

методическая библиотека

В.А. Мильчев, В.С. Ковалева

ТИПОВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

8

для
учащихся
КЛАССОВ
НА БАЗЕ
УЧЕБНОГО
СТАНДАРТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКТИВ

$[NO]p = 0,056$? $[NO]p = -0,044$ $[NO]0 = 0,1$

$[NO_2]p = 0,044$? $[O_2]p = 0,028$? $[O_2]p = -0,022$ $[O_2]0 = 0,05$

$[NO_2]p = +0,044$ $x = n (Al_2O_3) = 0,44$ кмоль $k_2 / 4 = 0,22$ кмоль

$m (Al_2O_3) = n (Al_2O_3) \cdot M (Al_2O_3) = 0,22$

В.А. Мильчев, З.С. Ковалева

ТИПОВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ

8 для
учащихся
КЛАССОВ
НА БАЗЕ
УЧЕБНОГО
СТАНДАРТА

УДК 373:54
ББК 74.256.7
М60

М60 Мильчев В.А., Ковалева З.С.

Типовые расчетные задачи по химии для учащихся 8 классов на базе учебного стандарта. — М.: АРКТИ, 2002. — 64 с. (Метод. биб-ка)

ISBN 5-89415-284-4

С расчетными задачами по химии знакомятся учащиеся 8-х классов. Именно им необходимо усвоить методы решения задач для понимания ряда закономерностей и процессов химии. Это тем более важно, т.к. в последующих классах задачи усложняются, а умение решать задачи является основным показателем творческого усвоения предмета. Пособие соответствует программе по химии для учащихся 8-х классов. По разделам даны решения 55-ти типовых задач, 110 задач рекомендованы для самостоятельного решения. Для всех задач даны ответы. В пособии используются общепринятые обозначения физических величин и схемы расчетов с определением размерностей. Пособие поможет учащимся усвоить теоретические положения химии и их практическое приложение.

УДК 373:54
ББК 74.256.7

© Мильчев В.А.,
Ковалева З.С., 2002

ISBN 5-89415-284-4

© АРКТИ, 2002

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ХИМИИ

1. Относительные атомные и молекулярные массы*

Истинные (абсолютные) массы атомов и молекул очень малы, порядка 10^{-24} – 10^{-22} г. Пользоваться такими малыми величинами неудобно. В химии пользуются *относительными* атомными и молекулярными массами, единицей измерения которых в 1961 г. Международным союзом чистой и прикладной химии (IUPAC) была принята 1/12 массы изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$, называемая атомной единицей массы (а.е.м.), равная $1,66 \cdot 10^{-24}$ г.

Например, табличная величина относительной атомной массы натрия $A_r(\text{Na}) = 23$ показывает, что истинная масса атома натрия тяжелее 1/12 атома $^{12}_6\text{C}$ в 23 раза. Таким образом, истинная масса атома любого элемента $m_{\text{ат.}}$ и его относительная атомная масса A_r вычисляются по формуле:

$$m_{\text{ат.}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot A_r \quad (1)$$

Связь между относительной молекулярной массой M_r и истинной массой молекулы какого-либо вещества $m_{\text{мол.}}$ выражается формулой:

$$m_{\text{мол.}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot M_r \quad (2)$$

Величины относительной атомной и относительной молекулярной масс безразмерны.

Пример 1

Рассчитать массу атома железа.

Дано:

$$N_{\text{ат.}}(\text{Fe}) = 1 \text{ ат.} \quad A_r(\text{Fe}) = 56$$

$$m_{\text{ат.}}(\text{Fe}) = ?$$

* В дальнейшем, при решении задач, используются заранее подсчитанные величины относительной молекулярной массы веществ. Относительные атомные массы, за исключением $A_r(\text{Cl}) = 35,5$ округлены до целых чисел.

Решение:

$$m_{\text{ат.}}(\text{Fe}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot A_r(\text{Fe}) = \\ = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot 56 = 9,29 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

Ответ: $9,29 \cdot 10^{-23}$ г.

Пример 2

Рассчитать массу молекулы сернистого газа SO_2 .

Дано:

$$N_{\text{молек.}}(\text{SO}_2) = 1 \text{ молек.} \\ m_{\text{молек.}}(\text{SO}_2) = ?$$

Решение:

Рассчитываем относительную молекулярную массу сернистого газа

$$M_r(\text{SO}_2) = A_r(\text{S}) + 2A_r(\text{O}) = 32 + (2 \cdot 16) = 64.$$

Абсолютная масса молекулы сернистого газа

$$m_{\text{молек.}}(\text{SO}_2) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot M_r(\text{SO}_2) = \\ = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot 64 = 1,06 \cdot 10^{-22} \text{ г}.$$

Ответ: $1,06 \cdot 10^{-22}$ г.

Пример 3

Рассчитать абсолютные массы отдельных атомов в молекуле метана, а также абсолютную массу одной молекулы метана CH_4 .

Дано:

$$N_{\text{молек.}}(\text{CH}_4) = 1 \text{ молек.} \quad A_r(\text{C}) = 12 \\ m_{\text{ат.}}(\text{C}) = ? \quad A_r(\text{H}) = 1 \\ m_{\text{ат.}}(\text{H}) = ? \\ m_{\text{молек.}}(\text{CH}_4) = ?$$

Решение:

$$m_{\text{ат.}}(\text{C}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot A_r(\text{C}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot 12 = \\ = 1,99 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

$$m_{\text{ат.}}(\text{H}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot A_r(\text{H}) = \\ = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot 1 = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}$$

Сумма истинных масс атомов, составляющих молекулу метана, определяет абсолютную массу его молекулы:

$$m_{\text{молек.}}(\text{CH}_4) = m_{\text{ат.}}(\text{C}) + 4m_{\text{ат.}}(\text{H}) = \\ = 1,99 \cdot 10^{-23} + (4 \cdot 0,166 \cdot 10^{-23}) = 2,654 \cdot 10^{-23} \text{ г}.$$

Ответ:

$$m_{\text{ат.}}(\text{C}) = 1,99 \cdot 10^{-23} \text{ г}; \\ m_{\text{ат.}}(\text{H}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}; \\ m_{\text{молек.}}(\text{CH}_4) = 2,654 \cdot 10^{-23} \text{ г}.$$

2. Единица количества вещества — моль

Кроме известных физических величин — массы, объема, плотности и др. — в химии применяют физическую величину *количество вещества*, обозначаемую ν , единицей измерения которой является моль.

Моль — порция любого вещества, содержащая $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных единиц (атомов, молекул, ионов и т.д.).

Например:

$$1 \text{ моль углерода} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов C}; \\ 2 \text{ моль железа} = 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов Fe}; \\ 1 \text{ моль кислорода} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул O}_2; \\ 5 \text{ моль метана} = 5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул CH}_4.$$

Физическую величину, обозначаемую N_A , называют *постоянной Авогадро*.

$$N_A = (6,02 \cdot 10^{23})/1 \text{ моль} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Зная число структурных единиц N какого-либо вещества, легко определить количество вещества:

$$\nu = N/N_A \text{ (в-ва), моль} \quad (3)$$

Отношение массы вещества m к числу моль данного вещества ν называется *молярной массой вещества* M , числовое значение которой равно относительной атомной или молекулярной массе:

$$M = m/\nu \text{ (в-ва), г/моль} \quad (4)$$

Итак, молярная масса вещества — это масса 1 моль данного вещества.

Например, относительная атомная масса углерода $A_r(\text{C}) = 12$, отсюда молярная масса углерода

$$M(\text{C}) = 12 \text{ г/1 моль} = 12 \text{ г/моль};$$

Относительная молекулярная масса воды $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$, следовательно, молярная масса воды

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/1 моль} = 18 \text{ г/моль}$$

Постоянная Авогадро позволяет перейти от молекулярных соотношений к молярным, поскольку все рассуждения относительно атомов и молекул остаются справедливыми для числа моль.

Например, уравнение реакции $2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$ означает, что два атома натрия (2 моль Na) реагируют с одной молекулой хлора (1 моль Cl_2).

Вычисление количества вещества по известной массе вещества или по известному числу структурных единиц

Пример 4

Какое количество вещества составляет вода массой 450 г?

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 450 \text{ г} \quad M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$$

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

Решение:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 450 \text{ г}/18 \text{ г/моль} = 25 \text{ моль}$$

Ответ: 25 моль.

Пример 5

Образец газообразного азота содержит $1,2 \cdot 10^{22}$ молекул N_2 .

Рассчитать количество вещества азота.

Дано:

$$N(\text{N}_2) = 1,2 \cdot 10^{22}$$

$$\nu(\text{N}_2) = ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} \nu(\text{N}_2) &= N(\text{N}_2)/N_A = 1,2 \cdot 10^{22}/6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = \\ &= 0,02 \text{ моль} \end{aligned}$$

Ответ: 0,02 моль.

Пример 6

Сколько структурных единиц молекул содержится в молекулярном йоде I_2 массой 50,8 г?

Дано:

$$m(\text{I}_2) = 50,8 \text{ г}$$

$$N(\text{I}_2) = ?$$

Решение:

Рассчитываем количество вещества йода

$$\nu(\text{I}_2) = m(\text{I}_2)/M(\text{I}_2) = 50,8 \text{ г}/254 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$$

Используем формулу (3)

$$N(\text{I}_2) = \nu(\text{I}_2) \cdot N_A = 0,2 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1,2 \cdot 10^{23}$$

Ответ: $1,2 \cdot 10^{23}$.

Вычисление массы вещества, молярной массы, числа структурных единиц по известному количеству вещества

Пример 7

Рассчитайте количество вещества металла, в 10,8 г которого содержится $2,4 \cdot 10^{23}$ атомов. Назовите металл.

Дано:

$$m_{\text{мет.}} = 10,8 \text{ г}$$

$$N = 2,4 \cdot 10^{23}$$

$$v_{\text{мет.}} = ?$$

Решение:

Используем формулы (3) и (4)

$$v_{\text{мет.}} = N/N_A = 2,4 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 0,4 \text{ моль}$$

$$M_{\text{мет.}} = m_{\text{мет.}} / v_{\text{мет.}} = 10,8 \text{ г} / 0,4 \text{ моль} = 27 \text{ г/моль}$$

Металл: алюминий $M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}$.

Ответ: 0,4 моль; алюминий.

Пример 8

Определите массу образца оксида серы (VI), который содержит столько же молекул, сколько атомов железа содержится в образце железа массой 1,4 г.

Дано:

$$m(\text{Fe}) = 1,4 \text{ г}$$

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{SO}_3) = ?$$

$$M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}$$

Решение:

$$v(\text{Fe}) = m(\text{Fe}) / M(\text{Fe}) = 1,4 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} = 0,025 \text{ моль}$$

По условию задачи число молекул SO_3 равно числу атомов Fe:

$$N(\text{SO}_3) = N(\text{Fe}),$$

следовательно,

$$v(\text{SO}_3) = v(\text{Fe}) = 0,025 \text{ моль}$$

$$m(\text{SO}_3) = v(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) =$$

$$= 0,025 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 2 \text{ г}$$

Ответ: 2 г.

3. Молярный объем газа

Исходя из закона Авогадро при нормальных условиях (н.у.): температура 0°C , давление 101,325 кПа один моль любого газообразного вещества содержит равное число молекул $6,02 \cdot 10^{23}$, которые занимают равный объем 22,4 л. Такой объем называют *молярным*.

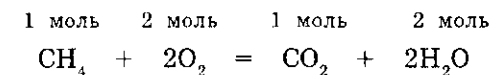
$$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$$

Количество вещества любого газа выражается

$$v_{\text{газ}} = V_{\text{газ}} / V_m = V_{\text{газ}} (\text{л}) / 22,4 \text{ л/моль}, \text{ моль} \quad (5)$$

Стехиометрические коэффициенты в уравнении химической реакции указывают, в каких относительных количествах вещества реагируют друг с другом. Поскольку объемы газообразных веществ пропорциональны их количеству, то коэффициенты уравнения реакции указывают на объемные отношения веществ.

Например, реакция горения метана



свидетельствует о том, что для сгорания 1 моль CH_4 ($V(\text{CH}_4) = V_m \cdot 1 \text{ моль} = 22,4 \text{ л}$) требуется 2 моль O_2 ($V(\text{O}_2) = 2 \text{ моль} \cdot V_m = 44,8 \text{ л}$), при этом образуются 1 моль CO_2 ($V(\text{CO}_2) = V_m \cdot 1 \text{ моль} = 22,4 \text{ л}$) и 2 моль паров воды ($V(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ моль} \cdot V_m = 44,8 \text{ л}$).

Таким образом, при расчетах, число моль газов можно заменить молярными объемами.

Пример 9

При нормальных условиях (н.у.) взяты 5,6 л водорода и 1,8 л углекислого газа. Каково численное содержание молекул во взятых объемах газов?

Дано:

$$V(\text{H}_2) = 5,6 \text{ л}$$

$$V(\text{CO}_2) = 1,8 \text{ л}$$

$$N(\text{N}_2), N(\text{CO}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

Из выражения (5) находим количество вещества каждого газа

$$\nu(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/V_m = 5,6 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,25 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/V_m = 1,8 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,08 \text{ моль}$$

по формуле (3) определяем число молекул

$$N(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot N_A = 0,25 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1,5 \cdot 10^{23}$$

$$N(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot N_A = 0,08 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 4,8 \cdot 10^{22}$$

Ответ: $1,5 \cdot 10^{23}$ молекул водорода; $4,8 \cdot 10^{22}$ молекул углекислого газа.

Пример 10

Газ объемом 1,8 л (н.у.) имеет массу 3,52 г. Определить молярную массу газа и абсолютную массу одной его молекулы.

Дано:

$$V_{\text{газ}} = 1,8 \text{ л}$$

$$m_{\text{газ}} = 3,52 \text{ г}$$

$$M, m_{\text{мол.}} \text{ — ?}$$

Решение:

В соответствии с формулами (4) и (5) находим:

$$\nu_{\text{газ}} = V_{\text{газ}}/V_m = 1,8 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,08 \text{ моль}$$

$$M = m_{\text{газ}}/\nu_{\text{газ}} = 3,52 \text{ г}/0,08 \text{ моль} = 44 \text{ г/моль}$$

Моль газа содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул, суммарная масса которых равна 44 г, тогда масса одной молекулы газа равна

$$m_{\text{мол.}} = M_{\text{газ}}/N_A = 44 \text{ г/моль}/6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 7,3 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

Ответ: $M = 44 \text{ г/моль}$; $m_{\text{мол.}} = 7,3 \cdot 10^{-23} \text{ г}$.

Пример 11

Какие объемы водорода и кислорода, измеренные при нормальных условиях, могут быть получены при полном электролизе 270 г воды?

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 270 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2), V(\text{O}_2) \text{ — ?}$$

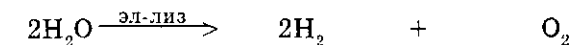
Решение:

Зная молярную массу воды $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$ из выражения (4) находим

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 270 \text{ г}/18 \text{ г/моль} = 15 \text{ моль}$$

По уравнению реакции рассчитываем объемы газов

$$2 \text{ моль} \qquad 2 \text{ моль} \cdot 2,4 \text{ л/моль} \qquad 1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль}$$



$$15 \text{ моль} \qquad x \qquad y$$

$$x = V(\text{H}_2) = 336 \text{ л}; y = V(\text{O}_2) = 168 \text{ л}$$

Ответ: 336 л — H_2 ; 168 л — O_2 .

Следует запомнить: 1 моль любого вещества имеет массу в граммах, численно равную его молярной массе и содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных единиц (атомов, молекул), при этом $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул вещества в газообразном состоянии при нормальных условиях занимают объем 22,4 л.

4. Плотность газов

Плотность вещества равна его массе в единице объема

$$\rho = m/V \text{ (кг/м}^3, \text{ г/л, г/мл).}$$

Плотность газа (г/л) выражает массу (в граммах) 1 л газа. Деля молярную массу газа на молярный объем, находим плотность газа при нормальных условиях:

$$\rho = M/V_m, \text{ г/л} \quad (6)$$

Например, 1 моль хлора (н.у.) занимает объем 22,4 л, масса которого 71 г и его плотность

$$\rho(\text{Cl}_2) = M(\text{Cl}_2)/V_m = 71 \text{ г/моль}/22,4 \text{ л/моль} = 3,17 \text{ г/л}$$

Зная плотность газа, легко определить его молярную массу. Например, плотность воздуха (при н.у.) равна 1,295 и его молярная масса

$$M_{\text{возд.}} = \rho_{\text{возд.}} \cdot V_m = 1,295 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 29 \text{ г/моль}$$

Относительная плотность D показывает, во сколько раз один газ тяжелее или легче равного объема другого газа, взятых при одинаковых условиях. Так, для двух газов с молярными массами M_1 и M_2 и плотностями ρ_1 и ρ_2

$$D = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1/V_m}{M_2/V_m} = \frac{M_1}{M_2}.$$

При расчетах молярной массы неизвестного газа исходят из его плотности относительно газа с известной молярной массой, например: $M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$, $M_{\text{возд.}} = 29 \text{ г/моль}$.

При расчетах молярной массы неизвестного газа исходят из его плотности относительно газа с известной молярной массой, например:

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль},$$

$$M_{\text{возд.}} = 29 \text{ г/моль};$$

$$M = 2D_{\text{H}_2} \text{ и } M = 29D_{\text{возд.}}, \text{ г/моль} \quad (7)$$

Величина относительной плотности безразмерна.

Пример 12

Рассчитать молярную массу газа, плотность которого по воздуху равна 2,207.

Дано:

$$D_{\text{возд.}} = 2,207$$

$$M - ?$$

Решение:

$$M = 29 D_{\text{возд.}} = 29 \text{ г/моль} \cdot 2,207 = 64 \text{ г/моль}$$

Ответ: 64 г/моль.

Пример 13

Определить молярную массу неизвестного газа, если равные объемы этого газа и водорода при одинаковых условиях имеют массы соответственно 6,25 г и 0,445 г.

Дано:

$$m_{\text{газ}} = 6,25 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,445 \text{ г}$$

$$M - ?$$

Решение:

Рассчитываем относительную плотность неизвестного газа по водороду и определяем молярную массу газа

$$D_{\text{H}_2} = m_{\text{газ}} / m(\text{H}_2) = 6,25 \text{ г}/0,445 \text{ г} = 14$$

$$M = 2D_{\text{H}_2} = 2 \text{ г/моль} \cdot 14 = 28 \text{ г/моль}$$

Ответ: 28 г/моль.

Для расчетов, определяющих на сколько или во сколько раз масса молекулы одного вещества больше или меньше массы молекулы другого вещества, проще пользоваться величинами относительных молекулярных масс, которые выполняют роль истинных масс молекул. Все сказанное справедливо также в отношении относительных атомных масс.

Пример 14

Во сколько раз масса молекулы воды больше массы молекулы водорода и меньше массы атома неона?

Дано:

$$\begin{array}{ll} \text{H}_2\text{O}, \text{H}_2, \text{Ne} & M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 \\ \frac{m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{мол.}}(\text{H}_2)} \quad \text{— ?} & M_r(\text{Ne}) = 20 \\ \frac{m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{ат.}}(\text{Ne})} \quad \text{— ?} & M_r(\text{H}_2) = 2 \end{array}$$

Решение:

$$\begin{aligned} m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O})/m_{\text{мол.}}(\text{H}_2) &= M_r(\text{H}_2\text{O})/M_r(\text{H}_2) = 18/2 = 9 \\ m_{\text{ат.}}(\text{H}_2\text{O})/m_{\text{мол.}}(\text{Ne}) &= M_r(\text{H}_2\text{O})/M_r(\text{Ne}) = 18/20 = 0,9 \end{aligned}$$

Ответ: Масса молекулы воды в 9 раз превышает массу молекулы водорода и составляет 0,9 массы атома неона.

Пример 15

Что имеет большую массу: три молекулы кислорода или три атома хлора?

Дано:

$$\begin{array}{ll} 3\text{O}_2, 3\text{Cl} & M_r(\text{O}_2) = 32 \\ m_{\text{мол.}}(\text{O}_2), m_{\text{ат.}}(\text{Cl}) \quad \text{— ?} & A_r(\text{Cl}) = 35,5 \end{array}$$

Решение:

$$3m_{\text{ат.}}(\text{Cl})/3m_{\text{мол.}}(\text{O}_2) = A_r(\text{Cl})/3M_r(\text{O}_2) = 3 \cdot 35,5/3 \cdot 32 = 1,11$$

Ответ: Масса трех атомов хлора в 1,11 раз превышает массу трех молекул кислорода.

Задачи для самостоятельного решения

1. В какой массе оксида азота (IV) и оксида серы (IV) содержится по $1,204 \cdot 10^{24}$ молекул?

Ответ: 92 г NO_2 ; 128 г SO_2 .

2. На одной чашке весов находятся медные стружки, на другой — порция магния, содержащая $7,525 \cdot 10^{24}$ атомов магния. При этом весы находятся в состоянии равновесия. Какова масса медных стружек?

Ответ: 300 г.

3. Определите молярную массу газа и назовите его, если 30 г газа при нормальных условиях содержат $9,03 \cdot 10^{24}$ молекул.

Ответ: 2 г/моль; Водород.

4. Какое количество вещества железа необходимо взять, чтобы оно содержало столько атомов, сколько атомов содержит неон массой 0,2 г?

Ответ: 0,01 моль.

5. Рассчитайте количество вещества алюминия и число атомов в алюминиевой ложке массой 20 г.

Ответ: 0,74 моль; $4,45 \cdot 10^{23}$ атомов.

6. Какой объем, при нормальных условиях, займут $2,05 \cdot 10^{22}$ молекул хлора и какова его масса?

Ответ: 0,76 л; 2,41 г.

7. Рассчитайте количество вещества некоторого газа объемом 1 м^3 (н.у.) и определите, сколько молекул будет содержать такой объем газа?

Ответ: 44,64 моль; $2,69 \cdot 10^{25}$ молекул.

8. Баллон со сжатым водородом вмещает 6,5 кг газа. Рассчитайте количество вещества водорода и его объем, измеренный при нормальных условиях.

Ответ: $3,25 \cdot 10^3$ моль; $72,8 \text{ м}^3$.

9. Вычислите массу образца воды, который содержит столько же молекул, сколько их в серной кислоте массой 2,45 г. Какой объем займет рассчитанная масса воды, если плотность воды равна 1 г/мл?

Ответ: 0,45 г; 0,45 мл.

10. Из скольких атомов состоят молекулы: а) паров серы, если $D_{\text{возд.}} = 2,207$; б) паров ртути при 500°C , если $D_{\text{возд.}} = 6,92$?

Ответ: а) из 2-х атомов; б) из 1-го атома.

11. Какое число молекул содержит, измеренный при нормальных условиях, 1 л паров воды и 1 мл воды, плотность которой 1 г/мл?

Ответ: $2,69 \cdot 10^{22}$ и $3,34 \cdot 10^{22}$ молекул.

12. Плотность газа по воздуху равна 1,104. Рассчитайте массу газа объемом 1 л (н.у.).
Ответ: 1,43 г.
13. Вычислите количество вещества атомного фосфора, содержащегося в оксиде фосфора (V) массой 7,1 г.
Ответ: 0,1 моль.
14. Образец газа массой 0,625 г занимает при нормальных условиях объем, равный 0,5 л. Рассчитайте молярную массу газа.
Ответ: 28 г/моль.
15. Смешали 0,2 моль азота, 1,6 г кислорода и некоторый объем водорода, содержащий $2,408 \cdot 10^{23}$ молекул. Рассчитайте массу газовой смеси и объем, который займет эта смесь при нормальных условиях.
Ответ: 8 г; 14,56 л.
16. Рассчитайте массу 15 моль кислорода. Сколько молекул содержится в этой порции вещества?
Ответ: 480 г; $9,03 \cdot 10^{24}$ молекул.
17. Кусочек меди содержит $1,505 \cdot 10^{23}$ атомов. Какому количеству вещества меди это соответствует?
Ответ: 0,25 моль.
18. Рассчитайте, где содержится больше молекул: в образце кислорода массой 4 г или в образце брома той же массы?
Ответ: $7,52 \cdot 10^{22}$ молекул кислорода; $1,5 \cdot 10^{22}$ молекул брома.
19. Масса порции сернистого газа SO_2 равна 16 г. Вычислите: а) число молекул газа; б) количество вещества сернистого газа; в) относительную плотность сернистого газа по кислороду.
Ответ: а) $1,5 \cdot 10^{23}$; б) 0,25 моль; в) 2.
20. Определите: а) на сколько а.е.м. относительная молекулярная масса молекулы оксида азота (IV) больше массы молекулы оксида азота (II); б) во сколько раз суммарная масса атомов кислорода в указанных оксидах азота больше суммарной массы атомов азота?
Ответ: а) на 16 а.е.м.; б) в 1,7 раз.

II. ВЫЧИСЛЕНИЯ ПО ХИМИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ

1. Определение массовых отношений химических элементов в сложном веществе

Химическая формула представляет собой условную запись состава вещества посредством символов химических элементов и индексов, обозначающих число атомов элементов. Так, в молекуле сложного вещества $A_x B_y$: A, B — химические элементы; x, y — индексы. В общем виде, массовые отношения химических элементов — это отношение относительных атомных масс элементов с учетом индексов.

$$m_A : m_B = xA_r(A) : yA_r(B) \quad (8)$$

Вычисления массовых отношений возможны также по экспериментальным данным.

Пример 1

Рассчитать массовые отношения атомов в молекуле оксида азота (V).

Дано:

$$\begin{array}{ll} \text{N}_2\text{O}_5 & A_r(\text{N}) = 14 \\ m(\text{N}):m(\text{O}) \text{ — ?} & A_r(\text{O}) = 16 \end{array}$$

Решение:

$$m(\text{N}) : m(\text{O}) = 2A_r(\text{N}) : 5A_r(\text{O}) = (2 \cdot 14) : (5 \cdot 16) = 7:20$$

Ответ: Для образования молекулы оксида азота (V) на каждые 7 весовых частей азота необходимо затратить 20 весовых частей кислорода.

Пример 2

При сжигании некоторого количества углеводорода было получено 0,88 г углекислого газа и 0,18 г воды. Найти отношения масс атомов углерода и водорода.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{CO}_2) &= 0,88 \text{ г} & M_r(\text{CO}_2) &= 44 \text{ г} \\ m(\text{H}_2\text{O}) &= 0,18 \text{ г} & M_r(\text{H}_2\text{O}) &= 18 \text{ г} \\ m(\text{C}):m(\text{H}) &= ? & A_r(\text{C}) &= 12 \\ & & A_r(\text{H}) &= 1 \end{aligned}$$

Решение:

По массе CO_2 находим массу углерода; по массе H_2O — массу водорода.

$$m(\text{C}) = m(\text{CO}_2) \cdot \frac{A_r(\text{C})}{M_r(\text{CO}_2)} = 0,88 \cdot 12/44 = 0,24 \text{ г}$$

$$m(\text{H}) = m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \frac{2 A_r(\text{H})}{M_r(\text{H}_2\text{O})} = 0,18 \cdot 2/18 = 0,02 \text{ г}$$

Дробные числа отношения масс атомов пересчитываем в целочисленные

$$m(\text{C}):m(\text{H}) = 0,24:0,02 = \frac{0,24}{0,02} : \frac{0,02}{0,02} = 12:1.$$

Ответ: $m(\text{C}):m(\text{H}) = 12:1$.

2. Вычисления массовых долей химических элементов в сложном веществе

Массовая доля химического элемента ω_x в составе сложного вещества определяется отношением массы элемента к массе сложного вещества. При этом массовые доли элементов выражаются либо в процентах, либо в долях единицы. Для расчетов пользуются относительными атомными и молекулярными массами, либо молярными массами.

$$\omega_{(эл-т)} = \frac{x A_r(\text{эл-т})}{M_r(\text{в-во})} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где x — индекс элемента в формуле вещества.

В расчетах можно использовать экспериментальные данные.

Пример 3

Определить процентный состав химических элементов в оксиде железа (III).

Дано:

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 & & A_r(\text{Fe}) &= 56 \\ \omega(\text{Fe}) &= ? & A_r(\text{O}) &= 16 \\ \omega(\text{O}) &= ? & M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 160 \end{aligned}$$

Решение:

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{2 A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \cdot 100 = 2 \cdot 56 \cdot 100/160 = 70\%$$

$$\omega(\text{O}) = 100 - \omega(\text{Fe}) = 100 - 70 = 30\%$$

Ответ: 70% и 30%.

Пример 4

Вещество состоит из меди и серы. Из 48 г этого вещества получено 40 г оксида меди (II). Определить массовые доли элементов в составе вещества.

Дано:

$$\begin{aligned} m_{\text{в-во}} &= 48 \text{ г} & M(\text{CuO}) &= 80 \text{ г/моль} \\ m(\text{CuO}) &= 40 \text{ г} & M(\text{Cu}) &= 64 \text{ г/моль} \\ \omega(\text{Cu}), \omega(\text{S}) &= ? \end{aligned}$$

Решение:

По массе CuO находим массу меди

$$\begin{aligned} m(\text{Cu}) &= m(\text{CuO}) \cdot M(\text{Cu})/M(\text{CuO}) = \\ &= 40 \text{ г} \cdot 64 \text{ г/моль}/80 \text{ г/моль} = 32 \text{ г} \end{aligned}$$

Из (9) находим массовую долю меди в составе вещества:

$$\begin{aligned} \omega(\text{Cu}) &= m(\text{Cu})/m_{\text{в-во}} = 32 \text{ г}/48 \text{ г} = 0,67_{\text{дол. ед.}} \quad (67\%) \\ \text{и } \omega(\text{S}) &= 1 - \omega(\text{Cu}) = 1 - 0,67 = 0,33_{\text{дол. ед.}} \quad (33\%) \end{aligned}$$

Ответ: 67% и 33%.

Пример 5

Определить, где больше массовая доля серы: а) в оксиде серы (IV); б) в оксиде серы (VI)?

Дано:



Решение:

$$\text{а) } \omega(\text{S}) = A_r(\text{S}) \cdot 100 / M_r(\text{SO}_2) = 32 \cdot 100 / 64 = 50\%$$

$$\text{б) } \omega(\text{S}) = A_r(\text{S}) \cdot 100 / M_r(\text{SO}_3) = 32 \cdot 100 / 80 = 40\%$$

Ответ: а) 50%; б) 40%.

Задачи для самостоятельного решения

1. Химическая формула уксусной кислоты CH_3COOH . Укажите, какие элементы входят в состав кислоты и рассчитайте их массовые отношения.

Ответ: $m(\text{C}) : m(\text{H}) : m(\text{O}) = 6:1:8$.

2. При сжигании магния массой 9 г получили его оксид массой 15 г. Найдите отношения масс элементов в оксиде магния.

Ответ: $m(\text{Mg}) : m(\text{O}) = 3:2$.

3. При восстановлении водородом оксида меди массой 2,4 г получили 0,54 г воды. Определите отношение масс элементов в оксиде меди.

Ответ: $m(\text{Cu}) : m(\text{O}) = 4:1$.

4. При сжигании углеводорода получили углекислый газ массой 0,88 г и 0,18 г воды. Рассчитайте отношение масс углерода и водорода в исходном соединении.

Ответ: $m(\text{C}) : m(\text{H}) = 12:1$.

5. Алюминий и углерод при нагревании соединяются в массовом отношении 3:1, образуя карбид алюминия. Сколько надо

взять углерода для реакции с 24 г алюминия и какая масса карбида алюминия Al_4C_3 будет получена при этом? Ответ: 8 г углерода; 32 г карбида алюминия.

6. Какая масса серы вступит в реакцию с железом массой 1,4 кг, если отношение масс элементов в сульфиде железа 7:8? Ответ: 1,6 кг.

7. Определите процентный состав элементов в соединениях: а) бромиде кальция; б) серной кислоте.

Ответ: а) 20% Ca, 80% Br; б) 2% H, 32,7% S, 65,3% O.

8. Рассчитайте массовую долю марганца в оксидах марганца: а) IV; б) VII.

Ответ: а) 63,2%; б) 49,5%.

9. Рассчитайте массовую долю кислорода: а) в оксиде калия; б) в гидроксиде магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Ответ: а) 17%; б) 55,2%.

10. При сжигании вещества, состоящего из углерода и водорода, получено 0,616 г углекислого газа и 0,216 г воды. Найдите массовые доли углерода и водорода в исходном веществе.

Ответ: 87,5% углерода, 12,5% водорода.

11. Какую массу железа можно получить из 1 т руды, содержащей магнетит Fe_3O_4 и 20% пустой породы.

Ответ: 579,3 кг.

12. Рассчитайте массовую долю железа: а) в гематите Fe_2O_3 ; б) в сидерите FeCO_3 ; в) в лимоните $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: а) 70%; б) 48,3%; в) 59,9%.

13. Определите массовую долю кристаллизационной воды в кристаллогидрате хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: 14,75%.

14. В смеси хромата калия K_2CrO_4 количеством вещества 1 моль и 2 моль оксида хрома (III) массовая доля кислорода равна 34,8%. Рассчитайте массовую долю хрома в данной смеси.

Ответ: 52,2%.

15. Рассчитайте массовую долю азота: а) в азотной кислоте HNO_3 ; б) в нитрате алюминия $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.

Ответ: а) 22,22%; б) 19,72%.

16. Смесь металлических стружек содержит 0,25 моль железа и магний количеством вещества — 1,5 моль. Вычислите массовую долю магния в данной смеси.

Ответ: 72%.

17. Рассчитайте массовые доли железа и хрома в составе хромита железа $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$.

Ответ: 25% железа, 46,4% хрома.

18. Рассчитайте массу меди и ее массовую долю в составе медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ массой 10 г.

Ответ: 2,56 г, 25,6%.

19. Состав некоторого оксида может быть выражен формулой Me_2O_3 . В 38 г такого оксида содержится 26 г металла. Какой металл образует оксид?

Ответ: хром.

20. В некотором количестве медной руды содержится 8 кг меди. Какой массе оксида меди (II) это соответствует?

Ответ: 10 кг.

III. ВЫВОД ХИМИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

Формулы химических соединений подразделяют на простейшие или эмпирические и истинные. Для вывода простейших формул необходимо знать, из каких элементов образовано сложное вещество, их массовые доли или отношение масс элементов в сложном веществе. Для вывода формул, соответствующих действительному числу атомов каждого элемента, необходимо также знать и молярную массу вещества.

1. Вывод химической формулы по массовым долям химических элементов в составе вещества

Пример 1

Оксид азота содержит 63,2% кислорода. Какова формула оксида?

Дано:

$$\omega(\text{O}) = 63,2\% \qquad A_r(\text{N}) = 14$$

$$\text{N}_x\text{O}_y \text{ — ?} \qquad A_r(\text{O}) = 16$$

Решение:

Находим массовую долю азота в составе оксида и соотношение атомов азота и кислорода

$$\omega(\text{N}) = 100 - \omega(\text{O}) = 100 - 63,2 = 36,8\%$$

$$x:y = \frac{A_r(\text{N})}{\omega(\text{N})} : \frac{A_r(\text{O})}{\omega(\text{O})} : \frac{36,8}{14} : \frac{63,2}{16} = 2,63:3,95 =$$

$$= (2,63/2,63) : (3,95/2,63) = (1:1,5) \cdot 2 = 2:3.$$

Полученное соотношение есть отношение индексов в молекуле оксида азота

Ответ: N_2O_3 .

Пример 2

В состав вещества входит 32,5% натрия, 22,5% серы и 45% кислорода. Вывести химическую формулу вещества.

Дано:

$$\begin{aligned}\omega(\text{Na}) &= 32,5\% & A_r(\text{Na}) &= 23 \\ \omega(\text{S}) &= 22,5\% & A_r(\text{S}) &= 32 \\ \omega(\text{O}) &= 45\% & A_r(\text{O}) &= 16 \\ \text{Na}_x \text{S}_y \text{O}_z &= ?\end{aligned}$$

Решение:

Находим соотношение элементов в составе вещества

$$\begin{aligned}x:y:z &= \frac{\omega(\text{Na})}{A_r(\text{Na})} : \frac{\omega(\text{S})}{A_r(\text{S})} : \frac{\omega(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \\ &= \frac{32,5}{23} : \frac{22,5}{32} : \frac{45}{16} = 1,413:0,703:2,812 = 2:1:4.\end{aligned}$$

Ответ: Na_2SO_4 .

2. Вывод химической формулы по отношению масс химических элементов в сложном веществе

Отношение масс отдельных элементов в сложном веществе равноценно отношению массовых долей элементов.

Пример 3

Магний соединяется с азотом, образуя нитрид магния, в массовом отношении 18:7. Вывести формулу соединения.

Дано:

$$\begin{aligned}m(\text{Mg}) : m(\text{N}) &= 18:7 & A_r(\text{Mg}) &= 24 \\ \text{Mg}_x \text{N}_y &= ? & A_r(\text{N}) &= 14\end{aligned}$$

Решение:

$$\begin{aligned}x:y &= \frac{m(\text{Mg})}{A_r(\text{Mg})} : \frac{m(\text{N})}{A_r(\text{N})} = (18/24):(7/14) = \\ &= (0,75:0,5) \cdot 4 = 3:2.\end{aligned}$$

Полученное соотношение — это отношение индексов в молекуле нитрида магния.

Ответ: Mg_3N_2 .

Пример 4

При сжигании фосфора массой 1 г в атмосфере кислорода образовался его оксид массой 2,29 г. Найти формулу оксида.

Дано:

$$\begin{aligned}m(\text{P}) &= 1 \text{ г} & A_r(\text{P}) &= 31 \\ m_{\text{оксид}} &= 2,29 \text{ г} & A_r(\text{O}) &= 16 \\ \text{P}_x \text{O}_y &= ?\end{aligned}$$

Решение:

Находим массу кислорода и отношение масс элементов в оксиде

$$m(\text{O}) = m_{\text{оксид}} - m(\text{P}) = 2,29 - 1 = 1,29 \text{ г.}$$

$$\begin{aligned}x:y &= \frac{m(\text{P})}{A_r(\text{P})} : \frac{m(\text{O})}{A_r(\text{O})} = (1/31):(1,29/16) = \\ &= 0,032:0,08 = (1:2,5) \cdot 2 = 2:5.\end{aligned}$$

Ответ: P_2O_5 .

3. Вывод молекулярных формул

Пример 5

Определить молекулярную формулу одного из оксидов хлора, плотность которого по воздуху равна 3, а содержание кислорода в оксиде 18,4%.

Дано:

$$\begin{aligned}\omega(\text{O}) &= 18,4\% & A_r(\text{Cl}) &= 35,5 \\ D_{\text{возд.}} &= 3 & A_r(\text{O}) &= 16 \\ \text{Cl}_x \text{O}_y &= ?\end{aligned}$$

Решение:

Находим молярную массу оксида, массовую долю хлора в нем и соотношение элементов

$$\omega(\text{Cl}) = 100 - \omega(\text{O}) = 100 - 18,4 = 81,6\%$$

$$M_{\text{оксид}} = 29 \text{ г/моль} \cdot D_{\text{возд.}} = 29 \text{ г/моль} \cdot 3 = 87 \text{ г/моль}$$

$$x:y = \frac{\omega(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{\omega(\text{O})}{A_r(\text{O})} = (81,6/35,5):(18,4/16) =$$

$$= (2,3:1,15) = 2:1.$$

Простейшая формула C_2O . Истинная формула та, молекулярная масса которой совпадет с числовым значением молярной массы вещества. В данном случае простейшая формула C_2O ($M_r = 2 \cdot 35,5 + 16 = 87$) будет также истинной или молекулярной.

Ответ: C_2O .

Пример 6

При сжигании 8,4 г углеводорода получили 26,4 г углекислого газа и 10,8 г воды. Относительная плотность паров углеводорода по водороду равна 42. Найти молекулярную формулу углеводорода.

Дано:

$$\begin{array}{ll} D_{\text{H}_2} = 42 & A_r(\text{C}) = 12 \\ m(\text{CO}_2) = 26,4 \text{ г} & A_r(\text{H}) = 1 \\ m(\text{H}_2\text{O}) = 10,8 \text{ г} & M_r(\text{CO}_2) = 44 \\ \text{C}_x\text{H}_y - ? & M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 \end{array}$$

Решение:

Определяем молярную массу истинной формулы углеводорода

$$M_{\text{углеводор.}} = 2 \cdot D_{\text{H}_2} = 2 \cdot 42 = 84 \text{ г/моль}$$

По массам CO_2 и H_2O находим массы углерода и водорода

$$m(\text{C}) = m(\text{CO}_2) \cdot A_r(\text{C})/M_r(\text{CO}_2) = 26,4 \cdot 12/44 = 7,2 \text{ г}$$

$$m(\text{H}) = m(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2A_r(\text{H})/M_r(\text{H}_2\text{O}) = 10,8 \cdot 2/18 = 1,2 \text{ г}$$

$$x:y = \frac{m(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{A_r(\text{H})} = (7,2/12):(1,2/1) = 0,6:1,2 = 1:2$$

Простейшая формула CH_2 , где $M_r(\text{CH}_2) = 14$ в 6 раз меньше истинной молярной массы

$$M(\text{C}_x\text{H}_y)/M(\text{CH}_2) = 84/14 = 6.$$

Следовательно, индексы атомов углерода и водорода должны быть в 6 раз больше.

Ответ: C_6H_{12} .

Пример 7

При сгорании 2,3 г органического вещества, состоящего из углерода, водорода и кислорода, образовалось 4,4 г углекислого газа и 2,7 г воды. Плотность паров вещества по кислороду равна 1,44 г. Определить молекулярную формулу вещества.

Дано:

$$\begin{array}{ll} D_{\text{O}_2} = 1,44 & A_r(\text{C}) = 12 \\ m_{\text{орг. в-во.}} = 2,3 \text{ г} & A_r(\text{H}) = 1 \\ m(\text{CO}_2) = 4,4 \text{ г} & M_r(\text{CO}_2) = 44 \\ m(\text{H}_2\text{O}) = 2,7 \text{ г} & M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18 \\ \text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z - ? & \end{array}$$

Решение:

Молярная масса вещества и массы элементов, входящих в состав вещества,

$$M_{\text{в-во.}} = M(\text{O}_2) \cdot D_{\text{O}_2} = 32 \cdot 1,44 = 46 \text{ г/моль.}$$

По аналогии с предыдущей задачей находим массы элементов

$$m(\text{C}) = m(\text{CO}_2) \cdot A_r(\text{C})/M_r(\text{CO}_2) = 4,4 \cdot 12/44 = 1,2 \text{ г}$$

$$m(\text{H}) = m(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2A_r(\text{H})/M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2,7 \cdot 2/18 = 0,3 \text{ г}$$

$$m(\text{O}) = m_{\text{в-во.}} - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 2,3 - 1,2 - 0,3 = 0,8 \text{ г}$$

$$x:y:z = \frac{m(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{A_r(\text{H})} : \frac{m(\text{O})}{A_r(\text{O})} =$$

$$= (1,2/12):(0,3/1):(0,8/16) = 0,1:0,3:0,05 = 2:6:1.$$

Молекулярная масса простейшей формулы $M_r(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 46$ совпадает с молярной массой истинной формулы.

Ответ: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

Задачи для самостоятельного решения

1. Массовая доля водорода в его соединении с кремнием равна 12,5%. Вывести эмпирическую формулу соединения и рассчитать его молекулярную массу.

Ответ: SiH_4 , $M_r = 32$.

2. В соединении калия, хлора и кислорода массовые доли элементов соответственно равны 31,8%, 29%, 39,2%. Установите простейшую формулу соединения.

Ответ: KClO_3 .

3. Массовая доля хлора в хлориде фосфора составляет 77,5%. Определите простейшую формулу соединения.

Ответ: PCl_3 .

4. Определите простейшую формулу соединения калия с марганцем и кислородом, если массовая доля калия равна 24,7%, марганца — 34,8%.

Ответ: KMnO_4 .

5. Титан и сера соединяются в массовом отношении 3:4. Найдите простейшую формулу этого соединения.

Ответ: TiS_2 .

6. Массовые отношения мышьяка и кислорода представлены как 25:8. Выведите простейшую формулу соединения.

Ответ: As_2O_3 .

7. Образец соединения фосфора и брома массой 81,3 г содержит 0,3 моль фосфора. Найдите эмпирическую формулу соединения.

Ответ: PBr_3 .

8. При нагревании некоторого вещества массой 1,225 г образовалось 0,745 г хлорида калия и выделился кислород объемом 0,336 л (н.у.). Найдите формулу соединения.

Ответ: KClO_3 .

9. В состав вещества входят 2,2% водорода, 26,6% углерода и 71,2% кислорода. Молярная масса вещества равна 90 г/моль. Определите молекулярную формулу вещества.

Ответ: $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

10. Два углеводорода имеют разные относительные молекулярные массы: 26 и 78, но одинаковый состав: 92,3% углерода и 7,7% водорода. Найдите молекулярные формулы углеводородов.

Ответ: C_2H_2 ; C_6H_6 .

11. При сжигании органического вещества массой 10,5 г получили 16,8 л углекислого газа (н.у.) и 13,5 г воды. Плотность паров вещества по воздуху равна 2,9. Выведите молекулярную формулу вещества.

Ответ: C_6H_{12} .

12. Какова молекулярная формула спирта, если массовые отношения: $m(\text{C}):m(\text{H}):m(\text{O}) = 3:1:4$ и относительная молекулярная масса $M_r = 32$?

Ответ: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (или CH_3OH).

13. При полном сгорании кислородсодержащего органического вещества массой 13,8 г получили 26,4 г углекислого газа и 16,2 г воды. Найдите молекулярную формулу вещества, если относительная плотность его паров по водороду равна 23.

Ответ: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

14. Молярная масса соединения азота с водородом равна 32 г/моль. Определите молекулярную формулу вещества, массовая доля азота в котором составляет 85,7%.

Ответ: N_2H_4 .

15. Массовая доля фосфора в одном из его оксидов равна 56,4%. Плотность паров оксида по воздуху равна 7,59. Установите молекулярную формулу оксида.

Ответ: P_4O_6 .

16. В натуральном жемчуге массовые отношения кальция, углерода и кислорода равны 10:3:12. Какова простейшая формула жемчуга?

Ответ: CaCO_3 .

17. Определите молекулярную формулу соединения, содержащего 49,4% калия, 20,2% серы, 30,4% кислорода, если относительная молекулярная масса этого соединения в 3,95 раза больше относительной атомной массы кальция.

Ответ: K_2SO_3 .

18. Определите молекулярную формулу кальциевой селитры, в которой массовые отношения кальция, азота и кислорода равны 10:7:24. Относительная молекулярная масса кальциевой селитры равна 164.

Ответ: $Ca(NO_3)_2$.

19. При сгорании 7 г органического вещества получили 11,2 л (н.у.) CO_2 и 9 г H_2O . Относительная плотность вещества по кислороду равна 1,313. Найдите молекулярную формулу вещества.

Ответ: C_3H_6 .

20. Найдите молекулярную формулу вещества, если плотность его паров по водороду равна 67,5, а состав выражается следующими массовыми долями элементов: 23,7% серы, 23,7% кислорода, 52,6% хлора.

Ответ: SO_2Cl_2 .

IV. РАСЧЕТЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЯМ

Решение задач по химическим уравнениям базируется на точном составлении уравнения химической реакции и применения при расчетах закона сохранения массы, где определенной массе или объему одного из реагирующих веществ соответствует эквивалентная масса или объем другого из них. Принцип эквивалентности или пропорциональности распространяется также и на продукты реакции.

В приведенных примерах решения задач используются заранее подсчитанные молярные массы сложных веществ.

1. Реакции разложения

В реакциях разложения из одного сложного вещества получаются несколько веществ, где независимо от агрегатного состояния все вещества эквивалентны друг другу.

Пример 1

Рассчитать массу оксида кальция, который образуется при прокаливании 6 кг известняка, содержащего помимо карбоната кальция $CaCO_3$ еще 5% посторонних примесей.

Дано:

$$m_{\text{изв.}} = 6 \text{ кг}$$

$$\omega_{\text{прим.}} = 5\%$$

$$m(CaO) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим процентное содержание и массу карбоната кальция в известняке

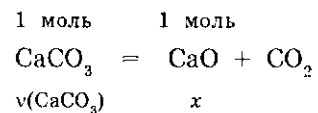
$$\begin{aligned} \omega(CaCO_3) &= 100 - \omega_{\text{прим.}} = 100 - 5 = \\ &= 95\% \text{ (0,95 дол. ед.)} \end{aligned}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = m_{\text{изв.}} \cdot w(\text{CaCO}_3) = 6 \text{ кг} \cdot 0,95 = 5,7 \text{ кг (5700 г)}$$

Рассчитываем количество вещества карбоната кальция

$$\nu(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3) = 5700 \text{ г}/100 \text{ г/моль} = 57 \text{ моль}$$

По уравнению реакции рассчитываем массу оксида кальция



$$\nu(\text{CaO}) = \nu(\text{CaCO}_3) = 57 \text{ моль}$$

$$m(\text{CaO}) = \nu(\text{CaO}) \cdot M(\text{CaO}) = 57 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 3192 \text{ г (3,19 кг)}$$

Ответ: 3,19 кг.

Пример 2

Технический хлорат калия KClO_3 массой 28 г подвергли термическому разложению, в результате чего образовался хлорид калия и выделился кислород объемом 7,6 л (н.у.). Определить степень чистоты хлората калия.

Дано:

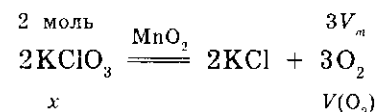
$$m(\text{KClO}_3)_{\text{техн.}} = 28 \text{ г}$$

$$V(\text{O}_2) = 7,6 \text{ л}$$

$$\omega(\text{KClO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

По уравнению реакции рассчитываем массу хлората калия, эквивалентную объему выделившегося кислорода.



$$x = \nu(\text{KClO}_3) = V(\text{O}_2) \cdot 2/3V_m = 7,6 \text{ л} \cdot 2/3 \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,226 \text{ моль.}$$

$$m(\text{KClO}_3) = \nu(\text{KClO}_3) \cdot M(\text{KClO}_3) = 0,226 \text{ моль} \cdot 122,5 \text{ г/моль} = 27,7 \text{ г.}$$

Степень чистоты (массовая доля) хлората калия в техническом препарате

$$\omega(\text{KClO}_3) = m(\text{KClO}_3) \cdot 100/m(\text{KClO}_3)_{\text{техн.}} = 27,7 \text{ г} \cdot 100/28 \text{ г} = 98,9\%.$$

Ответ: 98,9%.

2. Реакции соединения

В реакциях соединения взаимодействуют несколько веществ с образованием одного более сложного вещества. При этом, если одно из исходных веществ взято в избытке, расчет продукта реакции нужно вести по исходному веществу, которое полностью вступает в реакцию: количество продукта реакции будет эквивалентно веществу, взятому в недостатке.

Пример 3

Рассчитать массу оксида фосфора (V), которая образуется при взаимодействии фосфора массой 3,72 г с кислородом.

Дано:

$$m(\text{P}) = 3,72 \text{ г}$$

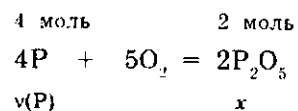
$$m(\text{P}_2\text{O}_5) \text{ — ?}$$

Решение:

Объем кислорода в условии задачи не оговаривается, следовательно, кислород взят в избытке. Определяем количество вещества фосфора

$$\nu(\text{P}) = m(\text{P})/M(\text{P}) = 3,72 \text{ г}/31 \text{ г/моль} = 0,12 \text{ моль.}$$

По уравнению реакции рассчитываем количество вещества оксида фосфора (V) и его массу



$$x = \nu(\text{P}_2\text{O}_5) = \nu(\text{P}) \cdot 2/4 = 0,12 \cdot 2/4 = 0,06 \text{ моль}$$

$$\begin{aligned} m(\text{P}_2\text{O}_5) &= \nu(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,06 \text{ моль} \cdot 142 \text{ г/моль} = \\ &= 8,52 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: 8,52 г.

Пример 4

Какие объемы водорода и азота, измеренные при нормальных условиях, необходимы для получения 850 г аммиака NH_3 ?

Дано:

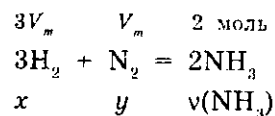
$$\begin{aligned} m(\text{NH}_3) &= 850 \text{ г} \\ V(\text{H}_2), V(\text{N}_2) &= ? \end{aligned}$$

Решение:

Рассчитываем количество вещества аммиака

$$\nu(\text{NH}_3) = m(\text{NH}_3)/M(\text{NH}_3) = 850 \text{ г}/17 \text{ г/моль} = 50 \text{ моль}$$

Для вычисления объемов используем молярные объемы, число которых для каждого газа определяется коэффициентом реакции.



$$\begin{aligned} x = \nu(\text{H}_2) &= \nu(\text{NH}_3) \cdot 3V_m/2 = 50 \text{ моль} \cdot 3 \cdot 22,4 \text{ л/моль}/2 = \\ &= 1680 \text{ л.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y = \nu(\text{N}_2) &= \nu(\text{NH}_3) \cdot V_m/2 = 50 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль}/2 = \\ &= 560 \text{ л.} \end{aligned}$$

Ответ: 1680 л — H_2 ; 560 л — N_2 .

Если условием задачи не оговаривается, какое из реагирующих веществ взято в избытке, необходимо массы (объемы) всех веществ, участвующих в реакции, перевести в единицы количества вещества — моль. Используя коэффициенты реакции, соответствующие числу моль, легко определить, какое из исходных веществ взято в избытке и какое в недостатке.

Пример 5

Для реакции взяли 10,8 г алюминия и 22,4 г серы. Рассчитать массу полученного сульфида алюминия Al_2S_3 .

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{Al}) &= 10,8 \text{ г} \\ m(\text{S}) &= 22,4 \text{ г} \\ m(\text{Al}_2\text{S}_3) &= ? \end{aligned}$$

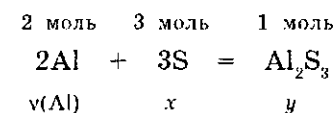
Решение:

Находим количество вещества исходных продуктов

$$\nu(\text{Al}) = m(\text{Al})/M(\text{Al}) = 10,8 \text{ г}/27 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{S}) = m(\text{S})/M(\text{S}) = 22,4 \text{ г}/32 \text{ г/моль} = 0,7 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции следует, что алюминий и сера реагируют в молярном отношении 2:3. Чтобы прореагировал весь алюминий (0,4 моль) достаточно 0,6 моль серы. Следовательно, сера взята в избытке и расчет ведется по алюминию



$$x = \nu(\text{S})_{\text{принял}} = \nu(\text{Al}) \cdot 3/2 = 0,4 \cdot 3/2 = 0,6 \text{ моль}$$

$$y = \nu(\text{Al}_2\text{S}_3) = \nu(\text{Al})/2 = 0,4/2 = 0,2 \text{ моль}$$

$$\begin{aligned} m(\text{Al}_2\text{S}_3) &= \nu(\text{Al}_2\text{S}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{S}_3) = 0,2 \text{ моль} \cdot 150 \text{ г/моль} = \\ &= 30 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: 30 г.

Пример 6

Для окисления серы до оксида серы (IV) взяли 16 г серы и 9 л кислорода (н.у.). Рассчитать образовавшееся в результате реакции количество вещества оксида серы (IV).

Дано:

$$V(\text{O}_2) = 9 \text{ л}$$

$$m(\text{S}) = 16 \text{ г}$$

$$n(\text{SO}_2) = ?$$

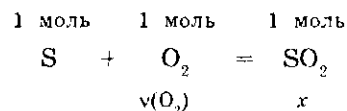
Решение:

Количество вещества серы и кислорода.

$$\nu(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/V_m = 9 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{S}) = m(\text{S})/M(\text{S}) = 16 \text{ г}/32 \text{ г/моль} = 0,5 \text{ моль.}$$

Сера и кислород реагируют в молярном отношении 1:1, следовательно, в избытке сера, расчет ведется по кислороду.



$$x = \nu(\text{SO}_2) = \nu(\text{O}_2) = 0,4 \text{ моль.}$$

Ответ: 0,4 моль.

В реальных химических процессах по причине неполного протекания химической реакции или производственных потерь масса продукта реакции часто бывает меньше теоретически возможной в соответствии с законом сохранения массы.

Производственные потери определяют *выход реакции* η , представляющий отношение практически полученной массы, объема, количества вещества к массе, объему, количеству вещества, соответствующим уравнению химической реакции.

$$\eta = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{т.}}} 100\% = \frac{V_{\text{пр.}}}{V_{\text{т.}}} 100\% = \frac{\nu_{\text{пр.}}}{\nu_{\text{т.}}} 100\% \quad (10)$$

Пример 7

Бром массой 8 г прореагировал с водородом, взятом в избытке, при этом образовалось 6 г бромоводорода HBr. Определите массовую долю выхода продукта реакции.

Дано:

$$m(\text{Br}_2) = 8 \text{ г}$$

$$m(\text{HBr})_{\text{пр.}} = 6 \text{ г}$$

$$\eta(\text{HBr}) = ?$$

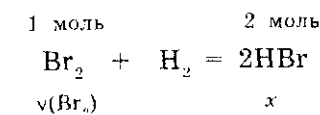
Решение:

Рассчитываем число моль брома и бромоводорода

$$\nu(\text{Br}_2) = m(\text{Br}_2)/M(\text{Br}_2) = 8 \text{ г}/160 \text{ г/моль} = 0,05 \text{ моль}$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{HBr})_{\text{пр.}} &= m(\text{HBr})_{\text{пр.}}/M(\text{HBr}) = 6 \text{ г}/81 \text{ г/моль} = \\ &= 0,074 \text{ моль} \end{aligned}$$

По уравнению реакции находим теоретически возможное количество вещества бромоводорода



$$x = \nu(\text{HBr})_{\text{т.}} = \nu(\text{Br}_2) \cdot 2 = 0,05 \text{ моль} \cdot 2 = 0,1 \text{ моль.}$$

Выход продукта реакции

$$\begin{aligned} \eta(\text{HBr}) &= \nu(\text{HBr})_{\text{пр.}} \cdot 100/\nu(\text{HBr})_{\text{т.}} = \\ &= 0,074 \text{ моль} \cdot 100/0,1 \text{ моль} = 74\% \end{aligned}$$

Ответ: 74%.

Пример 8

Для реакции взяли 13 г цинка и хлор объемом 5 л (н.у.). Рассчитайте массу полученного хлорида цинка ZnCl_2 , выход которого составляет 89%.

Дано:

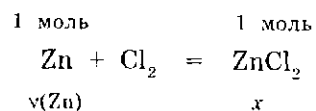
$$\begin{aligned}V(\text{Cl}_2) &= 5 \text{ л} \\m(\text{Zn}) &= 13 \text{ г} \\ \eta(\text{ZnCl}_2) &= 89\% \\m(\text{ZnCl}_2)_{\text{пр}} &= ?\end{aligned}$$

Решение:

Определяем, какое из исходных веществ взято в избытке

$$\begin{aligned}v(\text{Cl}_2) &= V(\text{Cl}_2)/V_m = 5 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,22 \text{ моль} \\v(\text{Zn}) &= m(\text{Zn})/M(\text{Zn}) = 13 \text{ г}/65 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}\end{aligned}$$

Цинк и хлор реагируют в молярном отношении 1:1, следовательно, в избытке хлор, расчет ведется по цинку.



$$x = v(\text{ZnCl}_2) = v(\text{Zn}) = 0,2 \text{ моль}$$

$$\begin{aligned}m(\text{ZnCl}_2)_r &= v(\text{ZnCl}_2) \cdot M(\text{ZnCl}_2) = \\ &= 0,2 \text{ моль} \cdot 136 \text{ г/моль} = 27,2 \text{ г}\end{aligned}$$

Из соотношения (10) следует

$$\begin{aligned}m(\text{ZnCl}_2)_{\text{пр}} &= m(\text{ZnCl}_2)_r \cdot \eta(\text{ZnCl}_2)/100 = \\ &= 27,2 \text{ г} \cdot 89/100 = 24,2 \text{ г}.\end{aligned}$$

Ответ: 24,2 г.

Пример 9

Какой объем оксида серы (IV), измеренный при нормальных условиях, надо взять для реакции с кислородом, чтобы получить оксид серы (VI) массой 25 г, если выход продукта реакции равен 78%?

Дано:

$$\begin{aligned}m(\text{SO}_3)_{\text{пр}} &= 25 \text{ г} \\ \eta(\text{SO}_3) &= 78\% \\ V(\text{SO}_2) &= ?\end{aligned}$$

Решение:

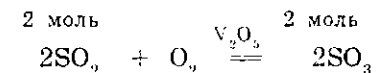
Из соотношения (10) находим теоретически возможную массу образования оксида серы (VI).

$$\begin{aligned}m(\text{SO}_3)_r &= m(\text{SO}_3)_{\text{пр}} \cdot \eta(\text{SO}_3)/100 = \\ &= 25 \text{ г} \cdot 78/100 = 32 \text{ г}\end{aligned}$$

Количество вещества оксида серы (VI)

$$v(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3)_r/M(\text{SO}_3) = 32 \text{ г}/80 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль}$$

По уравнению реакции число моль SO_2 и SO_3 равно, отсюда необходимый объем оксида серы (IV)



$$v(\text{SO}_2) = v(\text{SO}_3) = 0,4 \text{ моль}$$

$$V(\text{SO}_2) = v(\text{SO}_2) \cdot V_m = 0,4 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 8,96 \text{ л}$$

Ответ: 8,96 л.

3. Реакции замещения и обмена

Реакции замещения протекают между простым и сложным веществами. При этом образуются два новых вещества — простое и сложное.

Реакции обмена осуществляются между сложными веществами: происходит обмен между ними отдельными атомами или группами атомов.

Методика решения задач аналогична ранее рассмотренной.

Пример 10

Какая масса железа образуется при восстановлении водородом 72 г оксида железа (III)?

Дано:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 72 \text{ г}$$

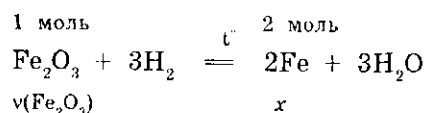
$$m(\text{Fe})?$$

Решение:

Находим количество вещества оксида железа (III)

$$\begin{aligned} \nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= m(\text{Fe}_2\text{O}_3)/M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ &= 72 \text{ г}/160 \text{ г/моль} = 0,45 \text{ моль} \end{aligned}$$

По уравнению реакции находим массу железа



$$x = \nu(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 2 = 0,45 \text{ моль} \cdot 2 = 0,9 \text{ моль}$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,9 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 50,4 \text{ г}$$

Ответ: 50,4 г.

Пример 11

При растворении в соляной кислоте технического цинка массой 9 г выделилось 3 л водорода (н.у.). Определить массовую долю цинка в техническом образце.

Дано:

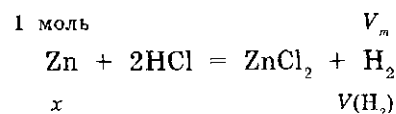
$$V(\text{H}_2) = 3 \text{ л}$$

$$m(\text{Zn})_{\text{техн.}} = 9 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Zn})?$$

Решение:

Из уравнения реакции следует, что масса чистого цинка эквивалентна объему выделившегося водорода.



$$x = \nu(\text{Zn}) = V(\text{H}_2)/V_m = 3 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 0,134 \text{ моль}$$

$$m(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) = 0,134 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 8,7 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Zn}) = m(\text{Zn}) \cdot 100/m(\text{Zn})_{\text{техн.}} = 8,7 \text{ г} \cdot 100/9 \text{ г} = 96,7\%$$

Ответ: 96,7%.

Пример 12

Какая масса едкого натра NaOH необходима для полной нейтрализации серной кислоты массой 29,4 г и какое количество вещества сульфата натрия образуется при этом?

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 29,4 \text{ г}$$

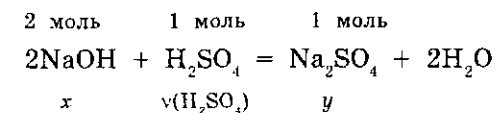
$$m(\text{NaOH}), \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

Определяем количество вещества серной кислоты

$$\begin{aligned} \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) &= m(\text{H}_2\text{SO}_4)/M(\text{H}_2\text{SO}_4) = \\ &= 29,4 \text{ г}/98 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моль} \end{aligned}$$

По уравнению реакции находим массу едкого натра, затраченного на реакцию с серной кислотой, а также массу и количество вещества продукта реакции.



$$x = \nu(\text{NaOH}) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 2 = 0,3 \text{ моль} \cdot 2 = 0,6 \text{ моль}$$

$$y = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) =$$

$$= 0,6 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 24 \text{ г}$$

Ответ: NaOH — 24 г; Na₂SO₄ — 0,3 моль.

Пример 13

К раствору, содержащему 51 г нитрата серебра AgNO₃, прибавили хлорид магния MgCl₂ массой 19 г. Рассчитать массу образовавшегося осадка хлорида серебра, а также определить, какое вещество осталось в избытке после окончания реакции и какова его масса?

Дано:

$$m(\text{AgNO}_3) = 51 \text{ г}$$

$$m(\text{MgCl}_2) = 19 \text{ г}$$

$$m(\text{AgCl}), m_{\text{изб.}} — ?$$

Решение:

Рассчитываем количество вещества исходных продуктов и по уравнению реакции определяем, какое из них в избытке

$$v(\text{AgNO}_3) = m(\text{AgNO}_3)/M(\text{AgNO}_3) =$$

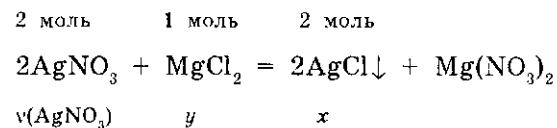
$$= 51 \text{ г}/170 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моль}$$

$$v(\text{MgCl}_2) = m(\text{MgCl}_2)/M(\text{MgCl}_2) =$$

$$= 19 \text{ г}/95 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$$

Нитрат серебра и хлорид магния реагируют друг с другом в молярном отношении 2:1.

Чтобы прореагировал весь нитрат серебра (0,3 моль) достаточно 0,15 моль хлорида магния, следовательно, хлорид магния взят в избытке и расчет массы осадка хлорида серебра ведем по нитрату серебра. Одновременно находим избыточную массу хлорида магния.



$$x = v(\text{AgCl}) = v(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{AgCl}) = v(\text{AgCl}) \cdot M(\text{AgCl}) =$$

$$= 0,3 \text{ моль} \cdot 143,5 \text{ г/моль} = 43 \text{ г}$$

$$y = v(\text{MgCl}_2)_{\text{р-ция}} = v(\text{AgNO}_3)/2 =$$

$$= 0,3 \text{ моль}/2 = 0,15 \text{ моль}$$

$$v(\text{MgCl}_2)_{\text{изб.}} = v(\text{MgCl}_2) - v(\text{MgCl}_2)_{\text{р-ция}} =$$

$$= 0,2 \text{ моль} - 0,15 \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}$$

$$m(\text{MgCl}_2)_{\text{изб.}} = v(\text{MgCl}_2)_{\text{изб.}} \cdot M(\text{MgCl}_2) =$$

$$= 0,05 \text{ моль} \cdot 95 \text{ г/моль} = 4,75 \text{ г}$$

Ответ: AgCl — 43 г; MgCl₂ — 4,75 г.

Задачи для самостоятельного решения

1. При прокаливании природного известняка массой 54 г потеря массы составила 22 г CO₂. Рассчитайте массовую долю карбоната кальция CaCO₃ в природном известняке.
Ответ: 92,6%.
2. При термическом разложении сероводорода H₂S образовалось 12,8 г серы. Рассчитайте исходный объем сероводорода (н.у.) и массу образовавшегося водорода.
Ответ: 8,96 л; 0,8 г.
3. Минерал содержит оксид ртути (II) и 10% посторонних примесей. Определите массу и количество вещества кислорода, который можно получить при разложении 48,23 г минерала.
Ответ: 3,2 г; 0,1 моль.
4. Железо массой 8,4 г сожгли в хлоре. Рассчитайте массу образовавшегося хлорида железа (III) и объем вступившего в реакцию хлора (н.у.)
Ответ: 24,4 г; 5 л.

5. Медная руда содержит малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (массовая доля 7%). Какую массу меди можно получить из 300 кг такой руды, если выход металла составляет 72%?
Ответ: 8,7 кг.
6. Для реакции взяли по 4 г водорода и кислорода. Определите массу и количество вещества воды, которая будет получена в результате реакции.
Ответ: 4,5 г; 0,25 моль.
7. К раствору, содержащему 6,8 г хлорида цинка ZnCl_2 , прибавили 15,3 г нитрата серебра AgNO_3 . Какое из исходных веществ и какой массой останется в растворе после выпадения в осадок хлорида серебра?
Ответ: 0,68 г хлорида цинка.
8. Для получения бромида кальция CaBr_2 взяли 10 г кальция и 20 г жидкого брома Br_2 . Какое вещество и какой массой осталось в избытке после окончания реакции?
Ответ: 5 г кальция.
9. Водород количеством вещества 7 моль полностью прореагировал с кислородом, при этом образовалось 117 г воды. Определите массовую долю выхода продукта реакции.
Ответ: 92,8%.
10. При пропускании сероводорода H_2S объемом 2,8 л (н.у.) через раствор сульфата меди CuSO_4 образовался осадок CuS массой 11,6 г. Определите массовую долю выхода продукта реакции сульфида меди (II).
Ответ: 96,7%.
11. Из 1 кг иодида калия KI , содержащего 5% посторонних примесей, получили 700 г кристаллического иода I_2 . Рассчитайте выход продукта реакции.
Ответ: 96,3%.
12. Какие объемы азота и водорода, измеренные при нормальных условиях, необходимо взять для получения 100 л аммиака NH_3 , если его выход составляет 12% от теоретического возможного.
Ответ: 0,417 м³ азота; 1,25 м³ водорода.
13. При сгорании технической серы массой 10 г выделился сернистый газ SO_2 , который пропустили через раствор щелочи

NaOH . В реакцию вступил гидроксид натрия массой 24 г (образуется средняя соль). Определите массовую долю серы в ее техническом образце.

Ответ: 96%.

14. Какова массовая доля углерода в стали, если при сжигании 10 г ее в токе кислорода образовалось 200 мл (н.у.) углекислого газа.
Ответ: 1,1%.
15. При растворении в избытке соляной кислоты смеси оксида кальция CaO и карбоната кальция CaCO_3 массой 5 г выделилось 140 мл углекислого газа (н.у.). Какова массовая доля карбоната кальция в смеси?
Ответ: 12,5%.
16. Определить объем (н.у.) водорода, выделившегося при действии соляной кислоты, содержащей 0,4 моль HCl , на 10 г технического цинка, содержащего 0,4% нерастворимых примесей.
Ответ: 3,43 л.
17. При каталитическом окислении метана CH_4 объемом 3 м³ образовалась вода и 1,23 кг дисперсного углерода (сажи). Рассчитайте массовую долю выхода продукта реакции.
Ответ: 76,5%.
18. Какую массу жженой извести CaO можно получить при обжиге 200 кг известняка, содержащего 96,4% CaCO_3 , если выход продукта реакции составляет 92%?
Ответ: 99,3 кг.
19. Определите объем воздуха (содержание кислорода по объему 20%), необходимый для полного сжигания 100 л пропана C_3H_8 (н.у.), который содержит 4,5% негорючих примесей.
Ответ: 2,39 м³.
20. Сожгли 235,8 л природного газа, в котором объемная доля метана равна 95% (остальное — негорючие примеси). Весь полученный углекислый газ пропустили через известковую воду — р-р $\text{Ca}(\text{OH})_2$, взятый в избытке. Вычислите массу полученного осадка карбоната кальция.
Ответ: 1 кг.

V. ТЕРМОХИМИЯ

Термохимия изучает тепловые эффекты химических процессов. Уравнения реакций, в которых учитываются их тепловые эффекты, называют термохимическими. В этих уравнениях выделение или поглощение теплоты обозначают в тепловых единицах кДж. Реакции с положительным тепловым эффектом (Q_p) называются *экзотермическими*; реакции с отрицательным тепловым эффектом ($-Q_p$) называются *эндотермическими*.

Тепловые эффекты пропорциональны количеству веществ, участвующих в реакции. Используя экспериментальные данные, можно рассчитать тепловой эффект реакции и составить термохимическое уравнение (ТХУ).

1. Расчеты по термохимическим уравнениям

Пример 1

По ТХУ $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 1644$ кДж; рассчитать, сколько теплоты выделится при сжигании железа массой 60 г.

Дано:

ТХУ

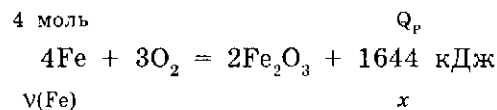
$m(\text{Fe}) = 60$ г

Q — ?

Решение:

Рассчитываем количество вещества железа и по ТХУ определяем выделяемую теплоту

$$\nu(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) = 60 \text{ г}/56 \text{ г/моль} = 1,07 \text{ моль}$$



$$\begin{aligned} x = Q &= \nu(\text{Fe}) \cdot Q_p / 4 = 1,07 \text{ моль} \cdot 1644 \text{ кДж} / 4 \text{ моль} = \\ &= 439,8 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Ответ: 439,8 кДж.

Пример 2

Используя ТХУ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 572$ кДж, определите объем водорода (н.у.), при сгорании которого выделилось 120 кДж теплоты.

Дано:

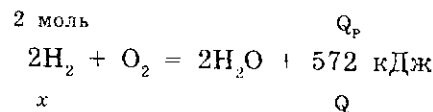
ТХУ

$Q = 120$ кДж

$V(\text{H}_2)$ — ?

Решение:

Определяем число моль сгоревшего водорода и его объем:



$$\begin{aligned} x = \nu(\text{H}_2) &= 2Q/Q_p = 2 \text{ моль} \cdot 120 \text{ кДж} / 572 \text{ кДж} = \\ &= 0,42 \text{ моль} \end{aligned}$$

$$V(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot V_m = 0,42 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 9,4 \text{ л}$$

Ответ: 9,4 л.

Пример 3

По ТХУ $2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2 - 182$ кДж определите, сколько теплоты надо затратить для разложения оксида ртути (II), чтобы получить 28 л кислорода (н.у.)? Какая масса металлической ртути образуется при этом?

Дано:

ТХУ

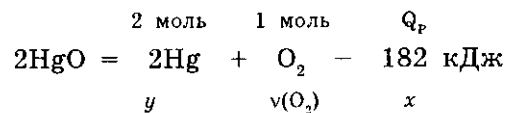
$V(\text{O}_2) = 28$ л

$Q, m(\text{Hg})$ — ?

Решение:

Рассчитываем количество вещества кислорода и по ТХУ определяем количество требуемой теплоты и массу образуемой ртути

$$\nu(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/V_m = 28 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 1,25 \text{ моль}$$



$$x = Q = \nu(\text{O}_2) \cdot Q_p = 1,25 \text{ моль} \cdot (-182 \text{ кДж}) = -227,5 \text{ кДж}$$

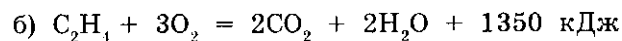
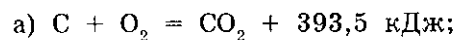
$$y = \nu(\text{Hg}) = 2\nu(\text{O}_2) = 2 \cdot 1,25 = 2,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{Hg}) = \nu(\text{Hg}) \cdot M(\text{Hg}) = 2,5 \text{ моль} \cdot 201 \text{ г/моль} = 502,5 \text{ г.}$$

Ответ: -227,5 кДж; Hg — 502,5 г.

Пример 4

По ТХУ



определите, какую массу угля надо сжечь, чтобы выделилось столько теплоты, сколько ее выделяется при сжигании этилена C_2H_4 объемом 1,12 м³ (н.у.).

Дано:

ТХУ: а), б)

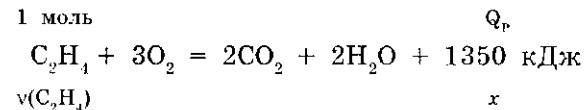
$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = 1,12 \text{ м}^3$$

Q, m(C) — ?

Решение:

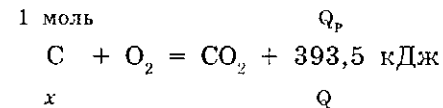
Определяем число моль этилена и количество теплоты, выделяемой при сжигании этилена

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_4) = V(\text{C}_2\text{H}_4)/V_m = 1120 \text{ л}/22,4 \text{ л/моль} = 50 \text{ моль}$$



$$x = Q = \nu(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot Q_p = 50 \text{ моль} \cdot 1350 \text{ кДж} = 67500 \text{ кДж}$$

Рассчитываем массу угля, при сгорании которого выделится 67500 кДж теплоты



$$x = \nu(\text{C}) = Q/Q_p = 67500 \text{ кДж} \cdot \text{моль}/393,5 \text{ кДж} = 171,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 171,5 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 2058 \text{ г} \approx 2,06 \text{ кг}$$

Ответ: 2,06 кг.

2. Составление термохимических уравнений

Пример 5

При сгорании 0,1 моль ацетилена C_2H_2 выделилось 135 кДж теплоты. Рассчитать тепловой эффект реакции горения ацетилена и составить ТХУ.

Дано:

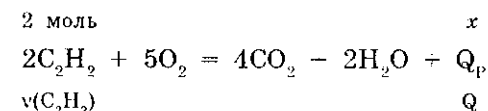
$$\nu(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль}$$

$$Q = 135 \text{ кДж}$$

Q_p , ТХУ?

Решение:

Тепловой эффект реакции:



$$x = Q_p = 2Q/V(C_2H_2) = 2 \text{ моль} \cdot 135 \text{ кДж}/0,1 \text{ моль} = 2700 \text{ кДж}$$

Ответ:



Пример 6

При разложении хлората калия $KClO_3$ образуется хлорид калия и выделяется кислород. Рассчитайте тепловой эффект реакции, если на разложение хлората калия массой 49 г было затрачено 156 кДж теплоты.

Дано:

$$m(KClO_3) = 49 \text{ г}$$

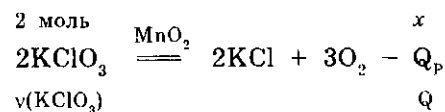
$$Q = -156 \text{ кДж}$$

$$Q_p, \text{ ТХУ?}$$

Решение:

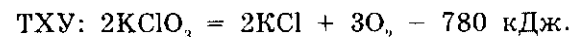
Рассчитываем число моль хлората калия и тепловой эффект реакции:

$$\nu(KClO_3) = m(KClO_3)/M(KClO_3) = 49 \text{ г}/122,5 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль}$$



$$x = Q_p = 2Q/\nu(KClO_3) = 2 \text{ моль} \cdot (-156 \text{ кДж})/0,4 \text{ моль} = -780 \text{ кДж}$$

Ответ:



Задачи для самостоятельного решения

- По ТХУ $2P + 3Cl_2 = 2PCl_3 + 623,5 \text{ кДж}$ рассчитайте, сколько теплоты выделится при образовании 55 г хлорида фосфора (III)?
Ответ: 124,7 кДж.
- По ТХУ $4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O + 1530 \text{ кДж}$ вычислите, сколько теплоты выделится при сгорании аммиака NH_3 объемом 18 л (н.у.)?
Ответ: 306 кДж.
- По ТХУ $Cl_2 + 2HI = I_2 + 2HCl + 235,2 \text{ кДж}$ рассчитайте массу молекулярного иода, которая образуется при действии на иодоводород хлора объемом 5,6 л (н.у.), если при этом выделяется 29,4 кДж теплоты.
Ответ: 31,75 г.
- По ТХУ $CaCO_3 = CaO + CO_2 - 180 \text{ кДж}$ определите, сколько теплоты надо затратить на полное разложение 5,21 кг известняка, содержащего помимо карбоната кальция $CaCO_3$ еще 4% посторонних примесей. Какая масса жженной извести CaO образуется при этом?
Ответ: 9000 кДж; 2,8 кг.
- По ТХУ $2CH_3OH + 3O_2 = 2CO_2 + 4H_2O - 1440 \text{ кДж}$ определите, какой объем метилового спирта CH_3OH (плотность спирта 0,78 г/мл) сожгли, если было затрачено 263,3 кДж теплоты?
Ответ: 15 мл.
- По ТХУ $2Al + 3S = Al_2S_3 + 510 \text{ кДж}$ рассчитайте количество теплоты, которая выделится при взаимодействии 16,2 г алюминия и 14,4 г серы.
Ответ: 76,5 кДж.
- По ТХУ а) $CaCO_3 = CaO + CO_2 - 180 \text{ кДж}$; б) $C + O_2 = CO_2 + 401 \text{ кДж}$ определите, сколько угля надо сжечь, чтобы полученной теплоты хватило для полного разложения 200 кг известняка, содержащего 97,2% карбоната кальция $CaCO_3$?
Ответ: 10,5 кг.

VI. РАСЧЕТЫ СОСТАВА РАСТВОРОВ

Количественный состав раствора выражается его концентрацией. Последняя имеет разные формы выражения. Чаще используют массовую концентрацию, т.е. массовую долю растворенного вещества ω_n , представляющую отношение массы растворенного вещества к массе раствора.

$$\omega_n = \frac{m_n}{m_{p-p}} \cdot 100\% = \frac{m_n}{\rho \cdot V_{p-p}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где: m_n — масса растворенного вещества (г, кг);

m_{p-p} — масса раствора (г, кг);

V_{p-p} — объем раствора (мл, л);

ρ — плотность раствора (г/мл, г/см³, кг/л).

1. Количественное определение компонентов раствора

Расчеты сводятся к определению массы растворителя и растворенного вещества, необходимые для приготовления раствора заданной концентрации.

Пример 1

Какую массу поваренной соли необходимо взять для приготовления 300 г. раствора с массовой долей 15%?

Дано:

$$\omega(\text{NaCl}) = 15\%$$

$$m_{p-p} = 300 \text{ г}$$

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

Решение:

В соответствии с формулой (11)

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m_{p-p}} \cdot 100\%$$

8. Реакция между оксидом железа (III) и алюминием идет по уравнению $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{Al} = 2 \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3 + Q_p$. Рассчитайте тепловой эффект реакции, если при восстановлении 48 г оксида железа (III) выделилось 249 кДж теплоты.

Ответ: 830 кДж.

9. Реакция горения аммиака идет по уравнению $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + Q_p$. Рассчитайте тепловой эффект реакции, если сгорание 0,4 моль аммиака сопровождается выделением 153,3 кДж теплоты.

Ответ: 1532 кДж.

10. Реакция горения сероуглерода идет по уравнению $\text{CS}_2 + 3\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{SO}_2 + Q_p$. Рассчитайте тепловой эффект реакции, если при сгорании 0,2 моль сероуглерода выделилось 223 кДж теплоты.

Ответ: 1115 кДж.

11. При сжигании образца меди массой 1,6 г образовался оксид меди (II) и выделилось 3,85 кДж теплоты. Определите массовую долю посторонних примесей в образце меди, если тепловой эффект реакции горения меди равен 312 кДж.

Ответ: 1,25%.

12. При растворении оксида меди (II) массой 100 г в соляной кислоте выделилось 80,4 кДж теплоты. Рассчитайте тепловой эффект реакции.

Ответ: 64,3 кДж.

13. Реакция разложения 2 моль оксида ртути (II) сопровождается образованием кислорода и металлической ртути с поглощением 182 кДж теплоты. Сколько надо затратить энергии на разложение оксида ртути (II) для получения 5 л кислорода (н.у.)?

Ответ: 40,6 кДж.

14. При сжигании серы образовалось 5,6 л (н.у.) оксида серы (IV) и выделилось 73,5 кДж теплоты. Рассчитайте тепловой эффект реакции горения серы и составьте ТХУ.

Ответ: $Q_p = 294$ кДж. $Q_{гор.} = 294$ кДж/моль

15. При сжигании магния массой 6 г выделилось 150 кДж теплоты. Рассчитайте тепловой эффект реакции горения магния и составьте ТХУ.

Ответ: $Q_{гор.} = 600$ кДж/моль; $Q_p = 1200$ кДж.

$$m(\text{NaCl}) = \omega(\text{NaCl}) \cdot m_{\text{р-р}} / 100\% = \\ = 15\% \cdot 300 \text{ г} / 100\% = 45 \text{ г}.$$

Ответ: 45 г.

Пример 2

В какой массе воды следует растворить 30 г соли, чтобы получить раствор с массовой долей 15%?

Дано:

$$\omega_{\text{соль}} = 15\% \\ m_{\text{соль}} = 30 \text{ г} \\ m(\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Решение:

Рассчитываем массу 15%-го раствора, содержащего 30 г растворенной соли.

$$m_{\text{р-р}} = m_{\text{соль}} / \omega_{\text{соль}} \cdot 100\% = 30 \text{ г} \cdot 100\% / 15\% = 200 \text{ г}$$

Вычитая из массы раствора массу соли, находим массу растворителя

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-р}} - m_{\text{соль}} = 200 \text{ г} - 30 \text{ г} = 170 \text{ г}.$$

Ответ: 170 г.

Пример 3

Рассчитайте массу хлорида магния, который содержится в 20%-ом растворе объемом 800 мл, плотность которого 1,18 г/мл.

Дано:

$$\omega(\text{MgCl}_2) = 20\% \\ V_{\text{р-ра}} = 800 \text{ мл} \\ \rho_{\text{р-ра}} = 1,18 \text{ г/мл} \\ m(\text{MgCl}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим массу растворенного вещества

$$m(\text{MgCl}_2) = \frac{\omega(\text{MgCl}_2) \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot V_{\text{р-ра}}}{100\%} = \\ = 20\% \cdot 1,18 \text{ г/мл} \cdot 800 \text{ мл} / 100\% = 188,8 \text{ г}$$

Ответ: 188,8 г.

Пример 4

Раствор серной кислоты объемом 500 мл содержит 3 моль H_2SO_4 . Рассчитайте массовую концентрацию раствора кислоты, если плотность его равна 1,35 г/мл.

Дано:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3 \text{ моль} \\ V_{\text{р-р}} \text{ H}_2\text{SO}_4 = 500 \text{ мл} \\ \rho_{\text{р-р}} = 1,35 \text{ г/мл} \\ \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим массу растворенного вещества:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = \\ = 3 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 294 \text{ г}$$

Массовая концентрация раствора кислоты:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\rho_{\text{р-р}} \cdot V_{\text{р-р}}} \cdot 100\% = \\ = 294 \text{ г} \cdot 100\% / 1,35 \text{ г/мл} \cdot 500 \text{ мл} = 43,5\%.$$

Ответ: 43,5%.

Пример 5

В 35 мл этилового спирта (плотность 0,8 г/мл) растворили 1,5 г кристаллического йода. Определите массовую долю йода в спиртовом растворе.

Дано:

$$m(I_2) = 1,5 \text{ г}$$

$$V_{\text{спирт}} = 35 \text{ мл}$$

$$\rho_{\text{спирт}} = 0,8 \text{ г/мл}$$

$$(I_2) = ?$$

Решение:

Определяем массу растворителя и массу полученного раствора

$$m_{\text{спирт}} = \rho_{\text{спирт}} \cdot V_{\text{спирт}} = 0,8 \text{ г/мл} \cdot 35 \text{ мл} = 28 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-р}} = m(I_2) + m_{\text{спирт}} = 1,5 \text{ г} + 28 \text{ г} = 29,5 \text{ г}$$

Рассчитываем массовую долю йода:

$$\omega(I_2) = \frac{m(I_2)}{m_{\text{р-р}}} \cdot 100\% = 1,5 \cdot 100\% / 29,5 \text{ г} = 5,1\%.$$

Ответ: 5,1%.

2. Разбавление и концентрирование раствора

При смешивании исходного раствора с более разбавленным раствором того же вещества, либо при разбавлении водой происходит понижение концентрации исходного раствора. Напротив, добавление к исходному раствору концентрированного раствора того же вещества или добавление дополнительного количества растворенного вещества концентрация исходного раствора увеличивается.

Для решения подобных задач удобнее пользоваться правилом смешения, согласно которому количества смешиваемых растворов обратно пропорциональны разностям концентраций смешиваемых растворов: массовые концентрации исходных раство-

ров помещаются друг под другом в углах квадрата с левой стороны; задаваемая концентрация растворенного вещества помещается в центре квадрата, а разности между ней и концентрациями исходных растворов (из большего вычитается меньшее!) размещаются на концах диагоналей по правым углам квадрата. Следует помнить, что концентрация воды равна 0%, концентрация твердого безводного вещества — 100%.

Пример 6

В каких массовых соотношениях надо смешать 20%-ный и 5%-ный растворы одного вещества, чтобы получить 10%-ный раствор?

Дано:

$$\omega_1 = 20\%$$

$$\omega_2 = 5\%$$

$$\omega = 10\%$$

$$m_1, m_2 = ?$$

Решение:

$$\begin{array}{ccc} 20 & & (10 - 5) = 5 \text{ вес. ч. (г.)} \\ & \searrow \nearrow & \\ & 10 & \\ & \nearrow \searrow & \\ 5 & & (20 - 10) = 10 \text{ вес. ч. (г.)} \end{array}$$

Для приготовления 10%-го раствора нужно смешать 5 г 20%-го раствора с 10 г 5%-го раствора в соотношении 1:2. Это соотношение сохраняется для данных растворов независимо от того, какое весовое количество 10%-го раствора нужно приготовить.

Пример 7

Какой объем воды надо прибавить к раствору серной кислоты объемом 100 мл с массовой долей 20% и плотностью 1,14 г/мл, чтобы получить 5%-й раствор?

Дано:

$$\begin{aligned}\omega_2(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 5\% \\ \omega_1(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 20\% \\ V_{\text{р-р}}(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 100 \text{ мл} \\ \rho_{\text{р-р}} &= 1,14 \text{ г/мл} \\ V(\text{H}_2\text{O}) &= ?\end{aligned}$$

Решение:

Найдем массу исходного раствора кислоты

$$m_{\text{р-р}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \rho \cdot V = 1,14 \text{ г/мл} \cdot 100 \text{ мл} = 114 \text{ г}$$

В соответствии с правилом смешения:

$$\begin{array}{ccc} 20 & \swarrow \nearrow & (5 - 0) = 5 \text{ вес. ч. (г.)} \\ & 5 & \\ 50 & \swarrow \nearrow & (20 - 5) = 15 \text{ вес. ч. (г.)} \end{array}$$

Для приготовления 5%-го раствора необходимо к 5 г 20%-ной кислоты прибавить 15 г воды, т.е. в соотношении 1:3.

Следовательно, к полученной массе 20%-ного раствора серной кислоты необходимо прибавить воду, плотность которой $\rho = 1 \text{ г/мл}$, в объеме

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 3 \cdot m_{\text{р-р}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3 \cdot 114 = 342 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / \rho(\text{H}_2\text{O}) = 342 \text{ г} / 1 \text{ г/мл} = 342 \text{ мл}$$

Ответ: 342 мл.

Пример 8

Какую массу едкого натра NaOH надо добавить к раствору гидроксида натрия объемом 1 л с массовой долей 25% и плотностью 1,27 г/мл, чтобы получить 35%-ный раствор?

Дано:

$$\begin{aligned}\omega_1(\text{NaOH}) &= 25\% \\ V_{\text{р-р}}(\text{NaOH}) &= 1000 \text{ мл}\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{р-р}} = 1,27 \text{ г/мл}$$

$$\omega_2(\text{NaOH}) = 35\%$$

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

Решение:

Найдем массу исходного раствора щелочи

$$m_{\text{р-р}}(\text{NaOH}) = c \cdot V = 1,27 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} = 1270 \text{ г}$$

По правилу смешения:

$$\begin{array}{ccc} 25 & \swarrow \nearrow & (100 - 35) = 65 \text{ вес. ч. (г.)} \\ & 35 & \\ 100 & \swarrow \nearrow & (35 - 25) = 10 \text{ вес. ч. (г.)} \end{array}$$

Для приготовления 35%-го раствора необходимо на каждые 65 г 25%-ного раствора щелочи добавлять 10 г едкого натра.

Тогда к массе исходного раствора необходимо добавить едкий натр массой

$$m(\text{NaOH}) = m_{\text{р-р}}(\text{NaOH}) \cdot 10 / 65 = 1270 \cdot 10 / 65 = 195,4 \text{ г}$$

Ответ: 195,4 г.

Концентрирование раствора возможно путем испарения части растворителя.

Пример 9

Литр 10%-ного раствора сульфата магния (плотность 1,1 г/мл) упарили до 400 г. Рассчитайте массовую концентрацию полученного раствора соли.

Дано:

$$\omega_1(\text{MgSO}_4) = 10\%$$

$$V_{\text{р-р}}(\text{MgSO}_4) = 1000 \text{ мл}$$

$$\rho_{\text{р-р}} = 1,1 \text{ г/мл}$$

$$m_{2\text{р-р}}(\text{MgSO}_4) = 400 \text{ г}$$

$$\omega_2(\text{MgSO}_4) = ?$$

Решение:

Содержание растворенного вещества в исходном растворе после выпаривания части воды остается постоянным.

Исходя из (11) масса сульфата магния

$$\begin{aligned} m(\text{MgSO}_4) &= \omega_1(\text{MgSO}_4) \cdot \rho \cdot V_{\text{р-р}}(\text{MgSO}_4) / 100\% = \\ &= 10\% \cdot 1,1 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} / 100\% = 110 \text{ г} \end{aligned}$$

Массовая концентрация сульфата магния в полученном растворе после выпаривания части растворителя

$$\begin{aligned} \omega_2(\text{MgSO}_4) &= \frac{m(\text{MgSO}_4)}{m_{\text{р-р}}(\text{MgSO}_4)} \cdot 100\% = \\ &= 110 \text{ г} \cdot 100\% / 400 \text{ г} = 27,5\% \end{aligned}$$

Ответ: 27,5%.

Задачи для самостоятельного решения

1. Какую массу поваренной соли необходимо взять для приготовления 3 кг раствора с массовой долей соли 8%?
Ответ: 240 г.
2. Рассчитайте массы соли и воды, необходимые для приготовления 800 г 14%-ного раствора.
Ответ: 112 г соли; 688 г воды.
3. В 4 л воды растворили 1 кг сахара. Определите массовую концентрацию раствора сахара.
Ответ: 20%.
4. В 1 л воды растворили сульфат калия K_2SO_4 количеством вещества 0,5 моль. Рассчитайте массовую долю растворенной соли.
Ответ: 8%.
5. Раствор с массовой долей серной кислоты 60% имеет плотность 1,5 г/мл. Рассчитайте количество вещества H_2SO_4 , которое содержится в 500 мл раствора кислоты.
Ответ: 4,59 моль.

6. Какая масса хлорида калия KCl содержится в 1,5 л 8%-ного раствора, плотность которого 1,05 г/мл?
Ответ: 126 г.
7. В бензоле объемом 170 мл растворили серу массой 1,8 г. Плотность бензола равна 0,88 г/мл. Рассчитайте массовую долю серы в полученном растворе.
Ответ: 1,19%.
8. Литр раствора щелочи с плотностью равной 1,45 г/мл содержит 610 г NaOH. Рассчитайте массовую концентрацию раствора щелочи.
Ответ: 42%.
9. Смешали 2 моль азотной кислоты HNO_3 и 5 моль воды. Определите массовую концентрацию раствора кислоты.
Ответ: 58,3%.
10. Какой объем воды ($\rho = 1$ г/моль) надо прибавить к 300 г 30%-ного раствора, чтобы получить 5%-ный раствор?
Ответ: 1,5 л.
11. Какие массы 30%-ного и 5%-ного растворов одного и того же вещества надо смешать, чтобы получить 1 кг 10%-ного раствора?
Ответ: 200 г 30%-ного раствора и 800 г 5%-ного раствора.
12. В лаборатории имеется концентрированный 94%-ный раствор серной кислоты, плотность которого 1,83 г/мл. Какой объем этого раствора надо взять для приготовления 1 л 10%-ного раствора кислоты с плотностью 1,067 г/мл?
Ответ: 62 мл.
13. После выпаривания 700 г раствора поваренной соли образовался кристаллический остаток NaCl массой 35 г. Рассчитайте массовую концентрацию раствора соли.
Ответ: 5%.
14. Какую массу твердого едкого натра NaOH следует растворить в 1 л 10%-ного раствора гидроксида натрия с плотностью 1,1 г/мл, чтобы довести концентрацию раствора щелочи до 25%?
Ответ: 220 г.

15. Рассчитать массовую концентрацию раствора, если к 1 л 5%-ного раствора сульфата калия (плотность 1,04 г/мл) прибавить: а) 120 г H_2O ; б) 120 г K_2SO_4 .
Ответ: а) 4,48%; б) 14,8%.

Содержание

I. Основные понятия химии	3
1. Относительные атомные и молекулярные массы	3
2. Единица количества вещества — моль	5
3. Молярный объем газа	9
4. Плотность газов	12
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	14
II. Вычисления по химическим формулам	17
1. Определение массовых отношений химических элементов в сложном веществе	17
2. Вычисления массовых долей химических элементов в сложном веществе	18
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	20
III. Вывод химических формул	23
1. Вывод химической формулы по массовым долям химических элементов в составе вещества	23
2. Вывод химической формулы по отношению масс химических элементов в сложном веществе	24
3. Вывод молекулярных формул	25
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	28
IV. Расчеты по химическим уравнениям	31
1. Реакции разложения	31
2. Реакции соединения	33
3. Реакции замещения и обмена	39
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	43
V. Термохимия	46
1. Расчеты по термохимическим уравнениям	46
2. Составление термохимических уравнений	49
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	51
VI. Расчеты состава растворов	53
1. Количественное определение компонентов раствора ...	53
2. Разбавление и концентрирование раствора	56
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	60