

# Электронное строение атомов и Периодическая таблица элементов Д.И.Менделеева

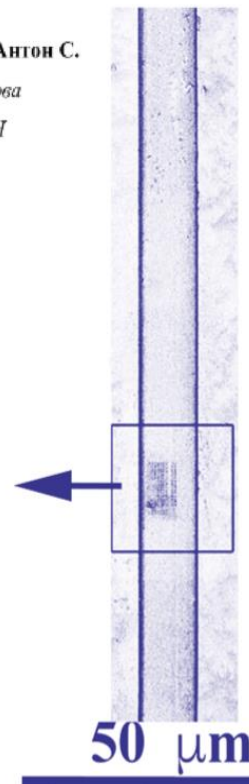
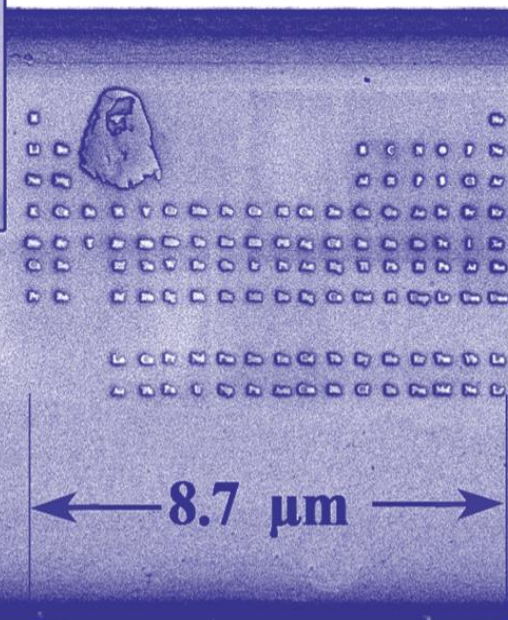
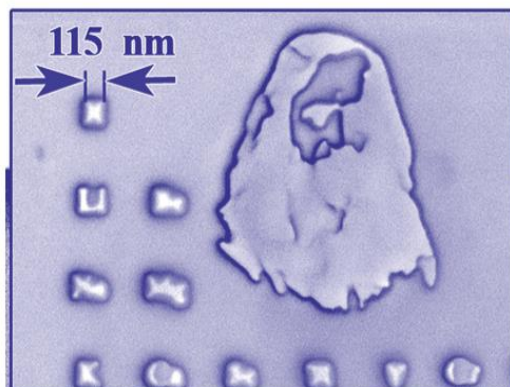
## Международный год ПСЭ

«Нанотаблица» Д.И. Менделеева

Архарова Наталья А., Орехов Андрей С., Орехов Антон С.

Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



Москва - 2022

# Элементы - стихии



Золото  
(Солнце)



Серебро  
(Луна)



Медь  
(Венера)



Железо  
(Марс)



Олово  
(Юпитер)



Свинец  
(Сатурн)

Ртуть  
(Меркурий)



*Кадр из мультфильма про Аватара*

# Атомы Демокрита

«Атом» (греч.) - «неделимый». Непрерывная материя состоит из множества мельчайших и поэтому невидимых глазом частиц: древнегреческий философ Демокрит (V век до н. э.).

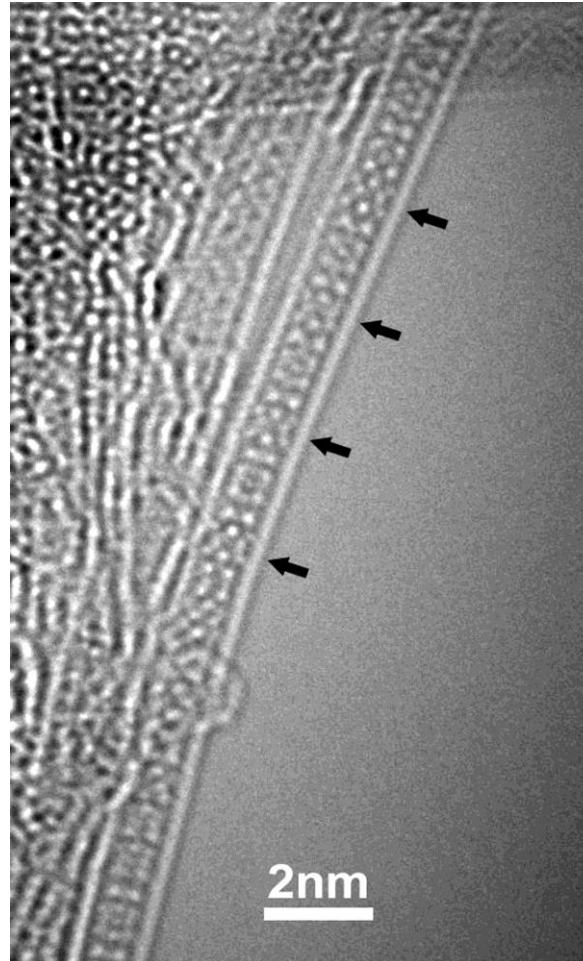
Представим, что у нас есть самый острый в мире нож. Берем любой материальный объект и разрезаем его пополам, затем одну из получившихся половинок также разрезаем пополам, затем разрезаем пополам одну из получившихся четвертинок и так далее. Рано или поздно, утверждал он, мы получим частицу столь мелкую, что дальнейшему делению на две она не поддается. Это и будет неделимый *атом* материи. По представлениям Демокрита атомы были вечными, неизменными и неделимыми. Изменения во Вселенной происходили исключительно из-за изменений в связях между атомами, но не в них самих.



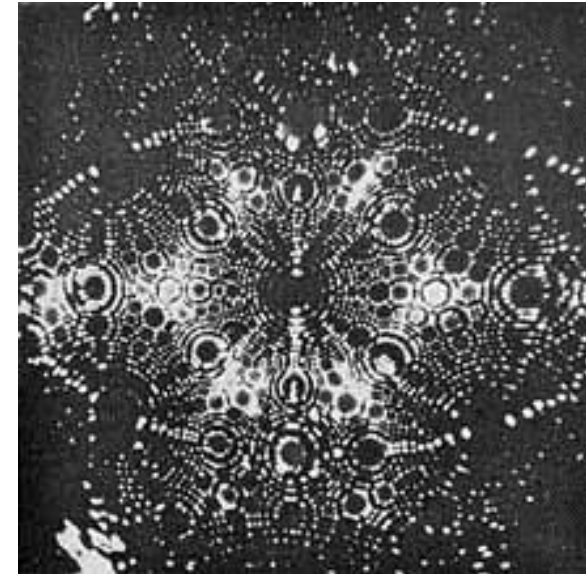
# Атомы есть!



Сканирующая  
Зондовая  
Микроскопия



Просвечивающая  
Электронная  
Микроскопия



Ионная  
Микроскопия



**Поиск элементарных «кирпичиков», из которых состоит вещество, занял многие столетия и понятие о строении атомов составляет сейчас основу химических знаний.**

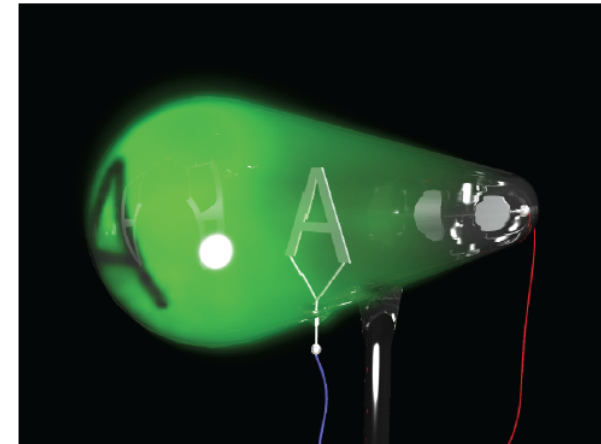
**Атом в химии не рассматривается как универсальный и неделимый «кирпичик», напротив, атомы разнообразны, поскольку составляют разные по свойствам химические элементы, а разные атомы могут взаимодействовать друг с другом химически, образуя сложные вещества за счет протекания химических превращений.**

# Сложность строения атомов

- Электролитическая диссоциация
- Электролиз
- Фотоэффект (Столетов)
- Естественная радиоактивность (Беккерель, 1896 г.) – урановая смоляная руда: засвечивание фотопленки, ионизация газов, свечение флуоресцирующих веществ  $ZnS$  ( $RaSO_4$ )
- Супруги Кюри – Ra, Po
- Природа  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -лучей (Резерфорд, 1899-1903 гг.)
- Обнаружение атомных ядер (Резерфорд, Гейгер, 1909-1911 гг.)
- Заряд электрона (Малликен, 1909-1914 гг.)
- Дискретность энергии электрона (Франк, Герц, 1912 г.)
- Заряд ядра равен атомному номеру (Мозли, 1913 г.)
- Открытие протона (Резерфорд, 1920 г.) и нейтрона (Чедвик, 1932 г.)

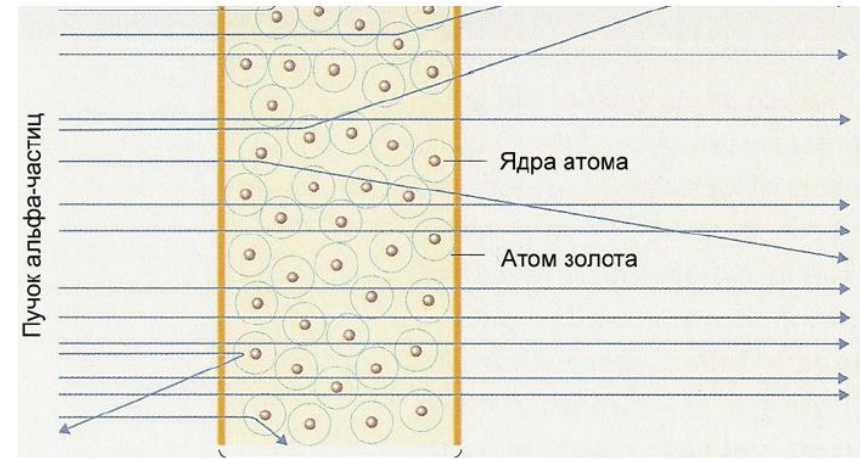
# Атом: электроны

- XIX век, феномен катодных лучей: герметичная стеклянная трубка, заполненную разреженным газом с *катодом* (-) и *анодом* (+). При подаче высокого напряжения разреженный газ в трубке начинал светиться, это свечение приписывали *катодным лучам*.
- Катодные лучи представляют - волновые возмущения невидимого эфира или заряженных молекул газа? В 1897 году английский физик Дж. Дж. Томсон показал, что: (1) катодные лучи отклоняются в магнитном поле в отсутствие электрического; (2) катодные лучи отклоняются в электрическом поле в отсутствие магнитного; и (3) при одновременном действии электрического и магнитного полей сбалансированной интенсивности, ориентированных в направлениях, вызывающих по отдельности отклонения в противоположные стороны, катодные лучи распространяются прямолинейно, то есть действие двух полей взаимно уравновешивается. Так ведут себя отрицательно заряженные *электроны*.



# Атом: ядра (опыт Резерфорда)

В 1911 г. Эрнесу Резерфорд провел эксперимент, используя свинцовый ящик с узкой прорезью, внутрь которого был помещен радиоактивный материал, и мишень из тончайшей золотой фольги. После столкновения с атомами фольги альфа-частицы продолжали свой путь и попадали на люминесцентный экран, установленный позади мишени, на котором при попадании на него альфа-частиц регистрировались вспышки. По ним экспериментатор мог судить, в каком количестве и насколько альфа-частицы отклоняются от направления прямолинейного движения в результате столкновений с атомами фольги. Обнаружено, что большинство частиц проникало сквозь золото, но была и небольшая доля альфа-частиц, которая буквально отскакивала от мишени обратно, назад, как будто они налетели на что – то очень маленькое и очень тяжелое («ядро»).





# Атом – химически неделимая электронейтральная частица

Атом состоит из атомного ядра и электронов

Атомное ядро образовано нуклонами – протонами и нейтронами

Частица	Символ	Масса в а.е.м.	Относительная масса	Относительный заряд
Протон	${}^1_1p$	1.0073	1	+1
Нейтрон	${}^1_0n$	1.0087	1.0014	0
Электрон	$e^-$	0.00055	0.00054	-1

\* Масса протона:  $1.673 \cdot 10^{-27}$  кг

\*\* Элементарный заряд:  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Кл

Атомное ядро характеризуется **массовым числом**

$A = Z + N$        $Z$  – число протонов (заряд)

$N$  – число нейтронов

$A$  – число нуклонов (массовое число)

Атомы с разными  $A$ , но одинаковыми  $Z$  называются **изотопами**

Примеры изотопов:  ${}^{10}\text{B}$ ,  ${}^{11}\text{B}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{C}$ ,  ${}^{121}\text{Sb}$ ,  ${}^{123}\text{Sb}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{239}\text{U}$

Изотопно чистые элементы:  ${}^{19}\text{F}$ ,  ${}^{27}\text{Al}$ ,  ${}^{31}\text{P}$ ,  ${}^{55}\text{Mn}$ ,  ${}^{197}\text{Au}$ ,  ${}^{209}\text{Bi}$

# Ядерные реакции

Типы радиоактивного распада

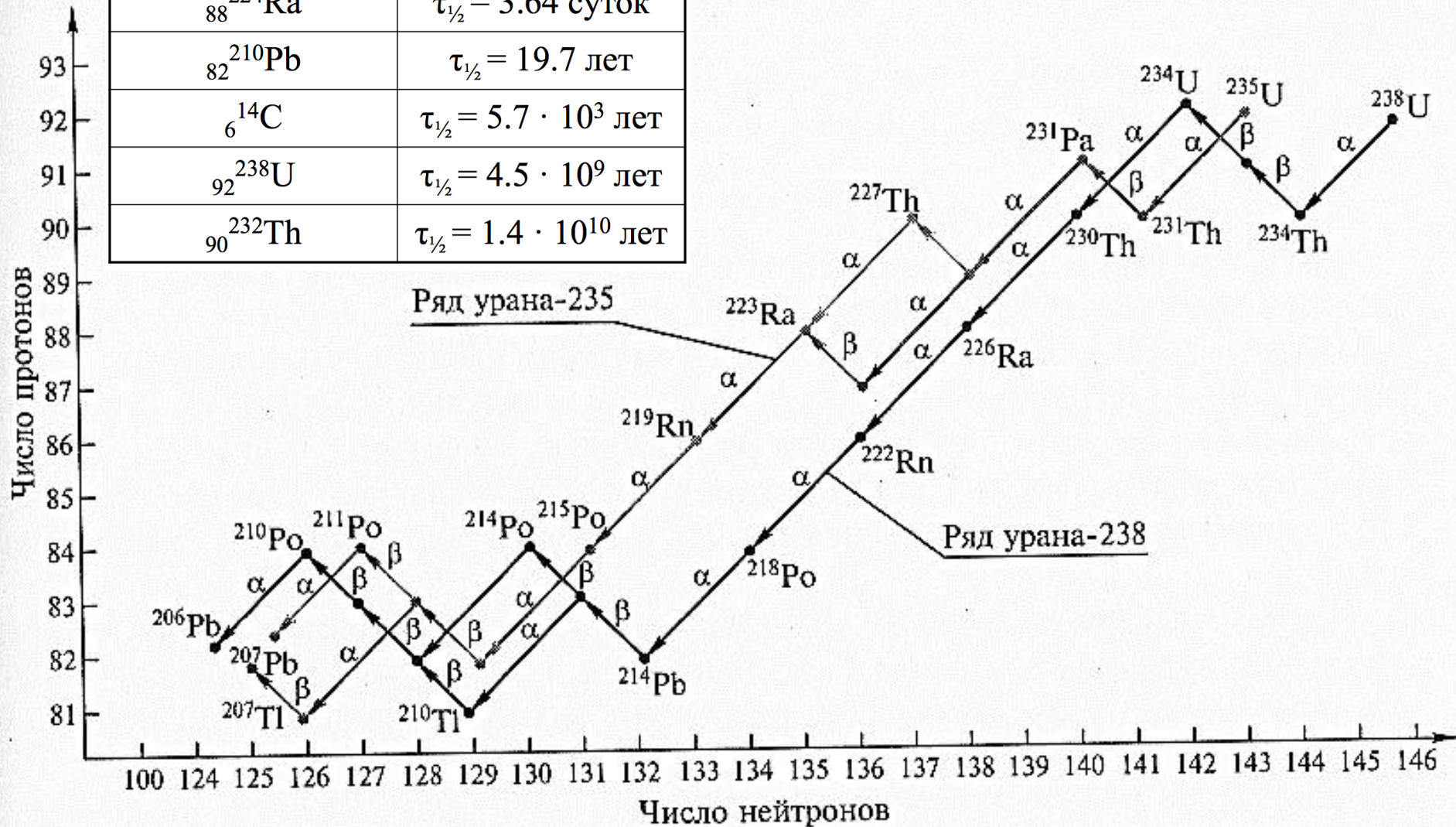
Тип распада	Испускаемая частица	Процесс в ядре	Пример	Образующийся элемент
$\alpha$	$\alpha$ -частица — ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$	Потеря ядром $\alpha$ -частицы	${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$	Заряд ядра меньше на 2, массовое число меньше на 4
$\beta^-$	Электрон ( $e^-$ )	${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}^*$	${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + e^-$	Заряд ядра больше на 1, массовое число то же
$\beta^+$	Позитрон ( $e^+$ )	${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^+ + \nu^*$	${}^{38}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{38}_{18}\text{Ar} + e^+$	Заряд ядра меньше на 1, массовое число то же
К-захват	Захват ядром электрона	${}_1^1p + e^- \rightarrow {}_0^1n$	${}^7_4\text{Ra} + e^- \rightarrow {}^7_3\text{Li}$	Заряд ядра меньше на 1, массовое число то же
$\gamma$	Электромагнитное излучение высокой энергии	Переход ядра на уровень с меньшей энергией	Обычно сопровождается другими видами распада	Не вызывает изменения в строении ядра

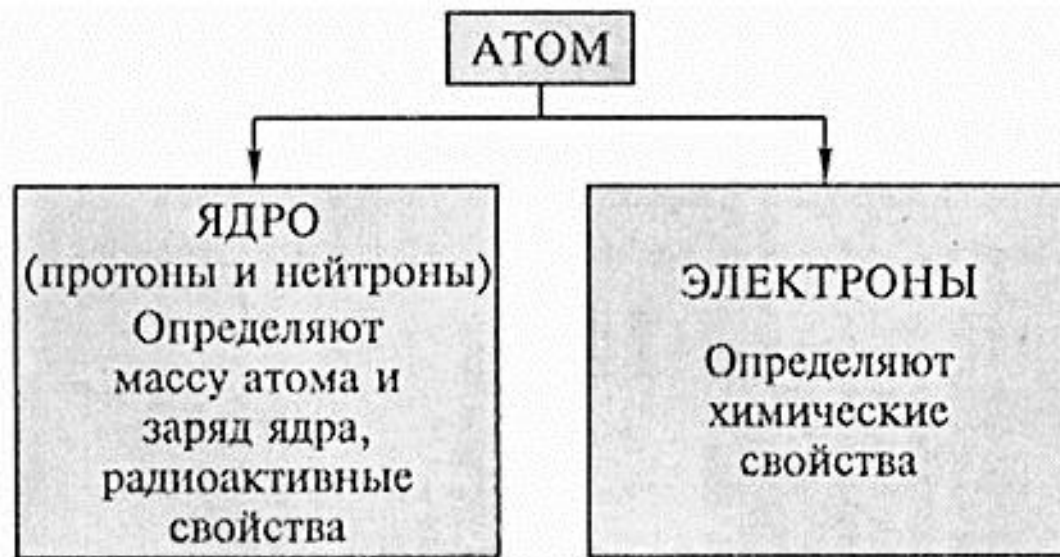
\*  $\bar{\nu}$ ,  $\nu$  — антинейтрино и нейтрино — элементарные частицы, не имеющие заряда и массы покоя и отличающиеся спином.



# Радиоактивные ряды

$_{84}^{212}\text{Po}$	$\tau_{1/2} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ с}$
$_{83}^{214}\text{Bi}$	$\tau_{1/2} = 19.7 \text{ мин}$
$_{88}^{224}\text{Ra}$	$\tau_{1/2} = 3.64 \text{ суток}$
$_{82}^{210}\text{Pb}$	$\tau_{1/2} = 19.7 \text{ лет}$
$_{6}^{14}\text{C}$	$\tau_{1/2} = 5.7 \cdot 10^3 \text{ лет}$
$_{92}^{238}\text{U}$	$\tau_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9 \text{ лет}$
$_{90}^{232}\text{Th}$	$\tau_{1/2} = 1.4 \cdot 10^{10} \text{ лет}$

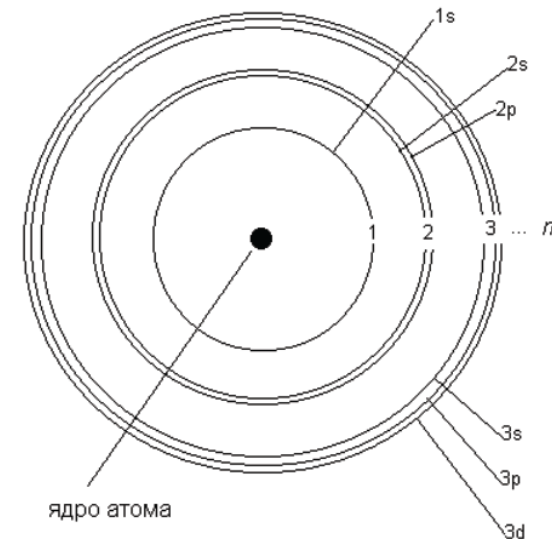
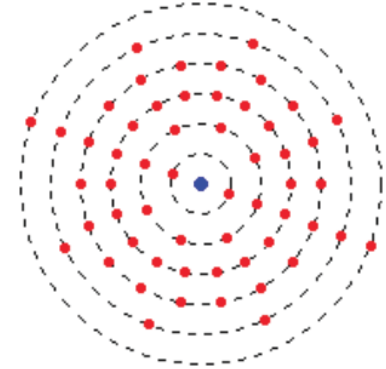
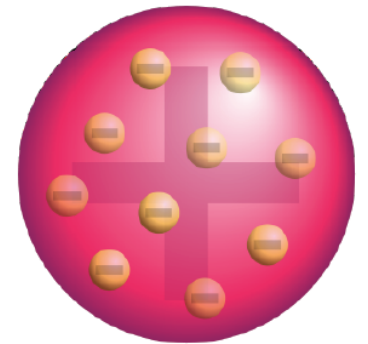




В определении атома указано, что он неделим **химически**, то есть при тех уровнях энергетических воздействий, которые реализуются при химических превращениях, атом изменяет лишь состояние нескольких «внешних» электронных уровней, при этом ядро атома остается абсолютно неизменным. Влияние изотопов (то есть, изменение атомной массы при постоянном заряде ядра) незначительно сказывается на особенностях химических превращений (за исключением изотопов водорода, протия, дейтерия и трития, массы которых отличаются кратно), однако «изотопные эффекты» известны в химии. В то же время, велика роль изотопов в радиохимии и ряде важных методов исследования вещества (ЯМР, Мессбауэровская спектроскопия и проч). Таким образом, **заряд ядра**, задающий по факту строение электронной оболочки атома – основной «химический» параметр атома.

# Три шага эволюции теорий строения атома

- **Модель Томсона** (пудинговая модель): сгусток положительного и отрицательного зарядов
- **Модель Резерфорда** (планетарная): в центре атома находится положительно заряженное ядро, занимающее ничтожную часть пространства внутри атома, весь положительный заряд и почти вся масса атома сосредоточены в его ядре, вокруг ядра вращаются электроны. Их число равно положительному заряду ядра.
- **Модель Бора** (квантово-химическая):
  1. Электрон проявляет двойственную (корпускулярно — волновую) природу; как частица электрон имеет определенную массу и заряд, а как волна — способность к дифракции (огибания препятствия).
  2. Для электрона невозможно одновременно и точно измерить координату и энергию. В каждый момент времени можно определить только одно из этих свойств (принцип неопределенности Гейзенберга).
  3. Электрон в атоме не вращается вокруг ядра по определенной траектории, а может двигаться в любой части олюядерного пространства. Однако вероятность нахождения его в разных частях пространства неодинакова.
  4. Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов. Число протонов равно атомному номеру элемента (протонное число), а сумма чисел протонов и нейтронов (нуклонов) соответствует его массовому числу.





**Модель Бора в настоящий момент – основа описания строения атомов, в том числе в интересах химии. В ней «зашит» не только механистический принцип движения электронов по орбитам вокруг заряженного ядра атома, в котором сосредоточена практически вся его масса, но и особенности, связанные с квантовой механикой, что позволяет перейти на новый уровень понимания сути химических взаимодействий между атомами.**

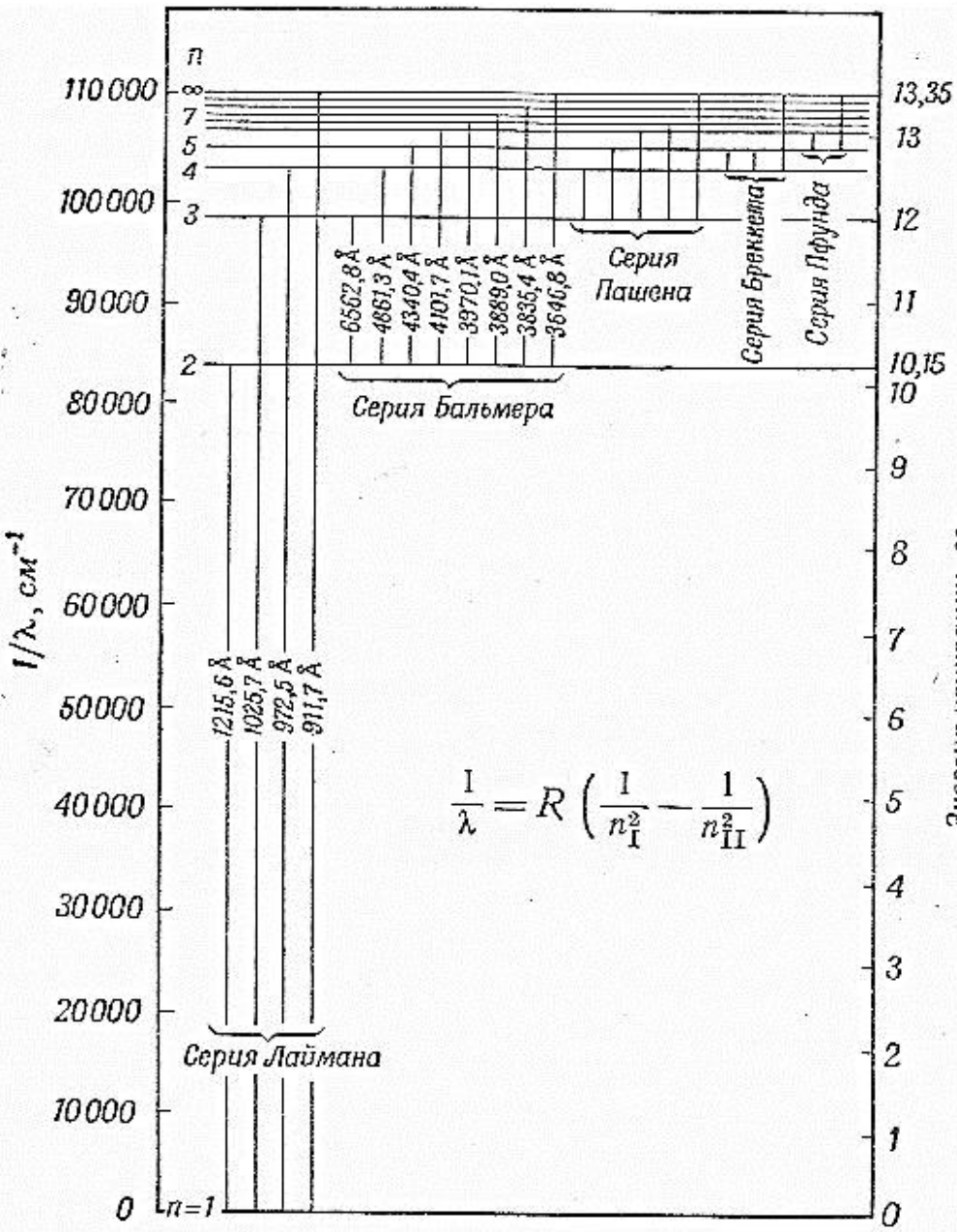
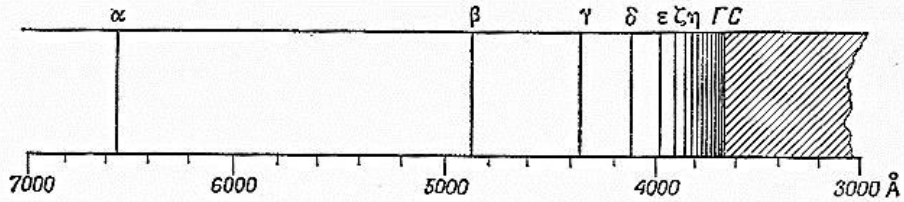
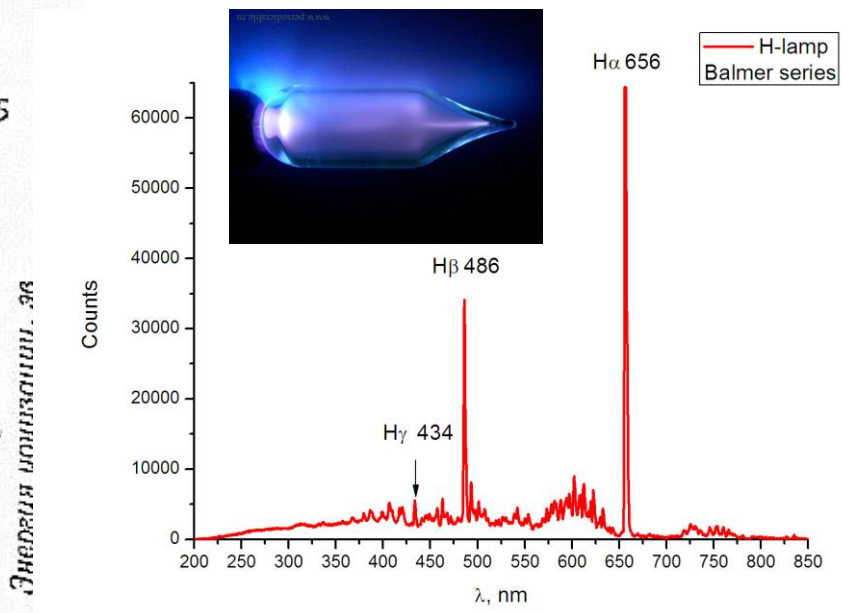


Диаграмма термов атома водорода (энергетические уровни и электронные переходы).



Спектр атома водорода; серия Бальмера.





Квантовая механика – это система понятий, предназначенная для описания свойств микромира. Основные положения: энергия распространяется и передается не непрерывно, а порциями – **квантами**  $E = h \cdot \nu$ ,  $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с (кг·м<sup>2</sup>/с) – постоянная Планка, движение микрочастиц имеет **волновой** характер  $\lambda = h/(m \cdot v)$ , частица материи является волной, квантовая механика определяет **вероятность** нахождения микрочастицы в точке пространства.

Во-первых, все микрочастицы, включая электроны, обладают свойствами, как частицы, так и волны (*корпускулярно – волновой дуализм*). Масса ( $m$ ) любой частицы и ее скорость ( $v$ ) связаны с длиной волны ( $\lambda$ ) *уравнением де Бройля*:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где  $h$  – постоянная Планка ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с).

Во-вторых, невозможно одновременно точно определить положение (координату) и импульс электрона (*принцип неопределенности Гейзенберга*). Погрешности в определении координаты ( $\Delta x$ ) и импульса ( $\Delta mv$ ) связаны соотношением:

$$\Delta x \cdot \Delta mv \geq \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

В-третьих, энергия электромагнитного излучения (в том числе и электронов) изменяется не непрерывно, а порциями – *квантами*. Изменение энергии электрона от  $E_1$  до  $E_2$  сопровождается поглощением света с частотой ( $\nu$ ), определяемой *уравнением Планка*:

$$E_2 - E_1 = h\nu.$$

# Кот Шредингера

Есть ящик и кот. В ящике имеется механизм, содержащий радиоактивное атомное ядро и ёмкость с ядовитым газом. Вероятность распада ядра за 1 час составляет 50%. Если ядро распадается, открывается ёмкость с газом и кот погибает. Квантовая механика утверждает, что атомное ядро находится во всех возможных состояниях одновременно. До открытия ящика система «кот—ядро» находится в состоянии «ядро распалось, кот мёртв» с вероятностью 50% и в состоянии «ядро не распалось, кот жив» с вероятностью 50%. Получается, что кот, сидящий в ящике, и жив, и мёртв одновременно. Если же ящик открыть, то экспериментатор может увидеть только какое-нибудь одно конкретное состояние — «ядро распалось, кот мёртв» или «ядро не распалось, кот жив».



**Кот Шредингера –художественный образ («мем»),  
объясняющий простым языком кажущиеся  
«парадоксы» квантовой механики.**



### Уравнение Шредингера

$$\frac{\hbar^2}{8\pi^2m} \nabla^2\Psi + (E-U)\Psi = 0$$

**E** – полная энергия частицы с координатами x,y,z

**U** – потенциальная энергия частицы (x,y,z)

**Ψ** – волновая функция: описывает волны вероятности

**∇** – действующий на функцию оператор:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2}$$

Уравнение Шредингера описывает эволюцию волн вероятности (распространение волн!)

$|\Psi|^2$  – **вероятность** нахождения электрона в заданной точке пространства

Уравнение Шредингера имеет аналитическое решение только для атома **водорода и водородоподобных ионов**; для других атомов и ионов – приближенные решения

Решением уравнения Шредингера являются волновые функции  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n$  и соответствующие им энергии  $E_1, E_2, \dots, E_n$

## Квантовые числа, характеризующие электрон в атоме

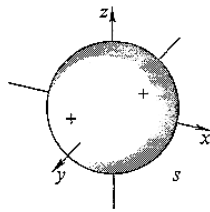
Квантовое число	Принимаемые значения	Характеризуемое свойство	Примечание
Главное ( $n$ )	1, 2, 3, ..., $\infty$	Энергия ( $E$ ) уровня. Среднее расстояние ( $r$ ) от ядра	$n = \infty$ — отсутствие взаимодействия с ядром, $E = 0$
Орбитальное ( $l$ )	0, 1, ..., ( $n - 1$ ) всего $n$ значение для данного $n$	Орбитальный момент количества движения — форма орбитали	Обычно используют буквенные символы: $l: 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4$ $s \ p \ d \ f \ g$
Магнитное ( $m_l$ )	$-l, \dots, 0, \dots, l$ всего $2l + 1$ значение для данного $l$	Ориентация момента количества движения — расположение орбитали в пространстве	При помещении в магнитное поле орбитали с различными $m_l$ имеют разную энергию
Спиновое ( $m_s$ )	$\pm 1/2$ не зависит от свойств орбитали	Ориентация собственного магнитного момента	Обозначают $\uparrow$ или $\downarrow$

**!** Квантовые числа  $n$ ,  $l$  и  $m_l$  определяют энергию, форму и пространственное расположение орбиталей

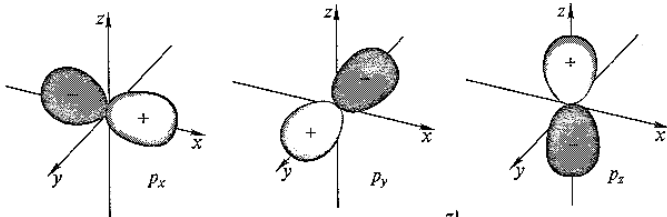
# Побочное (орбитальное) квантовое число

$l = 0, 1, 2, 3 \dots n-1$ : форма АО

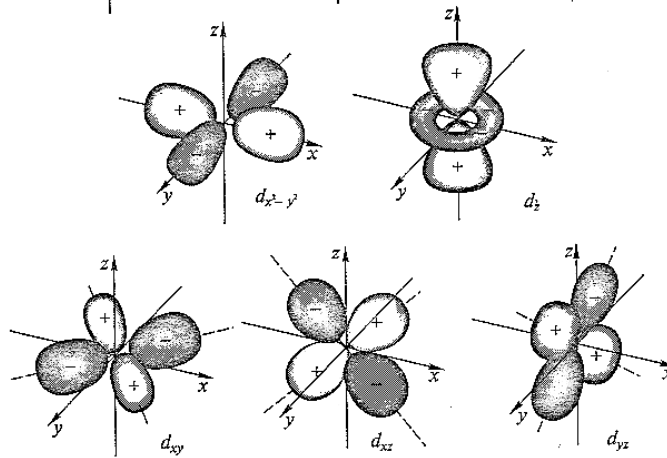
$l=0$   
(s)



$l=1$   
(p)

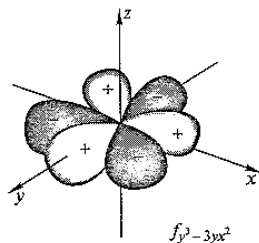


$l=2$   
(d)



$l=3$   
(f)

Пример одной  
из семи орбиталей



В химии принято работать с «образами», описывающими вероятность распределения электронной плотности в пространстве — с **орбиталями**. Такая визуализация позволяет перейти на привычный химикам язык описания формирования химических связей за счет «взаимодействия» (перекрывания) орбиталей и изменениях их «формы», что описывает то или иное перераспределение электронной плотности в системе.

Волновая функция, являющаяся решением уравнения Шредингера, называется **орбиталью** — областью пространства, вероятность нахождения электрона в которой  $\geq 95\%$

$n$	$l$	$m_l$	Орбиталь	Число орбиталей
1	0	0	1s	1
2	0	0	2s	4
	1	-1, 0, 1	$2p_x, 2p_y, 2p_z$	
3	0	0	3s	9
	1	-1, 0, 1	$3p_x, 3p_y, 3p_z$	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$3d_{xy}, 3d_{xz}, 3d_{yz},$ $3d_{z^2}, 3d_{x^2-y^2}$	
4	0	0	4s	16
	1	-1, 0, 1	$4p_x, 4p_y, 4p_z$	
	2	-2, -1, 0, 1, 2	$4d_{xy}, 4d_{xz}, 4d_{yz},$ $4d_{z^2}, 4d_{x^2-y^2}$	
	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	$4f_{x^3}, 4f_{y^3}, 4f_{z^3}, 4f_{x(y^2-z^2)},$ $4f_{y(z^2-x^2)}, 4f_{z(x^2-y^2)}, 4f_{xyz}$	

**Спиновое квантовое число  $s$**  - направление (“проекция”) собственного магнитного момента  $+ \frac{1}{2}$  и  $- \frac{1}{2}$

**Принцип Паули** (в атоме не существует двух электронов, состояние которых описывается одинаковым набором всех (4) квантовых чисел)  $\rightarrow N = 2n^2$  (емкость оболочки), «спаривание» электронов на одной орбитали

**Правило Хунда** (в пределах одного подуровня электроны распределяются так, чтобы суммарный спин был максимален)  $\rightarrow$  суммарный спин электронов на одинаковых АО стремится к тах, «энергия спаривания» электронов

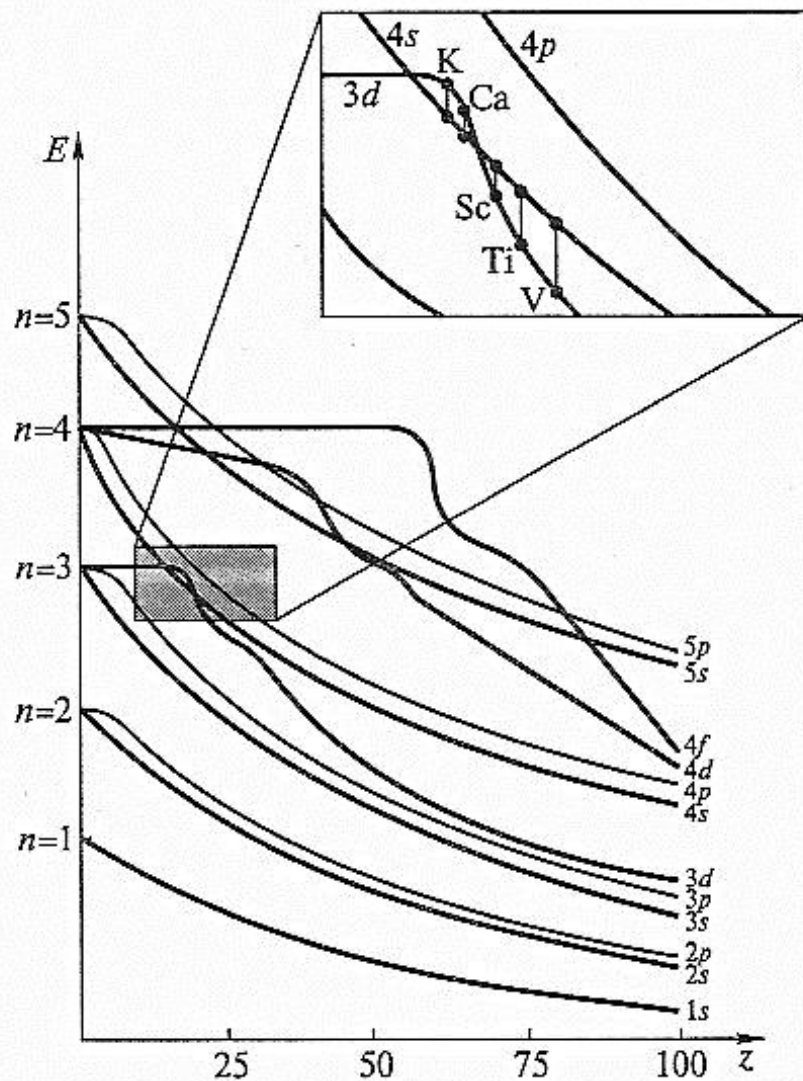
**Принцип наименьшей энергии: правило Клечковского** (энергия увеличивается в порядке возрастания суммы  $n+l$ )  $\rightarrow$  стремление к  $\min (n + l)$ , а при фиксированной  $(n + l)$  – к  $\min n$





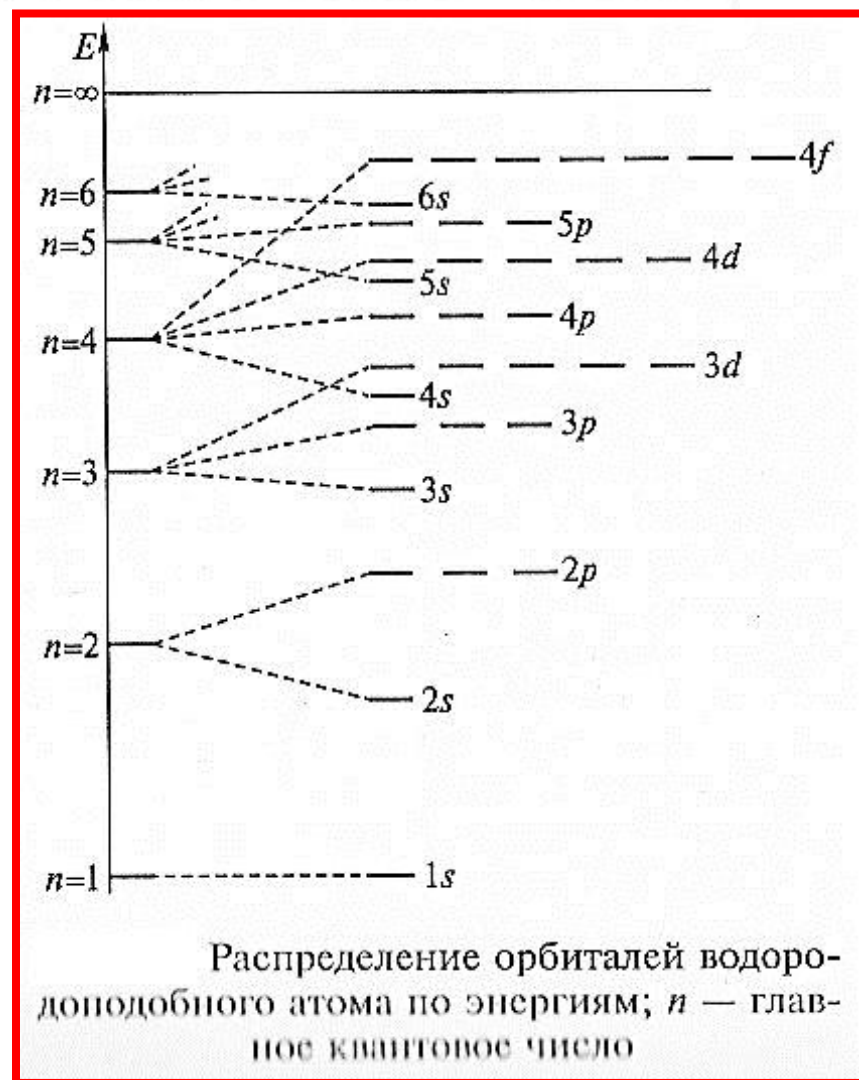
**Электрон относится к «фермионам» - квантовым частицам (системам) с нецелочисленным суммарным спином. Для них квантовая статистика соответствует принципам Паули и Хунда. Существуют и системы с целочисленным спином (бозоны, например, куперовские пары электронов или «дырок» в сверхпроводниках), для которых статистика другая, и поэтому правила Паули и Хунда не применяются.**

# Энергия орбиталей



Зависимость энергии орбиталей от заряда ядра ( $n$  — главное квантовое число)

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 6d < 5f.$$



Распределение орбиталей водородоподобного атома по энергиям;  $n$  — главное квантовое число



*Правило Клечковского:* заполнение электронами орбиталей в атоме происходит в порядке возрастания суммы главного и орбитального квантовых чисел ( $n+1$ ). При одинаковой сумме раньше заполняется орбиталь с меньшим значением  $n$ .

**Правило Клечковского лишь полуэмпирически описывает поведение многоэлектронных систем и начинают плохо работать для тяжелых атомов (например, актинидов). Тем не менее, для многих других случаев они отлично описывают «проскоки электронов» между оболочками, то есть позволяют адекватно оценить правильную электронную конфигурацию атомов.**

$$\Psi = R(r) \cdot Y(\theta, \varphi)$$

$R(r)$  – радиальная часть волновой функции

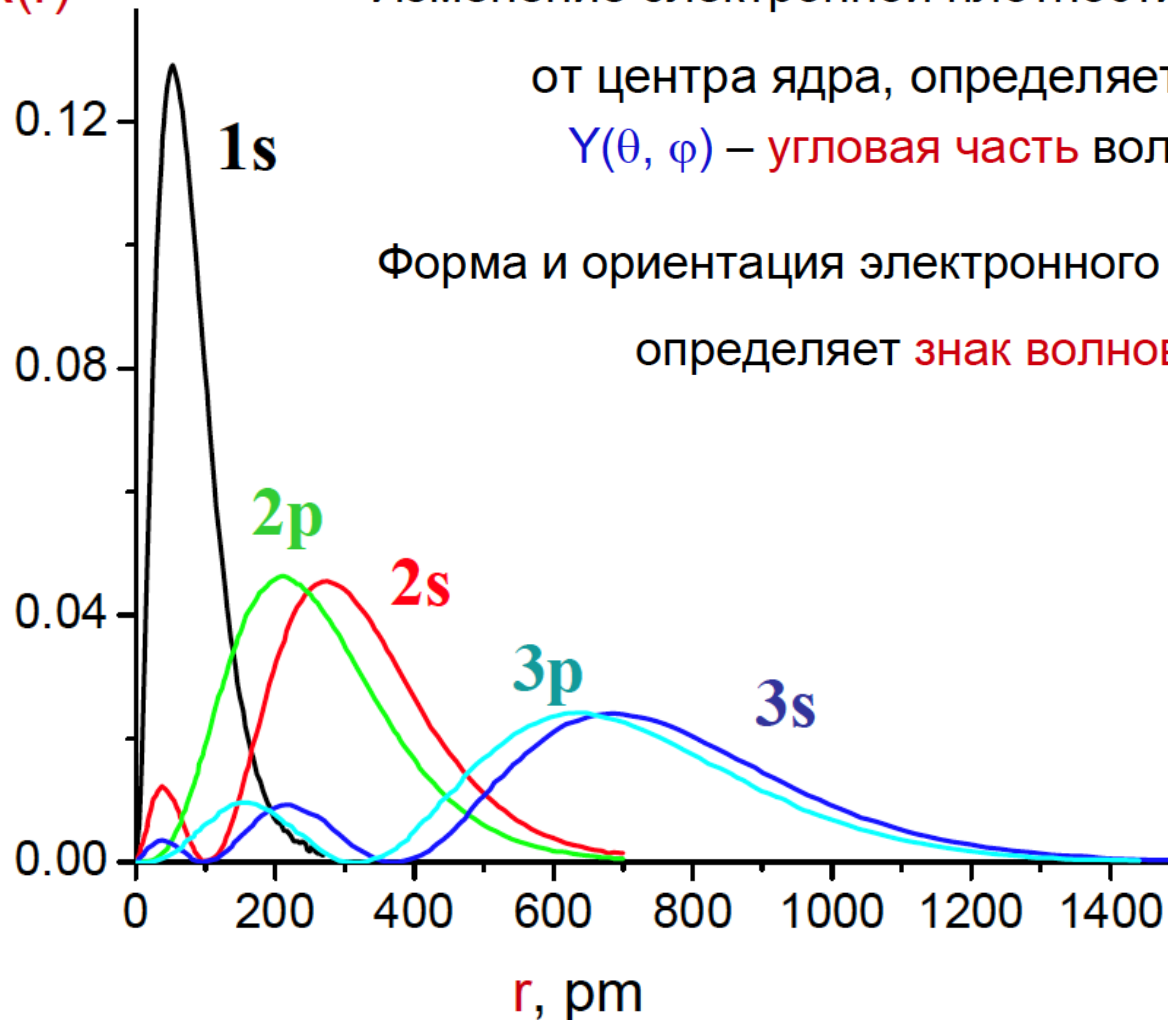
Изменение электронной плотности как функция расстояния

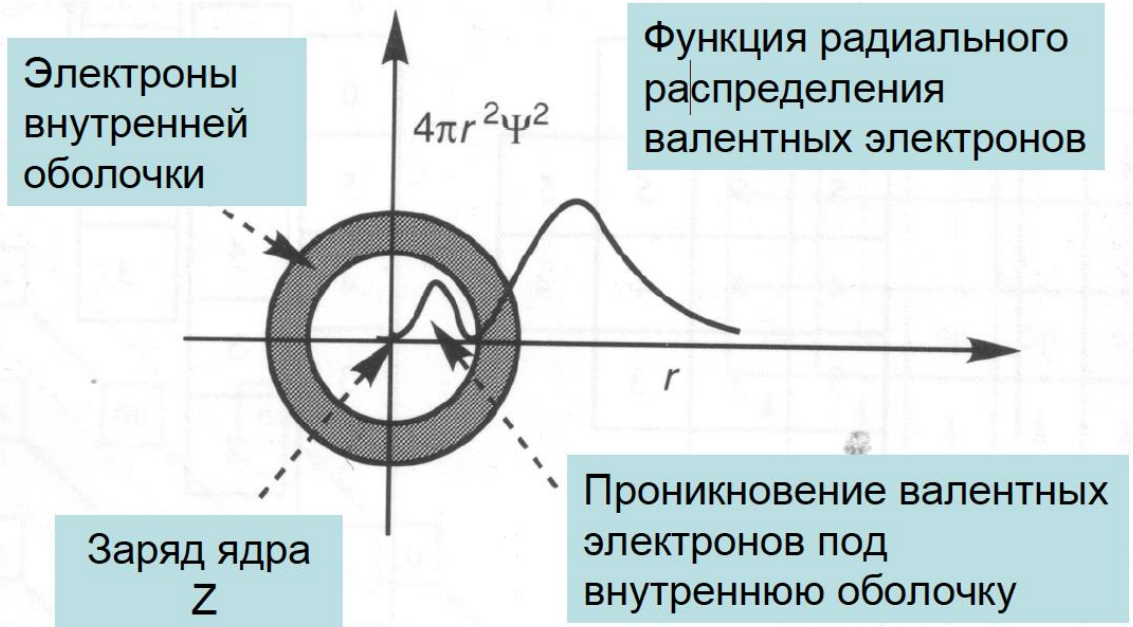
от центра ядра, определяет **размер орбитали**

$Y(\theta, \varphi)$  – **угловая часть** волновой функции

Форма и ориентация электронного облака в пространстве,  
определяет **знак волновой функции**

$4\pi r^2 R(r)^2$





**Эффективный заряд ядра.** Заряд, действующий на электрон со стороны ядра (степень экранирования), зависит от типа атомной орбитали, что связано с различной проникающей способностью орбиталей.

$S$	$n' < n - 1$	$n' = n - 1$	$n' = n$	$n' > n$
$1s$	—	—	0,30	0
$ns, np$	1	0,85	0,35	0
$nd, nf$	1	1	0,35	0

$$Z_{\text{эфф}}(ns) > Z_{\text{эфф}}(np) > Z_{\text{эфф}}(nd) > Z_{\text{эфф}}(nf).$$

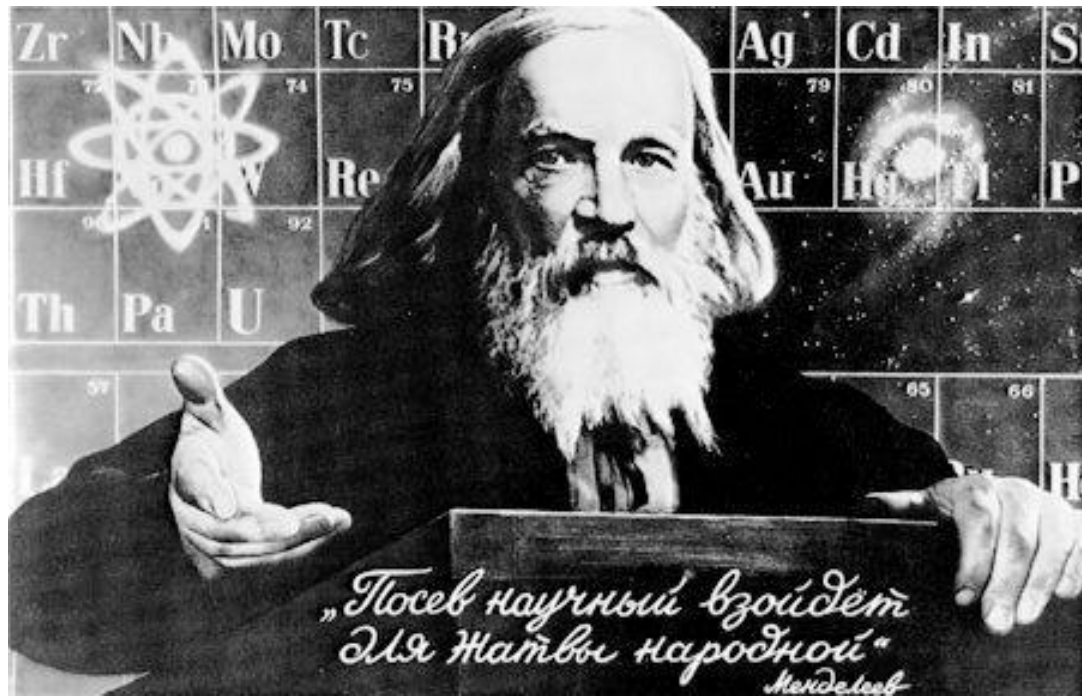
Эффективный заряд связан с истинным зарядом ядра соотношением

$$Z_{\text{эфф}} = Z - S,$$

где  $S$  — константа экранирования, зависящая от электронной конфигурации атома и типа орбитали, на которой находится электрон.



**Концепция «эффективного заряда ядра» - еще один подход полуэмпирического описания поведения многоэлектронной системы (тяжелых атомов). В химии эта концепция позволяет оценить возможную вовлеченность внешних оболочек атомов в образование химической связи.**



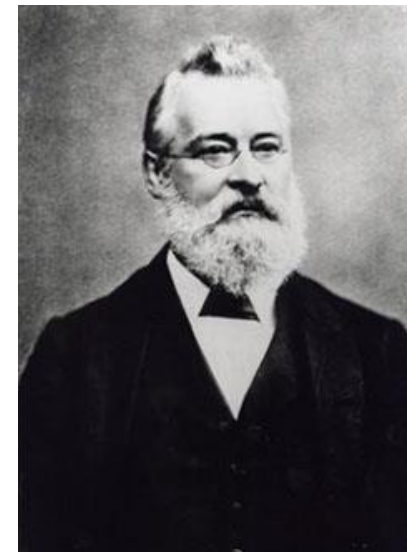
**Дмитрий Иванович Менделеев (1834 - 1907)**



**Лотар Юлиус Мейер**



**Александр Эмиль Бегуйе де Шанкуртуа**



**Джон Александр Рейна Ньюлендс**



**Развитие концепции Периодической таблицы элементов Дмитрия Ивановича Менделеева происходило постепенно и закономерно, однако основной (признанный всеми) приоритет Д.И.Менделеева состоит не только в том, что он первым предложил непротиворечивый вариант периодического закона, но и в том, что он придал ему всеобщий характер и показал его прогностические возможности.**



ХРОНОЛОГИЯ ОТКРЫТИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ,  
СУЩЕСТВУЮЩИХ НА ЗЕМЛЕ

Водород	1766	Г.Кавендиш
Гелий	1895	В.Рамзай, В.Крукс
Литий	1817	И.Арфведсон
Бериллий	1798	Л.Воклен
Бор	1808	Ж.Гей-Люссак, А.Тенар
Углерод	Известен с древности	
Азот	1772	Д.Резерфора
Кислород	1774	Д.Пристли, К.Шееле
Фтор	1771	К.Шееле
Неон	1898	В.Рамзай, М.Траверс
Натрий	1807	Г.Деви
Магний	1808	Г.Деви
Алюминий	1825	Х.Эрстед
Кремний	1823	Й.Берцелиус
Фосфор	1669	Г.Брандт
Сера	Известна с древности	
Хлор	1774	К.Шееле
Аргон	1894	В.Рамзай, В.Рэлей
Калий	1807	Г.Деви
Кальций	1808	Г.Деви
Скандий	1879	А.Нильсон
Титан	1795	М.Клапрот
Ванадий	1830	Н.Сёфстрем
Хром	1797	Л.Воклен
Марганец	1774	К.Шееле, И.Ган
Железо	Известно с древности	
Кобальт	1735	В.Брандт
Никель	1751	А.Кронштедт
Медь	Известна с древности	
Цинк	Получен в средние века	
Галлий	1875	П.Лекок де Буабодран
Германий	1886	К.Винклер
Мышьяк	Получен в средние века	
Селен	1817	Й.Берцелиус
Бром	1826	А.Баляр
Криптон	1898	В.Рамзай, М.Траверс
Рубидий	1861	Р.Бунзен, Г.Кирхгоф
Стронций	1790	А.Кроуфорда
Иттрий	1794	Ю.Гадолин

Цирконий	1789	М.Клапрот
Ниобий	1801	Ч.Хэтчет
Молибден	1778	К.Шееле
Рутений	1844	К.К.Клаус
Родий	1804	В.Волластон
Палладий	1803	В.Волластон
Серебро	Известно с древности	
Кадмий	1817	К.Штрмейер
Индий	1863	Ф.Рейх, И.Рихтер
Олово	Известно с древности	
Сурьма	Получена в средние века	
Теллур	1782	Ф.Мюллер фон Рейхенштейн
Иод	1811	Б.Куртуа
Ксенон	1898	В.Рамзай, М.Траверс
Цезий	1861	Р.Бунзен, Г.Кирхгоф
Барий	1774	К.Шееле, Г.Ган
Лантан	1839	К.Мосандер
Церий	1803	Й.Берцелиус, В.Хизингер
Празеодим	1885	К.Ауэр фон Вельсбах
Неодим	1885	К.Ауэр фон Вельсбах
Самарий	1879	П.Лекок де Буабодран
Европий	1901	Э.Демарсе
Гадолиний	1886	П.Лекок де Буабодран
Тербий	1843	К.Мосандер
Диспрозий	1886	П.Лекок де Буабодран
Гольмий	1879	П.Клеве
Эрбий	1843	К.Мосандер
Тулий	1879	П.Клеве
Иттербий	1878	Ш.Мариньяк
Лютеций	1907	Ж.Урбэн
Гафний	1923	Д.Костер, Д.Хевеши
Тантал	1802	А.Экеберг
Вольфрам	1781	К.Шееле
Рений	1927	И.Ноддак, В.Ноддак
Осмий	1804	С.Теннант
Иридий	1804	С.Теннант
Платина	1748	А. де Уллоа

Алхимики – 4 «элемента»  
XVIII столетие – азот,  
водород, кислород, хлор,  
кобальт, платина, никель,  
марганец, вольфрам,  
молибден, уран, титан,  
хром.  
Платиноиды...  
РЗЭ...  
Инертные газы...

Золото	Известно с древности
Ртуть	Известна с древности
Таллий	1861 В.Крукс
Свинец	Известен с древности
Висмут	Получен в средние века
Полоний	1898 П.Кюри, М.Кюри
Радон	1899 Р.Оуэнс, Э.Резерфора
Франций	1939 М.Перей
Радий	1898 П.Кюри, М.Кюри, Ж.Бемон
Актиний	1899 А.Дебьерн
Торий	1828 Й.Берцелиус
Проктактиний	1918 О.Ган, Л.Мейтнер; Ф.Соуди, А.Крэнстон
Уран	1789 М.Клапрот

# Систематизация

... не только классификация, но и поиск фундаментального закона!

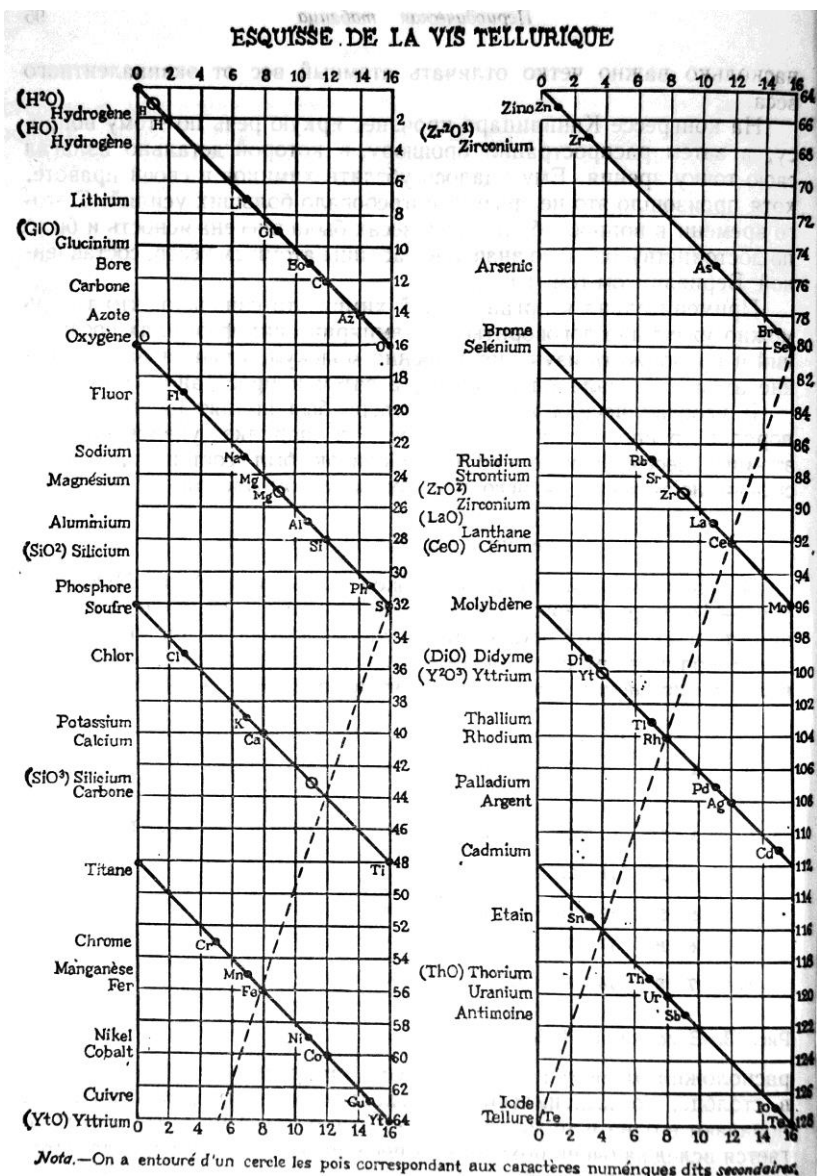
- триады Дёберейнера (1829): Br-Cl / I, Ca-Sr-Ba, S – Se – Te
- Первый химический конгресс (1860 г., Карлсруэ)
- спираль де Шанкуртуа (1862)
- октавы Ньюлендса (1864 - 1865)
- таблица Одлинга и Мейера (1970)
- Таблица Д.И.Менделеева (1869)
- Коротко- и длиннопериодные варианты (всего ~ 700)

IUPAC version (18 «колонок»)

USA: I A – VII A, I B – VII B, VIII – 3 и O

Россия: I – VIII группы

# Спираль де Шанкуртуа



Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс): похожие элементы попадают в вертикальные столбцы

Рис. 14. «Винтовой график» Бегуё де Шанкуртуа (1862 г.). Расположив элементы в порядке возрастания их атомных весов, ученый соединил линиями элементы с похожими свойствами.

# Закон октав Ньюлендса

№	№	№	№	№	№	№	№
H 1	F 8	Cl 15	Co и Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt и Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
G 3	Mg 10	Cd 17	Zn 25	Sr 31	Cd 38	Ba и V 45	Pb 54
Jo 4	Al 11	Cr 19	Y 24	Ce и La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di* и Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Sc 28	Ro* и Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

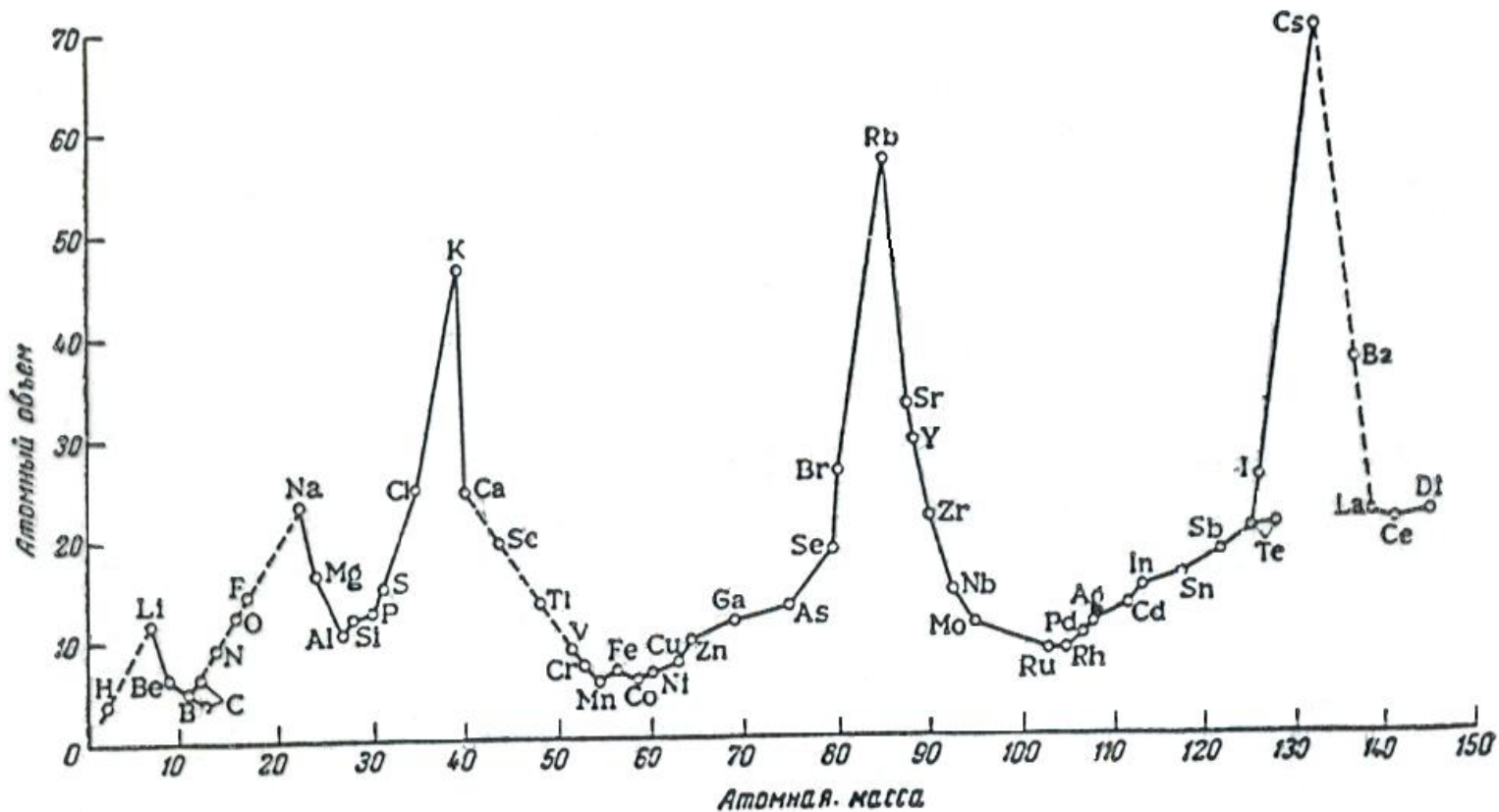
Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс): каждый восьмой элемент обладает похожими свойствами (настаивал на том, что длиннее «период» не должен быть)

# Классификация элементов по Одлиngu

			Mo 96 — Pd 106,5	W 184 Au 196,5 Pt 197
Li 7 G 9 B 11 C 12 N 14 O 16 F 19	Na 23 Mg 24 Al 27,5 Si 28 P 31 S 32 Cl 35,5	— Zn 65 — — As 75 Se 79,5 Br 80	Ag 108 Cd 112 — Sn 118 Sb 122 Te 129 I 127	— Hg 200 Tl 203 Pb 207 Bi 210 — —
	K 39 Ca 40 Ti 48 Cr 52,5 Mn 55	Rb 85 Sr 87,5 Zr 89,5 — —	Cs 133 Ba 137 — V 138 —	Th 231

Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс) + валентность (1864 г.)

# Периодическая таблица по Лотару Мейеру



Расположение в порядке возрастания атомных **ОБЪЕМОВ** (удельное физическое свойство!): период **МОЖЕТ** изменяться («триады» Дёберейнера и «октавы» Ньюлендса присутствуют)

# Периодическая таблица элементов Д. И. Менделеева

## ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti=50	Zr= 90	?=180.	
		V=51	Nb= 94	Ta=182.	
		Cr= 52	Mo= 96	W= 186.	
		Mn= 55	Rh= 104,4	Pt= 197,4	
		Fe=56	Ru= 104,4	Ir=198.	
	Ni=Co= 59	Pl= 106,6	Os= 199.		
	Cu= 63,4	Ag= 108	Hg= 200.		
H=1	Be= 9,4	Mg=24	Zn= 65,2	Cd= 112	
	B= 11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As= 75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S= 32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl= 204.
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
	?Er=56	La=94			
	?Yt=60	Di=95			
	?In=75,6	Th=118?			

1 марта 1869 г.

Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс), но:

-изменил атомные веса ряда элементов (U – 240, «последний» элемент)

-сформулировал понятия о группах, малых и больших периодах (оценил их «емкость»),

-назвал систему «естественной»,

-предсказал существование новых элементов (экабор – Sc, экаалюминий – Ga, экасилиций - Ge)

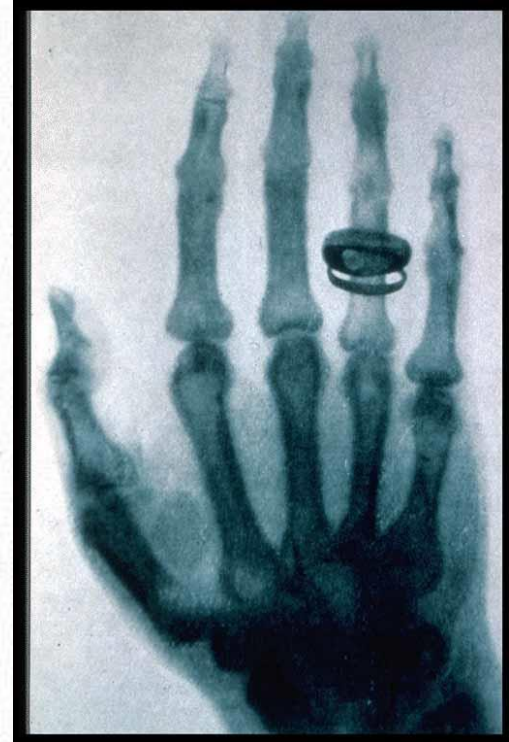
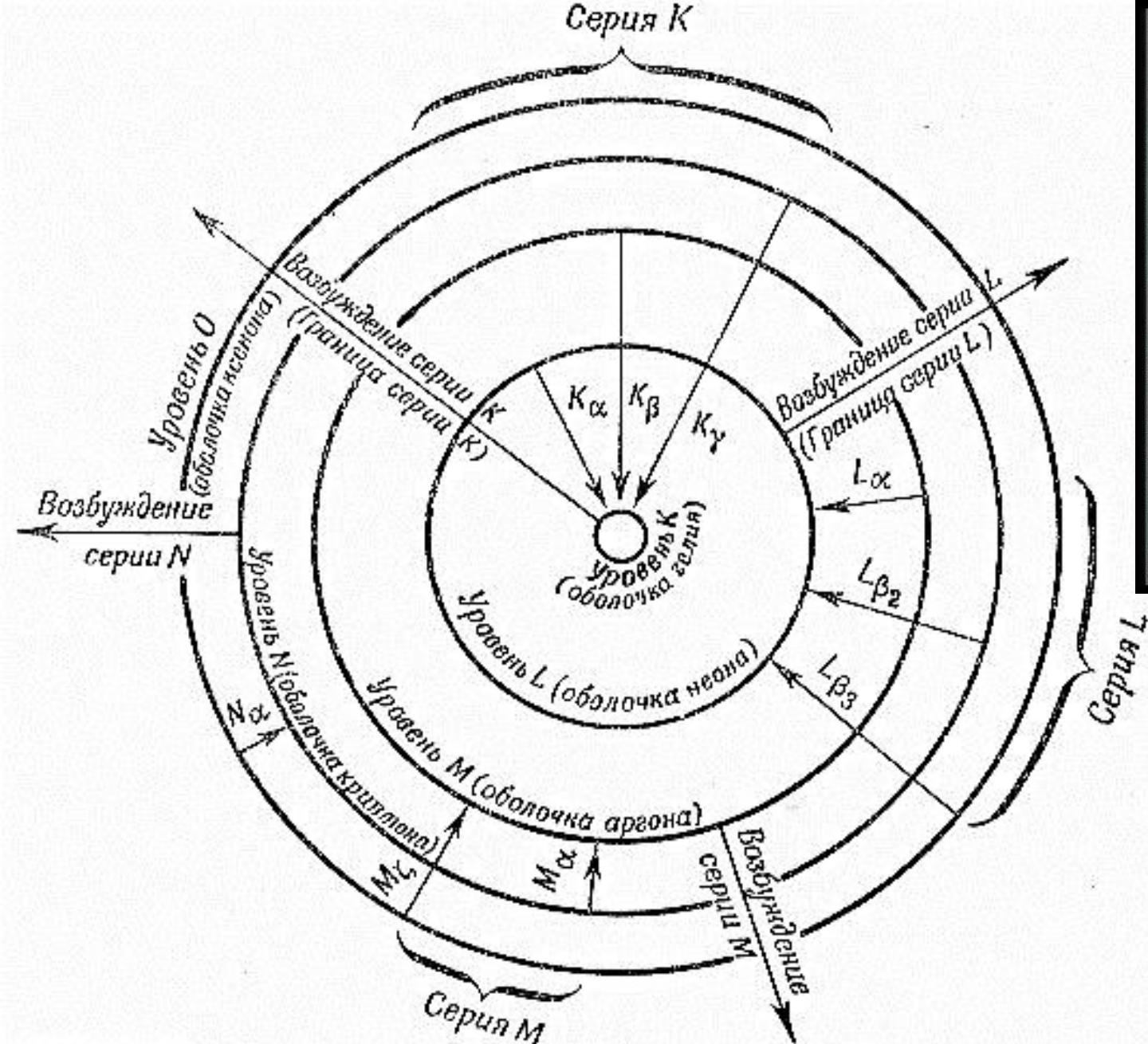
## СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРЕДСКАЗАННЫХ СВОЙСТВ ЭКАКРЕМНИЯ СО СВОЙСТВАМИ ГЕРМАНИЯ

Свойства экакремния ES, предсказанные Менделеевым (1870 г.)	Свойства германия, найденные Винклером (1886 г.)
1. Атомный вес равен среднему арифметическому атомных весов четырех соседних элементов <sup>а</sup> периодической системы — Si, Sn, Zn, Se $1/4 (28,1 + 118,7 + 65,38 + 79,0) = 72,8$	1. Атомный вес = 72,60
2. Плотность, определенная таким же образом, равна 5,5	2. Плотность при 20° = 5,469
3. По атомному объему элемент должен располагаться между кремнием (13) и оловом (16), но ближе к кремнию	3. Атомный объем = 13,4
4. Элемент образует окись ESO <sub>2</sub> с более слабыми основными свойствами, чем у SnO <sub>2</sub>	4. GeO <sub>2</sub> обладает не основными свойствами, а слабокислыми
5. Плотность окиси ESO <sub>2</sub> равна 4,7	5. GeO <sub>2</sub> имеет $d^{18} = 4,703$
6. ESO <sub>2</sub> , так же как и окиси олова и цинка, легко восстанавливается	6. GeO <sub>2</sub> легко восстанавливается углеродом или водородом до металлического германия
7. Элемент образует жидкий хлорид EsCl <sub>4</sub> , кипящий ниже 100°, с плотностью 1,9	7. GeCl <sub>4</sub> — жидкость, кипящая при 86°, с плотностью 1,879
8. Соединение с водородом ESH <sub>4</sub> — газообразное и более устойчивое, чем SnH <sub>4</sub> <sup>б</sup>	8. GeH <sub>4</sub> кипит при -90°

<sup>а</sup> Менделеев взял для расчета цинк, поскольку соседний элемент с меньшим атомным весом (галлий) в это время еще не был известен, и селен — элемент с большим атомным весом, также соседний с экакремнием

<sup>б</sup> Это очень неустойчивое соединение получил А. Панет только в 1924 г.





Испускание линий различных серий рентгеновских спектров атомов.

1 H  
2 He

3 Li — 11 Na  
4 Be — 12 Mg  
5 B — 13 Al  
6 C — 14 Si  
7 N — 15 P  
8 O — 16 S  
9 F — 17 Cl  
10 Ne — 18 A

19 K — 37 Rb  
20 Ca — 38 Sr  
21 Sc — 39 Y  
22 Ti — 40 Zr  
23 V — 41 Nb  
24 Cr — 42 Mo  
25 Mn — 43 -  
26 Fe — 44 Ru  
27 Co — 45 Rh  
28 Ni — 46 Pd  
29 Cu — 47 Ag  
30 Zn — 48 Cd  
31 Ga — 49 In  
32 Ge — 50 Sn  
33 As — 51 Sb  
34 Se — 52 Te  
35 Br — 53 J  
36 Kr — 54 X

55 Cs — 87 -  
56 Ba — 88 Ra  
57 La — 89 Ac  
58 Ce — 90 Th  
59 Pr — 91 Pa  
60 Nd — 92 U  
61 -  
62 Sm  
63 Eu  
64 Gd  
65 Tb  
66 Ds  
67 Ho  
68 Er  
69 Tm  
70 Yb  
71 Lu  
72 -  
73 Ta  
74 W  
75 -  
76 Os  
77 Ir  
78 Pt  
79 Au  
80 Hg  
81 Tl  
82 Pb  
83 Bi  
84 Po  
85 -  
86 Nt — 118 -

**Н.Бор (1921):  
квантовая теория  
строения атомов и  
схема формирования  
их электронных  
конфигураций по мере  
роста заряда ядра.**



**Переход от рассмотрения атомной массы как основного параметра, от которого зависит периодический характер свойств элементов, к параметру заряда ядра является принципиальным, потому что в первом случае периодический закон является эмпирическим наблюдением, носящим всеобщий характер, но только во втором случае становится понятна причина периодического изменения свойств и всеобщности периодического закона: заряд ядра и законы квантовой механики определяют особенности заполнения электронных оболочек атомов и изменения их физических и химических характеристик.**

# Формулировки

«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости *от атомных весов (?) элементов*»

«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от **заряда ядра (!) атомов элементов**»

**Естественный ряд химических элементов  ${}_1\text{H}$ ,  ${}_2\text{He}$ ,  ${}_3\text{Li}$ .....  ${}_{108}\text{Hs}$ ,  ${}_{109}\text{Mt}$  образует систему с периодическим изменением электронной конфигурации и свойств химических элементов, а также образуемых ими простых и сложных веществ.**

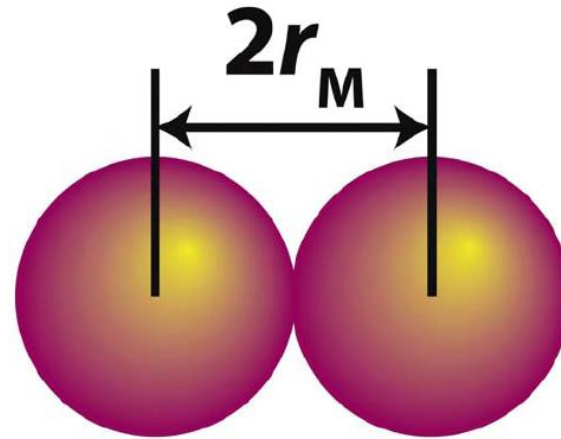
Период	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																
	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б	а VI б	а VII б	а VIII б	VIII б								
1								H 1 1,00794·1 ВОДОРОД	He 2 4,002602·2 ГЕЛИЙ	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Атомная масса    Атомный номер</p> <p style="text-align: center;"><b>U</b>    92</p> <p style="text-align: center;">238,02891</p> <p style="text-align: center;">92U<sup>238</sup></p> <p>Распределение электронов по заполненным и вакантным оболочкам</p> </div>							
2	Li 3 6,941·2 ЛИТИЙ	Be 4 9,01218·1 БЕРИЛЛИЙ	B 5 10,811·5 БОР	C 6 12,011·1 УГЛЕРОД	N 7 14,0067·1 АЗОТ	O 8 15,9994·3 КИСЛОРОД	F 9 18,998403·1 ФТОР	Ne 10 20,179·1 НЕОН									
3	Na 11 22,98977·1 НАТРИЙ	Mg 12 24,305·1 МАГНИЙ	Al 13 26,98154·1 АЛЮМИНИЙ	Si 14 28,0855·3 КРЕМНИЙ	P 15 30,97376·1 ФОСФОР	S 16 32,066·6 СЕРА	Cl 17 35,453·1 ХЛОР	Ar 18 39,948·1 АРГОН									
4	K 19 39,0983·1 КАЛИЙ	Ca 20 40,078·4 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,95591·1 СКАНДИЙ	Ti 22 47,88·3 ТИТАН	V 23 50,9415·1 ВАНАДИЙ	Cr 24 51,9961·6 ХРОМ	Mn 25 54,9380·1 МАРГАНИТ	Fe 26 55,847·3 ЖЕЛЕЗО	Co 27 58,9332·1 КОБАЛЬТ	Ni 28 58,69·1 НИКЕЛЬ							
	Zn 30 65,346·3 ЦИНК	Ga 31 69,723·4 ГАЛЛИЙ	Ge 32 72,59·3 ГЕРМАНИЙ	As 33 74,9216·1 АРСЕНИК	Se 34 78,96·3 СЕЛЕН	Br 35 79,904·1 БРОМ	Kr 36 83,80·1 КРИПТОН										
5	Rb 37 85,4678·3 РУБИДИЙ	Sr 38 87,62·1 СТРОНЦИЙ	Y 39 88,9059·1 ИТРИЙ	Zr 40 91,224·2 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92,9064·1 НИОБИЙ	Mo 42 95,94·1 МОЛИБДЕН	Tc 43 97,9072 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101,07·2 РУТИЛИЙ	Rh 45 102,9055·1 РОДИЙ	Pd 46 106,42·1 ПАЛЛАДИЙ							
	Ag 47 107,8682·3 СЕРЕБРО	Cd 48 112,41·1 КАДМИЙ	In 49 114,82·1 ИНДИЙ	Sn 50 118,710·7 ОЦИНК	Sb 51 121,75·3 СВЯТОВА	Te 52 127,60·3 ТЕЛУР	I 53 126,9045·1 ИОД	Xe 54 131,29·3 КСЕНОН									
6	Cs 55 132,9054·1 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33·1 БАРИЙ	La* 57 138,9055·3 ЛАНТАН	Hf 72 178,49·3 ГАФНИЙ	Ta 73 180,9479·1 ТАНТАЛ	W 74 183,85·3 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,207·1 РЕЙНИЙ	Os 76 190,2·1 ОСМИЙ	Ir 77 192,22·3 ИРИДИЙ	Pt 78 195,08·3 ПЛАТИНА							
	Au 79 196,9665·1 ЗОЛОТО	Hg 80 200,59·3 РУТУТЬ	Tl 81 204,383·1 ТАЛЛИЙ	Pb 82 207,2·1 СВИНЕЦ	Bi 83 208,9804·1 ВИСМУТ	Po 84 209,9824 ПОЛОНИЙ	At 85 209,9871 АСТАТ	Rn 86 222,0176 РАДОН									
7	Fr 87 223,0187 ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0254 РАДИЙ	Ac** 89 227,0278 АКТИНИЙ	Ku 104 (261) КУРЧАТОВИЙ	Ns 105 (262) НИЛЬСБОРГОВИЙ	106 (263) 107 (262)	108 (266)	109 (267)									
★ ЛАНТАНОИДЫ																	
Ce 58 140,12·1 ЦЕЗИЙ	Pr 59 140,9077·1 ПРАЗИОДИЙ	Nd 60 144,24·3 НИОБИЙ	Pm 61 144,9128 ПРОМИТИЙ	Sm 62 150,36·3 САМАРИЙ	Eu 63 151,96·1 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,25·3 ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,9254·1 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,50·3 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,9304·1 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,26·3 ЕРБИЙ	Tm 69 168,934·1 ТЕМПИИЙ	Yb 70 173,05·3 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,967·1 ЛУТЦИЙ				
★★ АКТИНОИДЫ																	
Th 90 232,0377·2 ТОРИЙ	Pa 91 231,036·2 ПРОТАКТИНИЙ	U 92 238,0289·1 УРАН	Np 93 237,0487 НЕПУТЧИЙ	Pu 94 244,0642 ПЛУТЧИЙ	Am 95 243,0614 АМЕРИЦИЙ	Cm 96 247,0703 КЮРИЙ	Bk 97 247,0703 БЕРКЕЛИЙ	Cf 98 251,0796 КАЛИФОРНИЙ	Es 99 252,0828 ЭЙЗЕНБЕРГОВИЙ	Fm 100 257,0951 ФЕРМИЙ	Md 101 258,10 МЕНДЕЛЕЕВОВИЙ	No 102 259,10 НОБЕЛИЙ	(Lr) 103 260,10 ЛОРЕНСОВИЙ				

IUPAC рекомендует использовать длиннопериодный вариант Периодической таблицы химических элементов Д.И.Менделеева.

# Характеристические свойства атомов

1. Орбитальный радиус атома  $r_a$

Размер электронного облака атома с учетом взаимодействий электронов между собой и с ядром



2. Потенциал ионизации  $I_i$



$$I_1 < I_2 < I_3 < \dots < I_n$$

3. Сродство к электрону  $A_e$



$A_e$

4.

Магнитный момент  $\mu_{\text{эфф}}$

5. Электроотрицательность  $\chi$

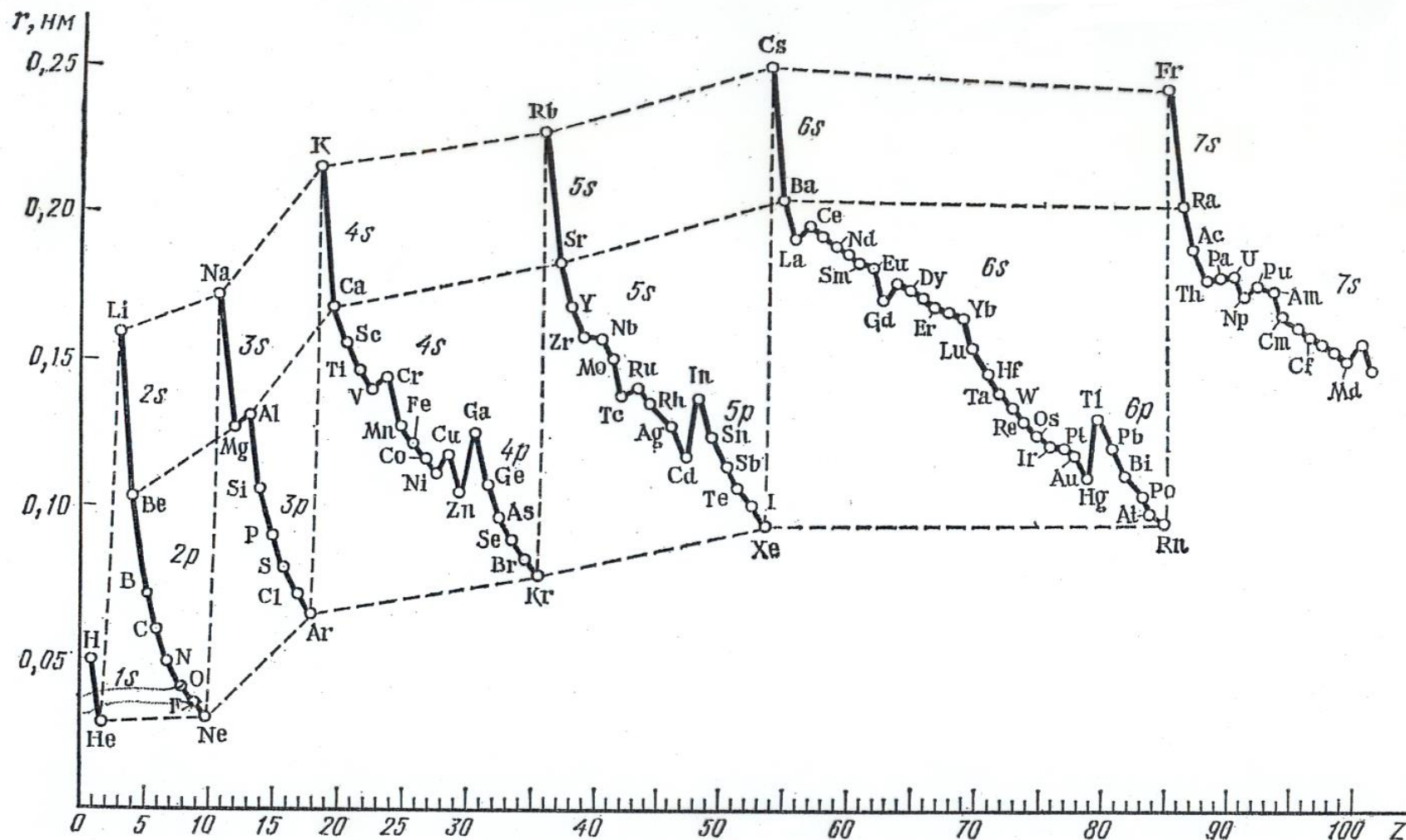
$$\sqrt{S(S+1)} = \sqrt{n(n+2)}$$

Мера смещения электронной плотности при взаимодействии с другим атомом.

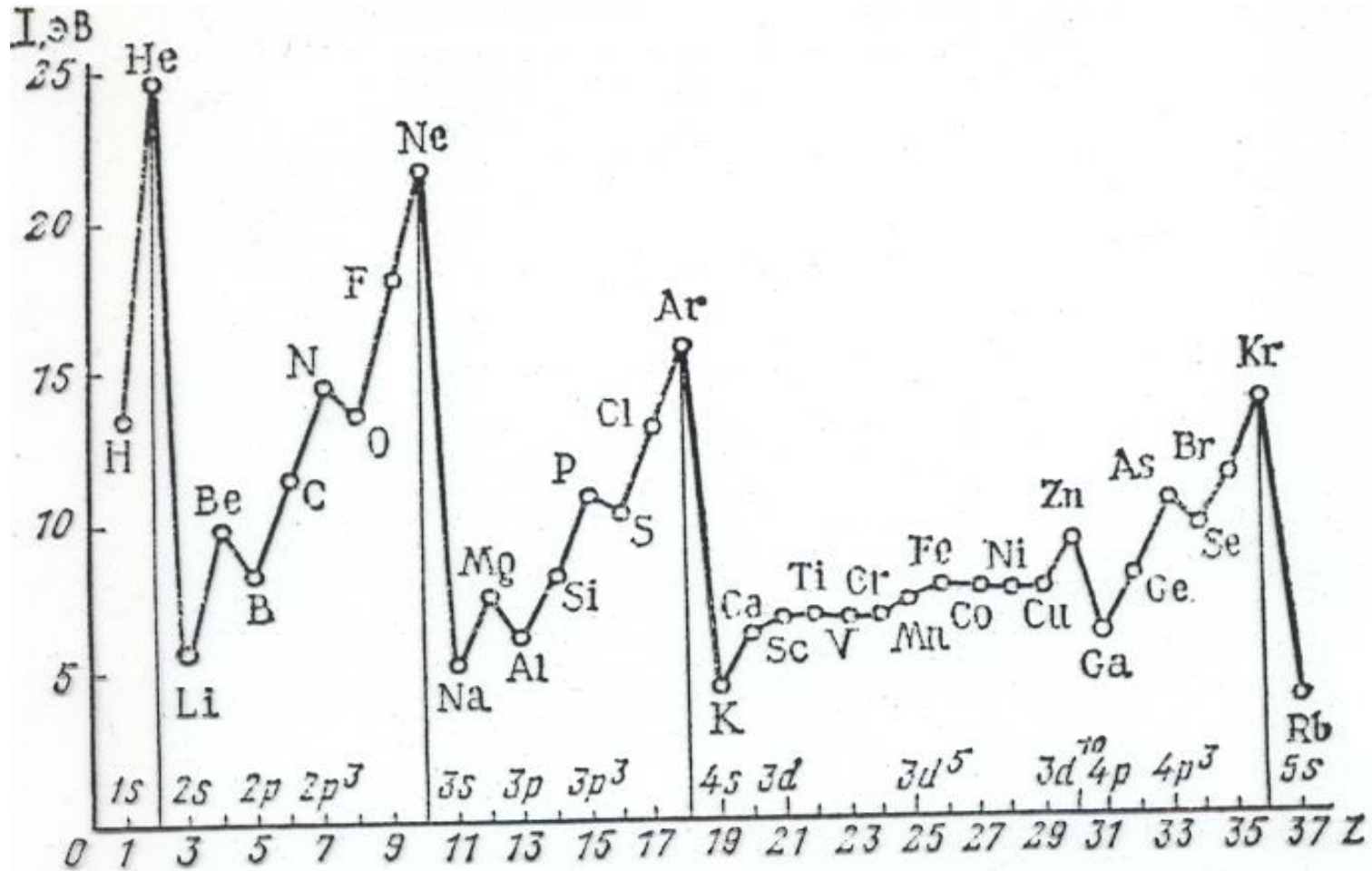
Шкалы: Полинга  $\chi_P$ , Олреда-Рохова  $\chi_{AR}$ , Малликена  $\chi_M$

$$\chi_M = \frac{1}{2}(I_1 + A_e)$$

# Зависимость орбитальных радиусов атомов от атомного номера элемента

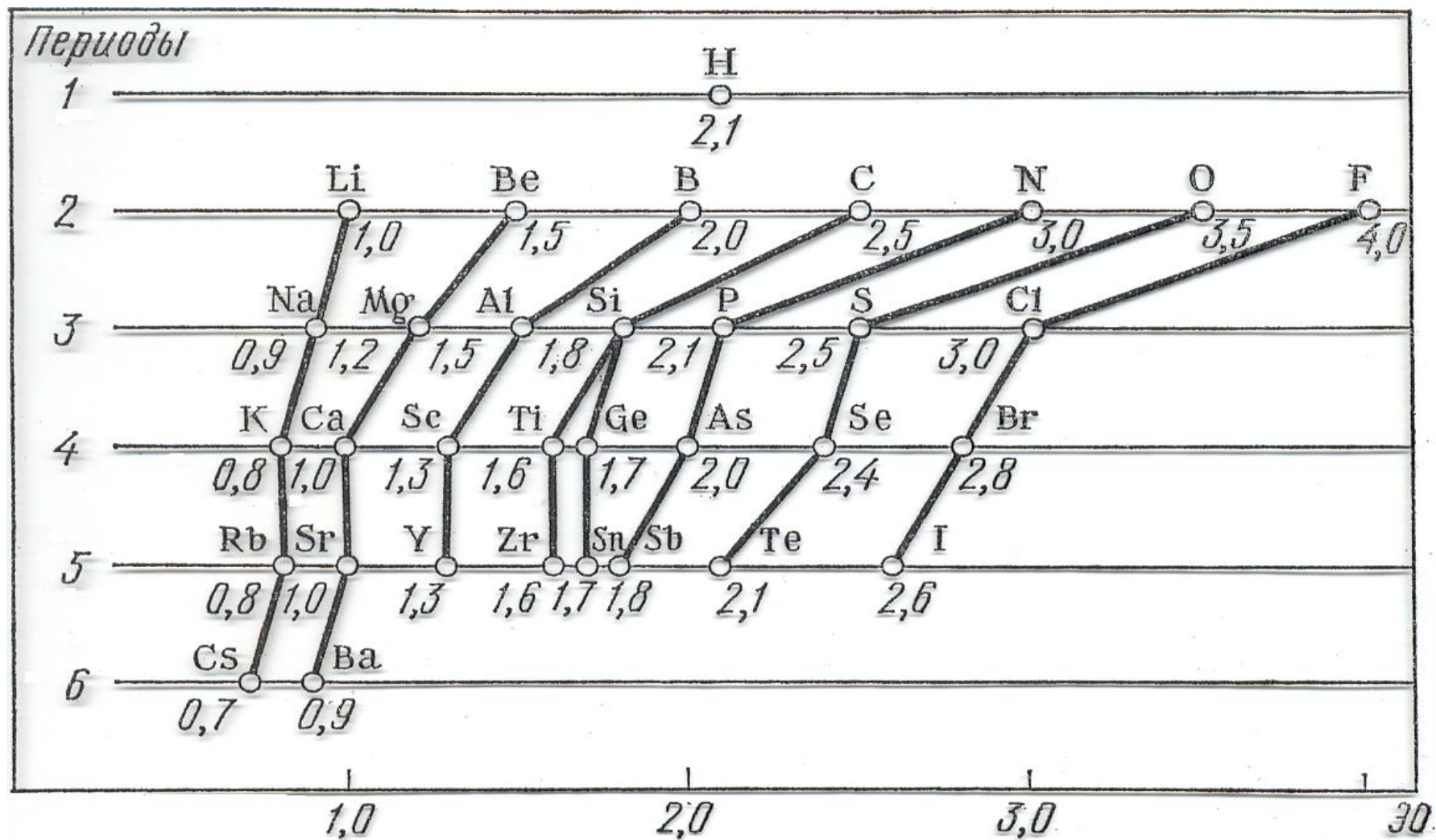


# Потенциалы ионизации





# Электроотрицательность по Полингу



### Классификация элементов по химическому состоянию в природе

Класс	Химическая форма	Основные элементы	Основные места локализации элементов
Атмофильные	Газы	Благородные газы, частично O, N, H	Воздух
Сидерофильные	Простые вещества — металлы	Fe, Co, Ni, Au, платиновые металлы, частично Mn, Re	Земное ядро, на поверхности в виде самородков
Халькофильные	Сульфиды	Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se, Te, In, Tl	Сульфидные минералы
Литофильные	Силикаты и гидратированные ионы	Элементы групп 1, 2, 3, 4, 5, 6 таблицы Менделеева, O, C, Si, P, галогены	Оксиды, силикаты, солеобразные минералы, морские отложения, морская вода, соленые воды

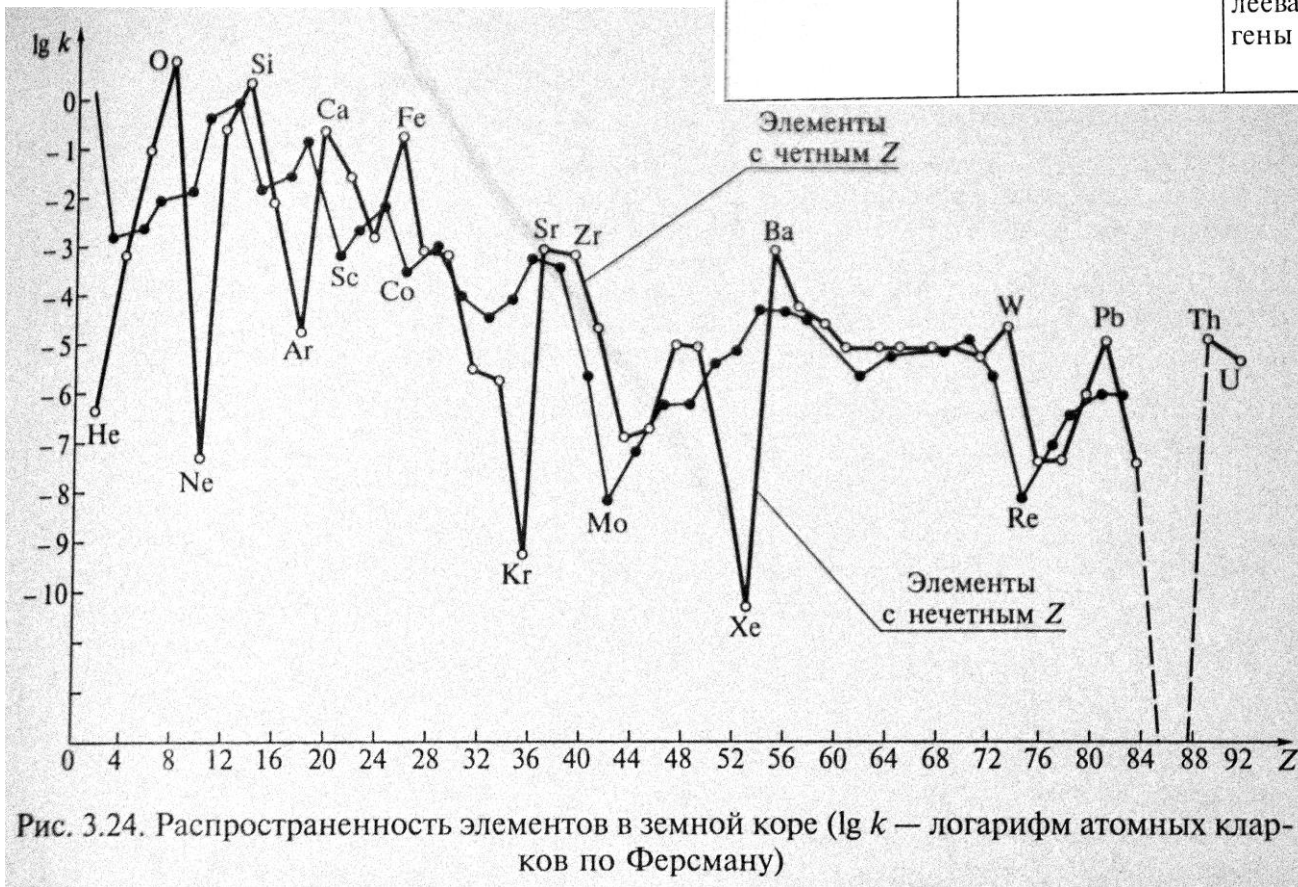


































































Рис. 3.24. Распространенность элементов в земной коре ( $\lg k$  — логарифм атомных кларков по Ферсману)

# Простые вещества, как они есть

## The Elements

 1 H Hydrogen																	 2 He Helium						
 3 Li Lithium	 4 Be Beryllium																	 5 B Boron	 6 C Carbon	 7 N Nitrogen	 8 O Oxygen	 9 F Fluorine	 10 Ne Neon
 11 Na Sodium	 12 Mg Magnesium																	 13 Al Aluminum	 14 Si Silicon	 15 P Phosphorus	 16 S Sulfur	 17 Cl Chlorine	 18 Ar Argon
 19 K Potassium	 20 Ca Calcium	 21 Sc Scandium	 22 Ti Titanium	 23 V Vanadium	 24 Cr Chromium	 25 Mn Manganese	 26 Fe Iron	 27 Co Cobalt	 28 Ni Nickel	 29 Cu Copper	 30 Zn Zinc	 31 Ga Gallium	 32 Ge Germanium	 33 As Arsenic	 34 Se Selenium	 35 Br Bromine	 36 Kr Krypton						
 37 Rb Rubidium	 38 Sr Strontium	 39 Y Yttrium	 40 Zr Zirconium	 41 Nb Niobium	 42 Mo Molybdenum	 43 Tc Technetium	 44 Ru Ruthenium	 45 Rh Rhodium	 46 Pd Palladium	 47 Ag Silver	 48 Cd Cadmium	 49 In Indium	 50 Sn Tin	 51 Sb Antimony	 52 Te Tellurium	 53 I Iodine	 54 Xe Xenon						
 55 Cs Cesium	 56 Ba Barium	 72 Hf Hafnium	 73 Ta Tantalum	 74 W Tungsten	 75 Re Rhenium	 76 Os Osmium	 77 Ir Iridium	 78 Pt Platinum	 79 Au Gold	 80 Hg Mercury	 81 Tl Thallium	 82 Pb Lead	 83 Bi Bismuth	 84 Po Polonium	 85 At Astatine	 86 Rn Radon							
 87 Fr Francium	 88 Ra Radium	 104 Rf Rutherfordium	 105 Db Dubnium	 106 Sg Seaborgium	 107 Bh Bohrium	 108 Hs Hassium	 109 Mt Meitnerium	 110 Ds Darmstadtium	 111 Rg Roentgenium	 112 Uub Ununbium	 113 Uut Ununtrium	 114 Uuq Ununquadium	 115 Uup Ununpentium	 116 Uuh Ununhexium	 117 Uus Ununseptium	 118 Uuo Ununoctium							
		 57 La Lanthanum	 58 Ce Cerium	 59 Pr Praseodymium	 60 Nd Neodymium	 61 Pm Promethium	 62 Sm Samarium	 63 Eu Europium	 64 Gd Gadolinium	 65 Tb Terbium	 66 Dy Dysprosium	 67 Ho Holmium	 68 Er Erbium	 69 Tm Thulium	 70 Yb Ytterbium	 71 Lu Lutetium							
 89 Ac Actinium	 90 Th Thorium	 91 Pa Protactinium	 92 U Uranium	 93 Np Neptunium	 94 Pu Plutonium	 95 Am Americium	 96 Cm Curium	 97 Bk Berkelium	 98 Cf Californium	 99 Es Einsteinium	 100 Fm Fermium	 101 Md Mendelevium	 102 No Nobelium	 103 Lr Lawrencium									

Photographs show samples of the pure or nearly pure element except as follows: Fr, Ra, Th, Pa, and the actinide lanthanides. Elements containing multiple blocks of the element: Fr, Ra, Th, Pa, and the actinide lanthanides. Elements containing multiple blocks of the element: Th, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, and Lr. Elements containing multiple blocks of the element: Fr, Ra, Th, Pa, and the actinide lanthanides. Elements containing multiple blocks of the element: Fr, Ra, Th, Pa, and the actinide lanthanides.

Photo Copyright © 2000 Thomson W. All rights reserved.

Other sites of this poster: [periodictable.com](http://periodictable.com)  
[www.element-collection.com](http://www.element-collection.com)



# Водород – особый элемент

1    2                                    13   14   15   16   **17**   18

Простейшее  
электронное  
строение:  $1s^1$



Особое  
положение  
водорода в ПС

<b>H</b>								<b>(H)</b>	He
Li	Be			B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg			Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	<i>d</i> -block		Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr			In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba			Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra								

**1 группа:** ион  $H^+$  аналогичен катионам щелочных металлов – нет электронов на валентном уровне

**17 группа:** ион  $H^-$  аналогичен анионам галогенов – оболочка инертного газа

# Элементы-неметаллы

1	2		13	14	15	16	17	18
<b>H</b>							(H)	<b>He</b>
<b>Li</b>	<b>Be</b>		<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	<b>Ne</b>
<b>Na</b>	<b>Mg</b>		<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>	<b>Ar</b>
<b>K</b>	<b>Ca</b>	<i>d</i> -block	<b>Ga</b>	<b>Ge</b>	<b>As</b>	<b>Se</b>	<b>Br</b>	<b>Kr</b>
<b>Rb</b>	<b>Sr</b>		<b>In</b>	<b>Sn</b>	<b>Sb</b>	<b>Te</b>	<b>I</b>	<b>Xe</b>
<b>Cs</b>	<b>Ba</b>		<b>Tl</b>	<b>Pb</b>	<b>Bi</b>	<b>Po</b>	<b>At</b>	<b>Rn</b>
<b>Fr</b>	<b>Ra</b>							

Всего **25** элементов-  
неметаллов, из них **3**  
радиоактивны

1. Число валентных  $e^-$  :  
 $n=N-10$
2. Электроотрицательность  
увеличивается слева  
направо и снизу вверх
3. Основные  
положительные степени  
окисления  $n, n-2$
4. Основная отрицательная  
степень окисления  $-(8-n)$

- Молекулярные, слоистые или цепочечные структуры с малыми к.ч.
- Плохо проводят электрический ток
- Обладают малой эластичностью и большой хрупкостью
- Имеют высокие значения электроотрицательности, больше потенциалы ионизации
- Легко образуют анионы, реагируя с металлами
- Не выделяют водород из кислот
- Образуют ковалентные оксиды, обычно с кислотными свойствами
- Образуют молекулярные фториды
- Образуют молекулярные гидриды, обладающие восстановительными свойствами

# Благородные газы

**He** гелий (солнечный)

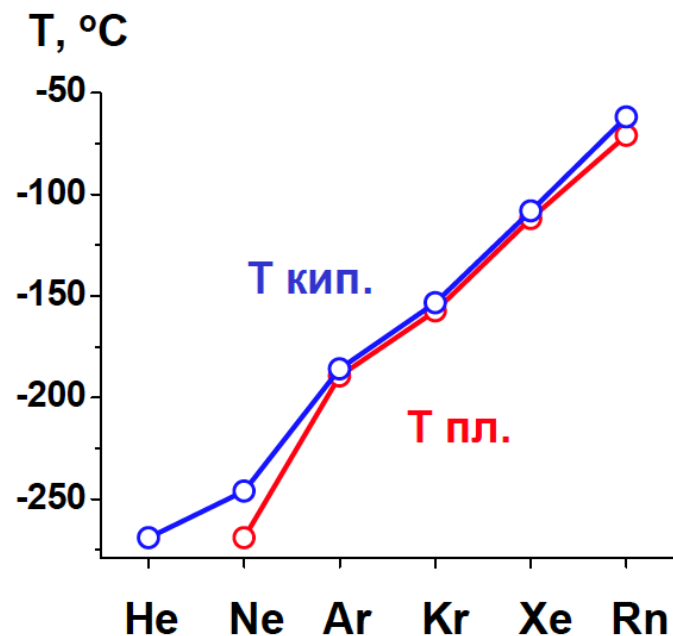
**Ne** неон (новый)

**Ar** аргон (недеятельный)

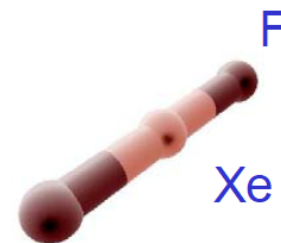
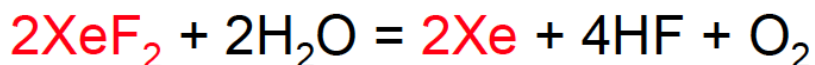
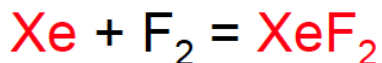
**Kr** криптон (скрытый)

**Xe** ксенон (чужой)

**Rn** радон (радиоактивный)

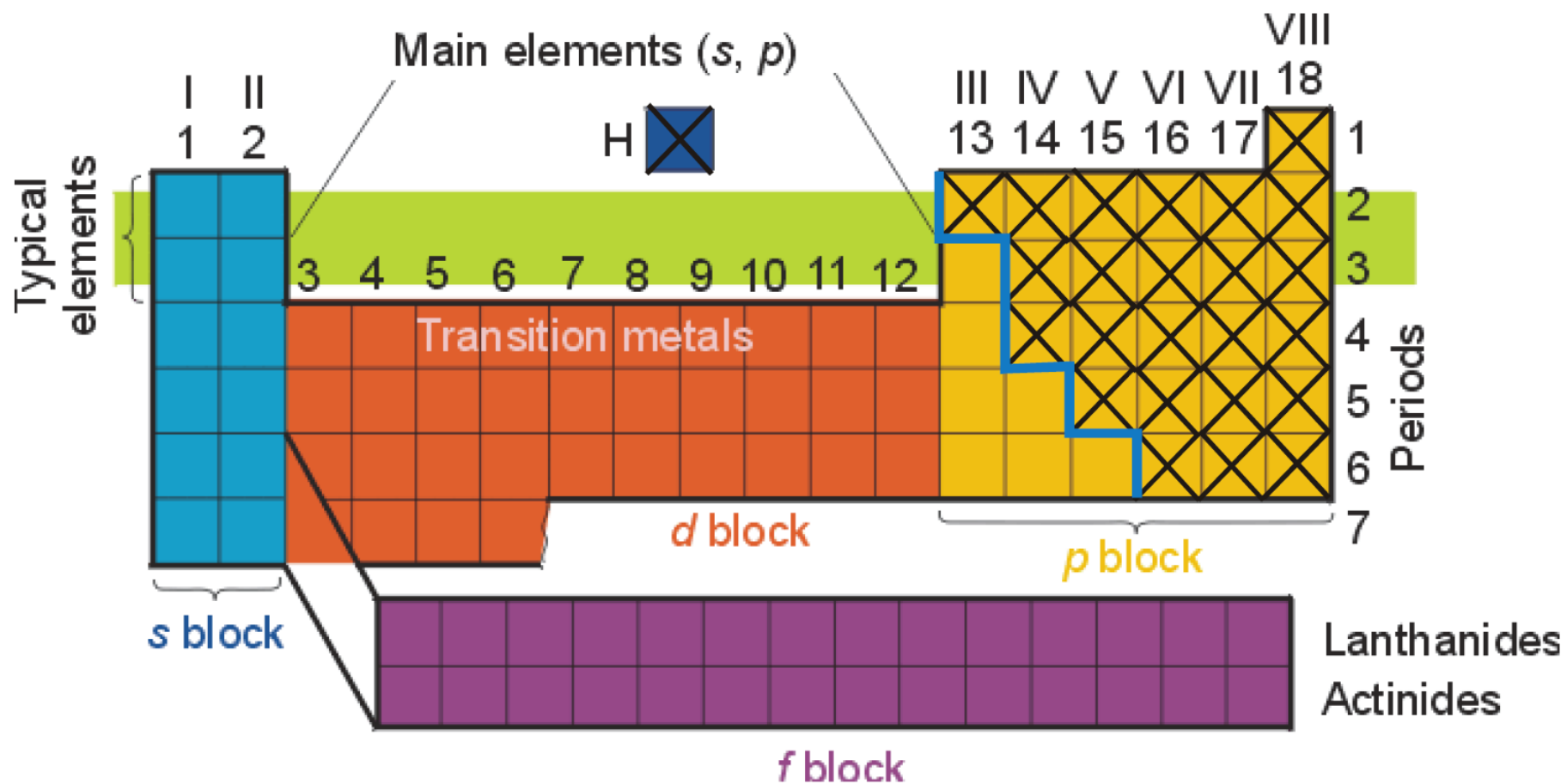


1. Имеют завершённые электронные оболочки
2. Очень не реакционноспособны
3. He, Ne, Ar не образуют химических соединений
4. Известны производные ксенона в с.о. +2, +4, +6, +8





# Элементы-металлы в ПС



# Щелочные и щелочноземельные металлы

	1	2		13	14	15	16	17	18
	H							(H)	He
s-металлы	Li	Be	d-block	B	C	N	O	F	Ne
	Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
	K	Ca		Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Fr	Ra							

Щелочные металлы

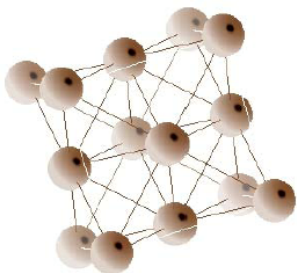
Щелочноземельные металлы

# p-Металлы

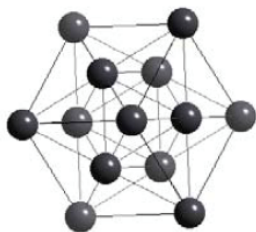
1	2		13	14	15	16	17	18
H			(H)					He
Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	d-block	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra							

p-металлы

Al



Pb



1. Электронные конфигурации, как у неметаллов – незавершенный *p*-подуровень
2. Легкоплавкие металлы
3. Малые значения  $I_1$
4. Устойчивы положительные степени окисления  $+n$  и  $+(n - 2)$
5. Вниз по подгруппе увеличивается стабильность с.о.  $+(n - 2)$
6. Химическая активность меньше, чем у *s*-металлов

# d-Металлы

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

1 ряд	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2 ряд	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
3 ряд	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg



+ лантаниды



триада железа



платиновые металлы



монетные металлы

*Изменение электронной конфигурации:*

от  $[\text{Ng}]ns^2(n-1)d^1$

до  $[\text{Ng}]ns^2(n-1)d^{10}$

# *f*-металлы

## 4*f*-металлы – лантаниды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Chapter 22 Opener

Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition

© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

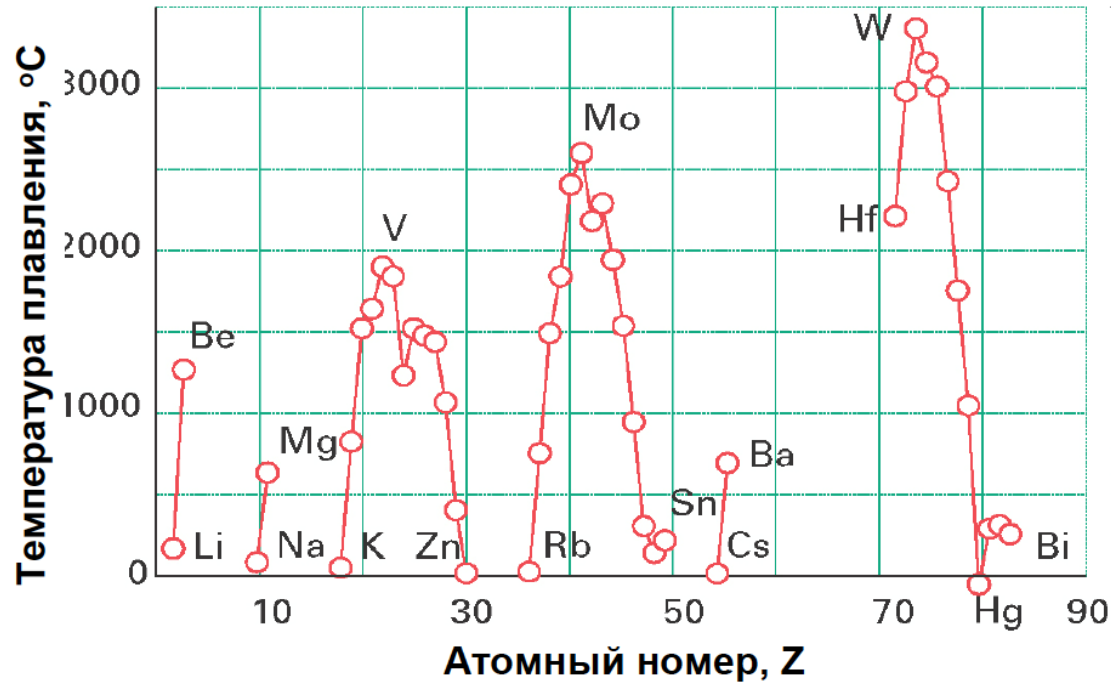
## 5*f*-металлы – актиниды



1. Заполняется *f*-подуровень  $n-2$  периода
2. Лантаниды: степени окисления +3 для всех элементов, а также  $\text{Ce}^{+4}$ ,  $\text{Eu}^{2+}$
3. Лантаниды: радиус уменьшается от La до Lu (*лантанидное сжатие*)
4. Актиниды: химически очень разнообразны, с.о. от +2 до +7
5. Все актиниды, а также Pm радиоактивны
6. Для всех *f*-элементов характерны высокие координационные числа

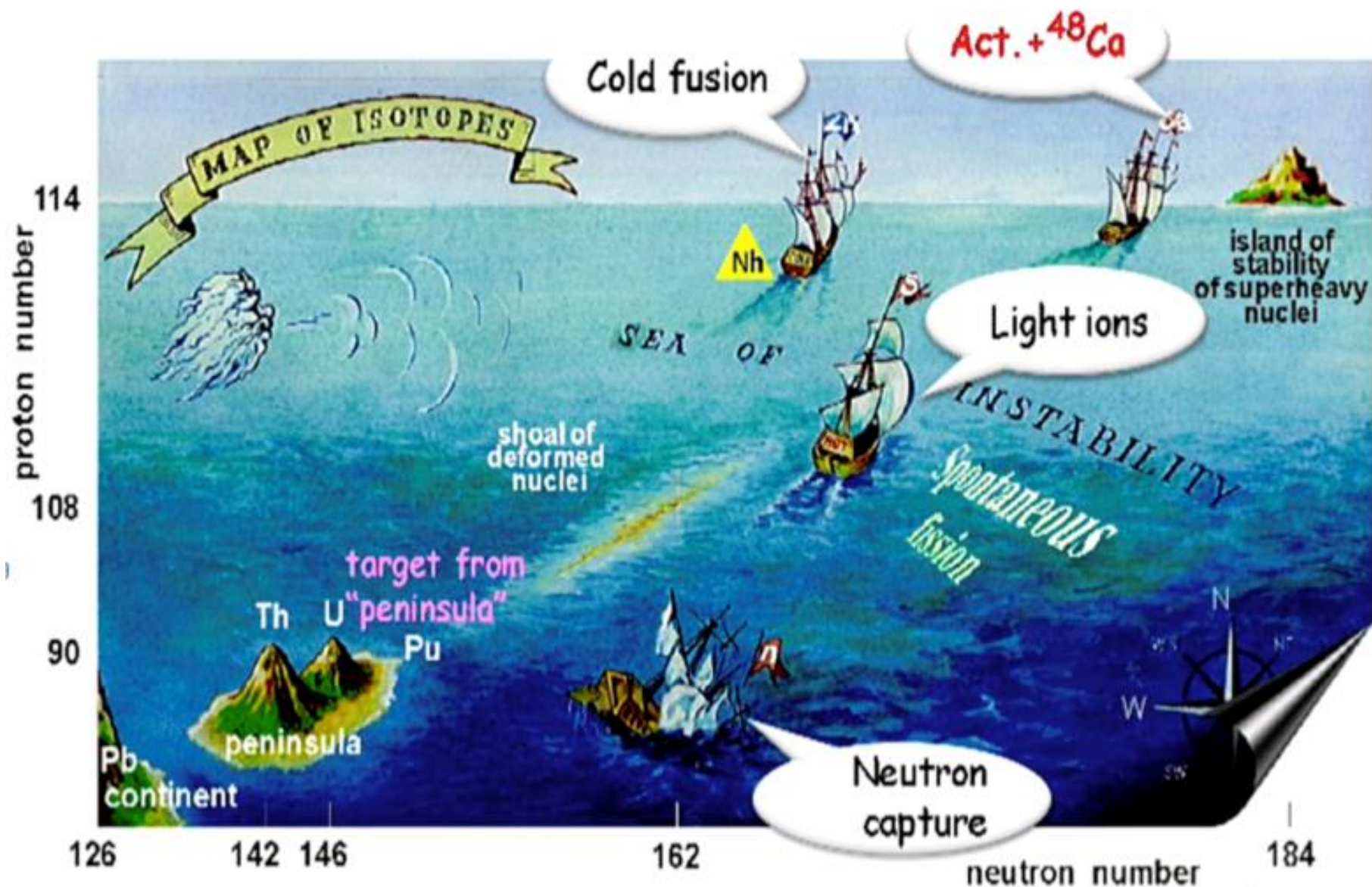
# Особенности элементов-металлов

1. Широкий диапазон твердости и пластичности
2. Широкий диапазон температур плавления



3. Различная реакционная способность
4. Различная электроотрицательность, но  $\chi \leq 2$ .
5. Различная удельная проводимость, но  $d\sigma/dT < 0$

# Reactions of synthesis



# Основное

1. Атом – химически неделимая (нейтральная) частица, из которых построены все известные простые и сложные вещества.
2. Наибольшее влияние на химические свойства элементов оказывает строение электронной оболочки атома.
3. Заряд атома является предопределяющим фактором, обуславливающим строение электронной оболочки.
4. Парадигма объяснения взаимодействия атомов за счет перекрывания орбиталей, отражающих распределение в пространстве электронов, характеризующихся четырьмя квантовыми числами (главным, орбитальным, магнитным, спиновым), является общепринятой в химии.
5. Квантовая теория строения атомов и закономерности формирования их электронных конфигураций по мере роста заряда ядра являются основой существования Периодического закона элементов Д.И.Менделеева.