

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ПО ХИМИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЕГЭ

### Тема 1

#### Основные понятия и законы химии

Химия – наука о веществах, их строении, свойствах и превращениях. В химии понятие вещества формулируется так: *вещество – это любая совокупность атомов и молекул*. Превращения веществ, сопровождающиеся изменением состава и строения веществ, называются химическими реакциями.

#### Основные положения атомно-молекулярной теории строения веществ

- Все вещества состоят из молекул. Молекула – наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами.
- Молекулы состоят из атомов. Атом – наименьшая частица в химических соединениях. Разным элементам соответствуют разные атомы. Атомы являются пределом химического разложения любого вещества.
- При химических реакциях молекулы одних веществ превращаются в молекулы других веществ. Атомы при химических реакциях не изменяются.

#### Моль – мера количества вещества.

В лаборатории трудно иметь дело с индивидуальными молекулами, химики взвешивают нужные им вещества в граммах, а не в атомных единицах массы. Чтобы перейти от молекулярной шкалы измерения масс в лабораторную шкалу, воспользуемся единицей количества вещества, которую называют моль.

В химии под количеством вещества ( $n$ ) понимают определенное число структурных единиц этого вещества. За единицу количества вещества принят 1 моль.

1 моль – это единица количества вещества, которая содержит столько структурных единиц (атомов, молекул, групп атомов, ионов или других реальных или условных частиц), сколько содержится атомов в 0,012 кг изотопа  $^{12}\text{C}$ . Число атомов в 0,012 кг этого изотопа углерода (т.е. в 1 моль) легко определить, зная массу одного атома углерода. Это число равно  $6,02 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$ . Эта величина называется числом Авогадро ( $N_A$ ) [или постоянной Авогадро] и является одной из важнейших универсальных постоянных. Самое важное в определении моля заключается в том, что 1 моль любого вещества содержит одно и то же число молекул. Поэтому моль вещества можно определить и так: моль вещества – это авогадрово число его структурных единиц.

Термин «моль» применяется не только к молекулам, но также к атомам, ионам, электронам и т.д. Говоря о количестве вещества, всегда надо точно знать из каких структурных единиц состоит вещество. Например: 1 моль железа – это  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов Fe, т.к. железо состоит из атомов. 1 моль воды – это  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , т.к. вода состоит из молекул. 1 моль хлорида натрия – это  $6,02 \cdot 10^{23}$  формульных единиц NaCl (или условных молекул), так как хлорид натрия является кристаллическим веществом, в узлах кристаллической решетки хлорида натрия находятся ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Молекула хлорида натрия может существовать, но только в парах при высокой температуре.

Молярная масса – это масса 1 моль вещества или масса  $6,02 \cdot 10^{23}$  структурных единиц вещества. Единица измерения молярной массы: г/моль или кг/моль (в системе СИ).

Связь между молем, молярной массой, массой вещества, числом частиц выражается следующим образом:

$$\text{Количество вещества (число моль)} = \frac{\text{Масса}}{\text{Молярная масса}} = \frac{\text{Число частиц}}{\text{Число Авогадро}}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$$

где  $n$  – количество вещества;  $m$  – масса вещества;  $M$  – молярная масса вещества;  $N$  – число частиц вещества;  $N_A$  – постоянная Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ), размерность этой величины моль $^{-1}$ .

Молярная масса ( $M$ ) – это масса одного моля вещества. Числовые значения молярной массы  $M$  и относительной молекулярной массы  $M_r$  равны, однако первая величина имеет размерность  $[M] = \text{г/моль}$ , а вторая безразмерна:

$$M = N_A \cdot m(\text{молекулы}) = N_A \cdot M_r \cdot 1 \text{ а.е.м.} = (N_A \cdot 1 \text{ а.е.м.}) \cdot M_r = M_r$$

Это означает, что если масса некоторой молекулы равна, например 44 а.е.м., то масса одного моля молекул равна 44 г.

Молярная масса вещества, имеющего молекулярную или ионную структуру, численно равна относительной молекулярной массе:  $M = M_r$ . Например:  $M(\text{H}_2\text{O}) = M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$ .

Молярная масса вещества, имеющего атомную или металлическую структуру, численно равна относительной атомной массе:  $M = A_r$ . Например, молярная масса железа  $M(\text{Fe}) = A_r(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$ .

### РАСЧЁТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПОНЯТИЕМ «МОЛЬ», МАССОЙ ВЕЩЕСТВА И МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССОЙ

#### ЗАДАЧА № 1

В лаборатории имеется: а) 28 г KOH; б) 8 г S. Вычислите число моль данных веществ.

Решение:

А)  $M_r(\text{KOH}) = 39 + 16 + 1 = 56$ . Следовательно,  $M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}$ . По соотношению  $M = m/n$  находим

$$n(\text{KOH}) = 28 \text{ г} / 56 \text{ г / моль} = 0,5 \text{ моль.}$$

Б)  $A_r(\text{S}) = 32$ , следовательно,  $M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль}$ . Отсюда:  $n(\text{S}) = m(\text{S})/M(\text{S}) = 8 \text{ г} / 32 \text{ г/моль} = 0,25 \text{ моль}$

#### ЗАДАЧА № 2

Рассчитайте массу хлорида натрия, количество вещества которого составляет 0,8 моль.

Решение:

$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}$ . Вычислим массу соли по формуле:  $m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl})$ ;

$$m(\text{NaCl}) = 0,8 \cdot 58,5 = 46,8 \text{ г.}$$

#### ЗАДАЧА № 3

Вычислите количество атомарной серы и её массу (в граммах) содержащееся в 100 г следующих веществ: а) FeS; б) FeS<sub>2</sub>.

Решение:

А)  $M(\text{FeS}) = 88 \text{ г/моль}$ .  $n(\text{FeS}) = m(\text{FeS})/M(\text{FeS})$ .  $n(\text{FeS}) = 100/88 = 1,14 \text{ моль}$ .  $m(\text{S}) = n(\text{FeS}) \cdot M(\text{S})$ ;

$$m(\text{S}) = 1,14 \cdot 32 = 36,48 \text{ г.}$$

Б)  $M(\text{FeS}_2) = 120 \text{ г/моль}$ .  $n(\text{FeS}_2) = m(\text{FeS}_2)/M(\text{FeS}_2)$ ;  $n(\text{FeS}_2) = 100/120 = 0,83 \text{ моль}$ . Поскольку в формуле вещества у атома серы есть индекс, то  $n(\text{S в FeS}_2) = 0,83 \cdot 2 = 1,66 \text{ моль}$ .  $m(\text{S}) = 1,66 \cdot 32 = 53,12 \text{ г.}$

#### ЗАДАЧА № 4

Вычислите, сколько атомов содержится в а) 2 моль серы и б) формульных единиц («условных молекул») в 4 моль гидроксида натрия?

Решение:

А) Один моль серы содержит  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомов серы. Следовательно, 2 моль серы содержат:

$$N(\text{S}) = n(\text{S}) \cdot N_A; N(\text{S}) = 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 12,04 \cdot 10^{23} \text{ атомов серы.}$$

Б) Один моль гидроксида натрия содержит  $6,02 \cdot 10^{23}$  формульных единиц («условных молекул») NaOH). Поэтому 4 моль NaOH содержат:  $4 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 24,08 \cdot 10^{23}$  формульных единиц NaOH.

#### ЗАДАЧА № 5

Вычислите, сколько: а) молекул содержится в 101,6 г молекулярного йода (I<sub>2</sub>); б) атомов йода содержится в этой массе йода?

Решение:

А)  $M(\text{I}_2) = 254 \text{ г/моль}$ . Поэтому число моль молекулярного йода будет равно:  $n(\text{I}_2) = m(\text{I}_2)/M(\text{I}_2)$ ;

$n(I_2) = 101,6 \text{ г} / 254 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль}$ . Отсюда:  $N(I_2) = n(I_2) \cdot N_A$ .  $N(I_2) = 0,4 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2,408 \cdot 10^{23}$  молекул.

Б) Так как молекула молекулярного йода состоит из 2-х атомов, то число атомов йода в 101,6 г будет в два раза больше, чем молекул:  $N(I) = (2,408 \cdot 10^{23}) \cdot 2 = 4,816 \cdot 10^{23}$  атомов.

### ЗАДАЧА № 6

Вычислите: а) массу  $2 \cdot 10^{23}$  молекул азота; б) массу  $2 \cdot 10^{23}$  атомов меди. Известно, что  $M(N_2) = 28$  г/моль, а  $M(Cu) = 64$  г/моль

Решение:

А) найдём количество вещества молекулярного азота:  $n(N_2) = N(N_2) / N_A$ ;  $n(N_2) = 2 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,333$  моль.  $m(N_2) = n(N_2) \cdot M(N_2)$ ;  $m(N_2) = 0,333 \cdot 28 = 9,324$  г.

Б) Рассуждаем аналогично варианту «А».  $n(Cu) = N(Cu) / N_A$ ;  $n(Cu) = 0,333$  моль.  $m(Cu) = 0,333 \cdot 64 = 21,312$  г.

### ЗАДАЧА № 7

Вычислите массу (в граммах): а) одного атома меди; б) одной молекулы ортофосфорной кислоты.

Решение:

Известно, что массу вещества вычисляют по формуле:

масса (вещества) = количеству (вещества) · молярную массу (вещества). Отсюда имеем:

А)  $m_0(\text{меди}) = n(Cu) \cdot M(Cu)$ ; значит абсолютная масса одного атома меди (масса в граммах) равна

$$m_0(\text{меди}) = \frac{N(Cu)}{N_A} \cdot M(Cu) = \frac{M(Cu)}{N_A}; \quad m_0(\text{меди}) = \frac{64}{6,02 \cdot 10^{23}} = 10,63 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

$$\text{Б) } m_0(H_3PO_4) = n(H_3PO_4) \cdot M(H_3PO_4); \quad m_0(H_3PO_4) = \frac{M(H_3PO_4)}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{98}{6,02 \cdot 10^{23}} = 16,28 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

Из решения этой задачи ясно, что:

*Масса атома (кг, г) – это отношение молярной массы элемента к постоянной Авогадро.*

*Масса молекулы (кг, г) – это отношение молярной массы данного вещества к постоянной Авогадро.*

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

- Вычислите количество данного вещества, содержащееся в заданной массе этого вещества, если даны: а) 176,4 г серной кислоты; б) 96 г гидроксида натрия; в) 100,8 г азотной кислоты; г) 220 г карбоната кальция; д) 155 г фосфора; е) 4,48 г железа.
- Вычислите массу вещества, если известно количество данного вещества. Даны: а) 0,6 моль сульфата алюминия; б) 1,8 моль нитрата кальция; в) 2,2 г моль металлической меди; г) 0,6 моль молекулярного брома.
- Для заданного количества вещества (в молях) вычислить: а) массу вещества, б) число молекул в указанном количестве вещества. Даны: 1) 0,8 моль хлорида натрия, 2) 1,8 моль серной кислоты; 3) 2,6 моль KI; 4) 5 моль KOH, 5) 0,4 моль NaNO<sub>3</sub>, 6) 4,2 моль CuSO<sub>4</sub>; 7) 1,6 моль F<sub>2</sub>, 8) 4,5 моль CaSO<sub>4</sub>, 9) 8,6 моль H<sub>2</sub>, 10) 0,02 моль K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.
- Для заданного количества вещества вычислить: а) массу данного вещества, б) число молекул, которое содержится в данном количестве вещества, в) массу одной молекулы данного вещества. Даны: 1) 8 моль KOH, 2) 6,8 моль NaOH, 3) 0,4 моль Al(OH)<sub>3</sub>, 4) 0,2 моль CaCl<sub>2</sub>, 5) 1,5 моль H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 6) 4,6 моль Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 7) 1,2 моль MgSO<sub>4</sub>, 8) 0,2 моль AgNO<sub>3</sub>, 9) 0,08 моль BaCl<sub>2</sub>, 10) 2,6 моль фосфата кальция.
- Вычислите массу и число молекул воды в образце её количеством вещества 5 моль. Ответ: 90 г;  $3,01 \cdot 10^{24}$ .
- Рассчитайте массу одной молекулы (в граммах) следующих веществ: а) N<sub>2</sub>; б) Cl<sub>2</sub>; в) CO; г) CO<sub>2</sub>; д) CH<sub>4</sub>; е) O<sub>2</sub>.
- Сколько формульных единиц (условных молекул Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) содержится в 1 г оксида алюминия?
- Сколько моль и молекул воды содержится в 1 литре воды при 20<sup>0</sup>C?
- Какая масса азотной, фосфорной и кремниевой кислот содержат столько же молекул, сколько их в 111,6 г угольной кислоты?

10. Какие массы KOH и NaOH будут содержать по  $1,806 \cdot 10^{23}$  молекул?
11. Для данной массы вещества найдите: а) число моль вещества, б) число молекул вещества в заданной его массе, в) массу одной молекулы заданного вещества. Даны: 1) 10 г карбоната кальция, 2) 8,1666 г серной кислоты, 3) 156,8 г гидроксида калия, 4) 327,6 г азотной кислоты, 5) 182,4 г сульфата железа (II), 6) 288,6 г хлорида кальция, 7) 216 г сульфата магния, 8) 187 г нитрата натрия, 9) 313,2 г сульфата калия, 10) 85 г аммиака.
12. Вычислите, сколько атомов содержится в 1 моль следующих соединений: 1) CO, 2) CO<sub>2</sub>, 3) N<sub>2</sub>O, 4) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, 5) NO<sub>2</sub>, 6) N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7) N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 8) COCl<sub>2</sub>, 9) NH<sub>3</sub>, 10) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
13. Вычислите, сколько молекул входит в: 1) 125 г медного купороса (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), 2) 27,8 г железного купороса (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)?
14. Сопоставьте число молекул: а) в 1 г хлора и 1 г азота; б) в 3 моль хлора и 3 моль кислорода.
15. Вычислите, сколько моль атомарного кислорода содержится в 100 граммах следующих кислородных кислот хлора: а) HClO, б) HClO<sub>2</sub>, в) HClO<sub>3</sub>, г) HClO<sub>4</sub>.
16. Какую массу (в граммах) имеют: а)  $3,01 \cdot 10^{24}$  формульных единиц (условных молекул) сульфата аммония; б)  $24,08 \cdot 10^{28}$  формульных единиц (условных молекул) хлорида цезия?
17. Вычислите число атомов серы в 9,8 г серной кислоты и число атомов фосфора в 9,8 г ортофосфорной кислоты.
18. Вычислите число атомов серы в 227,2 г сульфата натрия и в 221,2 г тиосульфата натрия (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
19. Найдите число атомов в 1 грамме натрия и в 1 грамме золота. В каком из веществ их больше?
20. Какую массу золота нужно взять, чтобы в ней было столько атомов золота, сколько молекул содержится в 4 г водорода?
21. В состав человеческого тела входит в среднем по массе 65% кислорода, 18% углерода, 10% водорода, 0,15% натрия и 0,15% хлора. Атомов какого элемента больше всего в человеческом теле?
22. Какие массы (в граммах) солей Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> имеются в распоряжении исследователя, если известно, что число моль атомарного кислорода в них соответственно равно 1,2 моль и 1,4 моль?
23. Вычислите, во сколько раз атом азота легче атомов кремния, железа, галлия и криптона?
24. Молекула некоторого вещества имеет массу  $16,27 \cdot 10^{-23}$  г. Определите молярную массу этого вещества.
25. Рассчитайте, какую массу должен иметь образец металлического калия, чтобы в нём содержалось столько же атомов, сколько атомов свинца содержится в навеске свинца массой 298,8 г.
26. Сравните число атомов, содержащихся в кислороде и метане массой по 16 г.
27. Имеют ли смысл выражения: а)  $\frac{1}{2}$  моль; б)  $\frac{1}{2}$  молекулы, в)  $\frac{1}{2}$  массы молекулы? *Ответ: а) да; б) нет; в) да.*
28. Какое количество (в моль) вещества гидроксида натрия полностью реагирует с: а) 1 моль хлороводородной кислоты, б) 1 моль серной кислоты, в) 1 моль ортофосфорной кислоты? *Ответ: а) 1 моль; б) 2 моль; в) 3 моль.*
29. В какой массе (в граммах) тиосульфата натрия (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) содержится столько же моль атомарной серы, сколько её в 68 г сероводорода? *Ответ:*
30. В каком количестве вещества заключено: а)  $12 \cdot 10^{23}$  молекул; б)  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул?
31. Вычислите, во сколько раз масса одного атома осмия тяжелее одного атома лития? *Ответ: в  $\approx 27$  раз.*
32. Сколько моль бертолетовой соли (KClO<sub>3</sub>) содержит: а) 62,4 г калия; б) 63,9 г атомарного хлора, в) 80 г атомарного кислорода?
33. В каком количестве хлорида натрия содержится столько же натрия, сколько его находится: а) в 2 моль фосфата натрия; б) в 5 моль нитрата натрия.
34. Определите массу образца сульфата алюминия, если он содержит 5 моль атомарного алюминия.
35. Определите массу образца сульфата аммония, содержащего  $6,02 \cdot 10^{24}$  атомов водорода.

**Тема № 2****ЗАКОНЫ ГАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

Законы, отражающие поведения газов, имеют важнейшее значение в химии. Поэтому они заслуживают отдельное рассмотрение.

**Закон объёмных отношений Гей-Люссака:**

при неизменных температуре и давлении объёмы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу, а также к объёмам образующихся газообразных продуктов как небольшие целые числа

Например:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ ;  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$

**Закон Авогадро:**

В равных объёмах любых газов при одинаковых условиях (температуре и давлении) содержится равное число молекул.

**Следствия из закона Авогадро:**

1. При одинаковых условиях 1 моль любого газа занимает одинаковый объём.
2. При нормальных условиях [ $p = 101325$  Па;  $T = 273,15$  К ( $0^\circ\text{C}$ )] 1 моль любого газа занимает объём 22,4 л. Такой объём называется *молярным объёмом* газа и имеет размерность литр на моль (л/моль).
3. Отношение масс равных объёмов различных газов равно отношению их молекулярных масс

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{r1}}{M_{r2}}$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы, а  $M_{r1}$  и  $M_{r2}$  – молекулярные массы первого и второго газов. Отношение  $m_1$  к  $m_2$  получило название *относительной плотности*  $D$  первого газа по второму. Тогда  $D = \frac{M_{r1}}{M_{r2}}$ , откуда  $M_{r1} = M_{r2} \cdot D$ . Например: относительная плотность кислорода по водороду  $D_{\text{вод.}} = 32/2 = 16$ ;  $M_r(\text{O}_2) = 2 \cdot D_{\text{вод.}} = 2 \cdot 16 = 32$  г/моль. При использовании величины «плотность по воздуху»  $D_{\text{возд}}$  говорят о его средней молярной массе (29 г/моль), поскольку воздух является смесью газов:  $M = 29 \cdot D_{\text{возд}}$ .

Рассмотрим решения типовых задач.

**ЗАДАЧА № 8**

Смешали 5 моль кислорода, 6 моль азота, 2 моль хлора и 4 моль метана. Какой объём занимает эта смесь газов?

*Решение*

Находим общее число моль газов смеси:  $5 + 6 + 2 + 4 = 17$  моль. Далее находим общий объём смеси газов:  $V(\text{смеси}) = n(\text{смеси}) \cdot V_M = 17(\text{моль}) \cdot 22,4(\text{л/моль}) = 380,8$  л.

**ЗАДАЧА № 9**

Вычислите массу (в граммах) 67,2 л (н.у.) азота.

*Решение*

Найдём количество вещества азота:  $n(\text{N}_2) = V(\text{N}_2)/V_M = 67,2 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 3$  моль

Найдём массу газа:  $m(\text{N}_2) = n(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) = 3 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 84$  г

**ЗАДАЧА № 10**

Вычислите, какой объём (при н.у.) занимают  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул кислорода?

*Решение*

Найдём количество вещества кислорода:  $n(\text{O}_2) = N(\text{O}_2)/N_A = 3,01 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,5$  моль

Найдём объём 0,5 моль кислорода:  $V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_M = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2$  л

**ЗАДАЧА № 11**

Вычислите, сколько молекул водорода содержится в 5,6 л (н.у.)?

Решение

Найдём количество вещества водорода:  $n(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/V_M = 5,6/22,4 = 0,25$  моль

Теперь вычислим число молекул в 5,6 л (н.у.) водорода:  $N(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot N_A = 0,25 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,505 \cdot 10^{23}$

**ЗАДАЧА № 12**

Вычислите относительную плотность по водороду и по воздуху углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ).

Решение

$M(\text{CO}_2) = 44$  г/моль

$D_{\text{H}}(\text{CO}_2) = M(\text{CO}_2)/M(\text{H}_2) = 44/2 = 22$ ;  $D_{(\text{возд.})} = 44/29 = 1,5172$

**ЗАДАЧА № 13**

Относительная плотность некоторого газа по азоту равна 2,5357. Вычислите молекулярную массу исследуемого газа (X).

Решение

$M(X) = M(\text{N}_2) \cdot D_{(\text{N})} = 28 \cdot 2,5357 = 70,996 = 71$  (г/моль).

**Задачи для самостоятельного решения**

1. Какую массу имеют: а) 6,72 л хлора, б) 40,32 л азота, в) 35,84 л кислорода? *Ответ: а) 21,3 г; б) 25,2 г; в) 51,2 г.*
2. Какой объём займут при нормальных условиях (н.у.): а) 0,5 моль водорода, б) 0,5 моль кислорода, в) 0,5 моль хлора? *Ответ: 11,2 л во всех трёх случаях.*
3. Сколько примерно молекул содержится (н.у.) в: а) 0,448 л азота, б) 26,88 л CO, в) 53,76 л  $\text{CO}_2$ . *Ответ: а)  $0,1204 \cdot 10^{23}$ ; б)  $7,224 \cdot 10^{23}$ ; в)  $14,448 \cdot 10^{23}$ .*
4. Одинаковое ли число молекул имеется: а) в 1 г хлора и в 1 г водорода; б) в 0,8 моль хлора и в 0,8 моль водорода? *Ответ: а) неодинаковое; б) одинаковое.*
5. Сколько молекул хлора содержится в 7,1 г его? *Ответ:  $0,602 \cdot 10^{23}$*
6. Масса одной молекулы полисеры ( $S_x$ ) при некоторой температуре составляет  $4,26 \cdot 10^{-22}$  г, а масса одного атома серы равна  $5,32 \cdot 10^{-23}$  г. *Ответ:  $x = 8$  ( $S_8$ ).*
7. Сколько молекул содержится в 224 мл (н.у.) любого газа? Почему? *Ответ:  $0,0602 \cdot 10^{23}$ .*
8. Для  $9,03 \cdot 10^{23}$  молекул хлора вычислите: а) количество вещества, б) объём, занимаемый этими молекулами при н.у., в) массу этой порции хлора. *Ответ: а) 1,5 моль; б) 33,6 л; в) 106,5 г.*
9. Для 0,8 моль CO найдите: а) число молекул в этой порции CO, б) объём (н.у.), занимаемый этим количеством CO, в) массу этой порции газа. *Ответ: а)  $4,816 \cdot 10^{23}$ ; б) 17,92 л; в) 22,4 г.*
10. Имеется 11 г  $\text{CO}_2$ . Для этой порции газа вычислите: а) объём газа при н.у., б) количество вещества  $\text{CO}_2$ , в) число молекул в данной массе газа, г) массу одной молекулы  $\text{CO}_2$  (в граммах). *Ответ: а) 5,6 л; б) 0,25 моль; в)  $7,30 \cdot 10^{-23}$  г.*
11. Во сколько раз увеличиться объём воды при переходе 1 моль воды из жидкого состояния в пар при нормальных условиях? *Ответ: в 1244,44 раза.*
12. При н.у. взяты 1 л водорода, 2 л кислорода и 3 л азота. Каково числовое отношение молекул этих газов? *Ответ: 1 : 2 : 3.*
13. Каково соотношение объёмов, занимаемых 5 моль хлора, 5 моль водорода и 5 моль кислорода при одинаковых условиях? *Ответ: 1 : 1 : 1.*
14. Какой объём (н.у.) займут 0,25 моль: а) водорода, б) азота, в) хлора? Ответ мотивируйте. *Ответ: одинаковый.*
15. Какой объём (н.у.) займёт смесь газов, состоящая из 0,5 моль гелия, 0,5 моль криптона, 0,5 моль озона? *Ответ: 33,6 л.*
16. Чему равна плотность бутана ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) по воздуху? *Ответ: 2.*
17. Вычислите число молекул в 1 мл любого газа при нормальных условиях. *Ответ:  $2,7 \cdot 10^{19}$ .*

18. Какой объём занимают  $9,4 \cdot 10^{21}$  молекул любого газа при н.у.? *Ответ: 0,35 л.*
19. Во сколько раз объём 4 г водорода больше объёма такой же массы кислорода (н.у.)? *Ответ: в 16 раз.*
20. Плотность газа по воздуху равна 1,93. Определите его плотность по водороду. *Ответ: 28.*
21. Определите число молекул воды в её объёме равном 10 мл при  $4^{\circ}\text{C}$ . *Ответ:  $3,33 \cdot 10^{23}$*
22. Сколько молекул кислорода содержится в 1 л воздуха (н.у.), если принять, что воздух содержит 21% кислорода по объёму? *Ответ:  $5,6 \cdot 10^{21}$ .*
23. Определите состав молекулы паров фосфора ( $\text{P}_x$ ), если 175 мл (н.у.) его паров имеют массу 0,97 г? *Ответ:  $\text{P}_4$ .*
24. Сколько атомов олова входит в состав его молекулы, если 0,445 г его паров (н.у.) занимают объём 84 мл? *Ответ: из одного.*
25. Плотность газа по водороду равна 23. Определите массу 1 л (н.у.) этого газа и его плотность по воздуху. *Ответ: 2,05 г; 1,59.*
26. При некоторой температуре плотность паров серы по воздуху равна 8,83. Из скольких атомов состоит молекула серы при данной температуре? *Ответ: из восьми ( $\text{S}_8$ ).*
27. Определите плотность по водороду газовой смеси, содержащей 300 мл метана и 100 мл кислорода (н.у.). *Ответ: 10.*
28. Масса 1 литра газа (н.у.) составляет 1,162 г. Определите плотность этого газа по кислороду и азоту. *Ответ: 0,8134 и 0,9292.*
29. Сколько молекул водорода выделится при взаимодействии избытка соляной кислоты с 13 г металлического цинка? *Ответ:  $1,204 \cdot 10^{23}$*
30. В каком объёме (н.у.) этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) содержится столько же молекул, как в 58,5 г бензола? *Ответ: 16,8 л.*
31. Во сколько раз плотность воды в жидком состоянии больше её плотности в состоянии пара (н.у.)? *Ответ: в 1244 раза.*

**Тема № 3** СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
(«массовая доля компонента смеси» и «объёмная доля компонента смеси»)

Состав химических систем является важнейшей характеристикой системы. В школьном курсе химии обычно пользуются следующими характеристиками состава систем:

**1. Массовая доля.**

*Массовая доля ( $\omega$ ) компонента смеси показывает долю массы компонента ( $x$ ) от массы всей системы, т.е. представляет собой отношение массы этого компонента  $m(x)$  к массе всей системы  $m$ .*

Эта величина безразмерная, выражается в долях от единицы или в процентах:

$$\omega(x) = \frac{m(x)}{m}, \quad \text{или} \quad \omega(x, \%) = \frac{m(x)}{m} \cdot 100\%$$

Отметим, что значение  $\omega(x, \%)$  численно равно числу граммов компонента в 100 г системы. Например, если  $\omega(C) = 12\%$ , то это означает, что в 100 граммах какой-то системы содержится 12 г углерода.

**2. Объёмная доля газа в смеси газов**

Состав газовых смесей часто выражают через объёмную долю ( $\varphi$ ) компонента в смеси.

*Объёмная доля ( $\varphi$ ) показывает долю объёма компонента ( $x$ ) от общего объёма системы  $V$  в тех же условиях:*

$$\varphi(x) = \frac{V(x)}{V} \quad \text{или} \quad \varphi(x, \%) = \frac{V(x)}{V} \cdot 100\%$$

В последнем случае  $\varphi(\%)$  численно равна количеству миллилитров данного газа в 100 мл смеси или количеству литров в 100 л смеси.

Рассмотрим решения типовых задач.

**ЗАДАЧА № 14**

Вычислите массовую долю медных опилок в смеси состоящей из 20 г железных опилок, 60 г магниевых и 2 г медных.

Решение:

1. Найдём массу смеси.  $m(\text{смеси}) = 20 + 60 + 2 = 82$  (г).

2. Найдём массовую долю медных опилок:  $\omega(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m} = \frac{2}{82} = 0,0244$  или 2,44 %

**ЗАДАЧА № 15**

Вычислите массовую долю серы в: а) сульфате натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ); б) тиосульфате натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ).

Решение:

1. Выберем для расчёта порцию соли количеством вещества равную 1 моль.

Часть «а»:

$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142$  г/моль;  $M(\text{S}) = 32$  г/моль.

Отсюда имеем:  $\omega(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \frac{32}{142} = 0,2254$  или 22,54%

Часть «б»:

$M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158$  г/моль;  $M(\text{S}) = 32$  г/моль.

Отсюда имеем:  $\omega(\text{S}) = \frac{32}{79} = 0,4050$  или 40,50%

## ЗАДАЧА № 16

Вычислите объёмную долю газа азота в смеси газов, состоящей из 20 л хлора, 80 л кислорода, 30 л азота и 40 л гелия.

Решение

Найдём общий объём ( $V$ ) смеси газов:  $V(\text{смеси газов}) = V(\text{Cl}_2) + V(\text{O}_2) + V(\text{N}_2) + V(\text{He})$ .

$$V(\text{смеси газов}) = 20 + 80 + 30 + 40 = 170 \text{ (л)}$$

Вычислим объёмную долю газа азота в смеси газов:  $V(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_{\text{смеси}}}$ ,

$$V(\text{N}_2) = \frac{30}{170} = 0,1765 \text{ или } 17,65\%.$$

## ЗАДАЧА № 17

Смешали 11 г  $\text{CO}_2$  и 16,8 г  $\text{CO}$  при нормальных условиях. Вычислите, каковы массовые доли этих газов в полученной смеси?

Решение

$$1. \text{ Найдём объём } \text{CO}_2. \quad V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} \cdot V_m; \quad V(\text{CO}_2) = \frac{11}{44} \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л.}$$

$$2. \text{ Аналогичным образом найдём объём } \text{CO}: \quad V(\text{CO}) = \frac{16,8}{28} \cdot 22,4 = 13,44 \text{ л.}$$

$$3. \text{ Общий объём смеси газов равен: } V(\text{смеси}) = 5,6 + 13,44 = 19,04 \text{ л.}$$

$$4. \text{ Находим объёмные доли газов: } \varphi(\text{CO}_2) = \frac{5,6}{19,04} = 0,2941 \text{ или } 29,41\%; \quad \varphi(\text{CO}) = \frac{13,44}{19,04} = 0,7059 \text{ или } 70,59\%.$$

## ЗАДАЧА № 18

При нормальных условиях смешали 6,72 л  $\text{N}_2$  и 8,96 л  $\text{CO}$ . Определите массовые доли газов в полученной смеси.

Решение

1. Найдём массы каждого газа по формуле:  $m(\text{газа}) = n(\text{газа}) \cdot M(\text{газа})$ :

$$m(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} \cdot M(\text{N}_2); \quad m(\text{N}_2) = \frac{6,72}{22,4} \cdot 28 = 8,4 \text{ г.}$$

$$m(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{V_m} \cdot M(\text{CO}); \quad m(\text{CO}) = \frac{8,96}{22,4} \cdot 28 = 11,2 \text{ г.}$$

$$m(\text{N}_2 + \text{CO}) = m(\text{N}_2) + m(\text{CO}) = 8,4 + 11,2 = 19,6 \text{ г.}$$

2. Найдём массовые доли газов в смеси:

$$\omega(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{m(\text{смеси газов})}; \quad \omega(\text{N}_2) = \frac{8,4}{19,6} = 0,4286 \text{ или } 42,86\%$$

$$\omega(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{m(\text{смеси газов})}; \quad \omega(\text{CO}) = \frac{11,2}{19,6} = 0,5714 \text{ или } 57,14\%.$$

## ЗАДАЧА № 19

Смесь азота с кислородом имеет относительную плотность по водороду 15,5. Каковы объёмные доли газов в этой смеси? Каковы массовые доли газов в данной смеси?

Решение

1. Возьмём для расчёта смесь количеством вещества 1 моль и найдём молярную массу смеси:

$$M(\text{N}_2 + \text{O}_2) = D_H \cdot M(\text{H}_2); \quad M(\text{N}_2 + \text{O}_2) = 15,5 \cdot 2 = 31 \text{ г/моль.}$$

2. Зная молярную массу смеси газов, составим уравнение и решим его относительно  $x$ .

Обозначим за  $x$  число моль азота в смеси, тогда масса азота в смеси выразится так:

$$m(\text{N}_2) = n(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2); \quad m(\text{N}_2) = x \cdot 28 = (28x) \text{ г.}$$

Число моль кислорода в данной смеси будет равно:  $(1 - x)$ . Масса кислорода:  $m(\text{O}_2) = 32(1 - x) \text{ г.}$

Отсюда ясно, что сумма масс газов должна быть равна 31 г. Что можно записать так:

$$28x + 32(1 - x) = 31.$$

Решив уравнение, получим:  $x = 0,25$ , т.е.  $n(\text{N}_2) = 0,25$ , а это равноценно тому, что  $\varphi(\text{N}_2) = 25\%$ .

Следовательно,  $\varphi(\text{O}_2) = 75\%$ .

3. Найдём массовые доли газов в исследуемой смеси:

$$\omega(\text{N}_2) = \frac{m(\text{азота})}{m(\text{смеси})}; \omega(\text{N}_2) = \frac{0,25 \cdot 28}{3 \cdot 1} = 0,2258 \text{ или } 22,58\%.$$

$$\omega(\text{O}_2) = \frac{m(\text{кислорода})}{m(\text{смеси})}; \omega(\text{O}_2) = \frac{0,7 \cdot 32}{3 \cdot 1} = 0,7742 \text{ или } 77,42\%.$$

### Задачи для самостоятельной работы

- Объёмные доли благородных газов неона и криптона в их смеси равны. Вычислите массовую долю неона в смеси. *Ответ: 19,23%*
- Вычислите, где больше массовая доля (в %): а) углерода в угарном газе (CO) или в углекислом газе (CO<sub>2</sub>); б) азота в веселящем газе (N<sub>2</sub>O) или в оксиде азота (II) или в оксиде азота (IV)? *Ответ: а) CO; б) N<sub>2</sub>O.*
- Смешали 35,5 г хлора и 11,2 г азота. Каковы объёмные доли газов в полученной смеси? *Ответ: 55,6% хлора и 44,4% азота.*
- Смешали при нормальных условиях 5,6 л водорода, 6,72 л метана (CH<sub>4</sub>) и 13,44 л азота. Вычислите массовые доли газов в полученной смеси. *Ответ: 2,28%, 21,72% и 76%.*
- Газовая смесь состоит из 5 моль азота, 14 г CO, 5,6 л (н.у.) водорода. Вычислите объёмную долю водорода в газовой смеси. *Ответ: 4,35%.*
- Объёмная доля азота в газовой смеси 40%, кислорода – 60%. Какова массовая доля газов в смеси, каково соотношение молекул азота и кислорода в данной смеси? *Ответ: 36,84% N<sub>2</sub>.*
- Определите массовые доли газов в смеси, состоящей из 3,36 л азота, 1,505 · 10<sup>22</sup> молекул O<sub>2</sub> и 0,01 моль CO<sub>2</sub>. Условия нормальные. *Ответ: 77,20% N<sub>2</sub>; 14,70% O<sub>2</sub>; 8,10% CO<sub>2</sub>.*
- Определите массовую долю (в%) кислорода в образце технического мела, содержащего 90% CaCO<sub>3</sub> и кислороднесодержащие примеси. *Ответ: ?????*
- Определите массовую долю хлора (в %) в смеси, состоящей из 0,5 моль HCl, 44,8 л (н.у.) азота и 5,6 л (н.у.) молекулярного хлора. *Ответ: 19,29%*
- Смесь кристаллогидратов CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O и FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O содержит 41,59% H<sub>2</sub>O по массе. Рассчитайте массовые доли кристаллогидратов – медного и железного купоросов – в данной смеси. *Ответ: 40% и 60%.*
- Массовая доля кристаллизационной воды в составе кристаллогидрата FeSO<sub>4</sub>·X H<sub>2</sub>O равна 0,4536. Определите формулу кристаллогидрата. *Ответ: FeSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O.*
- Массовая доля кристаллизационной воды в составе кристаллогидрата Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·X H<sub>2</sub>O равна 0,5590. Определите формулу кристаллогидрата. *Ответ: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10 H<sub>2</sub>O.*

## Тема № 4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ (ПРОСТЕЙШИХ) ФОРМУЛ ВЕЩЕСТВ**

Зная массовые доли (процентный состав) элементов в соединении, можно рассчитать его **эмпирическую формулу** – *простейшую формулу, отражающую относительное содержание различных атомов в молекуле*. Рассмотрим примеры установления простейших формул веществ.

## ЗАДАЧА № 20

Согласно количественному анализу в состав соединения входит 46,67% железа и 53,33% серы. Установите простейшую формулу этого химического соединения.

*Решение*

Для расчета образец вещества массой 100 г. В этом случае масса каждого элемента, входящего в состав вещества будет численно равна его процентному содержанию в веществе. Следовательно, в 100 г неизвестного вещества железа будет 46,67 г, а серы – 53,33 г.

Теперь вычислим количество вещества каждого элемента:

$$\frac{m(x)}{M(x)} = n(x); \quad n(\text{Fe}) = \frac{46,67}{56} = 0,833 \text{ моль}; \quad n(\text{S}) = \frac{53,33}{32} = 1,666 \text{ моль};$$

Отсюда следует, что  $n(\text{Fe}) : n(\text{S}) = 0,833 : 1,666$

Разделим полученные числа на наименьшее число, произведённые расчёты показывают:

$n(\text{Fe}) : n(\text{S}) = 1 : 2$ . Это позволяет приписать неизвестному веществу формулу:  $\text{FeS}_2$ .

Действительно, такое вещество существует. Это минерал – **пирит**.

## ЗАДАЧА № 21

Определите простейшую формулу соединения, если известно, что оно состоит из водорода, фосфора и кислорода. Массовые доли этих элементов соответственно равны 0,022, 0,348 и 0,630.

*Решение*

Будем действовать, как и в предыдущей задаче, взяв для расчёта 100 г исследуемого вещества:

$$n(\text{H}) = \frac{100 \cdot 0,022}{1} = 2,2; \quad n(\text{P}) = \frac{100 \cdot 0,348}{31} = 1,122; \quad n(\text{O}) = \frac{100 \cdot 0,630}{16} = 3,9375$$

Делим полученные числа на наименьшее и получаем:

$$n(\text{H}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = 2 : 1 : 3,5.$$

Если после деления на наименьшее число получаем дробные числа, то нужно умножить их до целых чисел (на 2, 3, 4 и т.д.) до получения целых чисел. В нашем случае умножим на 2:  $n(\text{H}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = 4 : 2 : 7$ .

Ответ:  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$

## ЗАДАЧА № 22

Массовые доли углерода и водорода в исследуемом веществе соответственно равны 91,3% и 8,7%. Определить простейшую формулу.

*Решение*

Рассуждая, как и в задачах 21 и 22 мы приходим к следующему:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = 7,608 : 1,144.$$

Типичная ошибка при решении таких задач – округление учащимися цифр. Это приводит к неверному ответу.

**[Отметим, что решая такие задачи, следует всегда иметь цифры с 4-мя знаками после запятой и никогда числа не округлять].**

Умножив наши числа на 7, мы получим:  $\text{C}_7\text{H}_8$ .

При такой ситуации, как в данной задаче, можно рекомендовать следующее: отнимем единицу от числа 1,144. Получим: 0,144. Затем поделим 1 на 0,144 и получим число близкое к 7. Теперь умножим на 7 наши числа и получим:  $7 : 8$ .

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Выведите простейшую формулу вещества, состоящего из азота и кислорода. Массовые доли этих элементов соответственно равны 63,64 и 36,36%. *Ответ:  $N_2O$ .*
2. Вещество состоит из алюминия и углерода. Какова простейшая формула соединения, если массовые доли этих элементов соответственно равны 75 и 25%? *Ответ:  $Al_4C_3$ .*
3. Соединение состоит из водорода, кремния и фтора, массовые доли которых соответственно равны 1,39, 19,44 и 79,17%. Какова простейшая формула соединения? *Ответ:  $H_2SiF_6$ .*
- 4.