



- **Относительная атомная масса ( Ar )** – это величина, равная отношению средней массы атома элемента к 1/12 части массы атома изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ .

Значения Ar элементов находятся в периодической таблице Д.И. Менделеева.

( Например,  $Ar(N) = 14$  ).

1/12 часть массы атома  $^{12}\text{C}$  называется **атомной единицей массы (а.е.м.)**.

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

- **Относительная молекулярная масса ( Mr )** – это величина, равная отношению средней массы молекулы вещества к 1/12 части массы атома изотопа  $^{12}\text{C}$ .

Относительная молекулярная масса равна сумме относительных атомных масс элементов, входящих в состав молекулы:

$$Mr(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2Ar(\text{H}) + Ar(\text{S}) + 4Ar(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98.$$

- **Количество вещества ( ν )** – это мера структурных частиц вещества. Единица количества вещества – **моль**. 1 моль – это количество вещества, содержащее столько структурных частиц ( молекул, атомов, ионов, электронов и т.д. ), сколько атомов содержится в 12 граммах изотопа  $^{12}\text{C}$ .

- **Молярная масса ( M )** – это отношение массы вещества к его количеству, т.е. это масса одного моля вещества, выраженная в граммах:

$$M = m / \nu \quad (\text{г} / \text{моль} ) .$$

Например,  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ ( г / моль )}$ .

- **Постоянная Авогадро ( N<sub>A</sub> )** – это число структурных частиц ( молекул, атомов, ионов, электронов и т.д.), содержащихся в 1 моле вещества.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ частиц}$$

## 2. СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ХИМИИ

**Стехиометрия** – это раздел химии, изучающий количественный состав веществ, а также количественные соотношения между реагирующими веществами.

✓ **ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА СОСТАВА** –

✓ **ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ** –

✓ **ЗАКОН КРАТНЫХ ОТНОШЕНИЙ** –

✓ **ЗАКОН ОБЪЕМНЫХ ОТНОШЕНИЙ** –

✓ **ЗАКОН АВОГАДРО** – *в равных объемах любых газов при одинаковых условиях (температуре и давлении) содержится одинаковое число молекул.*

❖ **СЛЕДСТВИЕ:** *1 моль любого газа при одинаковых условиях занимает один и тот же объем. При нормальных условиях (  $T = 273 \text{ K}$  ( $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и  $P = 101,3 \text{ кПа}$  ( $1 \text{ атм.}$ ) ) этот объем равен  $22,4 \text{ л}$  (молярный объем –  $V_m$ ).*

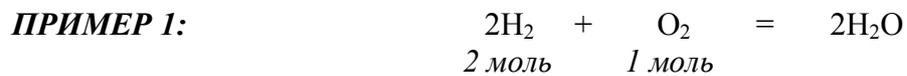
Если же газ находится в условиях, отличных от нормальных, то его объем вычисляется по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m \cdot R \cdot T}{M}, \text{ где}$$

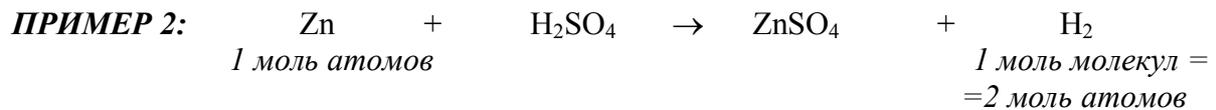
$P$  – давление газа ( Па ),  $V$  – объем газа (  $\text{м}^3$  ),  $m$  – масса газа ( г ),  $R$  – постоянная Больцмана (  $8,31 \text{ Дж/ ( моль} \cdot \text{К)}$  ),  $T$  – абсолютная температура ( К ),  $M$  – молярная масса газа ( г/моль ).

✓ **ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТОВ –**

- **Эквивалент простого вещества ( химического элемента ) –**



Водород взаимодействует с кислородом в соотношении 2 : 1. Т.е. с 1 молем атомов водорода соединяется  $\frac{1}{2}$  моль атомов кислорода. Значит, эквивалент кислорода равен  $\frac{1}{2}$  моль.



1 моль атомов цинка вытесняет из кислоты 1 моль молекул водорода ( т.е. 2 моль атомов ). Следовательно,  $\frac{1}{2}$  моля атомов цинка замещает 1 моль атомов водорода. Таким образом, эквивалент цинка равен  $\frac{1}{2}$  моль.

- **Эквивалент сложного вещества –**

- **Эквивалентная масса –**

- **Эквивалентный объем –**

### 3. РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТОВ, ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАСС И ОБЪЕМОВ ВЕЩЕСТВ

#### ☆ ПРОСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

##### Эквивалент химического элемента

$\mathcal{E} = 1 / \mathbf{V}$  ( моль ) - эквивалент простого вещества ( химического элемента ), где  $\mathbf{V}$  – валентность элемента в данном химическом соединении или его постоянная валентность.

##### **ПРИМЕРЫ:**

Эквивалент кислорода —  $\mathcal{E}(\text{O}) = 1/2$  моль (  $\text{H}_2\text{O}$  ).  
 Эквивалент азота —  $\mathcal{E}(\text{N}) = 1/3$  моль (  $\text{NH}_3$  ).  
 Эквивалент кремния —  $\mathcal{E}(\text{Si}) = 1/4$  моль (  $\text{SiH}_4$  ).

##### Эквивалентная масса химического элемента

$\mathcal{E}_m = \mathbf{Ar} / \mathbf{V}$  ( г / моль ) - эквивалентная масса простого вещества ( химического элемента ),  
 $\mathbf{Ar}$  – атомная масса элемента.

##### **ПРИМЕРЫ:**

Эквивалентная масса кислорода —  $\mathcal{E}_m(\text{O}) = 16/2 = 8$  г / моль (  $\text{H}_2\text{O}$  ).  
 Эквивалентная масса азота —  $\mathcal{E}_m(\text{N}) = 14/3 = 4,6$  г / моль (  $\text{NH}_3$  ).  
 Эквивалентная масса кремния —  $\mathcal{E}_m(\text{Si}) = 28/4 = 7$  г / моль (  $\text{SiH}_4$  ).

#### **\*Обратите внимание !**

Нередко в учебной литературе не разделяют понятия «эквивалент» и «эквивалентная масса», обозначая и ту и другую величину символом « $\mathcal{E}$ » и называя - «эквивалент». Вероятно для простоты... ( что в итоге приводит к путанице ). Здесь надо иметь в виду, что подмена одного понятия другим ведет к ошибкам в расчетах, т. к. эквивалент не может быть больше 1 моль (  $\mathcal{E} \leq 1$  ), в то время как эквивалентная масса обычно больше 1 г / моль (  $\mathcal{E}_m \geq 1$  ).

##### Эквивалентный объем газа

$V_3(\text{газа}) = V_3(\text{H}_2) * \mathcal{E}(\text{газа})$  – эквивалентный объем газа при н.у.  
 $V_3(\text{H}_2)$  – эквивалентный объем водорода ( 11,2 л )  
 $\mathcal{E}(\text{газа})$  – эквивалент газа ( моль ).

β Эквивалентный объем водорода – постоянная величина. Получается следующим образом: 1 моль молекул  $\text{H}_2 = 22,4$  л. В то же время 1 моль молекул  $\text{H}_2 = 2$  моль атомов Н. Значит, 2 моль атомов Н занимают объем, равный 22,4 л. Следовательно, 1 моль атомов Н занимает объем, равный  $22,4/2 = 11,2$  л.

**ПРИМЕРЫ:**

Эквивалентный объем кислорода —  $V_3(O_2) = 11,2 * 1/2 = 5,6$  л

Эквивалентный объем азота —  $V_3(N_2) = 11,2 * 1/3 = 3,7$  л

Эквивалентный объем фтора —  $V_3(F_2) = 11,2 * 1 = 11,2$  л

**☆ СЛОЖНЫЕ ВЕЩЕСТВА****ОКСИДЫ**

$$\text{Э(оксида)} = \frac{1}{n * V} \quad (\text{моль}) \quad - \quad \text{эквивалент оксида}$$

$$\text{Э}_m(\text{оксида}) = \frac{M(\text{оксида})}{n * V} \quad (\text{г/моль}) \quad - \quad \text{эквивалентная масса оксида}$$

$n$  – число атомов элемента (не кислорода) в оксиде

$V$  – валентность элемента в оксиде

$M$  – молярная масса оксида

**ПРИМЕРЫ:**

$$\text{Э}(CaO) = 1/(1 * 2) = 1/2 \text{ моль}$$

$$\text{Э}_m(CaO) = (40 + 16)/2 = 56/2 = 28 \text{ г/моль}$$

$$\text{Э}(N_2O_5) = 1/(2 * 5) = 1/10 \text{ моль}$$

$$\text{Э}_m(N_2O_5) = (14 * 2 + 16 * 5)/(2 * 5) = 108/10 = 10,8 \text{ г/моль}$$

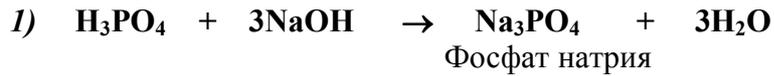
**КИСЛОТЫ**

$$\text{Э(кислоты)} = \frac{1}{\text{Основность}} \quad (\text{моль}) \quad - \quad \text{эквивалент кислоты}$$

$$\text{Э}_m(\text{кислоты}) = \frac{M(\text{кислоты})}{\text{Основность}} \quad (\text{г/моль}) \quad - \quad \text{эквивалентная масса кислоты}$$

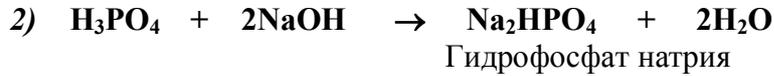
**ОСНОВНОСТЬ КИСЛОТЫ** - это количество атомов водорода, содержащихся в кислоте, которые могут быть замещены в результате химической реакции.

Например, основность  $H_3PO_4$  может быть равна 1, 2 или 3.

**ПРИМЕРЫ:**

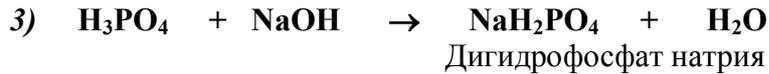
$$\mathcal{E}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98/3 = 32,7 \text{ г/моль}$$



$$\mathcal{E}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/2 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98/2 = 49 \text{ г/моль}$$



$$\mathcal{E}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98/1 = 98 \text{ г/моль}$$

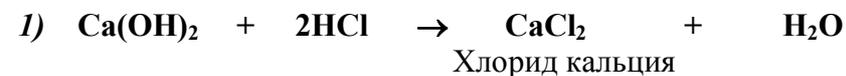
**ОСНОВАНИЯ**

$$\mathcal{E}(\text{основания}) = \frac{1}{\text{Кислотность}} \quad (\text{моль}) \quad - \text{эквивалент основания}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{основания}) = \frac{M(\text{основания})}{\text{Кислотность}} \quad (\text{г/моль}) \quad - \text{эквивалентная масса основания}$$

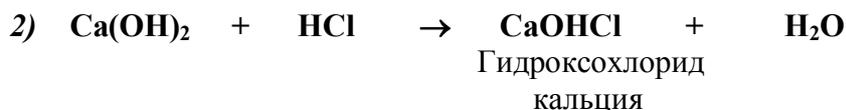
**КИСЛОТНОСТЬ ОСНОВАНИЯ** - это количество гидроксогрупп, содержащихся в основании, которые могут быть замещены в результате химической реакции.

Например, кислотность  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  может быть равна 1 или 2.

**ПРИМЕРЫ:**

$$\mathcal{E}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1/2 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74/2 = 37 \text{ г/моль}$$



$$\mathcal{E}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74/1 = 74 \text{ г/моль}$$

## СОЛИ

$$\mathcal{E}(\text{соли}) = \frac{1}{n \cdot B} \quad (\text{моль}) \quad - \quad \text{эквивалент соли}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{соли}) = \frac{M(\text{соли})}{n \cdot B} \quad (\text{г/моль}) \quad - \quad \text{эквивалентная масса соли}$$

$n$  – число атомов металла в соли

$B$  – валентность металла

**ПРИМЕР:**

$$\mathcal{E}(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/(2 \cdot 3) = 1/6 \text{ моль}$$

$$\mathcal{E}_m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400/(2 \cdot 3) = 66,7 \text{ г/моль}$$

## 4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

**ФОРМУЛЫ, ВЫРАЖАЮЩИЕ ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТОВ**

- 1)  $m_1 / m_2 = \mathcal{E}_1 / \mathcal{E}_2$       -      массы реагирующих веществ пропорциональны их эквивалентам.
- 2)  $m_1 / m_2 = \mathcal{E}_{m(1)} / \mathcal{E}_{m(2)}$       -      массы реагирующих веществ пропорциональны их эквивалентным массам.
- 3)  $m_1 / m_2 = V_{\mathcal{E}(1)} / V_{\mathcal{E}(2)}$       -      массы реагирующих веществ пропорциональны их эквивалентным объемам.
- 4)  $m_1 / V_2 = \mathcal{E}_{m(1)} / V_{\mathcal{E}(2)}$       -      соотношение масс и объемов реагирующих веществ пропорционально соотношению их эквивалентных масс и объемов

и т. д.

**ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ**

**Задача 1** *Некоторое количество металла, эквивалентная масса которого равна 28 г/моль, вытесняет из кислоты 700 мл водорода (н.у.). Определите массу металла.*

**Дано:** $\text{Э}m(\text{Me}) = 28 \text{ г/моль}$  $V(\text{H}_2) = 700 \text{ мл}$ 

---

 $m(\text{Me}) = ?$ **Решение**

- 1) Согласно закону эквивалентов соотношение масс и объемов реагирующих веществ пропорционально соотношению их эквивалентных масс и объемов:

$$m(\text{Me}) / V(\text{H}_2) = \text{Э}m(\text{Me}) / V_{\text{э}}(\text{H}_2).$$

- 2) Известные величины:

$V_{\text{э}}(\text{H}_2) = 11,2 \text{ л}$  – эквивалентный объем водорода.

$V(\text{H}_2) = 700 \text{ мл} = 0,7 \text{ л}$  – объем водорода, вытесненного металлом из кислоты.

$\text{Э}m(\text{Me}) = 28 \text{ г/моль}$  – эквивалентная масса металла.

- 3) Подставляем данные в формулу закона эквивалентов:

$$m(\text{Me}) / 0,7 = 28 / 11,2, \text{ отсюда } m(\text{Me}) = 28 * 0,7 / 11,2 = 1,75 \text{ г.}$$

**Ответ:** масса металла равна 1,75 г.

2. Определить, какой объем при н. у. занимает 1 грамм водорода.
3. Определить массу 1 литра водорода при н. у.
4. Рассчитать эквиваленты следующих солей:
  - a) Нитрата магния -  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
  - b) Сульфата натрия –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
  - c) Хлорида железа (III) –  $\text{FeCl}_3$
  - d) Фторида калия –  $\text{KF}$ .
5. Что тяжелее: 1 литр воды ( $\rho = 1 \text{ г/мл}$ ) или 1 кг железа? Объясните, почему.
6. Что занимает меньший объем: 200 молекул оксида азота или 200 молекул оксида железа? Почему?
7. Известно, что морская вода содержит почти все химические элементы, существующие в природе. Кроме того, в воде любого природного источника всегда присутствуют растворенные соли, а также примеси тяжелой ( $\text{D}_2\text{O}$ ) и сверхтяжелой ( $\text{T}_2\text{O}$ ) воды, где вместо обычного водорода в молекулах находятся его изотопы – дейтерий и тритий. Однако, согласно закону постоянства состава, качественный и количественный состав воды не должен меняться в зависимости от способа ее получения. Чем объяснить данное противоречие?