

# *Основные стехиометрические законы*

## *Стехиометрия* –

**раздел химии, который рассматривает  
количественные соотношения между  
реагирующими веществами.**

**Теоретической основой расчетов  
количественных соотношений между  
элементами в соединениях или между  
веществами в уравнениях химических  
реакций являются стехиометрические  
законы химии.**

# Основные понятия химии

- В химических расчетах используется единица количества вещества – ***моль***. Один моль любого вещества содержит число Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ ) частиц, из которых оно состоит.
- Масса одного моль вещества называется ***молярной массой (M)***

$$A_r(\text{Fe}) = 56 \rightarrow M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$$

(Отметим, что в 2 г водорода и в 180 г глюкозы содержится одинаковое число молекул, равное числу Авогадро. Такое же число атомов содержится в 56 г железа).

Зная молярную массу вещества  $M$ , можно рассчитать количество вещества (число молей)  $n$  в любой данной массе  $m$  этого вещества по формуле:

$$n = \frac{m}{M} \quad (1.7.3)$$

Объединим формулы 1.7.2 и 1.7.3 и получим формулу для расчета числа молекул (атомов)  $N$ , которое содержится в данной массе  $m$  какого-либо вещества:

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M} \quad (1.7.4)$$

#### Типовая задача № 2.

Сколько молей составляют и сколько молекул содержат:

- а) 8 г кислорода  $O_2$ ;  
б) 180 мл воды  $H_2O$ ?

а) Дано:  
 $m(O_2) = 8 \text{ г}$

Решение:

$$M_r(O_2) = 2A_r(O) = 2 \cdot 16 = 32$$

Найти:  
 $n(O_2)$   
 $N(O_2)$

$$M(O_2) = 32 \text{ г/моль}$$

$$n(O_2) = \frac{m(O_2)}{M(O_2)} = \frac{8 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

$$N(O_2) = N_A \cdot n(O_2) = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 0,25 \text{ моль} = 1,505 \cdot 10^{23}$$

Ответ: 8 г кислорода составляют 0,25 моль и содержат  $1,505 \cdot 10^{23}$  молекул.

б) Дано:

$$V(H_2O) = 180 \text{ мл} = 180 \text{ см}^3$$

Решение:

$$\text{Плотность воды } \rho(H_2O) = 1 \text{ г/см}^3$$

$$m(H_2O) = V(H_2O) \cdot \rho(H_2O) =$$

$$= 180 \text{ см}^3 \cdot 1 \text{ г/см}^3 = 180 \text{ г}$$

$$M_r(H_2O) = 18; M(H_2O) = 18 \text{ г/моль}$$

Найти:  
 $n(H_2O)$   
 $N(O_2)$

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{180 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 10 \text{ моль}$$

$$N(H_2O) = N_A \cdot n(H_2O) =$$

$$= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 10 \text{ моль} = 6,02 \cdot 10^{24}$$

молекула  $C_6H_{12}O_6$ .

Если вещество состоит из атомов, то 1 моль — это  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов этого вещества.

Например: 1 моль железа Fe — это  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов Fe;

1 моль серы S — это  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов S.

Следовательно:

• 1 моль любого вещества содержит Авогадрово число частиц, из которых состоит это вещество, т. е. приблизительно  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул или атомов.

Количество вещества (т. е. число молей) обозначается латинской буквой  $n$  (или греческой буквой  $\nu$ ). Любое данное число молекул (атомов) обозначается буквой  $N$ .

Количество вещества  $n$  равно отношению данного числа молекул (атомов)  $N$  к числу молекул (атомов) 1 моле  $N_A$ :

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (1.7.1)$$

6. Как называется число Авогадро? чему равно число Авогадро? Как называется масса 1 моля вещества и в каких единицах она выражается?
7. Чему численно равна молярная масса вещества, которое состоит из: а) молекул; б) атомов?

#### Задания для самостоятельной работы

- Сколько молекул содержится в: а) 0,5 моль вещества; б) 3 моль вещества?
- Сколько молей составляют и сколько молекул содержат: а) 128 г  $SO_2$ ; б) 8 г NaOH; в) 280 г  $N_2$ ; г) 1 кг  $CaCO_3$ ; д) 36 мл воды  $H_2O$ ; е) 0,9 л воды  $H_2O$ ?
- Сколько молей составляют и сколько атомов содержат: а) 8 г серы S; б) 280 г железа Fe; в) 3,2 кг меди Cu?
- Определите массу: а) 0,1 моль  $H_2$ ; б) 5 моль  $CO_2$ ; в) 1,5 моль  $CuSO_4$ ; г) 2,5 моль Mg; д)  $10^{-3}$  моль  $H_3PO_4$ .

Dans :

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0,9 \text{ l} = 900 \text{ ml} = \\ = 900 \text{ cm}^3$$

$$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Recherche :

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \times \rho(\text{H}_2\text{O}) = 900 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ g/cm}^3 = \\ = 900 \text{ g}$$

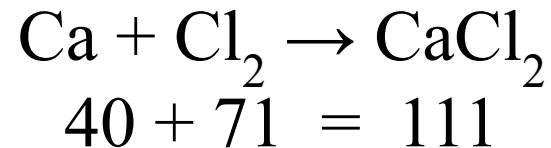
$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 ; M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{900 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 50 \text{ mol}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = N_A \times n(\text{H}_2\text{O}) = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times \\ \times 50 \text{ mol} = 3,01 \cdot 10^{24}$$

## 4.1. Закон сохранения массы и энергии: (Ломоносов, 1748)

Масса веществ, вступающих в реакцию равна массе веществ, образовавшихся в результате реакции:



М.В. Ломоносов связывал закон сохранения массы веществ с законом сохранения энергии. Взаимодействие массы и энергии выражается уравнением А. Эйнштейна:  $E=mc^2$  ;  $c=3 \cdot 10^8$  м/с.

### **Современная формулировка:**

**В изолированной системе сумма масс (энергий) веществ до химической реакции равна сумме масс (энергий) образовавшихся веществ после реакции.**

На основе термохимических уравнений энергия, которая выделяется или поглощается в реакциях.

Во время физических упражнений наше тело берет энергию в первую очередь из углеводов и только потом приступает к жирам. Куда жиры деваются и каким образом покидают наше тело?



В основе стехиометрических законов химия сформировалась как наука.

Закон сохранения массы веществ М. В. Ломоносов рассматривал в единстве с законом сохранения энергии и понимал как всеобщий закон природы.

На основе закона сохранения массы составляют уравнения реакций и проводят различные расчеты.



1. Как формулируется закон сохранения массы веществ?
2. Как формулируется закон сохранения энергии?
3. Какими примерами можно доказать закон сохранения энергии?
4. Какая связь существует между законом сохранения массы и энергии?
5. Какое теоретическое и практическое значение имеет закон сохранения массы веществ? Приведите примеры.

• 1. Через раствор, содержащий 5,6 г гидроксида калия, пропустили избыток хлороводорода. Чему равна масса образовавшейся соли?

Ответ: 3,65 г.

• 2. Смешали 5 г аммиака и 5 г хлороводорода. Какое вещество оказалось в избытке и какова масса этого вещества?

Ответ: 2,6 г, аммиак.

• 3. К раствору смеси, содержащего 1,27 г хлорида железа (II) и 1,33 г хлорида алюминия, добавили в достаточном количестве раствор нитрата серебра. Найдите массу образовавшегося осадка.

Ответ: 7,17 г.

• 4. Какой объем (н. у.) оксида углерода (IV) потребуется проводить через раствор гидроксида кальция для получения карбоната кальция массой 2 г?

Ответ: 0,448 л.

• 5. Образовавшийся газ при нагревании 12,4 г карбоната меди пропустили через известковую воду. Определите массу и количество вещества образовавшегося осадка.

Ответ: 10 г, 0,1 моль.

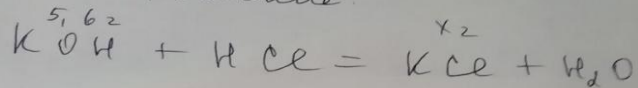
• 6. При рентгеноскопическом исследовании организма человека применяют так называемые рентгеноконтрастные вещества. Так, перед просвечиванием желудка пациенту дают выпить суспензию труднорастворимого сульфата бария. Не пропускающего рентгеновское излучение. Какое количество  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$  потребуется для получения 100 г сульфата бария?

Ответ: 89,3 г  $\text{BaCl}_2$ ; 60,9 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Дано:  
 $m(\text{KOH}) = 5,62$

$m(\text{KCl}) = ?$

Решение:



$$M(\text{KOH}) = 56,2 \text{ моль}$$

$$M(\text{KCl}) = 74,52 \text{ моль}$$

$$5,62 \text{ — } x_2$$

$$56,2 \text{ моль — } 74,52 \text{ моль}$$

$$x = \frac{74,5 \times 5,6}{56} \\ = 7,452$$

Ответ:  $m(\text{KCl}) = 7,452$ .

# *Закон постоянства состава (Пруст, 1808)*

- Любое сложное вещество молекулярного строения независимо от способа получения имеет постоянный качественный и количественный состав. В природе существуют вещества с молекулярной и кристаллической (ионной) структурой: вещества с постоянным составом – дальтониды ( $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CO}_2$ );
- вещества переменного состава – бертоллиды (от  $\text{TiO}_{0,7}$  до  $\text{TiO}_{1,3}$ ).



# Закон Авогадро

- В равных объёмах различных газов при одинаковых условиях ( $p, t$ ) содержится одинаковое число молекул.

Следствие 1: Один моль любого газа в нормальных условиях занимает объём

***22,4 л/моль*** –  $V_m$  молярный объём.

Н.у. :  $p = 1 \text{ атм}$  ;  $101 \text{ кПа}$ ,  $T = 0^\circ \text{ C}$ ;  $273^\circ \text{ K}$ .

- Следствие 2: Отношение плотностей двух газов прямо пропорционально отношению их молярных масс:  ***$\rho_1 / \rho_2 = M_1 / M_2 = D$*** ;

$$D(\text{H}_2) = M(\text{газа})/2 ; \quad D(\text{возд.}) = M(\text{газа})/29$$

*Первое следствие из закона Авогадро*

- **Одинаковое число молекул различных газов при одинаковых условиях занимает одинаковый объем:**

$$\left. \begin{array}{l} N_1 = N_2 \\ \text{Если } T_1 = T_2 \\ P_1 = P_2 \end{array} \right\}, \text{ то } V_1 = V_2$$

Следовательно, объем одного моля любого газа (т.е.  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул) при определенных внешних условиях есть величина постоянная.

Объем одного моля газа называется его молярным объемом и обозначается  $V_M$ .

Молярный объем газа зависит от температуры и давления.

В химии обычно используют молярный объем газа при нормальных условиях.

*Нормальные условия (н. у.)*

← *Нормальная температура  $0^\circ\text{C}$ , или  $273\text{ K}$  (ноль градусов Цельсия, или  $273$  градуса по шкале Кельвина)*

→ *Нормальное давление  $1\text{ атм}$  (атмосфера), или  $760\text{ мм рт. ст.}$  (миллиметры ртутного столба), или  $101\,325\text{ Па}$  (паскаль) =  $101,3\text{ кПа}$  (килопаскаль)*

- **Молярный объем любого газа при н.у. равен  $22,4\text{ л/моль}$ .**

$$V_M(\text{газа})_{\text{н.у.}} = 22,4\text{ л/моль}$$

Например,  $2\text{ г}$  водорода  $H_2$  (1 моль) и  $32\text{ г}$  кислорода  $O_2$  (1 моль) занимают одинаковый объем, равный  $22,4\text{ л}$ .

Зная молярный объем газа  $V_M$ , можно рассчитать объем  $V$  любого количества  $n$  и любой массы  $m$  газа:

$$V = V_M \cdot n \quad (1.8.1)$$

$$V = V_M \cdot \frac{m}{M} \quad (1.8.2)$$

**Типовая задача № 1**

Какой объем при н. у. занимают: а) 2 моль любого газа;  
б) 7 г азота  $N_2$ ?

а) Дано:  
 $n = 2$  моль

Решение:

$$V = V_M \cdot n = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 44,8 \text{ л}$$

Найти:  
 $V$

Ответ: 2 моль любого газа при н. у. занимают объем 44,8 л.

б) Дано:  
 $m(N_2) = 7$  г

Решение:

$$M_r(N_2) = 28; M(N_2) = 28 \text{ г/моль}$$

$$V(N_2) = V_M \cdot \frac{m}{M} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot \frac{7 \text{ г}}{28 \text{ г/моль}} =$$

Найти:  
 $V(N_2)$

$$= 5,6 \text{ л}$$

Ответ: 7 г азота при н. у. занимают объем 5,6 л.

**Второе следствие из закона Авогадро**

Второе следствие используется для расчета **относительных плотностей газов**.

Плотность любого вещества  $\rho$  — это отношение массы этого вещества  $m$  к его объему  $V$ :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Если взять 1 моль любого газа, его масса равна молярной массе  $M$ , а объем равен молярному объему  $V_M$ . Поэтому плотность газа равна:

$$\rho_{(\text{газа})} = \frac{M_{\text{газа}}}{V_M} \quad (1.8.3)$$

Возьмем два газа —  $X$  и  $Y$  — и обозначим их плотности и молярные массы соответственно  $\rho(X)$ ,  $M(X)$  и  $\rho(Y)$ ,  $M(Y)$ . Плотности этих газов равны:

$$\rho(X) = \frac{M(X)}{V_M}; \quad \rho(Y) = \frac{M(Y)}{V_M} \quad (1.8.4)$$

Отношение плотностей этих газов  $\rho(X)/\rho(Y)$  называется **относительной плотностью** газа  $X$  по газу  $Y$  и обозначается  $D_Y(X)$ :

$$D_Y(X) = \frac{\rho(X)}{\rho(Y)} = \frac{M(X) \cdot V_m}{V_m \cdot M(Y)} = \frac{M(X)}{M(Y)} \quad (1.8.5)$$

Таким образом:

• Относительная плотность одного газа по другому газу равна отношению их молярных или относительных молекулярных масс (так как  $M$  и  $M_r$  численно равны):

$$D_Y(X) = \frac{M(X)}{M(Y)} = \frac{M_r(X)}{M_r(Y)} \quad (1.8.6)$$

Часто плотности различных газов определяют по отношению к водороду, который является самым легким из всех газов, и по отношению к воздуху.

Относительная плотность любого газа  $X$  по водороду равна:

$$D_{H_2}(X) = \frac{M_r(X)}{M_r(H_2)} = \frac{M_r(X)}{2} \quad (1.8.7)$$

Воздух — это смесь газов, средняя относительная молекулярная масса воздуха равна 29. Поэтому относительная плотность любого газа  $X$  по воздуху равна:

$$D_{\text{возд.}}(X) = \frac{M_r(X)}{M_r(\text{возд.})} = \frac{M_r(X)}{29} \quad (1.8.8)$$

Относительные плотности газов — величины безразмерные.

Молекулярные (молярные) массы неизвестных газов можно определять по относительным плотностям этих газов по водороду или по воздуху:

$$M_r(X) = 2 \cdot D_{H_2}(X) \quad (1.8.9)$$

$$M_r(X) = 29 \cdot D_{\text{возд.}}(X) \quad (1.8.10)$$

### Типовая задача № 2.

Чему равна относительная плотность углекислого газа  $CO_2$  по:

а) водороду; б) воздуху?

Решение:

$$\text{а) } D_{H_2}(CO_2) = \frac{M_r(CO_2)}{M_r(H_2)} = \frac{44}{2} = 22;$$

$$\text{б) } D_{\text{возд.}}(CO_2) = \frac{M_r(CO_2)}{M_r(\text{возд.})} = \frac{44}{29} = 1,5$$

# Закон Менделеева – Клапейрона

$$pV = nRT ; \quad R = 8,314; \text{ если } p = \text{Па}, V = \text{м}^3;$$
$$R = 0,082; \quad \text{если } p = \text{атм}, V = \text{л}.$$

## Объединённый газовый закон.

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0}$$

- Вопросы для контроля
1. Чем определяется объем газа — размером его молекул или расстояниями между ними?
  2. Как формулируется закон Авогадро?
  3. Как формулируется первое следствие из закона Авогадро?
  4. Что называется молярным объемом?
  5. Чему равны нормальная температура и нормальное давление?
  6. Чему равен молярный объем любого газа при нормальных условиях?
  7. Что называется относительной плотностью одного газа по другому газу?
  8. Чему равна относительная плотность одного газа по другому газу?
  9. По каким газам часто определяют относительные плотности других газов?
  10. Каким уравнением выражается объединенный газовый закон?
  11. Каким уравнением выражается соотношение между количеством, объемом, температурой и давлением газа?
  12. Чему равна объемная доля данного газа в смеси с другими газами?

#### Задания для самостоятельной работы

1. Какой объем при нормальных условиях занимают: а) 20 г аргона Ar; б) 7,1 г хлора Cl<sub>2</sub>; в) 40 г метана CH<sub>4</sub>; г) 0,85 г аммиака NH<sub>3</sub>; д) 1,4 кг азота N<sub>2</sub>?
2. Чему равна масса: а) 1 л водорода H<sub>2</sub>; б) 1 л кислорода O<sub>2</sub>; в) 1 м<sup>3</sup> углекислого газа CO<sub>2</sub>? (Объемы газов даны при нормальных условиях.)
3. Рассчитайте относительные плотности по водороду и по воздуху следующих газов: а) метана CH<sub>4</sub>; б) кислорода O<sub>2</sub>; в) хлороводорода HCl.

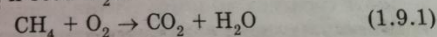
4. 10 г некоторого газа при н.у. занимают объем 5,6 л. Определите молярную и относительную молекулярную массу этого газа.
5. Определите молярную массу газа, относительная плотность которого: а) по водороду равна 32; б) по воздуху равна 2,45; в) по аргону Ar равна 0,43.
6. Сколько молекул содержится в 1,00 мл водорода при нормальных условиях?
7. Какой объем при н.у. занимают 27 · 10<sup>21</sup> молекул газа?
8. На вопрос, какой объем займет 1 моль воды при нормальных условиях, получен ответ: 22,4 л. Правильный ли это ответ?
9. Сколько молекул углекислого газа находится в 1 л воздуха, если объемная доля CO<sub>2</sub> составляет 0,03% (условия нормальные)?
10. Определите объем, который занимают 0,07 кг азота N<sub>2</sub> при 21°C и давлении 142 кПа.

### § 1.9. Закон сохранения массы веществ. Химические уравнения

В 1748 г. М.В. Ломоносов\* (Россия) и в 1789 г. А. Лавуазье (Франция) независимо друг от друга открыли закон сохранения массы веществ в химических реакциях. Этот закон формулируется так:

● **Масса всех веществ, которые вступают в химическую реакцию, равна массе всех продуктов реакции.**

Запишем схему реакции горения метана CH<sub>4</sub> в кислороде O<sub>2</sub>. В результате этой реакции образуются углекислый газ CO<sub>2</sub> и вода H<sub>2</sub>O:



По закону сохранения массы:

$$m(\text{CH}_4) + m(\text{O}_2) = m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O}),$$

где  $m(\text{CH}_4)$  и  $m(\text{O}_2)$  — массы метана и кислорода, которые вступили в реакцию;  $m(\text{CO}_2)$  и  $m(\text{H}_2\text{O})$  — массы углекислого газа и воды, образовавшиеся в результате реакции.

\* Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765) — великий русский ученый. Занимался исследованиями в области химии, физики, математики, астрономии и других наук. Был поэтом и художником. В 1755 г. основал Московский университет (ныне МГУ имени М.В. Ломоносова).

Дано:  
 $n(N_2) = 1,4 \text{ моль} = 1400 \text{ з}$

$V(N_2) = ?$

Решение:

$n(N_2) = 28; \quad M(N_2) = 28 \text{ г/моль}$

$V(N_2) = V_m \cdot \frac{m}{M} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot \frac{1400 \text{ з}}{28 \text{ г/моль}} =$

$V = V_m \cdot n; \quad n = \frac{m}{M}$

$= 1120 \text{ л}$

Ответ: 1,4 моль азота при н.у. занимают объем 1120 л.

Дано:

$D_{Ar}(X) = 0,43$

$M(X) = ?$

Решение:

$M(Ar) = 40$

$D_{Ar}(X) = \frac{M(X)}{M(Ar)}; \quad M(X) = D_{Ar}(X) \cdot M(Ar) =$

$= 0,43 \cdot 40 = 17,2$

$M(X) = 17,2.$

## Домашнее задание

1) Написать конспект по слайдам или по учебнику. Прочитать параграфы

№ 19-22 стр. 92-103; Химия 10 класс (ЕМН) Оспанова М.К.

2) Решить задачи , смотрите страницы выше.

**А) Стр. 34 № 2**

**Б) Стр. 94 № 5**

**В) Стр. 40 № 1,3**

**Г) Стр. 41 № 5**