



Курс лекций

# ОБЩАЯ ГЕОХИМИЯ

## Лекция № 2:

Периодический закон Менделеева;

Строение электронных оболочек;

Природа периодичности;

Химические и физические свойства элементов;

Геохимические классификации элементов.

# Периодический закон Менделеева

**Д.И.Менделеев** создал классификацию химических элементов на основе их атомных весов и химических свойств. Им было обнаружено, что **свойства химических элементов периодически изменяются в зависимости от их массы.**

Он представил классификацию в виде таблицы, где элементы собраны в ряды (периоды) таким образом, что **элементы каждой колонки (группы) характеризуются сходными химическими свойствами.**

## ]

|             |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| *           | 57                 | 58                 | 59                 | 60                 | 61                 | 62                 | 63                 | 64                 | 65                 | 66                 | 67                 | 68                 | 69                 | 70                 | 71                 |
| Lanthanides | <a href="#">La</a> | <a href="#">Ce</a> | <a href="#">Pr</a> | <a href="#">Nd</a> | <a href="#">Pm</a> | <a href="#">Sm</a> | <a href="#">Eu</a> | <a href="#">Gd</a> | <a href="#">Tb</a> | <a href="#">Dy</a> | <a href="#">Ho</a> | <a href="#">Er</a> | <a href="#">Tm</a> | <a href="#">Yb</a> | <a href="#">Lu</a> |

- Химические свойства элементов повторяются при переходе от одного периода к другому, иными словами они изменяются периодически.**

Что бы выявить как поведут себя элементы в природных средах  
необходимо выявить причины периодичности

**[ В изменении каких параметров  
проявлена периодичность. ]**

Согласно периодическому закону **свойства элементов изменяются в зависимости от атомного номера элемента. Их периодичность вызвана изменением химических и физических свойств элементов.**

### **Химические свойства:**

- ☐ Валентность;
- ☐ Способность вступать в химические соединения;
- ☐ Способность образовывать комплексные ионы;
- ☐ Способность образовывать молекулы и др.

# Физические свойства элементов

Периодичность обнаруживают и **физические свойства элементов:**

- ❑ оптические спектры;
- ❑ потенциалы ионизации;
- ❑ радиусы атомов и ионов;
- ❑ атомные объемы;
- ❑ окраска ионов;
- ❑ температура плавления;
- ❑ удельные веса.

# Геохимические свойства элементов

Физические и химические свойства атомов контролируют их поведение в природных системах и рассматриваются в качестве **геохимических свойств химического элемента**.

Остается выяснить, какие характеристики атома ответственны за геохимические свойства элементов?

«...Современная геохимия учит, что распространенность химических элементов, т.е. их относительные количества в Земле и Космосе, определяется устойчивостью ядер их атомов, **химические же свойства и миграция находятся в тесной связи с характером внешних электронных орбит атомов...**».

А.А. Сауков

# [ Цель лекции ]

---

Что бы понять природу изменения геохимических свойств элементов **необходимо изучить строение электронных оболочек атомов химических элементов.**

# Строение электронных оболочек

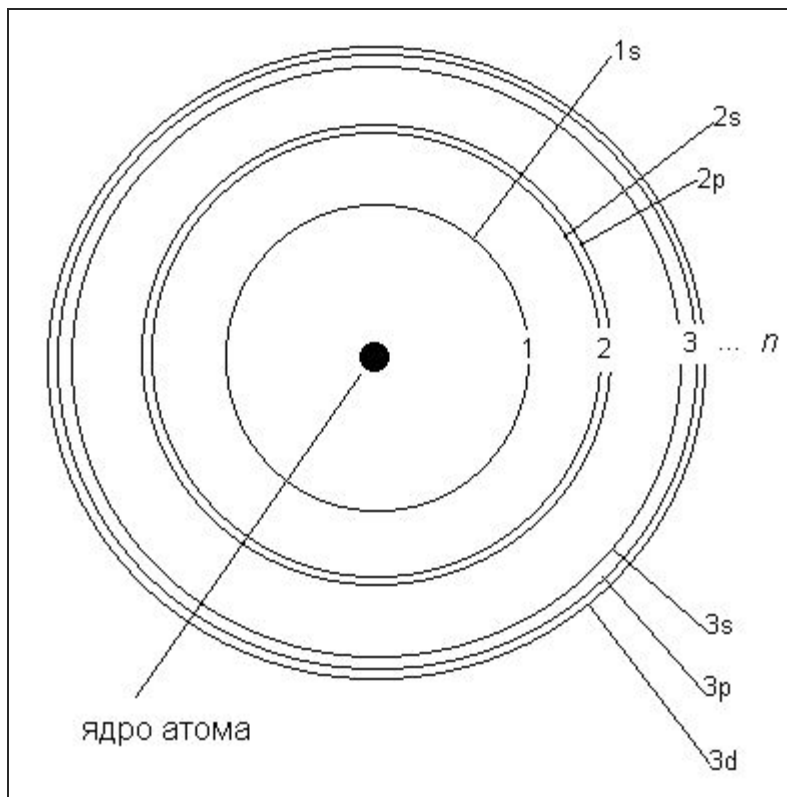
Положительный заряд ядра в нейтральном атоме (число протонов) уравнивается вращающимися вокруг ядра отрицательно заряженными электронами.

В соответствии с теорией Н.Бора, **электроны вокруг ядра располагаются на определенных низкоэнергетических орбитах, или оболочках.**

В пределах этих оболочек электроны располагаются на различных **субоболочках**. Электроны на субоболочках не идентичны по свойствам и принадлежат различным орбиталям.

В волновой модели Шредингера орбиталь - это пространство около ядра, в котором можно обнаружить заселивший ее электрон с **вероятностью 95%**.

# [ Квантовые числа ]



Квантовая теория описывает состояние электрона **четырьмя квантовыми числами**:

**n** — основное квантовое число, порядковый номер оболочки;

**l** — вспомогательное квантовое число (субоболочка в пределах оболочки);

**m** — магнитное квантовое число (орбиталь внутри субоболочки);

**s** — спиновое квантовое число (направление вращения электрона).

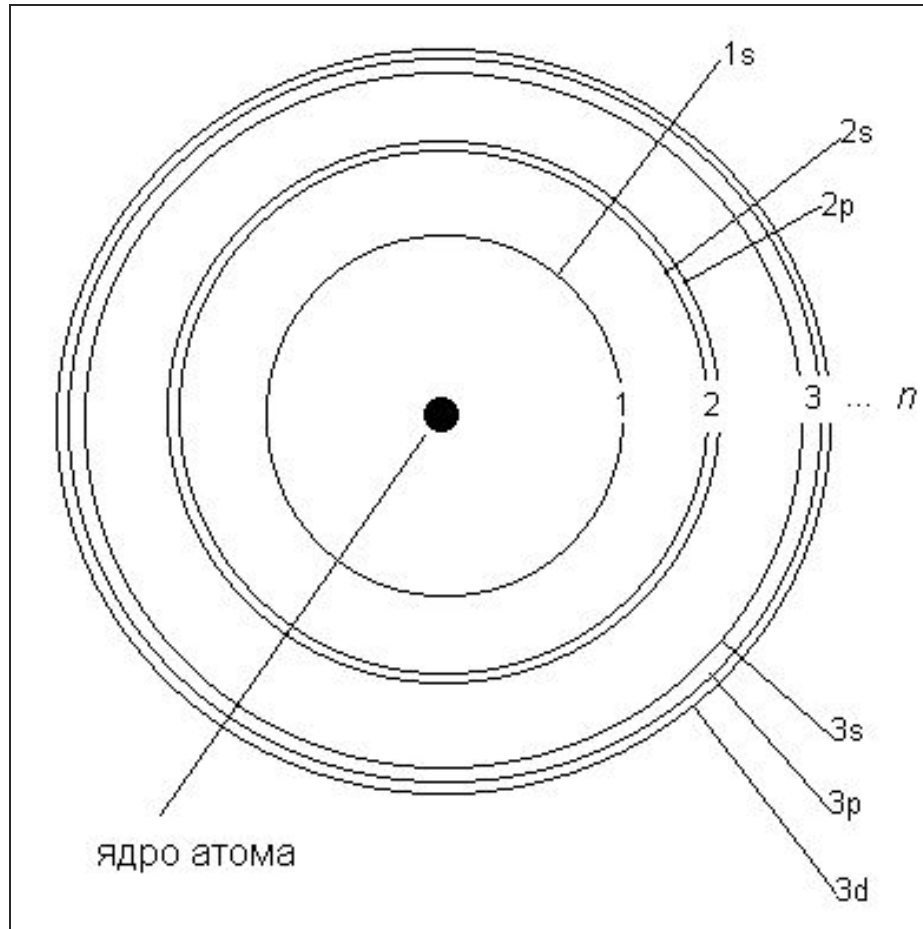
# Основные положения квантовой теории о строении электронных облаков

**Субоболочки** относящиеся к одному квантовому числу **характеризуются различными формами и энергиями.** Существует четыре возможных типа субоболочек обозначаемых s, p, d, f.

**Электрон** на этих субоболочках **может иметь круговую или эллиптическую орбиту.** Плоскость круговой или эллиптической орбиты имеет строго определенное положение в пространстве. **Магнитное число m** характеризует возможные варианты положения орбиты (орбитали). **Орбитали заполняются электронами в порядке возрастания энергии субоболочки.**

Спиновое квантовое число  $s$  определяет способ вращения электрона. **Орбиталь могут занимать не более двух электронов,** эти два электрона должны вращаться в противоположных направлениях.

# Субоболочки

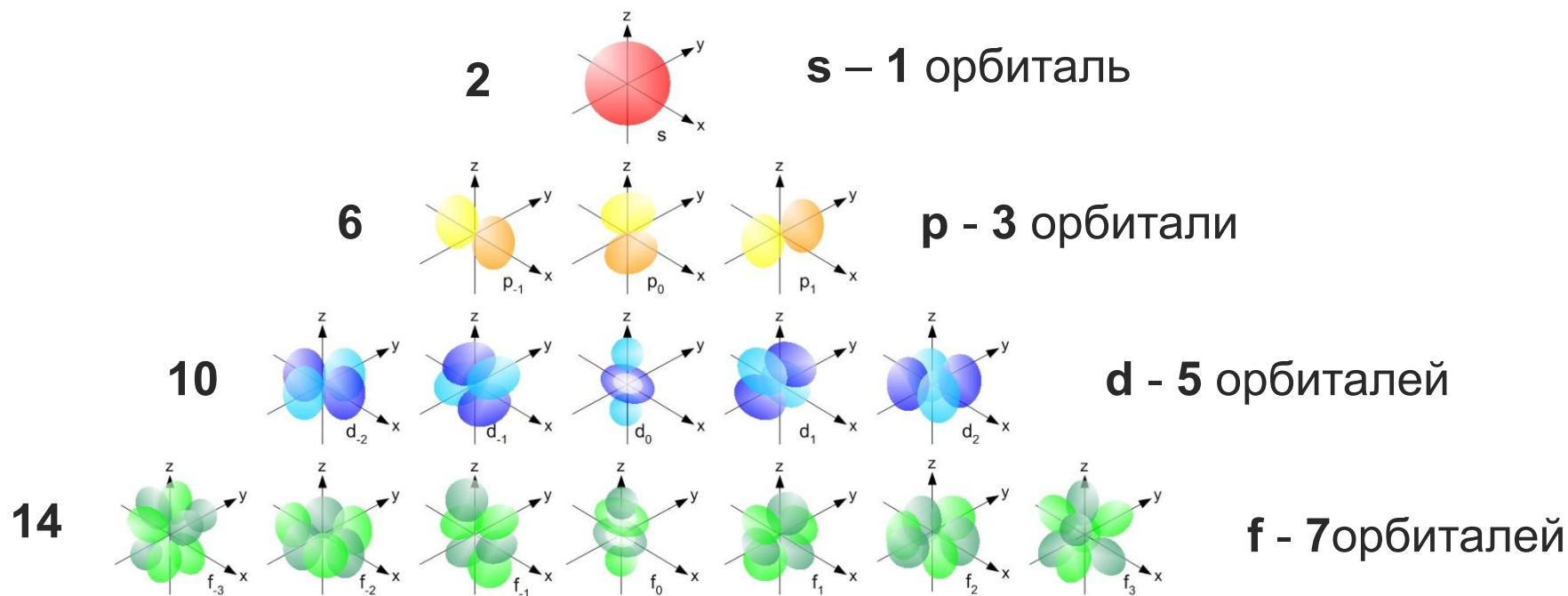


Существует четыре возможных типа субоболочек обозначаемых **s, p, d, f**.

Для характеристики электрона находящегося на субоболочке перед символом обозначающим ее тип ставится номер оболочки – главное квантовое число.

**1s; 2s; 2p; 3s; 3p; 3d; 4f**

# [ Орбитали ]



**Субоболочки** относящиеся к одному квантовому числу характеризуются различными формами и энергиями. Электрон на этих субоболочках может иметь круговую или эллиптическую орбиту. Плоскость круговой или эллиптической орбиты имеет строго определенное положение в пространстве.

# Параметры электронных оболочек

Максимально возможное число электронов на любой оболочке равно  $2n^2$ , где  $n$  – главное квантовое число (номер оболочки).

|       | <i>K</i> | <i>L</i> | <i>M</i> | <i>N</i> | <i>O</i> | <i>P</i> | <i>Q</i> |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $n =$ | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
| $c =$ | 2        | 8        | 18       | 32       | 50       | 72       | 98       |

Оболочки обозначаются арабскими цифрами (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) или буквами (K, L, M, N, O, P, Q) от ядра атома к периферии.

**Электроны разных субоболочек**, в порядке возрастания энергий подуровней называются **s-, p-, d-, f** – электронами.

# Порядок заполнения оболочек электронами

Каждый конкретный электрон определяется числом, соответствующим оболочке в которой он находится, буквой, обозначающей тип субоболочки, и нижним индексом который обозначает орбиталь.

$3p_x$  – электрон находится на третьей от ядра оболочке (M), на  $x$  орбитали субоболочки  $p$ .

**Число орбиталей в каждой последующей оболочке при удалении от ядра увеличивается.**

Оболочка K имеет только  $s$  – орбиталь, оболочка L имеет  $s$  – орбиталь и три  $p$  орбитали, оболочка M имеет  $s$  – орбиталь и три  $p$  орбитали, пять  $d$  орбиталей, оболочка N имеет  $s$  – орбиталь и три  $p$  орбитали, пять  $d$  орбиталей, семь  $f$  орбиталей.

# Периодичность геохимических свойств и параметры электронной оболочки

| П/Г              | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| K                | 1<br><u>H</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1<br><u>H</u>   | 2<br><u>He</u>  |
| L                | 3<br><u>Li</u>  | 4<br><u>Be</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5<br><u>B</u>   | 6<br><u>C</u>   | 7<br><u>N</u>   | 8<br><u>O</u>   | 9<br><u>F</u>   | 10<br><u>Ne</u> |
| M                | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u>  | 16<br><u>S</u>  | 17<br><u>Cl</u> | 18<br><u>Ar</u> |
| N                | 19<br><u>K</u>  | 20<br><u>Ca</u> | 21<br><u>Sc</u> | 22<br><u>Ti</u> | 23<br><u>V</u>  | 24<br><u>Cr</u> | 25<br><u>Mn</u> | 26<br><u>Fe</u> | 27<br><u>Co</u> | 28<br><u>Ni</u> | 29<br><u>Cu</u> | 30<br><u>Zn</u> | 31<br><u>Ga</u> | 32<br><u>Ge</u> | 33<br><u>As</u> | 34<br><u>Se</u> | 35<br><u>Br</u> | 36<br><u>Kr</u> |
| O                | 37<br><u>Rb</u> | 38<br><u>Sr</u> | 39<br><u>Y</u>  | 40<br><u>Zr</u> | 41<br><u>Nb</u> | 42<br><u>Mo</u> | 43<br><u>Tc</u> | 44<br><u>Ru</u> | 45<br><u>Rh</u> | 46<br><u>Pd</u> | 47<br><u>Ag</u> | 48<br><u>Cd</u> | 49<br><u>In</u> | 50<br><u>Sn</u> | 51<br><u>Sb</u> | 52<br><u>Te</u> | 53<br><u>I</u>  | 54<br><u>Xe</u> |
| P                | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br>Lan        | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| Q                | 87<br><u>Fr</u> | 88<br><u>Ra</u> | 89<br><u>Ac</u> | 90<br><u>Th</u> | 91<br><u>Pa</u> | 92<br><u>U</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| *<br>Lanthanides |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

1

|     |               |    |     |    |   |    |     |      |   |    |     |    |   |    |               |                |
|-----|---------------|----|-----|----|---|----|-----|------|---|----|-----|----|---|----|---------------|----------------|
| п/г | I             | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | I | II | III | IV | V | VI | VII           | VIII           |
| к   | 1<br><u>H</u> |    |     |    |   |    |     |      |   |    |     |    |   |    | 1<br><u>H</u> | 2<br><u>He</u> |

[illegible]

## 1

| Π/Γ | I               | II              | III | IV | V | VI | VII | VIII | I | II | III             | IV              | V              | VI             | VII             | VIII            |
|-----|-----------------|-----------------|-----|----|---|----|-----|------|---|----|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| M   | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> |     |    |   |    |     |      |   |    | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u> | 16<br><u>S</u> | 17<br><u>Cl</u> | 18<br><u>Ar</u> |

[illegible]

1

1

| Период | Элемент | Атомный номер | K  | L     | M        | N           | Q           | P        | Q  |
|--------|---------|---------------|----|-------|----------|-------------|-------------|----------|----|
|        |         |               | 1s | 2s 2p | 3s 3p 3d | 4s 4p 4d 4f | 5s 5p 5d 5f | 6s 6p 6d | 7s |
| 4      | K       | 19            | 2  | 2 6   | 2 6      | 1           |             |          |    |
|        | Ca      | 20            | 2  | 2 6   | 2 6      | 2           |             |          |    |
|        | Sc      | 21            | 2  | 2 6   | 2 6 1    | 2           |             |          |    |
|        | Ti      | 22            | 2  | 2 6   | 2 6 2    | 2           |             |          |    |
|        | V       | 23            | 2  | 2 6   | 2 6 3    | 2           |             |          |    |
|        | Cr      | 24            | 2  | 2 6   | 2 6 5    | 1           |             |          |    |
|        | Mn      | 25            | 2  | 2 6   | 2 6 5    | 2           |             |          |    |
|        | Fe      | 26            | 2  | 2 6   | 2 6 6    | 2           |             |          |    |
|        | Co      | 27            | 2  | 2 6   | 2 6 7    | 2           |             |          |    |
|        | Ni      | 28            | 2  | 2 6   | 2 6 8    | 2           |             |          |    |
|        | Cu      | 29            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 1           |             |          |    |
|        | Zn      | 30            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2           |             |          |    |
|        | Ga      | 31            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 1         |             |          |    |
|        | Ge      | 32            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 2         |             |          |    |
|        | As      | 33            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 3         |             |          |    |
|        | Se      | 34            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 4         |             |          |    |
|        | Br      | 35            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 5         |             |          |    |
|        | Kr      | 36            | 2  | 2 6   | 2 6 10   | 2 6         |             |          |    |

## ]

]

| Период | Элемент | Атомный номер | К  |    |    | L  |    |    | M  |    |    | N  |    |    |    | Q  |    |    |    | P  |  |  | Q |
|--------|---------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---|
|        |         |               | 1s | 2s | 2p | 3s | 3p | 3d | 4s | 4p | 4d | 4f | 5s | 5p | 5d | 5f | 6s | 6p | 6d | 7s |  |  |   |
| 5      | Rb      | 37            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  |    |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Sr      | 38            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Y       | 39            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 1  |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Zr      | 40            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 2  |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Nb      | 41            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 4  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Mo      | 42            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 5  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Tc      | 43            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 6  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Ru      | 44            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 7  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Rh      | 45            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 8  |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Pd      | 46            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Ag      | 47            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 1  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Cd      | 48            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | In      | 49            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 1  |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Sn      | 50            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 2  |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Sb      | 51            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 3  |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Te      | 52            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 4  |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
| I      | 53      | 2             | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 5  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |
| Xe     | 54      | 2             | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 6  |    |    |    |    |    |    |    |  |  |   |

# Лантаноиды

| п/г                     | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6                       | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br><u>Lan</u> | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| *<br><b>Lanthanides</b> |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

| Период | Элемент | Атомный номер | K  |    |    | L  |    |    | M  |    |    | N  |    |    |    | Q  |    |    |    | P  |  |  | Q |
|--------|---------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---|
|        |         |               | 1s | 2s | 2p | 3s | 3p | 3d | 4s | 4p | 4d | 4f | 5s | 5p | 5d | 5f | 6s | 6p | 6d | 7s |  |  |   |
| 6      | Cs      | 55            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 6  |    |    | 1  |    |    |    |  |  |   |
|        | Ba      | 56            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | La      | 57            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 6  | 1  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Ce      | 58            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 2  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Pr      | 59            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 3  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Nd      | 60            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 4  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Pm      | 61            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 5  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Sm      | 62            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 6  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Eu      | 63            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 7  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Gd      | 64            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 7  | 2  | 6  | 1  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Tb      | 65            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 9  | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Dy      | 66            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 10 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
| Ho     | 67      | 2             | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 11 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |    |  |  |   |

| п/г              | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6                | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br><u>Lan</u> | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| *<br>Lanthanides |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

| Период | Элемент | Атомный номер | K  |    |    | L  |    |    | M  |    |    | N  |    |    |    | Q  |    |    |    | P  |  |  | Q |
|--------|---------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---|
|        |         |               | 1s | 2s | 2p | 3s | 3p | 3d | 4s | 4p | 4d | 4f | 5s | 5p | 5d | 5f | 6s | 6p | 6d | 7s |  |  |   |
| 6      | Er      | 68            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 12 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Tm      | 69            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 13 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Yb      | 70            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  |    |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Lu      | 71            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 1  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Hf      | 72            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 2  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Ta      | 73            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 3  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | W       | 74            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 4  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Re      | 75            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 5  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Os      | 76            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 6  |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Ir      | 77            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 9  |    |    |    |    |    |  |  |   |
|        | Pt      | 78            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 9  |    | 1  |    |    |    |  |  |   |
|        | Au      | 79            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 1  |    |    |    |  |  |   |
|        | Hr      | 80            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  |    |    |    |  |  |   |
|        | Tl      | 81            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 1  |    |    |  |  |   |
|        | Pb      | 82            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 2  |    |    |  |  |   |
|        | Bi      | 83            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 3  |    |    |  |  |   |
|        | Po      | 84            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 4  |    |    |  |  |   |
|        | At      | 85            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 5  |    |    |  |  |   |
|        | Rn      | 86            | 2  | 2  | 6  | 2  | 6  | 10 | 2  | 6  | 10 | 14 | 2  | 6  | 10 |    | 2  | 6  |    |    |  |  |   |

# Внутренняя структура таблицы

| п/г              | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1                | 1<br><u>H</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1<br><u>H</u>   | 2<br><u>He</u>  |
| 2                | 3<br><u>Li</u>  | 4<br><u>Be</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 5<br><u>B</u>   | 6<br><u>C</u>   | 7<br><u>N</u>   | 8<br><u>O</u>   | 9<br><u>F</u>   | 10<br><u>Ne</u> |
| 3                | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u>  | 16<br><u>S</u>  | 17<br><u>Cl</u> | 18<br><u>Ar</u> |
| 4                | 19<br><u>K</u>  | 20<br><u>Ca</u> | 21<br><u>Sc</u> | 22<br><u>Ti</u> | 23<br><u>V</u>  | 24<br><u>Cr</u> | 25<br><u>Mn</u> | 26<br><u>Fe</u> | 27<br><u>Co</u> | 28<br><u>Ni</u> | 29<br><u>Cu</u> | 30<br><u>Zn</u> | 31<br><u>Ga</u> | 32<br><u>Ge</u> | 33<br><u>As</u> | 34<br><u>Se</u> | 35<br><u>Br</u> | 36<br><u>Kr</u> |
| 5                | 37<br><u>Rb</u> | 38<br><u>Sr</u> | 39<br><u>Y</u>  | 40<br><u>Zr</u> | 41<br><u>Nb</u> | 42<br><u>Mo</u> | 43<br><u>Tc</u> | 44<br><u>Ru</u> | 45<br><u>Rh</u> | 46<br><u>Pd</u> | 47<br><u>Ag</u> | 48<br><u>Cd</u> | 49<br><u>In</u> | 50<br><u>Sn</u> | 51<br><u>Sb</u> | 52<br><u>Te</u> | 53<br><u>I</u>  | 54<br><u>Xe</u> |
| 6                | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br>Lan        | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| 7                | 87<br><u>Fr</u> | 88<br><u>Ra</u> | 89<br><u>Ac</u> | 90<br><u>Th</u> | 91<br><u>Pa</u> | 92<br><u>U</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| *<br>Lanthanides |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

# [ Химическая связь ]

Периодическая таблица очень полезна геологам, так как позволяет предсказывать и лучше понимать поведение элементов в природе. Для иллюстрации этого тезиса рассмотрим несколько простых примеров.

## Образование ионов.

**Атомы стремятся к форме обладающей устойчивой расстановкой внешних электронов.** Наиболее устойчивое обнаруживается у инертных газов, имеющих восемь электронов на внешней оболочке. Все эти элементы характеризуются резким минимумом свободной энергии и поэтому химически *инертны*, т.е. не вступают в химические реакции.

# [ Ионы и ионная связь ]

Стараясь достичь наиболее выгодное энергетическое состояние атомы могут отдавать или присоединять **электроны**. При этом они стремятся принять структуру электронного облака свойственного благородным газам.

Химические элементы отдавшие или принявшие электроны называются ионами.

Химические элементы **потерявшие электроны** имеют положительный заряд и **называются катионами** ( $\text{Li}^{1+}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ;  $\text{Fe}^{2+}$ )

Химические элементы **принявшие электроны** имеют отрицательный заряд и **называются анионами** ( $\text{F}^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{I}^{-}$ ,  $\text{O}^{2-}$ ).

**Электроны участвующие в обменных реакциях называются валентными.**

# Потенциал ионизации и сродство к электрону

**Энергия, затрачиваемая на образование катиона (отрыв валентного электрона), называется потенциалом ионизации ( $I_n$ ,  $n$  – валентность атомов).**

**Энергия, приобретаемая атомом при присоединении электрона и переходе атома в анион, называется сродством к электрону ( $F$ ).**

**Атом любого элемента обладает энергией притяжения чужого электрона. Эта энергия получила название электроотрицательности ( $E = I_n/n + F$ ).**

**Чем выше разность электроотрицательностей атомов двух взаимодействующих элементов, тем сильнее тенденция перетягивания электронов элементом с высоким значением  $E$  у элемента с низкой  $E$ , и тем вероятнее образование между ними ионной связи.**



1

# Типы химической связи

Используя величины электроотрицательности мы можем предсказать тип химической связи между двумя элементами. **Элементы с большой разницей электроотрицательности образуют соединения с ионной связью.**

**Элементы с близкими электроотрицательностями** делят между собой электроны **образуя ковалентную связь.**

**Элементы с небольшой разницей в электроотрицательности образуют смешанный тип связи** (ковалентная и ионная), обычно создаваемую деформированными анионами, притягиваемыми катионами с высоким зарядом.

# Ионная связь

**Ионная связь возникает при полным переходом одного или нескольких электронов от катиона к аниону.**

*Электростатическое взаимное притяжение катиона и аниона определяет силу ионной молекулярной связи.*

Возникает между сильными восстановителями (щелочные, щелочноземельные элементы) и окислителями (кислород, галогены)

**Ионная связь** – наиболее распространенный вид химической связи в атмо- и гидросферах Земли и земной коре. Она характеризуется легкой диссоциацией ионов в расплавах, растворах и газах, благодаря чему обеспечивается широкая миграция химических элементов, их рассеяние и концентрирование в земных геосферах.

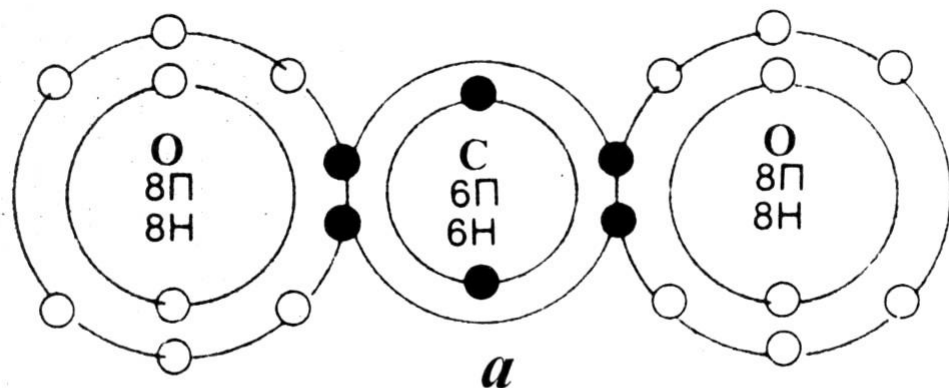
# Пример

Таблица электроотрицательностей Полинга [1]

|           |           |                  |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Li<br>1,0 | Be<br>1,5 | B<br>2,0         |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | C<br>2,5  | N<br>3,0  | O<br>3,5  | F<br>4,0  |
| Na<br>0,9 | Mg<br>1,2 | Al<br>1,5        |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | Si<br>1,8 | p<br>2,1  | S<br>2,5  | Cl<br>3,0 |
| K<br>0,8  | Ca<br>1,0 | Sc<br>1,3        | Ti<br>1,5 | V<br>1,6  | Cr<br>1,6 | Mn<br>1,5    | Fe<br>1,8 | Co<br>1,8 | Ni<br>1,8 | Cu<br>1,9 | Zn<br>1,6 | Ga<br>1,6 | Ge<br>1,8 | As<br>2,0 | Se<br>2,4 | Br<br>2,8 |
| Rb<br>0,8 | Sr<br>1,0 | Y<br>1,2         | Zr<br>1,4 | Nb<br>1,6 | Mo<br>1,8 | Tc<br>1,9    | Ru<br>2,2 | Rh<br>2,2 | Pd<br>2,2 | Ag<br>1,9 | Cd<br>1,7 | In<br>1,7 | Sn<br>1,8 | Sb<br>1,9 | Te<br>2,1 | I<br>2,5  |
| Cs<br>0,7 | Ba<br>0,9 | La-Lu<br>1,1—1,2 | Hf<br>1,3 | Ta<br>1,5 | W<br>1,7  | Re<br>1,9    | Os<br>2,2 | Ir<br>2,2 | Pt<br>2,2 | Au<br>2,4 | Hg<br>1,9 | Tl<br>1,8 | Pb<br>1,8 | Bi<br>1,9 | Po<br>2,0 | At<br>2,2 |
| Fr<br>0,7 | Ra<br>0,9 | Ac<br>1,1        | Th<br>1,3 | Pa<br>1,5 | U<br>1,7  | Np-No<br>1,3 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

Элементы с большой разницей электроотрицательности образуют соединения с ионной связью.

# Ковалентная (атомная) связь



$\text{CO}_2$  ( $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ )

Сульфиды

Газы ( $\text{H}-\text{H}$ ,  $\text{O}=\text{O}$ ,  $\text{N}\equiv\text{N}$ )

Неметаллы (C - алмаз)

Элементы с высокой валентностью

**Ковалентные химические соединения характеризуются слабой растворимостью**, низкими точками плавления. Следствием закрепления электронов в ковалентных связях является обычно их плохая проводимость.

# Пример

Таблица электроотрицательностей Полинга [1]

|           |           |                  |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Li<br>1,0 | Be<br>1,5 | B<br>2,0         |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | C<br>2,5  | N<br>3,0  | O<br>3,5  | F<br>4,0  |
| Na<br>0,9 | Mg<br>1,2 | Al<br>1,5        |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | Si<br>1,8 | p<br>2,1  | S<br>2,5  | Cl<br>3,0 |
| K<br>0,8  | Ca<br>1,0 | Sc<br>1,3        | Ti<br>1,5 | V<br>1,6  | Cr<br>1,6 | Mn<br>1,5    | Fe<br>1,8 | Co<br>1,8 | Ni<br>1,8 | Cu<br>1,9 | Zn<br>1,6 | Ga<br>1,6 | Ge<br>1,8 | As<br>2,0 | Se<br>2,4 | Br<br>2,8 |
| Rb<br>0,8 | Sr<br>1,0 | Y<br>1,2         | Zr<br>1,4 | Nb<br>1,6 | Mo<br>1,8 | Tc<br>1,9    | Ru<br>2,2 | Rh<br>2,2 | Pd<br>2,2 | Ag<br>1,9 | Cd<br>1,7 | In<br>1,7 | Sn<br>1,8 | Sb<br>1,9 | Te<br>2,1 | I<br>2,5  |
| Cs<br>0,7 | Ba<br>0,9 | La-Lu<br>1,1—1,2 | Hf<br>1,3 | Ta<br>1,5 | W<br>1,7  | Re<br>1,9    | Os<br>2,2 | Ir<br>2,2 | Pt<br>2,2 | Au<br>2,4 | Hg<br>1,9 | Tl<br>1,8 | Pb<br>1,8 | Bi<br>1,9 | Po<br>2,0 | At<br>2,2 |
| Fr<br>0,7 | Ra<br>0,9 | Ac<br>1,1        | Th<br>1,3 | Pa<br>1,5 | U<br>1,7  | Np-No<br>1,3 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

**Элементы с близкими электроотрицательностями делят между собой электроны образуя ковалентную связь.**

# Металлическая связь

Металлическая связь характеризует самородные (Cu, Fe, Ag, Au, Pt) и техногенные металлы (Al и многочисленные другие).

При металлической связи соседние атомы легко отдают свои электроны, но не способны к захвату чужих электронов.

В результате, положительно заряженные ионы в металлах оказываются в окружении свободных электронов, обладающих высокой подвижностью, чем обеспечивается электрическая нейтральность атома и высокая электропроводимость металлов. «Поскольку атомы металлов жестко не скреплены друг с другом, а удерживаются вместе за счет электронной «склейки», металлы легко поддаются обработке, и ...характеризуются как ковкие, гибкие »

# Пример

Таблица электроотрицательностей Полинга [1]

|           |           |                  |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |  |  |  |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| Li<br>1,0 | Be<br>1,5 | B<br>2,0         |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | C<br>2,5  | N<br>3,0  | O<br>3,5  | F<br>4,0  |  |  |  |
| Na<br>0,9 | Mg<br>1,2 | Al<br>1,5        |           |           |           |              |           |           |           |           |           |           | Si<br>1,8 | p<br>2,1  | S<br>2,5  | Cl<br>3,0 |  |  |  |
| K<br>0,8  | Ca<br>1,0 | Sc<br>1,3        | Ti<br>1,5 | V<br>1,6  | Cr<br>1,6 | Mn<br>1,5    | Fe<br>1,8 | Co<br>1,8 | Ni<br>1,8 | Cu<br>1,9 | Zn<br>1,6 | Ga<br>1,6 | Ge<br>1,8 | As<br>2,0 | Se<br>2,4 | Br<br>2,8 |  |  |  |
| Rb<br>0,8 | Sr<br>1,0 | Y<br>1,2         | Zr<br>1,4 | Nb<br>1,6 | Mo<br>1,8 | Tc<br>1,9    | Ru<br>2,2 | Rh<br>2,2 | Pd<br>2,2 | Ag<br>1,9 | Cd<br>1,7 | In<br>1,7 | Sn<br>1,8 | Sb<br>1,9 | Te<br>2,1 | I<br>2,5  |  |  |  |
| Cs<br>0,7 | Ba<br>0,9 | La-Lu<br>1,1—1,2 | Hf<br>1,3 | Ta<br>1,5 | W<br>1,7  | Re<br>1,9    | Os<br>2,2 | Ir<br>2,2 | Pt<br>2,2 | Au<br>2,4 | Hg<br>1,9 | Tl<br>1,8 | Pb<br>1,8 | Bi<br>1,9 | Po<br>2,0 | At<br>2,2 |  |  |  |
| Fr<br>0,7 | Ra<br>0,9 | Ac               | Th<br>1,3 | Pa<br>1,5 | U<br>1,7  | Np-No<br>1,3 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |  |  |  |

# Молекулярная связь

**Молекулярная (вандербальсова) связь** образуется между электрически нейтральными молекулами ( $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{SnF}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

**Молекулы** в молекулярных соединениях (решетках – лед воды, лед уголекислоты и т.п.) **связаны** лишь **слабыми электростатическими силами межмолекулярного притяжения Ван-Дер-Вальса**, поэтому **связь неустойчива**, и **при нагревании (воздействии внешней энергии) разрушается**.

Имеет большое значение для объяснения летучести, приводящей к потере системой подвижных компонентов.

# Поляризация

**Поляризация** – деформация ионов в результате взаимодействия их электрических полей. Под влиянием взаимного электрического поля крупные анионы ионных молекул деформируются, и их поперечное сечение становится не круговым, а эллиптическим.

Существует **активная** (катионы с большими зарядами и малыми радиусами:  $\text{S}^{6+}$ ;  $\text{N}^{5+}$ ;  $\text{C}^{4+}$ ;  $\text{Zr}^{4+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$ ) и **пассивная поляризация** (анионы с большими радиусами и малыми зарядами:  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{F}^{1-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Cl}^{1-}$ )

Катионы переходных периодов поляризуют значительно сильнее катионов нормальных периодов таблицы Менделеева ( $\text{Ag}^{1+} > \text{Na}^{1+}$ ;  $\text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ;  $\text{Cd}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ )

# Комплексные соединения

Деформация сопровождается стягиванием ионов и существенным уменьшением их размеров, в результате чего межионные связи усиливаются и прочность соединения возрастает.

Это приводит к образованию комплексных анионов:  $(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ,  $(\text{NO}_3)^{1-}$ ,  $(\text{BeO}_2)^{2-}$ ,  $(\text{BO}_3)^{3-}$ ,  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ ,  $(\text{AlO}_4)^{5-}$ ,  $(\text{MnO}_4)^{6-}$  и др., в которых небольшие высоковалентные катионы  $\text{S}^{6+}$ ,  $\text{C}^{4+}$ ,  $\text{N}^{5+}$  окружены крупными низковалентными анионами  $\text{O}^{2-}$ .

В результате сближения ионов прочность комплекса становится настолько большой, что он ведет себя как одно целое в жидких фазах и кристаллической решетке, выступая в форме определенной строительной единицы.

# Комплексные соединения

**Способность образовывать высоковалентными катионами устойчивые комплексные соединения имеет важное геохимическое значение, так как способствует миграции этих элементов в геологических процессах.**

Для образования комплексного соединения необходимо, что бы усилие валентных связей (заряд катиона/число анионов) внутри комплексного соединения должны быть больше, чем между анионами комплекса и внешними катионами.



# [ Радиусы ионов ]

Современная кристаллохимия исходит из шарообразной модели атомов и ионов. Радиусы ионов являются важными энергетическими показателями. В.М. Гольдшмидт их размеры считал универсальными величинами в геохимии.

**Главным фактором определяющим размер атомов любого элемента служит структура его электронной оболочки:**

- ❑ Чем больше электронных оболочек тем больше размер атома;
- ❑ Размеры анионов всегда больше размеров атома, размер катионов всегда меньше размеров атома;
- ❑ Чем больше заряд иона, тем меньше его радиус;
- ❑ Чем выше заряд ядра, тем сильнее сжатие электронной оболочки;
- ❑ В группах радиусы возрастают с верху в низ, в периодах с права на лево.

## 1

|                  |                  |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
|------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Li<br>$\oplus 1$ | Be<br>$\circ +2$ |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  | B<br>$\circ +3$  | C<br>$\circ +4$  | N<br>$\circ +5$  | O<br>$\oplus -2$ | F<br>$\oplus -1$  |
| Na<br>$\oplus 1$ | Mg<br>$\oplus 2$ |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  | Al<br>$\circ +3$ | Si<br>$\circ +4$ | P<br>$\circ +5$  | S<br>$\oplus -1$ | Cl<br>$\oplus -1$ |
| K<br>$\oplus 1$  | Ca<br>$\oplus 2$ | Sc<br>$\oplus 3$      | Ti<br>$\oplus 3$<br>$\oplus 4$ | V<br>$\oplus 3$<br>$\oplus 4$ | Cr<br>$\oplus 3$ | Mn<br>$\oplus 2$<br>$\oplus 3$ | Fe<br>$\oplus 2$<br>$\oplus 3$ | Co<br>$\oplus 2$ | Ni<br>$\oplus 2$ | Cu<br>$\oplus 2$ | Zn<br>$\oplus 2$ | Ga<br>$\circ +3$ | Ge<br>$\circ +4$ | As<br>$\circ +5$ | Se<br>$\circ +6$ | Br                |
| Rb<br>$\oplus 1$ | Sr<br>$\oplus 2$ | Y<br>$\oplus 3$       | Zr<br>$\oplus 4$               | Nb<br>$\oplus 5$              | Mo<br>$\oplus 6$ | Tc                             | Ru                             | Rh               | Pd               | Ag<br>$\oplus 1$ | Cd<br>$\oplus 2$ | In<br>$\oplus 3$ | Sn<br>$\oplus 4$ | Sb<br>$\oplus 5$ | Te               | I                 |
| Cs<br>$\oplus 1$ | Ba<br>$\oplus 2$ | La-Lu<br>$\downarrow$ | Hf<br>$\oplus 4$               | Ta<br>$\oplus 5$              | W<br>$\oplus 6$  | Re                             | Os                             | Ir               | Pt               | Au<br>$\oplus 3$ | Hg<br>$\oplus 2$ | Tl<br>$\oplus 3$ | Pb<br>$\oplus 2$ | Bi<br>$\oplus 3$ | Po               | At                |
|                  |                  | La<br>$\oplus 3$      | Ce<br>$\oplus 3$               | Pr<br>$\oplus 3$              | Nd<br>$\oplus 3$ | Pm<br>$\oplus 3$               | Sm<br>$\oplus 3$               | Eu<br>$\oplus 3$ | Gd<br>$\oplus 3$ | Tb<br>$\oplus 3$ | Dy<br>$\oplus 3$ | Ho<br>$\oplus 3$ | Er<br>$\oplus 3$ | Tm<br>$\oplus 3$ | Yb<br>$\oplus 3$ | Lu<br>$\oplus 3$  |
|                  |                  | Ac                    | Th<br>$\oplus 4$               | Pa                            | U<br>$\oplus 4$  | Np                             | Pu                             | Am               | Cm               | Bk               | Cf               | Es               | Fm               | Md               | No               | Lw                |

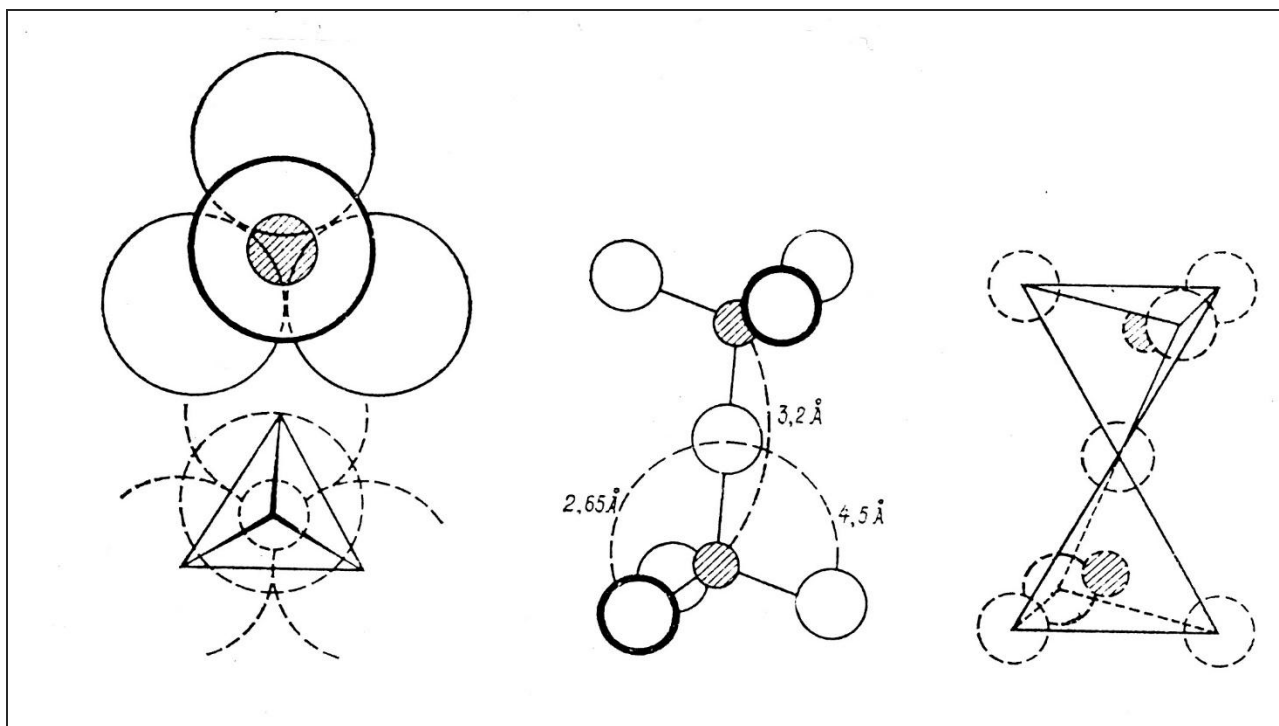
# Понятие о «позициях» ионов в кристаллических структурах

Большинство химических соединений представляют собой плотнейшую упаковку из крупных анионов и небольших катионов.

**Возможность вхождения какого-либо катиона в решетку химического соединения сложенной анионами зависит, прежде всего, от размера иона.**

**В кристаллических структурах существует ограниченное число позиций, которые может занять тот или иной элемент. Этот факт значительно влияет на подвижность химических элементов в различных природных средах,** так как влияет на возможность вхождения элемента в устойчивые соединения и препятствует (способствует) его миграции.

# Позиции катионов и координационное число



Количество соприкасающихся с атомом (ионом) одного элемента атомов (ионов) другого элемента называется **координационным числом** этого атома (иона).

# [ Координационное число ]

Численным выражением координационного числа является отношение  **$R_{\text{катион}} / R_{\text{анион}}$** .

**$R_k/R_a = 0 - 0,155$**  катион, может соприкасаться только с двумя анионами (структура ячейки кристаллической решетки – гантель).

**$R_k/R_a = 0,155 - 0,225$**  катион соприкасается с тремя анионами (структура ячейки – треугольник);

**$R_k/R_a = 0,225 - 0,415$**  – с четырьмя анионами (структура – тетраэдр);

**$R_k/R_a = 0,415 - 0,732$**  – с шестью анионами (структура – октаэдр);

**$R_k/R_a = 0,732 - <1,0$**  – с восемью анионами (структура – куб); и, наконец, при

**$R_k/R_a = 1,0$**  – с двенадцатью анионами (структура – кубооктаэдр).

# I

|                  |                  |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Li<br>$\oplus 1$ | Be<br>$\oplus 2$ |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  | B<br>$\oplus 3$  | C<br>$\oplus 4$  | N<br>$\oplus 5$  | O<br>$\oplus 6$  | F<br>$\oplus 7$  |
| Na<br>$\oplus 1$ | Mg<br>$\oplus 2$ |                       |                                |                               |                  |                                |                                |                  |                  |                  |                  | Al<br>$\oplus 3$ | Si<br>$\oplus 4$ | P<br>$\oplus 5$  | S<br>$\oplus 6$  | Cl<br>$\oplus 7$ |
| K<br>$\oplus 1$  | Ca<br>$\oplus 2$ | Sc<br>$\oplus 3$      | Ti<br>$\oplus 3$<br>$\oplus 4$ | V<br>$\oplus 3$<br>$\oplus 4$ | Cr<br>$\oplus 3$ | Mn<br>$\oplus 2$<br>$\oplus 3$ | Fe<br>$\oplus 2$<br>$\oplus 3$ | Co<br>$\oplus 2$ | Ni<br>$\oplus 2$ | Cu<br>$\oplus 2$ | Zn<br>$\oplus 2$ | Ga<br>$\oplus 3$ | Ge<br>$\oplus 4$ | As<br>$\oplus 5$ | Se<br>$\oplus 6$ | Br<br>$\oplus 7$ |
| Rb<br>$\oplus 1$ | Sr<br>$\oplus 2$ | Y<br>$\oplus 3$       | Zr<br>$\oplus 4$               | Nb<br>$\oplus 5$              | Mo<br>$\oplus 6$ | Tc                             | Ru                             | Rh               | Pd               | Ag<br>$\oplus 1$ | Cd<br>$\oplus 2$ | In<br>$\oplus 3$ | Sn<br>$\oplus 4$ | Sb<br>$\oplus 5$ | Te               | I                |
| Cs<br>$\oplus 1$ | Ba<br>$\oplus 2$ | La-Lu<br>$\downarrow$ | Hf<br>$\oplus 4$               | Ta<br>$\oplus 5$              | W<br>$\oplus 6$  | Re                             | Os                             | Ir               | Pt               | Au<br>$\oplus 3$ | Hg<br>$\oplus 2$ | Tl<br>$\oplus 3$ | Pb<br>$\oplus 2$ | Bi<br>$\oplus 3$ | Po               | At               |
|                  |                  | La<br>$\oplus 3$      | Ce<br>$\oplus 3$               | Pr<br>$\oplus 3$              | Nd<br>$\oplus 3$ | Pm<br>$\oplus 3$               | Sm<br>$\oplus 3$               | Eu<br>$\oplus 3$ | Gd<br>$\oplus 3$ | Tb<br>$\oplus 3$ | Dy<br>$\oplus 3$ | Ho<br>$\oplus 3$ | Er<br>$\oplus 3$ | Tm<br>$\oplus 3$ | Yb<br>$\oplus 3$ | Lu<br>$\oplus 3$ |
|                  |                  | Ac                    | Th<br>$\oplus 4$               | Pa                            | U<br>$\oplus 4$  | Np                             | Pu                             | Am               | Cm               | Bk               | Cf               | Es               | Fm               | Md               | No               | Lw               |

# Геохимические классификации элементов

Материалы приведенные в лекции показывают, что поведение химического элемента в химических процессах зависит от особенностей строения его электронной оболочки.

Используя таблицу Менделеева и большой объем накопленных знаний можно предсказать поведение химического элемента в какой – либо природной системе. Однако это является довольно трудной задачей и требует высокой квалификации исследователя.

Что бы упростить применение знаний о строении атомов химических элементов при анализе их поведения в природных процессах были созданы геохимические классификации элементов.

# Классификация Гольдшмидта

## Элементы:

- Литофильные
- Сидерофильные
- Халькофильные
- Атмофильные

| п/г              | I        | II       | III      | IV       | V        | VI       | VII      | VIII     |          |          | I        | II       | III      | IV       | V        | VI       | VII      | VIII     |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 1<br>H   | 2<br>He  |
| 2                | 3<br>Li  | 4<br>Be  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 5<br>B   | 6<br>C   | 7<br>N   | 8<br>O   | 9<br>F   | 10<br>Ne |
| 3                | 11<br>Na | 12<br>Mg |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 13<br>Al | 14<br>Si | 15<br>P  | 16<br>S  | 17<br>Cl | 18<br>Ar |
| 4                | 19<br>K  | 20<br>Ca | 21<br>Sc | 22<br>Ti | 23<br>V  | 24<br>Cr | 25<br>Mn | 26<br>Fe | 27<br>Co | 28<br>Ni | 29<br>Cu | 30<br>Zn | 31<br>Ga | 32<br>Ge | 33<br>As | 34<br>Se | 35<br>Br | 36<br>Kr |
| 5                | 37<br>Rb | 38<br>Sr | 39<br>Y  | 40<br>Zr | 41<br>Nb | 42<br>Mo | 43<br>Tc | 44<br>Ru | 45<br>Rh | 46<br>Pd | 47<br>Ag | 48<br>Cd | 49<br>In | 50<br>Sn | 51<br>Sb | 52<br>Te | 53<br>I  | 54<br>Xe |
| 6                | 55<br>Cs | 56<br>Ba | *<br>Lan | 72<br>Hf | 73<br>Ta | 74<br>W  | 75<br>Re | 76<br>Os | 77<br>Ir | 78<br>Pt | 79<br>Au | 80<br>Hg | 81<br>Tl | 82<br>Pb | 83<br>Bi | 84<br>Po | 85<br>At | 86<br>Rn |
| 7                | 87<br>Fr | 88<br>Ra | 89<br>Ac | 90<br>Th | 91<br>Pa | 92<br>U  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| *<br>Lanthanides |          |          | 57<br>La | 58<br>Ce | 59<br>Pr | 60<br>Nd | 61<br>Pm | 62<br>Sm | 63<br>Eu | 64<br>Gd | 65<br>Tb | 66<br>Dy | 67<br>Ho | 68<br>Er | 69<br>Tm | 70<br>Yb | 71<br>Lu |          |

# Классификация Вернадского

| Π/Γ              | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1                | 1<br><u>H</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 2<br><u>He</u>  |                 |
| 2                | 3<br><u>Li</u>  | 4<br><u>Be</u>  | 5<br><u>B</u>   | 6<br><u>C</u>   | 7<br><u>N</u>   | 8<br><u>O</u>   | 9<br><u>F</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 10<br><u>Ne</u> |                 |
| 3                | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u>  | 16<br><u>S</u>  | 17<br><u>Cl</u> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 18<br><u>Ar</u> |                 |
| 4                | 19<br><u>K</u>  | 20<br><u>Ca</u> | 21<br><u>Sc</u> | 22<br><u>Ti</u> | 23<br><u>V</u>  | 24<br><u>Cr</u> | 25<br><u>Mn</u> | 26<br><u>Fe</u> | 27<br><u>Co</u> | 28<br><u>Ni</u> | 29<br><u>Cu</u> | 30<br><u>Zn</u> | 31<br><u>Ga</u> | 32<br><u>Ge</u> | 33<br><u>As</u> | 34<br><u>Se</u> | 35<br><u>Br</u> | 36<br><u>Kr</u> |
| 5                | 37<br><u>Rb</u> | 38<br><u>Sr</u> | 39<br><u>Y</u>  | 40<br><u>Zr</u> | 41<br><u>Nb</u> | 42<br><u>Mo</u> | 43<br><u>Tc</u> | 44<br><u>Ru</u> | 45<br><u>Rh</u> | 46<br><u>Pd</u> | 47<br><u>Ag</u> | 48<br><u>Cd</u> | 49<br><u>In</u> | 50<br><u>Sn</u> | 51<br><u>Sb</u> | 52<br><u>Te</u> | 53<br><u>I</u>  | 54<br><u>Xe</u> |
| 6                | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br>Lan        | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| 7                | 87<br><u>Fr</u> | 88<br><u>Ra</u> | 89<br><u>Ac</u> | 90<br><u>Th</u> | 91<br><u>Pa</u> | 92<br><u>U</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| *<br>Lanthanides |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

## Элементы:

-  Благородные металлы
-  Циклические
-  Радиоактивные
-  Рассеянные
-  Редких земель

# Классификация Заварицкого

| П/Г         | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1           | 1<br><u>H</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1<br><u>H</u>   | 2<br><u>He</u>  |
| 2           | 3<br><u>Li</u>  | 4<br><u>Be</u>  | 5<br><u>B</u>   | 6<br><u>C</u>   | 7<br><u>N</u>   | 8<br><u>O</u>   | 9<br><u>F</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 10<br><u>Ne</u> |
| 3           | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u>  | 16<br><u>S</u>  | 17<br><u>Cl</u> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 18<br><u>Ar</u> |
| 4           | 19<br><u>K</u>  | 20<br><u>Ca</u> | 21<br><u>Sc</u> | 22<br><u>Ti</u> | 23<br><u>V</u>  | 24<br><u>Cr</u> | 25<br><u>Mn</u> | 26<br><u>Fe</u> | 27<br><u>Co</u> | 28<br><u>Ni</u> | 29<br><u>Cu</u> | 30<br><u>Zn</u> | 31<br><u>Ga</u> | 32<br><u>Ge</u> | 33<br><u>As</u> | 34<br><u>Se</u> | 35<br><u>Br</u> | 36<br><u>Kr</u> |
| 5           | 37<br><u>Rb</u> | 38<br><u>Sr</u> | 39<br><u>Y</u>  | 40<br><u>Zr</u> | 41<br><u>Nb</u> | 42<br><u>Mo</u> | 43<br><u>Tc</u> | 44<br><u>Ru</u> | 45<br><u>Rh</u> | 46<br><u>Pd</u> | 47<br><u>Ag</u> | 48<br><u>Cd</u> | 49<br><u>In</u> | 50<br><u>Sn</u> | 51<br><u>Sb</u> | 52<br><u>Te</u> | 53<br><u>I</u>  | 54<br><u>Xe</u> |
| 6           | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *               | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| 7           | 87<br><u>Fr</u> | 88<br><u>Ra</u> | 89<br><u>Ac</u> | 90<br><u>Th</u> | 91<br><u>Pa</u> | 92<br><u>U</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| *           |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |
| Lanthanides |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |

## Элементы:

- горных пород
- магматических  
эманаций
- группы железа
- Инертные газы
- Редкие
- Радиоактивные
- Металлические  
рудные
- Металлоидные,  
металлогенные
- Тяжелые галоиды
- Группа платины

# Классификация Ферсмана

| Π/Γ              | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |                 |                 | I               | II              | III             | IV              | V               | VI              | VII             | VIII            |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1                | 1<br><u>H</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 1<br><u>H</u>   | 2<br><u>He</u>  |
| 2                | 3<br><u>Li</u>  | 4<br><u>Be</u>  | 5<br><u>B</u>   | 6<br><u>C</u>   | 7<br><u>N</u>   | 8<br><u>O</u>   | 9<br><u>F</u>   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 10<br><u>Ne</u> |
| 3                | 11<br><u>Na</u> | 12<br><u>Mg</u> | 13<br><u>Al</u> | 14<br><u>Si</u> | 15<br><u>P</u>  | 16<br><u>S</u>  | 17<br><u>Cl</u> |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 18<br><u>Ar</u> |
| 4                | 19<br><u>K</u>  | 20<br><u>Ca</u> | 21<br><u>Sc</u> | 22<br><u>Ti</u> | 23<br><u>V</u>  | 24<br><u>Cr</u> | 25<br><u>Mn</u> | 26<br><u>Fe</u> | 27<br><u>Co</u> | 28<br><u>Ni</u> | 29<br><u>Cu</u> | 30<br><u>Zn</u> | 31<br><u>Ga</u> | 32<br><u>Ge</u> | 33<br><u>As</u> | 34<br><u>Se</u> | 35<br><u>Br</u> | 36<br><u>Kr</u> |
| 5                | 37<br><u>Rb</u> | 38<br><u>Sr</u> | 39<br><u>Y</u>  | 40<br><u>Zr</u> | 41<br><u>Nb</u> | 42<br><u>Mo</u> | 43<br><u>Tc</u> | 44<br><u>Ru</u> | 45<br><u>Rh</u> | 46<br><u>Pd</u> | 47<br><u>Ag</u> | 48<br><u>Cd</u> | 49<br><u>In</u> | 50<br><u>Sn</u> | 51<br><u>Sb</u> | 52<br><u>Te</u> | 53<br><u>I</u>  | 54<br><u>Xe</u> |
| 6                | 55<br><u>Cs</u> | 56<br><u>Ba</u> | *<br><u>Lan</u> | 72<br><u>Hf</u> | 73<br><u>Ta</u> | 74<br><u>W</u>  | 75<br><u>Re</u> | 76<br><u>Os</u> | 77<br><u>Ir</u> | 78<br><u>Pt</u> | 79<br><u>Au</u> | 80<br><u>Hg</u> | 81<br><u>Tl</u> | 82<br><u>Pb</u> | 83<br><u>Bi</u> | 84<br><u>Po</u> | 85<br><u>At</u> | 86<br><u>Rn</u> |
| 7                | 87<br><u>Fr</u> | 88<br><u>Ra</u> | 89<br><u>Ac</u> | 90<br><u>Th</u> | 91<br><u>Pa</u> | 92<br><u>U</u>  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| *<br>Lanthanides |                 |                 | 57<br><u>La</u> | 58<br><u>Ce</u> | 59<br><u>Pr</u> | 60<br><u>Nd</u> | 61<br><u>Pm</u> | 62<br><u>Sm</u> | 63<br><u>Eu</u> | 64<br><u>Gd</u> | 65<br><u>Tb</u> | 66<br><u>Dy</u> | 67<br><u>Ho</u> | 68<br><u>Er</u> | 69<br><u>Tm</u> | 70<br><u>Yb</u> | 71<br><u>Lu</u> |                 |

-  Металлы  
обычного поля
-  Металлоиды  
обычного поля
-  Нижнее  
кислое поле
-  Благородные  
газы
-  Сульфидное  
поле