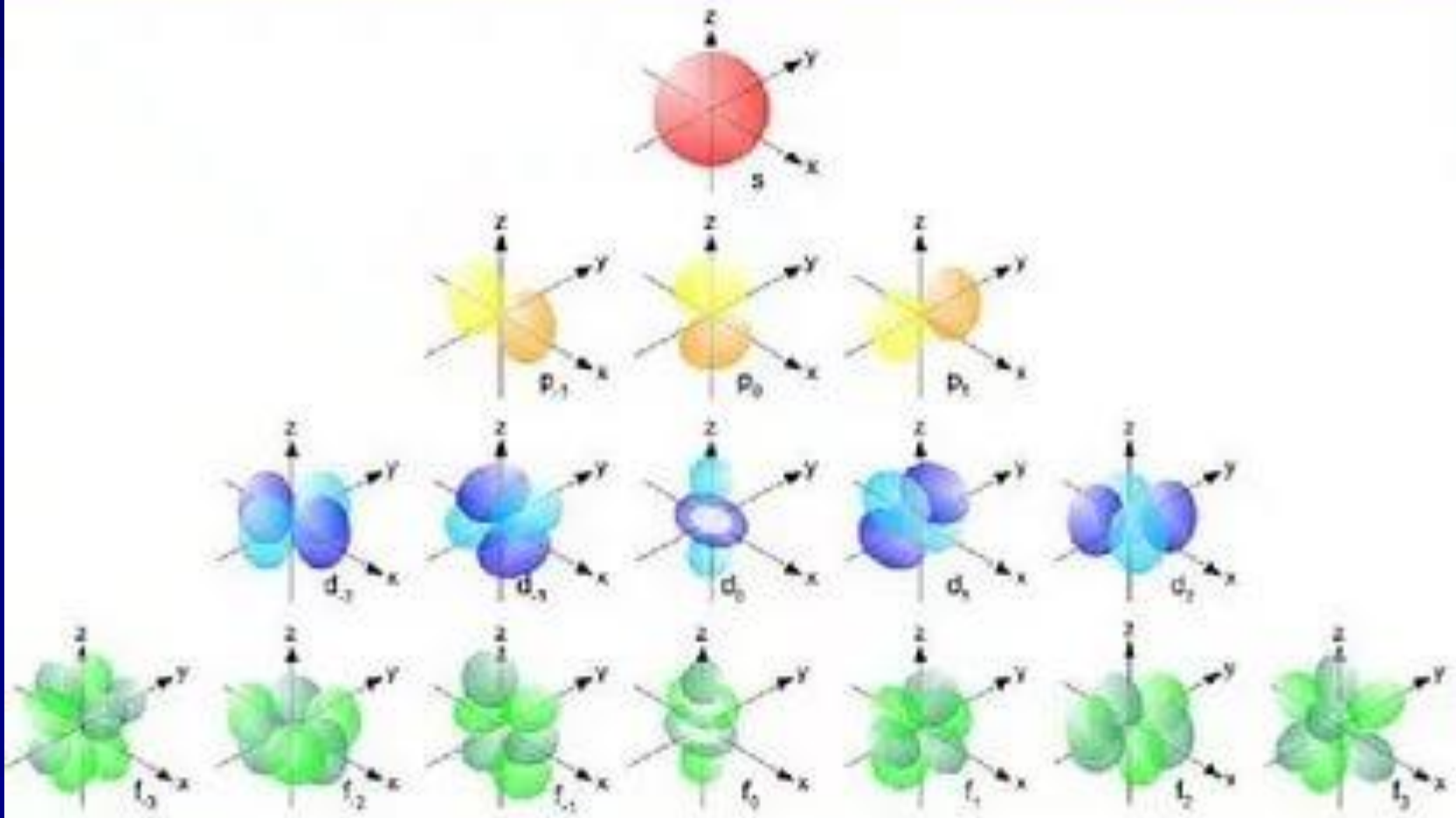
Графическое изображение $4f$ -оболочки



Схематические изображения электронных оболочек



Вид электронных оболочек



**Изображения атомных орбиталей: 1 ряд - s-орбитали;
2 ряд- p-орбитали; 3 ряд- d -орбитали; 4 ряд- f -орбитали**

Конфигурация электронных оболочек атомов записывается с помощью следующих обозначений. Каждая оболочка обозначается соответствующим n и буквой, обозначающей l , а индексом справа вверху обозначается число электронов. Например:

Водород	$1s^1$
Гелий	$1s^2$
Литий	$1s^22s^1$
Углерод	$1s^22s^22p^2$
Кислород	$1s^22s^22p^4$
Аргон	$1s^22s^22p^63s^23p^6$

Итак, принцип Паули дает следующую картину построения электронной оболочки атомов. Каждый вновь присоединяемый электрон связывается в состоянии с наименьшими возможными квантовыми числами. Эти электроны постепенно заполняют слой с одним и тем же главным квантовым числом n . Когда построение слоя заканчивается, получается устойчивая структура (инертный газ). Следующий электрон начинает заполнение уже нового слоя и т.д. Эта идеальная схема соблюдается до 18 элемента таблицы Менделеева (до аргона).

Начиная с 19-го элемента (калия) наблюдаются отступления от идеальной схемы. Причина этих отступлений заключается в том, что идеальная схема не учитывает взаимодействия электронов между собой.

Например, 19-ый электрон калия должен (согласно идеальной схеме) находиться в $3d$ -оболочке. Однако химические и спектроскопические данные указывают на то, что этот электрон находится в $4s$ -оболочке. Детальный расчет с учетом взаимодействия электронов показывает, что состояние $3d$ действительно отвечает большей энергии, чем $4s$.

Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА											
1	(H)							1	H	2	He
		II	III	IV	V	VI	1.0079	ВОДОРОД	4.00260	ГЕЛИЙ	
2	Li 3 6.94, ЛИТИЙ	Be 4 9.01218, БЕРИЛЛИЙ	5 10.81	B 6 12.011, БОР	C 7 14.0067, УГЛЕРОД	N 8 15.999, АЗОТ	O 9 16.999403, КИСЛОРОД	10 18.998403	F 10 18.998403, ФТОР	Ne 20.17, НЕОН	
3	Na 11 22.98977, НАТРИЙ	Mg 12 24.305, МАГНИЙ	13 26.98154, АЛЮМИНИЙ	Al 14 28.085, КРЕМНИЙ	Si 15 30.97376, ФОСФОР	P 16 32.06, СЕРА	17 35.453	Cl 17 35.453, ХЛОР	18 39.94, АРГОН		
4	K 19 39.098, КАЛИЙ	Ca 20 40.08, КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44.9559, СКАНДИЙ	Ti 22 47.88, ТИТАН	V 23 50.9415, ВАНАДИЙ	Cr 24 51.996, ХРОМ	25 54.9380	Mn 25 54.9380, МАРГАНЕЦ	Fe 26 55.84, ЖЕЛЕЗО		
	29	30	31	32	33	34	35	36			

По этой же причине 20-ый электрон кальция тоже присоединяется в $4s$ -состояние, а нормальное заполнение $3d$ -оболочки начинается у скандия. Аналогичное нарушение нормального порядка наблюдается у рубидия, цезия, франция. Другое отступление от нормального порядка заполнения слоев имеет место у редких земель ($Z = 57 - 70$): идет заполнение $4f$ -оболочки после заполнения оболочек $5s$, $5p$ и $6s$.

5	47 107,868 Ag СЕРЕБРО	48 112,41 Cd КАДМИЙ	49 114,82 In ИНДИЙ	50 118,6, Sn ОЛОВО	51 121,7, Sb СУРЬМА	52 127,6, Te ТЕЛЛУР	53 129,9045 I ИОД	54 131,30 Xe КСЕНОН
6	Cs 55 132,9054 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33 БАРИЙ	La * 57 138,905, ЛАНТАН	Hf 72 178,4, ГАФНИЙ	Ta 73 180,947, ТАНТАЛ	W 74 183,8, ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,207 РЕНИЙ	Os 76 190,2 ОСМИЙ
	79 196,9665 Au ЗОЛОТО	80 200,5, Hg РТУТЬ	81 204,3, Tl ТАЛЛИЙ	82 207,2 Pb СВИНЕЦ	83 208,9804 Bi ВИСМУТ	84 [209]* Po ПОЛОНИЙ	85 [210] At АСТАТ	86 [222] Rn РАДОН
7	Fr 87 [223] ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0254 РАДИЙ	Ac ** 89 [227] АКТИНИЙ	Ku 104 [261] КУРЧАТОВИЙ	105			

Атомные массы приведены
Точность поданных значений цифрой ±1 и

* лантаноиды

В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.

Ce 58 140,32 ЦЕРИЙ	Pr 59 140,9077 ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,2, НЕОДИМ	Pm 61 [145]* ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,4 САМАРИЙ	Eu 63 151,96 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,2, ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,9254 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,5, ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,9304 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,2, ЭРБИЙ	Tm 69 168,9342 ТУЛИЙ	Yb 70 173,0, ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,96, ЛЮТЕЦИЙ
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Еще несколько примеров конфигураций электронных оболочек атомов:

19	Калий	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 = [\text{Ar}]4s^1$
20	Кальций	$[\text{Ar}]4s^2$
36	Криптон	$[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 2p^6$
37	Рубидий	$[\text{Ar}]4s^2 3d^{10} 2p^6 5s^1 = [\text{Kr}]5s^1$
43	Технеций	$[\text{Kr}]5s^1 4d^6$
54	Ксенон	$[\text{Kr}]5s^2 4d^{10} 5p^6$
55	Цезий	$[\text{Xe}]6s^1$
56	Барий	$[\text{Xe}]6s^2$
57	Лантан	$[\text{Xe}]6s^2 5d^1$
71	Лютеций	$[\text{Xe}]6s^2 5d^1 4f^{14}$
86	Радон	$[\text{Xe}]6s^2 5d^{10} 4f^{14} 6p^6$

Таким образом, атомная физика полностью объяснила периодическую таблицу элементов. Причем теория не только объяснила, но и уточнила таблицу. До 1922г. элемент $Z=72$ не был известен. Он был предсказан Менделеевым, и ему было оставлено место в группе редких земель. Однако по теоретическим соображениям, группа редких земель должна содержать 14 элементов (т.к. на $4f$ оболочке может находиться 14 электронов), т.е. должна заканчиваться 71-м элементом, а элемент $Z=72$ должен быть аналогом циркония и титана. На это впервые указал Н. Бор, и вскоре элемент 72 (гафний) был открыт в циркониевых рудах и по своим химическим и оптическим свойствам оказался аналогом титана и циркония, а не элементов группы редких земель.

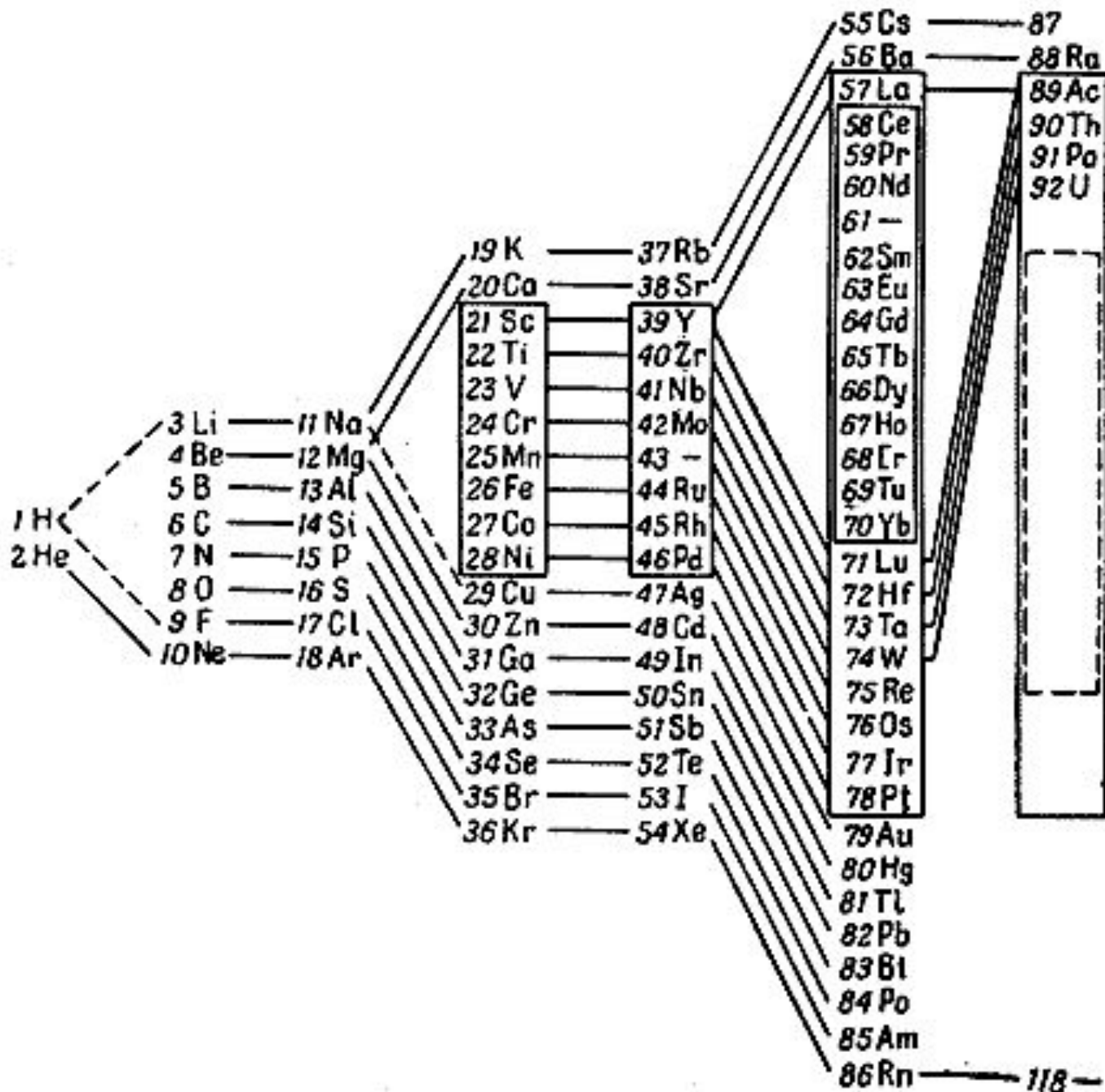
Недостатки короткой формы таблицы

Из-за того, что короткая таблица ограничена 8-ю столбцами, приходится подразделять 4-й и следующие периоды на ряды и подгруппы, что лишено химического смысла. Например, в I группе находятся щелочные металлы и резко отличающиеся от них по химическим свойствам золото, серебро и медь. В VII группе находятся галогены и тугоплавкий металл рений. Максимально противоречива структура VIII группы. В нее включена "триада" железа (Fe, Co, Ni), семейство платиновых металлов (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) и инертные газы. Имеются и другие недостатки.

Длинная форма таблицы

В 1989 году Международный союз теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC, ИЮПАК) отменил короткую форму и утвердил новую "длинную" форму. Она состоит из 18 групп, обозначенных арабскими цифрами. Но чтобы сохранить преемственность, параллельно новым номерам групп записаны старые номера римскими цифрами с указанием подгрупп (а, б), как в короткой форме. При этом f-элементы (лантаноиды и актиноиды) остались в третьей группе, и для них, как и раньше, выделены отдельные строки.

Периодическая система элементов, предложенная Н. Бором в 1921г



Периодическая система, предложенная Н. Бором, и дополненная новыми элементами

1 H	3 Li	11 Na	19 K	37 Rb	55 Cs	87 Fr
2 He	4 Be	12 Mg	20 Ca	38 Sr	56 Ba	88 Ra
	5 B	13 Al	21 Sc	39 Y	57 La	89 Ac
	6 C	14 Si	22 Ti	40 Zr	58 Ce	90 Th
	7 N	15 P	23 V	41 Nb	59 Pr	91 Pa
	8 O	16 S	24 Cr	42 Mo	60 Nd	92 U
	9 F	17 Cl	25 Mn	43 Tc	61 Pm	93 Np
	10 Ne	18 Ar	26 Fe	44 Ru	62 Sm	94 Pu
			27 Co	45 Rh	63 Eu	95 Am
			28 Ni	46 Pd	64 Gd	96 Cm
			29 Cu	47 Ag	65 Tb	97 Bk
			30 Zn	48 Cd	66 Dy	98 Cf
			31 Ga	49 In	67 Ho	99 Es
			32 Ge	50 Sn	68 Er	100 Fm
			33 As	51 Sb	69 Tm	101 Md
			34 Se	52 Te	70 Yb	102 No
			35 Br	53 I	71 Lu	103 Lr
			36 Kr	54 Xe	72 Hf	104 Rf
					73 Ta	105 Db
					74 W	106 Sg
					75 Re	107 Bh
					76 Os	108 Hs
					77 Ir	109 Mt
					78 Pt	110 Ds
					79 Au	111 Rg
					80 Hg	112 Cn
					81 Tl	113 Nh
					82 Pb	114 Fl
					83 Bi	115 Mc
					84 Po	116 Lv
					85 At	117 Ts
					86 Rn	118 Og

Состав атомных ядер

Ядра состоят из протонов и нейтронов. Электрический заряд протона $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, у нейтрона электрический заряд равен 0. Массы протона и нейтрона почти одинаковы:

$$m_p = 1.6724 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 938.3 \text{ Мэв},$$
$$m_n = 1.6748 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 939.6 \text{ Мэв}$$

$$m_n - m_p = 1.3 \text{ Мэв}$$

Свойства протона и нейтрона по отношению к ядерным силам одинаковы; современная физика считает их двумя состояниями одной частицы: нуклона. Сумма протонов и нейтронов в ядре (т.е. число нуклонов) называется массовым числом:

$$A = Z + N$$

В настоящее время известно (существуют в природе или получены искусственно) ок. 3000 ядер с различными значениями Z и A , из них стабильных 268 и 17 "долгоживущих" (долгоживущими называются радиоактивные ядра, период полураспада которых больше, чем $5 \cdot 10^8$ лет, и поэтому они есть в природе). Всего стабильных и долгоживущих ядер 285; остальные ядра - радиоактивные, их более 2700.

Число протонов Z равно порядковому номеру элемента в таблице Д.И.Менделеева. В настоящее время известны ядра со значениями Z от 0 до 118.

Число нейтронов N может быть различным; ядра с одинаковыми числами протонов, но разными числами нейтронов, называются **изотопами**.

Большинство элементов имеют по несколько стабильных изотопов, рекорд принадлежит олову ($Z=50$), у которого 10 стабильных изотопов.

Но некоторые элементы (их 24) имеют только по одному стабильному изотопу, а элементы с номерами $Z = 43$ (технеций), $Z = 61$ (прометий), а также все, элементы, начиная с $Z = 84$ (полоний), не имеют ни одного стабильного изотопа.

Примеры изотопов:

Общее обозначение: ${}^A X_Z$, где X - символ химического элемента. Иногда пишут так: ${}_Z^A X$.

Водород имеет 2 стабильных изотопа (они есть в природе): ${}^1 H_1$ (легкий водород, протий) и ${}^2 H_1$ (тяжелый водород, дейтерий), а также радиоактивный изотоп ${}^3 H_1$ (сверхтяжелый водород, тритий).

Другие примеры изотопов:

Гелий имеет 2 стабильных изотопа (они также есть в природе): ${}^4\text{He}_2$ (обычный гелий) и ${}^3\text{He}_2$ (легкий гелий). Искусственно получены короткоживущие (доли секунды) изотопы ${}^6\text{He}_2$, ${}^8\text{He}_2$, ${}^{10}\text{He}_2$.

Уран имеет 2 нестабильных, но долгоживущих изотопа (есть в природе): ${}^{238}\text{U}_{92}$ (99.3%) и ${}^{235}\text{U}_{92}$ (0.7%). Искусственно получены еще 12 изотопов с временами жизни от $2.5 \cdot 10^5$ лет до нескольких минут.

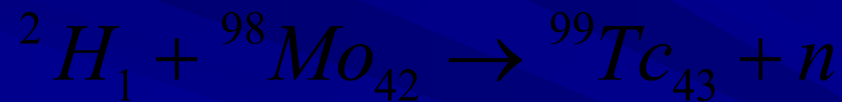
Ядра с одинаковыми массовыми числами A (но разными Z и N) называются изобарами. Например:

Радиоактивный сверхтяжелый водород тритий ${}^3\text{H}_1$ и стабильный легкий гелий ${}^3\text{He}_2$.

Радиоактивный углерод-14 ("радиоуглерод") ${}^{14}\text{C}_6$ и стабильный азот ${}^{14}\text{N}_7$.

Искусственные химические элементы

До 1937г оставались неизвестными 4 элемента до урана: с номерами $Z = 43, 61, 85, 87$. В 1937г итальянские физики К.Перрье (С.Perrier) и Э.Сегре (E.Segre), работавшие на циклотроне в г. Беркли (США), облучая молибден дейтронами (ядрами дейтерия) получили элемент №43, названный технецием:



Для определения химических свойств технеция его растворили в царской водке, и обнаружили, что он не осаждается с цирконием, ниобием и молибденом, а осаждается с марганцем и рением, которые, следовательно, являются химическими гомологами технеция, причем в периодической таблице один из них находится выше технеция, а другой ниже.

Технеций (Technetium, Tc)

В настоящее время известно 16 изотопов технеция с массовыми числами от 92 до 107. Наиболее долгоживущие из них: $^{98}Tc_{43}$ ($T_{1/2} = 4.2 \cdot 10^6$ лет) и $^{99}Tc_{43}$ ($T_{1/2} = 2.1 \cdot 10^5$ лет). Позднее технеций в ничтожных количествах был обнаружен в урановых рудах, где он образуется при делении ядер урана. В свободном виде это серебристо-серый металл, $\rho = 11.5$ г/см³, $T_{пл} = 2172^\circ\text{C}$. Используется как источник бета-частиц в различных приборах, а также в медицине. Установлено также, что соли технециевой кислоты (например, $KTcO_4$) являются высокоэффективными ингибиторами коррозии. В количествах, достаточных для практического использования, технеций получают из отходов атомной промышленности.

Франций

Элемент №87 был обнаружен в 1939 году французским радиохимиком Маргаритой Перей (Marguerite Perey) в продуктах распада природного радиоактивного изотопа актиния-227:



В настоящее время известно 34 изотопа франция с массовыми числами от 199 до 232. Наиболее долгоживущий из них: ${}^{223}\text{Fr}_{87}$ ($T_{1/2}=22$ минуты). Он испытывает альфа- и бета-распады, при этом образуются соответственно астат-219 и радий-223. В ядерной реакции ${}^{18}\text{O}_8 + {}^{197}\text{Au}_{79} \rightarrow {}^{210}\text{Fr}_{87} + 5n$ получают изотоп ${}^{210}\text{Fr}_{87}$ ($T_{1/2}=3$ минуты). Он испытывает альфа-распад, при этом образуется астат-206.

Франций

Франций - первый элемент 7-го периода таблицы Д. И. Менделеева и самый химически активный щелочной металл. Формула его электронной оболочки $[Rn]7s^1$.

В настоящее время изотоп франция-223 используют в радиохимических определениях актиния-227, т.к. его бета-излучение легче регистрировать, чем альфа-частицы актиния. Других практических применений франций и его соли не имеют в связи с малым периодом полураспада. М.Перей пыталась применить франций в медицине. Ей удалось обнаружить, что франций накапливается в клетках раковых опухолей, но из-за быстрого распада не успевает оказать терапевтическое действие.

Астат (Astatium, *At*)

Элемент №85 был получен в 1940 году (Д.Корсон, К. Р.Маккензи, Э.Сегре, Калифорнийский университет в Беркли) в реакции:



В настоящее время известно 37 изотопов астата с массовыми числами от 191 до 229. Наиболее долгоживущие из них: ${}^{209}\text{At}_{85}$ ($T_{1/2}=5.5$ часа), ${}^{210}\text{At}_{85}$ ($T_{1/2}=8.3$ часа) и ${}^{211}\text{At}_{85}$ ($T_{1/2}=7.2$ часа); они испытывают альфа-распады и *e*-захваты, при этом образуются соответственно висмут и полоний.

Гомологом астата является йод. Астат - предпоследний элемент 6-го периода; за ним следует инертный газ радон. Формула электронной оболочки астата $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$.

Применение астата

Изотоп астат-211 считается перспективным для применения в медицине. Это чистый (т.е. без сопровождающего гамма- или бета-излучения) источник альфа-частиц. При его распаде образуются альфа-частицы, с энергией 6,8 МэВ. Длина их пробега в биологических тканях составляет всего 60 мкм, поэтому при локализации астата в опухоли ионизация происходит в малом объёме, и окружающие ткани не страдают от его радиоизлучения. Астат считается эффективным средством лечения щитовидной железы, т.к. подобно йоду, может накапливаться в этом органе, а также меланомы (одного из наиболее злокачественных новообразований).

Прометий (Prometium, *Pm*)

В 1945г американские химики Д.Маринский (J.Marinsky), Л.Гленденин (L.Glendenin) и Ч.Кориэлл (C.Coryell) с помощью ионообменных смол выделили 61-й элемент из продуктов деления урана. В 1950-му году химические свойства этого элемента были исследованы, и комиссия IUPAC присвоила этому элементу название прометий (в честь мифическо-го героя Прометея).

В настоящее время известно 14 изотопов прометия с массовыми числами от 140 до 154. Наиболее долгоживущий из них: $^{145}\text{Pm}_{61}$ ($T_{1/2}=18$ лет).

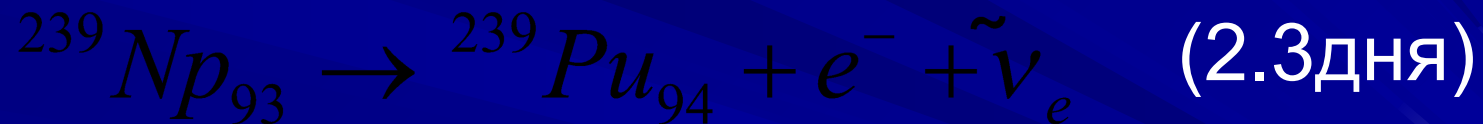
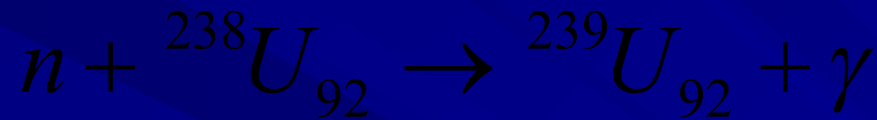
Прометий является одним из лантаноидов, и по химическим свойствам от них не отличается. Формула его электронной оболочки $[\text{Xe}] 6s^2 4f^5$

Применение прометия

Металлический прометий имеет гексагональную кристаллическую структуру, плотность 7.3г/см^3 , температура плавления ок. 1100°C , кипения ок. 3000°C . Наибольшее практическое значение имеет бета-активный изотоп $^{147}\text{Pm}_{61}$ ($T_{1/2}=2.6$ года), который образуется в ядерных реакторах. Его распад не сопровождается гамма-излучением, поэтому его используют для производства безопасных радиоизотопных источников тока, где он применяется в виде оксида Pm_2O_3 , а также как компонент световых составов радиолюминофоров (люминесцентных составов, которые светятся под действием бета-частиц) длительного действия (несколько лет).

Первые трансурановые элементы: нептуний и плутоний

Эти элементы получают в результате реакции радиационного захвата нейтрона ядрами урана-238:



Это тяжелые металлы с плотностью ок. 20 г/см^3 и температурой плавления ок. 640°C . Их физические и химические свойства изучены так же хорошо, как и естественных элементов.

Нептуний и плутоний получили свои названия по аналогии с названиями планет Солнечной системы: Нептун и Плутон, которые расположены за Ураном. Нептуний впервые получили Э.Макмиллан (McMillan E.) и Ф.Абельсон (Abelson Ph.) в национальной лаборатории им. Э.Лоуренса в г. Беркли (США) в 1940 году. В той же лаборатории, в том же 1940 году Э.Макмиллан и Г.Сиборг (Seaborg G.) получили плутоний (нобелевская премия по химии 1951г). Для изучения физических и химических свойств этих элементов к 1942 году ценой больших усилий удалось получить ок. 0.5 мг солей этих элементов. В настоящее время изотоп $^{239}\text{Pu}_{94}$ производится в количествах, измеряемых десятками тонн в год.

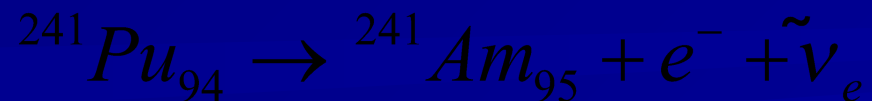
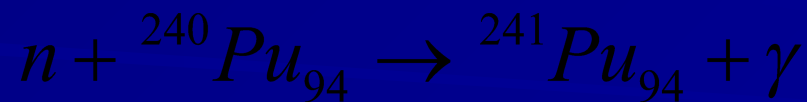
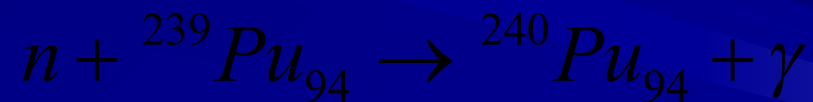
В настоящее время известно 15 изотопов нептуния, наиболее долгоживущий среди них изотоп $^{237}\text{Np}_{93}$ ($T_{1/2} = 2.14 \cdot 10^6$ лет).

У плутония известно 20 изотопов, наиболее долгоживущий среди них изотоп $^{244}\text{Pu}_{94}$ ($T_{1/2} = 8.2 \cdot 10^7$ лет). Изотоп $^{239}\text{Pu}_{94}$ имеет $T_{1/2} = 24100$ лет.

По строению электронной оболочки атома и по своим химическим свойствам оба эти элемента относятся к актиноидам (идет заполнение 5f-оболочки при заполненных 6s-, 6p- и 7s- оболочках). В свободном виде это серебристо-белые металлы, температура плавления ок. 640°C , кипения ок. 3500°C . Как и все тяжелые металлы, эти элементы очень токсичны, как в свободном виде, так и в виде химических соединений.

Америций

После того, как было накоплено достаточное количество плутония-239, появилась возможность получения следующих трансурановых элементов. 95-й элемент был получен в 1944 г также в лаборатории им. Э.Лоуренса в г. Беркли (США) группой американских физиков под рук. Г.Сиборга в результате двух реакций захвата нейтрона ядрами плутония и бета-распада плутония-241:



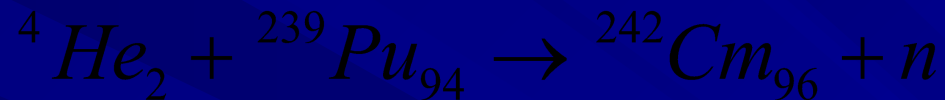
Назван в честь страны открытия, латинское название Americium (Am). В настоящее время известно 11 изотопов америция, наиболее долгоживущий среди них изотоп $^{243}\text{Am}_{95}$ ($T_{1/2} = 7370$ лет).

По строению электронной оболочки атома и по своим химическим свойствам относится к актиноидам. В свободном виде это серебристый металл, температура плавления ок. 1180°C , кипения 2070°C , плотность 13.7 г/см^3 .

Применяется для изготовления нейтронных источников (в смеси с бериллием). Сообщалось также, что некоторые изотопы америция имеют малую критическую массу, и могут использоваться для создания тактического ядерного оружия ("ядерных снарядов" и "ядерных пуль").

Кюрий

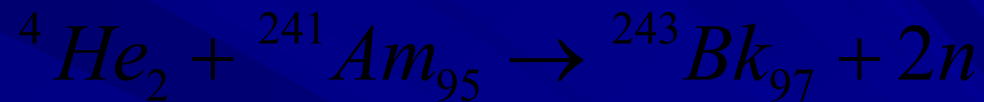
96-й элемент также был получен в 1944 г в той же лаборатории в США той же группой физиков под рук. Г.Сиборга в результате реакции



Назван в честь Пьер Кюри и Марии Склодовской-Кюри, латинское название Curium (Cm). В настоящее время известно 14 изотопов кюрия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{247}\text{Cm}_{96}$ ($T_{1/2} = 1.6 \cdot 10^7$ лет). По строению атома и по химическим свойствам относится к актиноидам. В свободном виде это серебристо-белый металл, температура плавления ок. 1345°C , кипения 3200°C , плотность 13.5 г/см^3 . Применяется для изготовления компактных источников тока в космонавтике.

Берклий

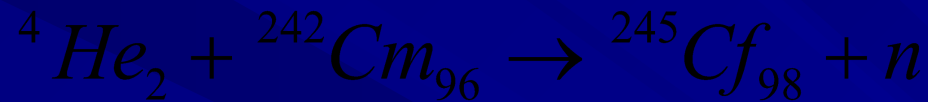
После накопления достаточного количества америция, в 1949 году в той же лаборатории в США под рук. Г.Сиборга был получен 97-й элемент в результате реакции



названный в честь города Беркли (Berkeley), латинское название Berkelium (Bk). В настоящее время известно 10 изотопов берклия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{247}\text{Bk}_{97}$ ($T_{1/2} = 1380$ лет). По строению атома и по химическим свойствам относится к актиноидам. Температура плавления 986°C , кипения 2585°C , плотность 14.8 г/см^3 . Применяется, так же, как и кюрий, для изготовления компактных источников тока в космонавтике.

Калифорний

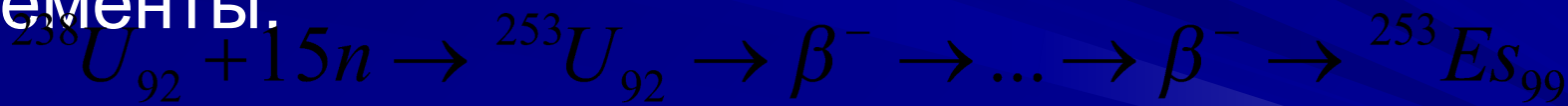
После накопления достаточного количества кюрия, в 1950 году в США под рук. Г.Сиборга был получен 98-й элемент в результате реакции



Латинское название Californium (Cf). Сейчас известно 15 изотопов калифорния, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{251}\text{Cf}_{98}$ ($T_{1/2} = 900$ лет). По строению атома относится к актиноидам. Температура плавления 900°C , плотность 15.1 г/см^3 . Практическое значение имеет ${}^{252}\text{Cf}_{98}$ ($T_{1/2} = 2.6$ г), который является мощным источником нейтронов ($3 \cdot 10^{12}$ нейтронов на 1 г ${}^{252}\text{Cf}_{98}$). Возможно также использование ${}^{251}\text{Cf}_{98}$ для изготовления компактных ядерных пуль (критическая масса 10г).

Эйнштейний и Фермий

99-й и 100-й элементы открыли американские физики А.Гиорсо (A.Ghiorso), С.Томпсон (S.G.Thompson) и Г.Хиггинс (G.H.Higgins) в 1952г при анализе продуктов взрыва водородной бомбы. В момент взрыва за время 10^{-7} с образуется 10^{24} нейтронов, поэтому ядро урана успевает захватить сразу 15-17 нейтронов, а дальше в результате цепочки бе-та-распадов образуются 99-й и 100-й элементы:



Названия даны в честь А.Эйнштейна и Э.Ферми. Латинские названия: Einsteinium (Es) и Fermium (Fm).

Позднее эти элементы были также получены по традиционной схеме, облучением ядер берклия и калифорния альфа-частицами.

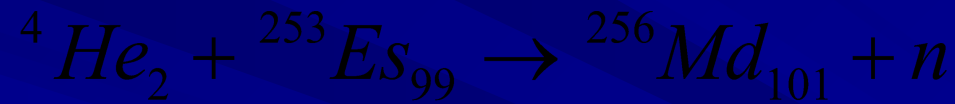
В настоящее время известно 13 изотопов эйнштейния и 16 изотопов фермия. Наиболее долгоживущие среди них: изотоп $^{254}\text{Es}_{99}$ ($T_{1/2} = 276$ дней) и $^{257}\text{Fm}_{100}$ ($T_{1/2} = 94$ дня).

По строению атома и по химическим свойствам оба эти элемента относятся к тяжелым актиноидам (почти заполнена 5f-оболочка: у эйнштейния 11 электронов, у фермия 12 электронов на 5f-оболочке при заполненных 6s-, 6p- и 7s- оболочках).

Мишени, содержащие атомы эйнштейния и фермия, использовались для получения следующих транс-урановых элементов.

Менделевий

После того, как было накоплено достаточное количество атомов эйнштейния, в 1955 году в той же лаборатории в США, что и предыдущие трансурановые элементы (рук. Г.Сиборг) был получен 101-й элемент в реакции:



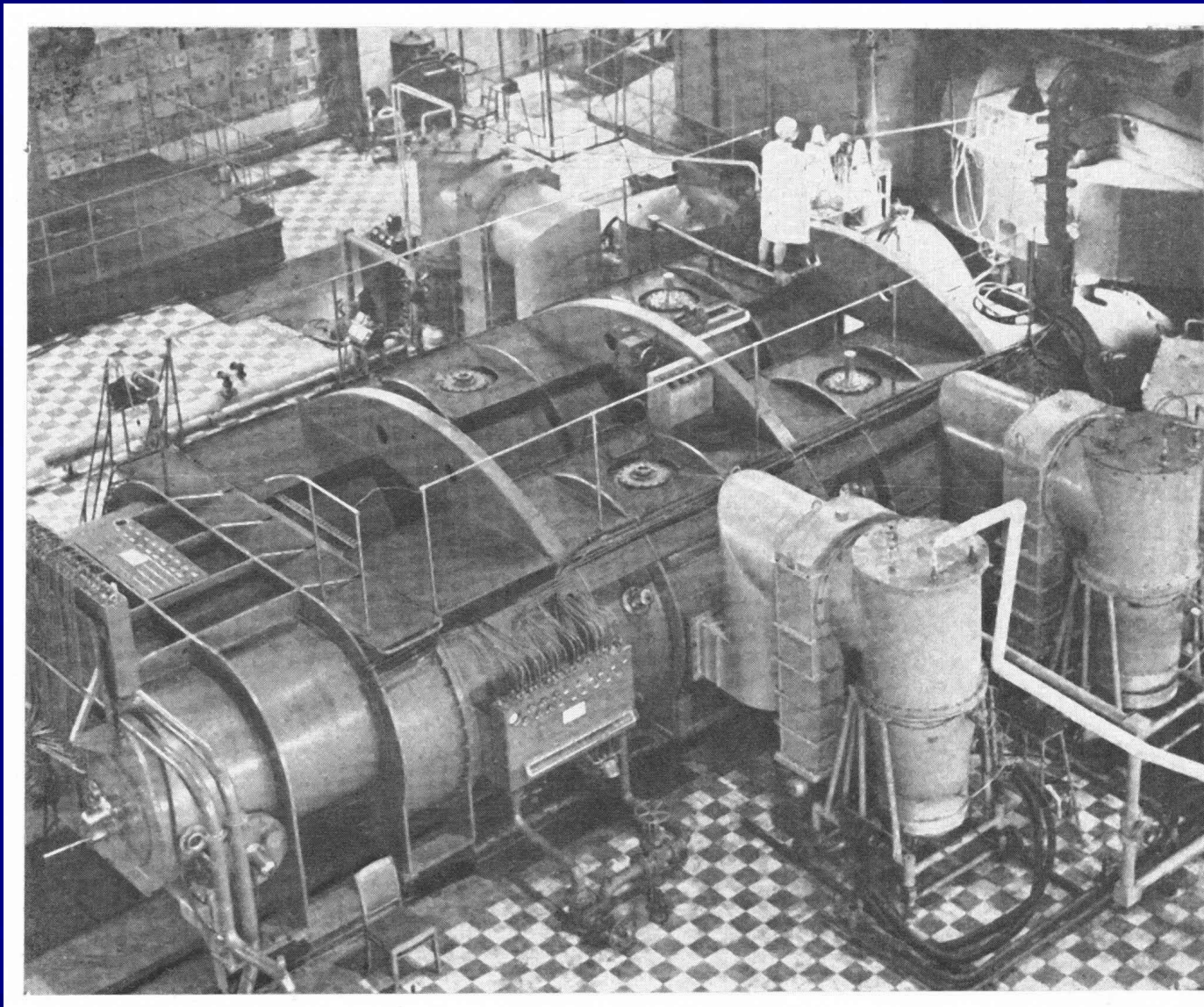
Название дано в честь Д.И.Менделеева, латинское название Mendeleevium (Md).

По строению атома менделевий относится к тяжелым актиноидам: 13 электронов на 5f-оболочке при заполненных 6s-, 6p- и 7s- оболочках. Сейчас известно 9 изотопов менделевия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{258}\text{Md}_{101}$ ($T_{1/2} = 55$ дней).

Нобелий, Nobelium (No)

Впервые о синтезе 102-го элемента сообщила в 1957 г международная группа физиков, работавших в Стокгольме (Швеция), которая и назвала его в честь А.Нобеля. Однако в дальнейшем это открытие не подтвердилось. В 1958 г группа Г.Сиборга объявила об открытии $^{254}\text{No}_{102}$, однако свойства этого изотопа были определены с большой погрешностью.

В 1961 г в России, в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в подмосковном г. Дубна был построен ускоритель тяжелых ионов: циклотрон У-400, на котором в 1963-1966 гг под рук. Г. Н.Флерова были получены надежные сведения об этом элементе.

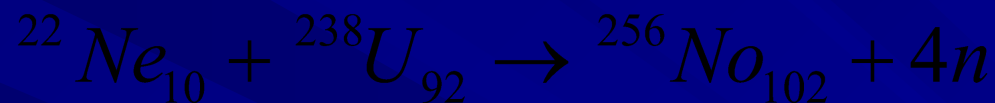
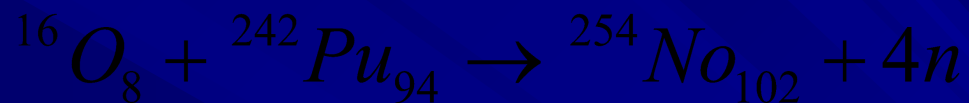
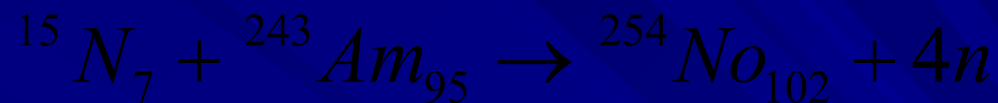


Ускоритель тяжелых ионов Дубненский циклотрон
У-400



Ускоритель тяжелых ионов Дубненский циклотрон
У-400

102-й элемент был получен в 3-х реакциях:

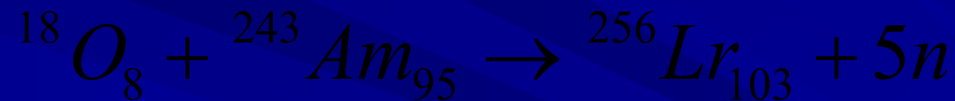


В настоящее время известно 10 изотопов нобелия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{259}\text{No}_{102}$ ($T_{1/2} = 58$ минут).

Нобелий является последним элементом группы актиноидов: у него полностью заполнена 5f-оболочка (14 электронов), а также заполнены 6s-, 6p- и 7s-оболочки.

Лоуренсий, Lawrencium (Lr)

Впервые о синтезе ядер 103-го элемента в 1961 г сообщил А.Гиорсо (лаборатория в Беркли). Название дано в честь американского физика Эрнеста Лоуренса, создателя циклотрона (нобелевская премия 1939г). В 1965-1967 гг Г.Н.Флеров в Дубненской лаборатории ОИЯИ получил 103-й элемент в реакции

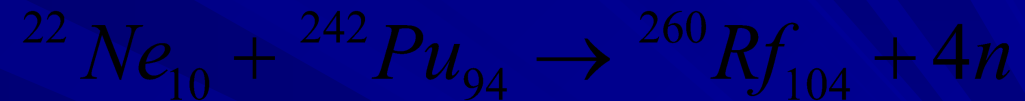


и исследовал свойства этого элемента. Сейчас известны 9 изотопов лоуренсия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{260}\text{Lr}_{103}$ ($T_{1/2} = 3$ минуты).

По современным уточненным данным Лоуренсий является уже d-элементом, т.к. с него начинается заполнение d-оболочки (1 электрон на 6d-оболочке).

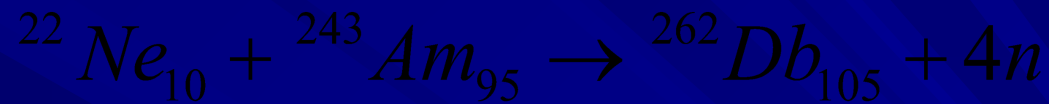
Резерфордий (Rf)

С 60-х гг прошлого века, после того, как был построен У-400, дубненская лаборатория получила возможность на-равных соревноваться в синтезе транс-урановых элементов с лабораторией в Беркли. Первый изотоп 104-го элемента был получен Г.Н.Флеровым в 1964 г в реакции



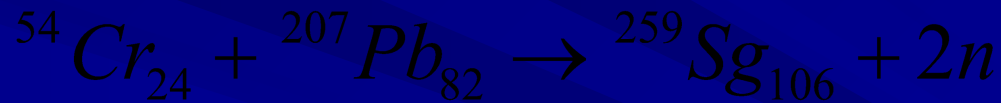
Вскоре после этого Г.Сиборг в Беркли получил несколько других изотопов. Сейчас известно 8 изотопов резерфордия, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{261}\text{Rf}_{104}$ ($T_{1/2} = 70$ секунд). По химическим свойствам резерфордий является d-элементом, аналогом гафния и циркония (2 электрона на 6d-оболочке). В России 104-й элемент назывался Курчатовий, но в 1997г ИЮПАК утвердил название Резерфордий

105-й элемент Дубний (Db) впервые получен в 1970 г в Дубне в реакции



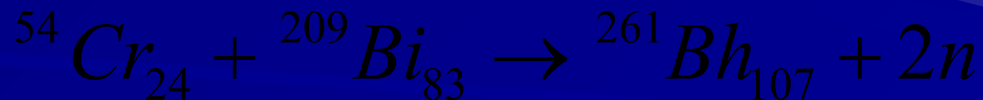
Сейчас известно 4 изотопа дубния, наиболее долгоживущий среди них изотоп ${}^{262}\text{Db}_{105}$ ($T_{1/2}=40$ секунд).

106-й элемент Сиборгий (Sg) получен в 1974 г в реакции



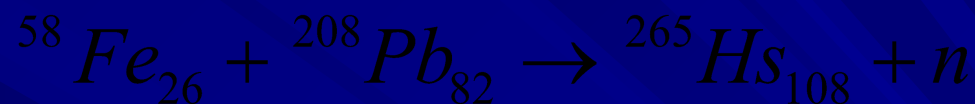
назван в честь Гленна Сиборга.

107-й элемент Борий (Bh) получен в 1976г в реакции



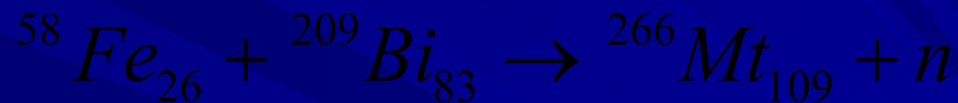
назван в честь Нильса Бора (N.Voehr).

108-й элемент Хассий (Hs) синтезирован в 1984 г в лаборатории г. Дармштадт (Германия) в реакции:



Назван в честь немецкой земли Гессен (Hassia). Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{270}\text{Hs}_{108}$ ($T_{1/2} = 22\text{с}$).

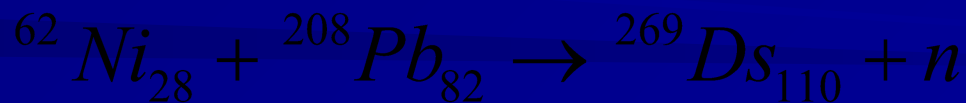
109-й элемент Мейтнерий (Mt) синтезирован там же в 1982 г в реакции:



Назван в честь австрийской ученой Лизе Мейтнер.

Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{278}\text{Mt}_{109}$ ($T_{1/2} = 7.6\text{с}$).

110-й элемент Дармштадтий (Ds) синтезирован там же в 1995г в реакции



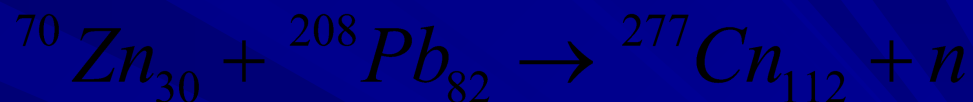
Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{281}\text{Ds}_{110}$ ($T_{1/2} = 9.6\text{с}$).

111-й элемент Рентгений (Rg) синтезирован в 1994 г в лаборатории г. Дармштадт в реакции:



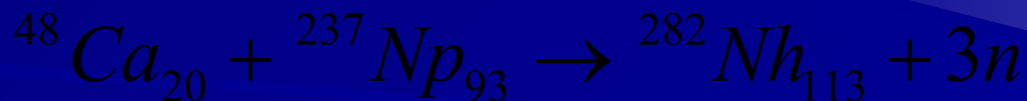
Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{281}\text{Rg}_{111}$ ($T_{1/2} = 26\text{с}$).

112-й элемент Коперниций (Cn) синтезирован там же в 1996 г в реакции:



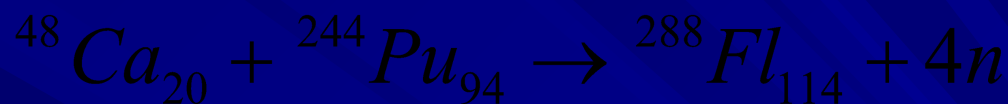
Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{285}\text{Cn}_{112}$ ($T_{1/2} = 30\text{с}$).

113-й элемент Нихоний (Nh) синтезирован в 2004г в Японском исследовательском центре в реакции



Японцы называют свою страну Нихон (страна восходящего солнца). Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{286}\text{Nh}_{113}$ ($T_{1/2} = 19.6\text{с}$).

114-й элемент Флеровий (*Fl*) синтезирован в России в ОИЯИ (г. Дубна) в 1999 г в реакции:



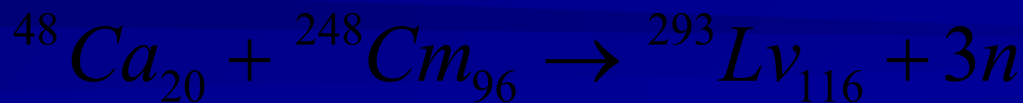
Назван в честь Георгия Николаевича Флерова. Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{289}\text{Fl}_{114}$ ($T_{1/2} = 2.7\text{с}$).

115-й элемент Московий (*Mc*) синтезирован в 2004 г там же в реакции:



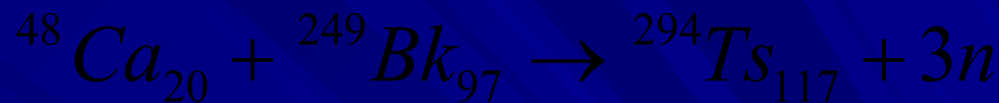
Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{289}\text{Mc}_{115}$ ($T_{1/2} = 0.16\text{с}$).

116-й элемент Ливерморий (*Lv*) синтезирован в США в 2000г в исследовательском центре в г. Ливермор в реакции



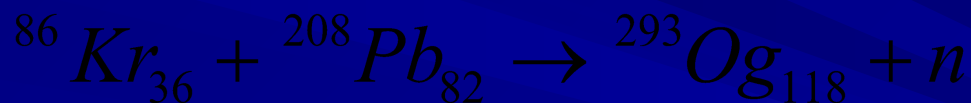
Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{293}\text{Lv}_{116}$ ($T_{1/2} = 53\text{мс}$).

117-й элемент Теннесин (Ts) синтезирован в США в 2010 г в реакции:

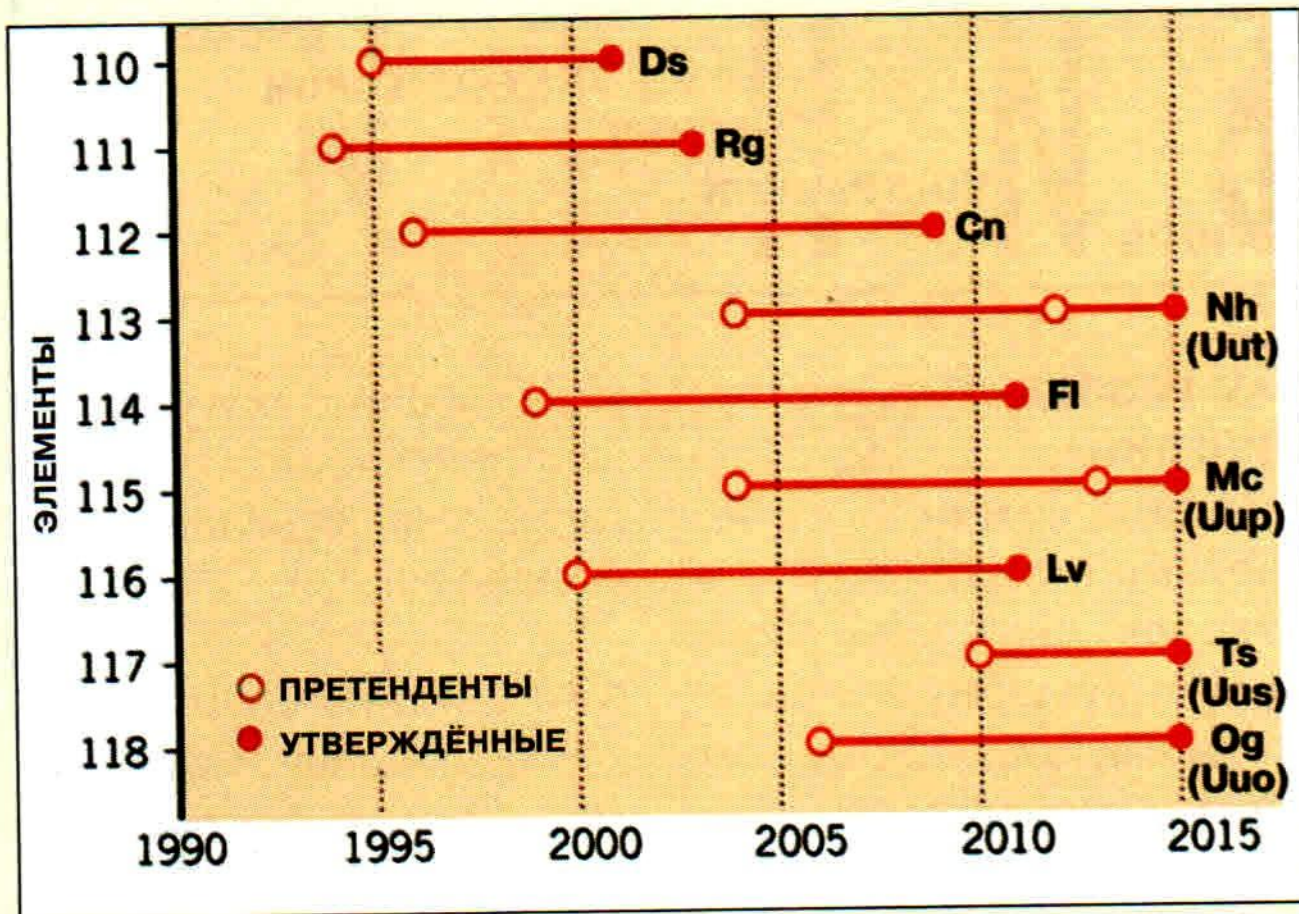


Назван в честь штата Теннесси, где в г. Ок-Ридж находится Национальная лаборатория Министерства энергетики США. Наиболее долгоживущий изотоп ${}^{294}\text{Ts}_{117}$ ($T_{1/2} = 51\text{мс}$).

118-й элемент Оганесон (Og) синтезирован в России в ОИЯИ (г. Дубна) в 2006 г в реакции:



Назван в честь Юрия Цолаковича Оганесяна. Пока известен один изотоп, $T_{1/2} = 0.89\text{мс}$. Оганесон завершает седьмой период таблицы Менделеева, по химическим свойствам он должен быть аналогом инертных газов, отсюда название ("он", а не "ий").



Шкала открытия новых трансурановых элементов. Долгое время элементы носили неблагозвучные рабочие названия — унунтрий (Uut), унунпентий (Uup), унунсептий (Uus) и унуноктий (Uuo), что соответствует латинским названиям цифр в их номере. Теперь все синтезированные элементы официально получили свои имена. Рисунок: Казанский Федеральный университет.

ГРУППА→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ ПЕРИОД																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Зависимость энергии связи ядра от параметра деформации

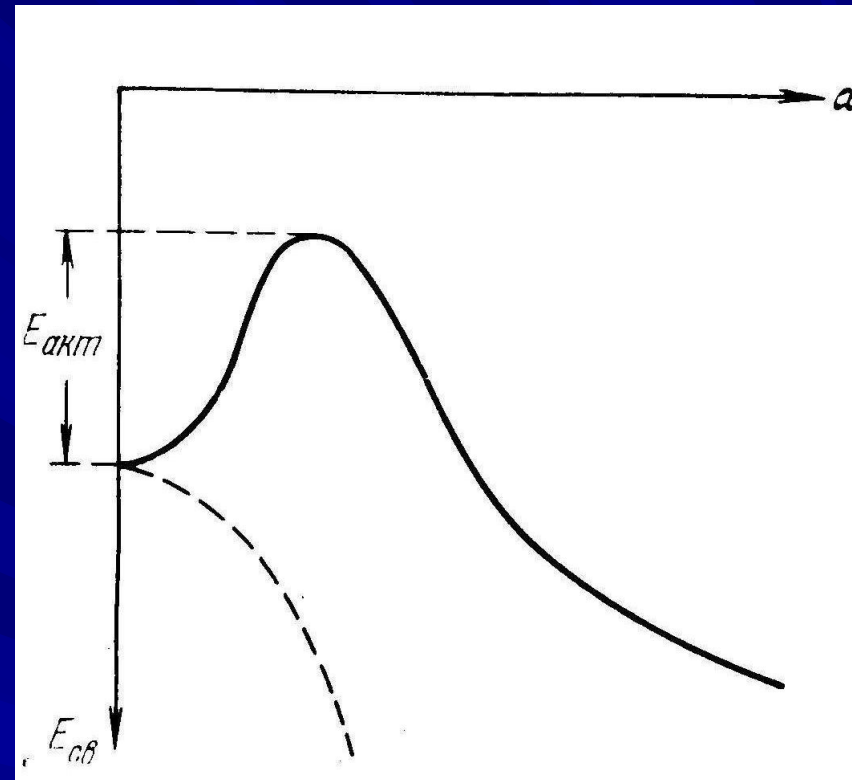
Пунктирная кривая соответствует $Z^2/A > 49$, т.е.

$Z > 125$, $A > 320$.

Для сплошной кривой $Z^2/A < 49$.

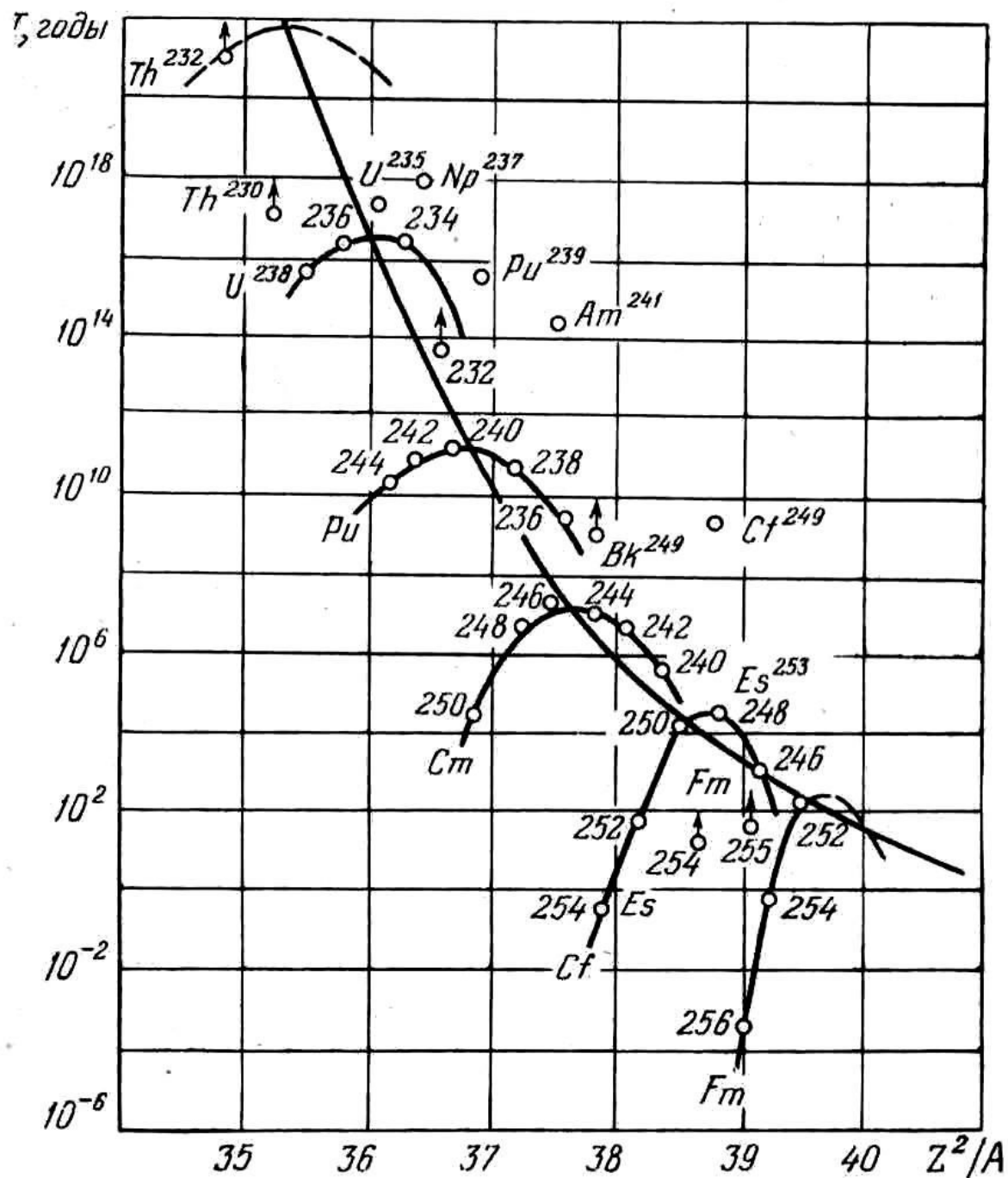
Оценки с помощью капельной модели ядра показывают, что ядро с числом протонов $Z > 125$, должно "мгновенно" (за ядерное

время $5 \cdot 10^{-22}$ с) разделиться на осколки, т.е. периодическая таблица Менделеева должна закончиться в районе 125-го элемента.



Зависимость $T_{1/2}$ спонтанного деления от параметра Z^2/A . Белые кружочки - экспериментальные данные; пересекающая рисунок сплошная кривая рассчитана по капельной модели ядра.

(10^{-6} года = 31.5с)





Карта изотопов.