

Ti — 50

Zr — 90

Hf — 178

V — 51

Nb — 94

Ta — 182

Cr — 52

Mo — 98

W — 186

Mn — 55

Ru — 101

Pt — 197,2

Fe — 56

Rh — 104

Ir — 195

Co — 59

Pd — 106

Os — 198

Ni — 58,7

Ag — 108

Hg — 200,6

# ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ХИМИИ

-12

Si — 28

18

-14

P — 31

32

Bi — 210

-16

S — 32

Se — 79,4

Tb — 138,9

-19

Cl — 35,5

Br — 80

I — 127

-23

K — 39

Rb — 85,4

Cs — 133

Tl — 204

Ca — 40

Sr — 87,6

Ba — 137

Pb — 207

Zn — 65

Cd — 112

?Er — 56

La — 54

?Yt — 60

Di — 86

U — 76,4

Th — 119

### Вторая половина XIX в. – период классической химии

Развивается атомно-молекулярная теория и учение о химических элементах; создаётся Периодический закон

Возникают две новых концептуальных системы химии – *структурная химия* и *учение о химическом процессе*

Формируется современная структура химии, её классические разделы

Бурно развиваются химическая технология, прикладная неорганическая химия и органический синтез

## ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Одна из важнейших проблем теоретической химии XIX в. после разрешения проблемы атомных весов – систематизация химических элементов, число которых постоянно росло.

| Период      | Открыто новых элементов | Число известных элементов |
|-------------|-------------------------|---------------------------|
| До 1701     |                         | 14                        |
| 1701 – 1800 | 20                      | 34                        |
| 1801 – 1850 | 25                      | 59                        |
| 1851 – 1900 | 24                      | 83                        |

## ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Поиски основы естественной классификации химических элементов и их систематизации начались задолго до открытия Д. И. Менделеевым Периодического закона



Трудности, с которыми сталкивались первые естествоиспытатели, которые работали в этой области, были вызваны недостаточностью экспериментальных данных: в начале XIX века число известных химических элементов было ещё слишком невелико, а принятые значения атомных масс многих элементов неточны

## Закон триад Дёберейнера

**1829**      *Иоганн Вольфганг  
Дёберейнер  
(1780-1849)*



Если расположить три сходных по химическим свойствам элемента в порядке возрастания их атомных весов, то атомный вес второго элемента будет равен среднему арифметическому атомных весов первого и третьего

|           |          |          |          |         |
|-----------|----------|----------|----------|---------|
| Cl – 35.5 | P – 31   | S – 32   | Ca – 41  | Li – 7  |
| Br – 80   | As – 75  | Se – 79  | Sr – 88  | Na – 23 |
| I – 125   | Sb – 122 | Te – 129 | Ba – 137 | K – 39  |

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Закон триад явно указывал на наличие взаимосвязи между атомной массой и свойствами элементов и их соединений

|    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H  |    |    |    |    |    |    | He |
| Li | Be | 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 |

Все

многочисленные дальнейшие попытки систематизации основывались на размещении элементов в порядке возрастания их атомных весов!

## Классификация Л. Гмелина

**1843** *Леопольд Гмелин*  
(1788-1853)



Показал, что взаимосвязь между свойствами элементов и их атомными массами значительно сложнее, нежели триады

Элементы составляют триады, тетрады и пентады

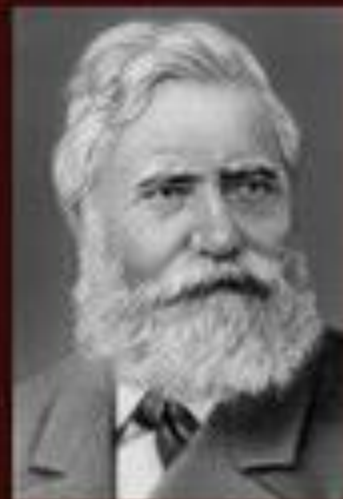
Электроотрицательность элементов в таблице плавно изменяется сверху вниз

|   |    |    |    |               |
|---|----|----|----|---------------|
| O |    | N  |    | H             |
| F | Cl | Br | J  | L Na K        |
| S | Se | Te |    | Mg Ca Sr Ba   |
| P | As | Sb |    | G Y Ce La     |
| C | B  | Si |    | Zr Th Al      |
|   | Ti | Ta | W  | Sn Cd Zn      |
|   | Mo | V  | Cr | U Mn Co Ni Fe |
|   |    | Bi | Pb | Ag Hg Cu      |
|   |    | Os | Ir | R Pt Pd Au    |

## ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Важный этап систематизации элементов – т.н. **«дифференциальные системы»**, направленные на выявление общих закономерностей в изменении атомного веса элементов

**1850** *Макс фон Петтенкофер (1818-1901)*



Попытался найти у элементов соотношения, подобные тем, что обнаруживаются в гомологических рядах органических соединений

Атомные веса некоторых элементов отличаются друг от друга на величину, кратную восьми



**1850** *Жан Батист Андре Дюма*  
(1800-1884)



Систематизация, аналогичная  
идеям Петтенкофера

**1859** *Адольф Штреккер*  
(1822-1871)

«Теория и практика  
определения атомных весов»

Детально разработал идею  
Ж.Б. Дюма и М. Петтенкофера



**1862** *Александр Эмиль  
Бегуйе де Шанкуртуа  
(1820-1886)*

**«Земная спираль»  
(*vis tellurique*)**



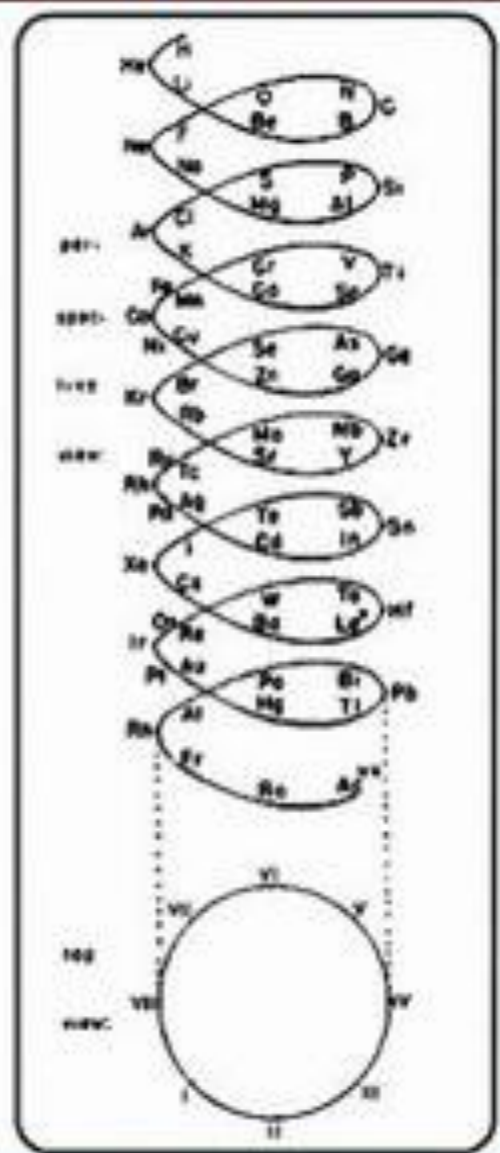
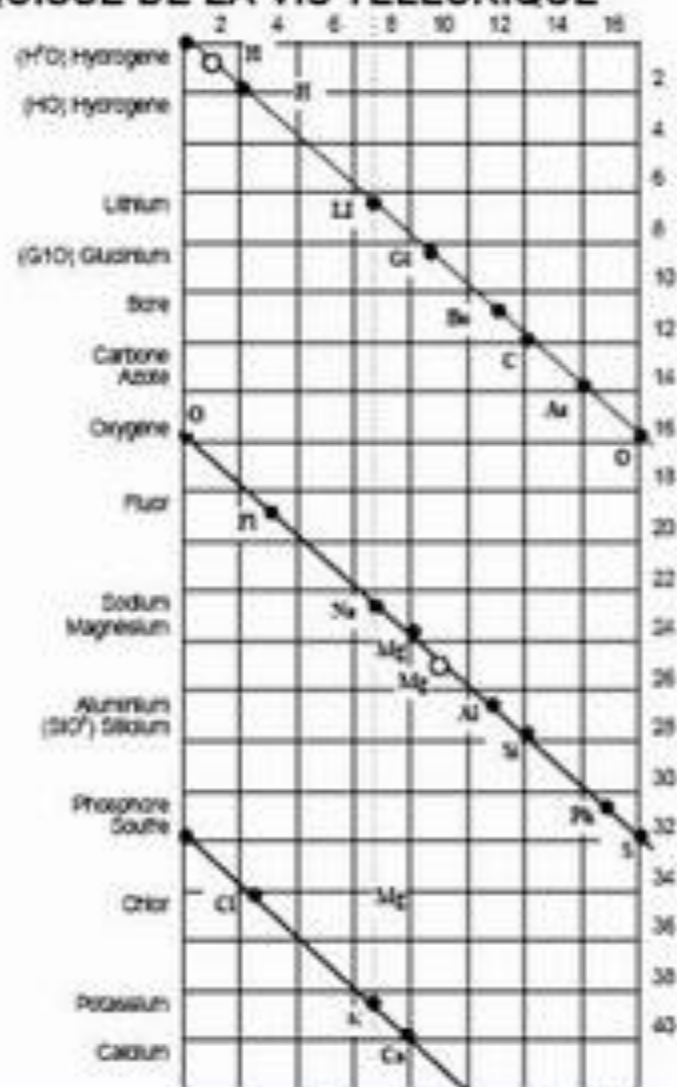
Расположил все известные элементы в порядке возрастания их атомных масс, и полученный ряд нанёс на поверхность цилиндра по линии, исходящей из его основания под углом  $45^\circ$  к плоскости основания

При развёртывании поверхности цилиндра оказывалось, что на вертикальных линиях, параллельных оси цилиндра, находились химические элементы со сходными свойствами

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

## «Земная спираль» де Шанкуртуа

### ESQUISSE DE LA VIS TELLURIQUE



**1864** *Джон Александр Рейна  
Ньюлендс  
(1837-1898)*



## «Закон октав»

Расположил все элементы в порядке возрастания их атомных масс, пронумеровал их и сопоставил номера со свойствами элементов

*«Разность в номерах наименьшего члена группы и следующего за ним равна семи; иначе говоря, восьмой элемент, начиная с данного элемента, является своего рода повторением первого, подобно восьмой ноте октавы в музыке...»*

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

## «Закон октав» Ньюлендса



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

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

1857-1868

Уильям Одлинг  
(1829-1921)

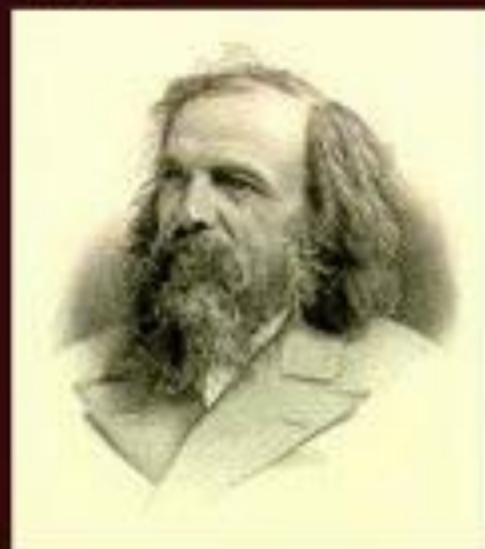


Систематизировал элементы,  
основываясь на их атомном весе и  
атомности (валентности)

| <i>Триплетные группы</i> |                                 |         |          |          |
|--------------------------|---------------------------------|---------|----------|----------|
| H 1                      |                                 |         | Mo 96    | W 184    |
|                          |                                 |         |          | Au 196.5 |
|                          |                                 |         | Pd 106.5 | Pt 197   |
| Li 7                     | Na 23                           | -       | Ag 108   |          |
| G 9                      | Mg 24                           | Zn 65   | Cd 112   | Hg 200   |
| B 11                     | Al 27.5                         | -       | -        | Tl 203   |
| C 12                     | Si 28                           | -       | Sn 118   | Pb 207   |
| N 14                     | P 31                            | As 75   | Sb 122   | Bi 210   |
| O 16                     | S 32                            | Se 79.5 | Te 129   |          |
| F 19                     | Cl 35                           | Br 80   | I 127    |          |
|                          | K 39                            | Rb 85   | Cs 133   |          |
|                          | Ca 40                           | Sr 87.5 | Ba 137   |          |
|                          | Ti 40                           | Zr 89.5 | -        | Th 231   |
|                          | Cr 52.5                         |         | V 138    |          |
|                          | Mn 55 и др.<br>(Fe, Ni, Co, Cu) |         |          |          |

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

1869 *Дмитрий Иванович Менделеев*  
(1834-1907)



«Периодический закон»

|        |          |            |           |            |            |
|--------|----------|------------|-----------|------------|------------|
|        |          |            | 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   | Pd — 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   | J — 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? |            |            |

## Основные положения закона:

- Элементы, расположенные по возрастанию их атомного веса, представляют явственную *периодичность* свойств;
- Сходные по свойствам элементы имеют или близкие атомные веса (Os, Ir, Pt), или последовательно и однообразно увеличивающиеся (K, Rb, Cs);
- Сопоставление элементов или их групп по величине атомного веса отвечает их т.н. валентности;
- Элементы с малыми атомными весами имеют наиболее резко выраженные свойства, поэтому они являются *типическими* элементами;
- Величина атомного веса элемента может быть иногда исправлена, если знать аналоги данного элемента;
- Следует ожидать открытия ещё многих неизвестных элементов, например, сходных с Al или Si, с паем (атомной массой) 65-75.



## Д. И. Менделеев

*«Естественная система элементов и применение её к указанию свойств неоткрытых элементов» (1870)*

Предсказал свойства неоткрытых ещё элементов – аналогов бора, алюминия и кремния (экабора, экаалюминия и экасилиция)

*«Периодическая законность химических элементов» (1871)*

Формулировка Периодического закона: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел стоят в периодической зависимости от атомного веса»

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

В 1871 г. Менделеев предлагает новый вариант периодической таблицы:

| Reihen | Gruppe I.<br>R <sup>+</sup> O | Gruppe II.<br>R <sup>+</sup> O | Gruppe III.<br>R <sup>+</sup> O <sup>3</sup> | Gruppe IV.<br>RH <sup>4</sup><br>RO <sup>2</sup> | Gruppe V.<br>RH <sup>3</sup><br>R <sup>+</sup> O <sup>5</sup> | Gruppe VI.<br>RH <sup>2</sup><br>RO <sup>3</sup> | Gruppe VII.<br>RH<br>R <sup>+</sup> O <sup>7</sup> | Gruppe VIII.<br>RO <sup>6</sup>   |
|--------|-------------------------------|--------------------------------|--|--|---|--|--|-----------------------------------|
| 1      | H=1                           |                                |  |  |   |  |  |                                   |
| 2      | Li=7                          | Be=9,4                         | B=11   | C=12   | N=14  | O=16   | F=19   |                                   |
| 3      | Na=23                         | Mg=24                          | Al=27,3                                      | Si=28  | P=31  | S=32   | Cl=35,5  |                                   |
| 4      | K=39                          | Ca=40                          | —=44   | Ti=48  | V=51  | Cr=52  | Mn=55  | Fe=56, Co=59,<br>Ni=59, Cu=63     |
| 5      | (Cu=63)                       | Zn=65                          | —=68   | —=72   | As=75   | Se=78  | Br=80  |                                   |
| 6      | Rb=85                         | Sr=87                          | ?Yt=88                                       | Zr=90  | Nb=94   | Mo=96  | —=100  | Ru=104, Rh=104,<br>Pd=106, Ag=108 |
| 7      | (Ag=108)                      | Cd=112                         | In=113                                       | Sn=118   | Sb=122  | Te=125   | J=127  |                                   |
| 8      | Cs=133                        | Ba=137                         | ?Di=138                                      | ?Ce=140  | —   | —  | —  | — — — —                           |
| 9      | (—)                           | —                              | —  | —  | —   | —  | —  |                                   |
| 10     | —                             | —                              | ?Er=178                                      | ?La=180  | Ta=182  | W=184  | —  | Os=195, Ir=197,<br>Pt=198, Au=199 |
| 11     | (Au=199)                      | Hg=200                         | Tl=204                                       | Pb=207   | Bi=208  | —  | —  |                                   |
| 12     | —                             | —                              | —  | Th=231   | —   | U=240  | —  | — — — —                           |

## Вопрос о приоритете

### «Таблица Менделеева – Мейера»?

Лондонское королевское общество в 1882 г. присудило золотые медали имени Дэви совместно Д. И. Менделееву и Л. Мейеру с формулировкой «за открытие периодических соотношений атомных весов»



В 1887 г. медаль Дэви получил и Дж. Ньюлендс «за открытие периодического закона химических элементов»

## ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Менделеев на основании предположения, что *атомная масса предопределяет свойства элемента*, решился изменить принятые атомные веса некоторых элементов и подробно описать свойства неоткрытых ещё элементов

*«Ни де Шанкуртуа, которому французы приписывают право на открытие периодического закона, ни Ньюлендс, которого выставляют англичане, ни Л. Мейер, которого цитировали иные как основателя периодического закона, не рисковали предугадывать свойства неоткрытых элементов, изменять принятые веса атомов и вообще считать периодический закон новым, строго поставленным законом природы, могущим охватывать ещё доселе необобщённые факты, как это сделано мною с самого начала...»*

## Развитие периодического закона

Формулировка Менделеевым периодического закона и построение периодической таблицы – лишь начало развития учения о периодичности свойств элементов

В 1869 г. таблица Менделеева – лишь одна из множества существующих систем элементов!

В развитии периодического закона принято выделять два этапа – *химический* и *физический*

Химический этап развития периодического закона начался с открытия предсказанных элементов

**1875** *Поль Эмиль  
Лекок де Буабодран  
(1838-1912)*



**Экаалюминий = Галлий**

**1879** *Ларс Фредерик  
Нильсон  
(1840-1899)*



**Экабор = Скандий**

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

**1886 Клеменс Александр  
Винклер  
(1838-1904)**



Экасилиций = Германий

|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|----|---|---|----|--|--|--|--|--|
| II |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
| Li | Be |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | B  | C  | N | O | F  |  |  |  |  |  |
| Na | Mg |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Al | Si | P | S | Cl |  |  |  |  |  |
| K  | Ca |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
| Rb | Sr |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
| Cs | Ba | ?? | Ce |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    | Th | U |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |
|    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |    |   |   |    |  |  |  |  |  |

Экамарганец = Технеций

Тримарганец = Рений

Двигеллур = Полоний

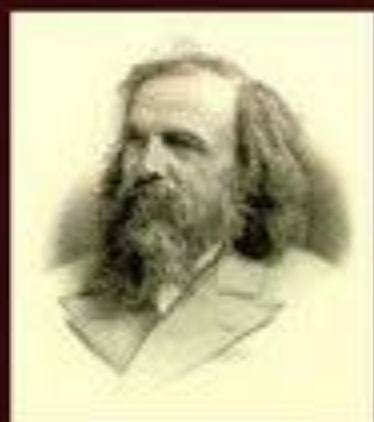
Двицезий = Франций

Экатантал = Протактиний

Модернизация периодической  
таблицы

1900

*Дмитрий Иванович  
Менделеев  
(1834-1907)*



*Уильям Рамзай  
(1852-1916)*



Нулевая группа  
химических элементов

Инертный газ – элемент,  
переходный между галогенами и  
щелочными металлами





**1902** *Богуслав Браунер*  
(1855-1935)



РЗЭ составляют особую группу периодической системы

57

La

*«Подобно тому, как в Солнечной системе целая группа астероидов занимает полосу на месте пути, по которому должна бы двигаться одна планета, так точно целая группа элементов редких земель могла бы занять в системе одно место...»*

Шестой период таблицы должен быть длиннее, чем четвёртый и пятый, которые в свою очередь длиннее, чем второй и третий периоды

В коротком варианте периодической таблицы все РЗЭ – в одной клетке четвёртой группы

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Модернизация периодической системы в начале XX века в основном завершила химический этап её развития

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| H  |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    |    |    | He |
| Li | Be |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| Na | Mg |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| K  | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni  | Cu  | Zn  | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd  | Ag  | Cd  | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt  | Au  | Hg  | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Uun | Uuu | Uub |    |    |    |    |    |    |
|    |    | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb  | Dy  | Ho  | Er | Tm | Yb | Lu |    |    |
|    |    | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk  | Cf  | Es  | Fm | Md | No | Lr |    |    |

Химики создали периодическую систему элементов, смогли предсказать свойства новых элементов, открыли эти элементы

Однако химия в принципе не может объяснить причину периодичности свойств элементов и их соединений!

***Благодарю за  
внимание ^ \_ ^***