

Дорогие школьники!

Это пособие поможет вам при подготовке
к Единому государственному экзамену.

В пособии рассмотрена методика решения расчётных
задач всех основных типов.



«Русское слово»



И.И. НОВОШИНСКИЙ
Н.С. НОВОШИНСКАЯ

Готовимся к ЕГЭ • ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ



И.И. НОВОШИНСКИЙ
Н.С. НОВОШИНСКАЯ

Готовимся к Единому государственному экзамену

**ТИПЫ
ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**
и способы их решения

8—11 классы



«Русское слово»

**И.И. Новошинский
Н.С. Новошинская**

Готовимся к Единому государственному экзамену

ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ и способы их решения

**Учебное пособие для 8—11 классов
общеобразовательных организаций**

*5-е издание,
дополненное и переработанное*

**Москва
«Русское слово»
2020**

УДК 373.167.1:54*08/11(075.3)

ББК 74.262.4

Н74

Новошинский И.И., Новошинская Н.С.

Н74 Готовимся к Единому государственному экзамену: типы химических задач и способы их решения: учебное пособие для 8–11 классов общеобразовательных организаций / И.И. Новошинский, Н.С. Новошинская. — 5-е изд., доп. и перераб. — М.: ООО «Русское слово — учебник», 2020. — 208 с.

ISBN 978-5-533-01188-4

В пособии рассмотрена методика решения расчётных задач всех основных типов.

В каждом разделе приведены необходимые теоретические сведения и на конкретных примерах рассмотрены различные способы решения задач. Свыше 600 задач с ответами предложено для самостоятельного решения.

Пособие предназначено для учащихся 8–11 классов общеобразовательных организаций (школ, лицеев, гимназий), и в первую очередь для тех, кто углублённо изучает химию. Оно окажет существенную помощь учителям при обучении школьников основным принципам решения задач по химии.

УДК 373.167.1:54*08/11(075.3)

ББК 74.262.4



ISBN 978-5-533-01188-4

© И.И. Новошинский, 2012, 2020

© Н.С. Новошинская, 2012, 2020

© ООО «Русское слово — учебник», 2012, 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

При изучении химии первостепенная роль принадлежит решению задач. Именно решение задач позволяет систематизировать знания, глубже понять сложный теоретический материал, научиться не только воспроизводить информацию, но и творчески её применять. Умение решать расчётные задачи – один из показателей уровня развития химического мышления школьников, глубины усвоения ими учебного материала, поэтому расчётные задачи всегда включают в задания Единого государственного экзамена.

В пособии представлены все основные типы расчётных задач, предусмотренные программой не только общеобразовательных, но и профильных школ. Эта книга позволит учащимся разных учебных заведений, в том числе изучающим химию углублённо, подготовиться к любым формам контроля знаний, включая ЕГЭ.

В каждом разделе пособия приведены необходимые теоретические сведения и показаны различные способы решения задач. Рассмотренные способы решения не являются единственно возможными. Учащийся самостоятельно определяет способ решения – главное, чтобы решение было рациональным и логически последовательным.

Книга содержит свыше 600 задач для самостоятельного решения. После каждой задачи в скобках приведён ответ. Внутри разделов задачи расположены по возрастанию их трудности.

Приступая к решению задач, учащимся необходимо повторить соответствующий теоретический материал и внимательно ознакомиться с методикой решения задач данного типа. Зачастую у школьников не сразу получается решение некоторых задач. Следует объяснить им, что для достижения успеха требуется навык, который появится, если решать задачи не время от времени, а систематически, целенаправленно, постоянно. Если учащийся тщательно проработает предлагаемое пособие, решение других задач не вызовет у него трудностей.

Некоторые приведённые в пособии задачи взяты из методической литературы, материалов ЕГЭ прошлых лет, но большинство задач составлено авторами.

РАСЧЁТЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ

I

1. Основные формулы для решения задач

Количество вещества X – ν , или n (моль):

$$\nu(X) = \frac{m(X)}{M(X)}, \quad (1)$$

где $m(X)$ – масса вещества X (г, кг, т); $M(X)$ – молярная масса вещества X (г/моль, кг/моль, кг/кмоль). Например: $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль} = 0,018 \text{ кг/моль} = 18 \text{ кг/кмоль}$.

Количество вещества для газов:

$$\nu(X) = \frac{V(X)}{V_m}, \quad (2)$$

где $V(X)$ – объём газа X (мл, л, м³); V_m – молярный объём газа X, который при нормальных условиях (н. у.) составляет 22,4 л/моль, или $22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Нормальные условия: $T_0 = 273 \text{ К}$ или $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$p_0 = 101,3 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1 \text{ атм.}$$

Число структурных единиц (атомов, молекул или ионов) вещества X:

$$N(X) = N_A \cdot \nu(X), \quad (3)$$

где N_A – постоянная Авогадро – $6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$, или $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Иногда используют значение $6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Значит, 1 моль любого вещества содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных единиц.

Плотность газа X по газу Y, или относительная плотность газа (безразмерная величина):

$$D_Y(X) = \frac{M(X)}{M(Y)} = \frac{m(X)}{m(Y)}, \quad (4)$$

где $M(X)$, $M(Y)$ – молярные массы газов X и Y; $m(X)$, $m(Y)$ – массы газов, взятых в равных объёмах при одинаковых условиях.

Часто плотность различных газов определяют по отношению к водороду или воздуху (средняя молярная масса воздуха равна 29 г/моль), тогда

$$D_{\text{H}_2}(\text{X}) = \frac{M(\text{X})}{M(\text{H}_2)} = \frac{M(\text{X})}{2}; \quad D_{\text{возд}}(\text{X}) = \frac{M(\text{X})}{M(\text{возд.})} = \frac{M(\text{X})}{29},$$

т. е.

$$M(\text{X}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{X}) \text{ или } M(\text{X}) = 29D_{\text{возд}}(\text{X}).$$

Массовая доля вещества X (безразмерная величина, её выражают в долях единицы или процентах):

$$w(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m(\text{смеси})} = \frac{m(\text{X})}{m(\text{X}) + m(\text{Y}) + \dots}, \quad (5)$$

где X, Y, ... – компоненты смеси.

Массовая доля элемента Э в соединении X (безразмерная величина, её выражают в долях единицы или процентах):

$$w(\text{Э}) = \frac{m(\text{Э})}{m(\text{X})}. \quad (6)$$

Так как $m(\text{Э}) = \nu(\text{Э}) \cdot M(\text{Э})$, то $w(\text{Э}) = \frac{\nu(\text{Э}) \cdot M(\text{Э})}{m(\text{X})}$.

Объёмная доля вещества X (безразмерная величина, её выражают в долях единицы или процентах):

$$\varphi(\text{X}) = \frac{V(\text{X})}{V(\text{смеси})} = \frac{V(\text{X})}{V(\text{X}) + V(\text{Y}) + \dots} \quad (7)$$

В воздухе $\varphi(\text{O}_2) = 0,21$, или 21%.

Молярная доля вещества X (безразмерная величина, её выражают в долях единицы или процентах):

$$\chi(\text{X}) = \frac{\nu(\text{X})}{\nu(\text{смеси})} = \frac{\nu(\text{X})}{\nu(\text{X}) + \nu(\text{Y}) + \dots} \quad (8)$$

Средняя молярная масса смеси газов X, Y, Z:

$$\begin{aligned} M(\text{X} + \text{Y} + \text{Z}) &= \varphi(\text{X}) \cdot M(\text{X}) + \varphi(\text{Y}) \cdot M(\text{Y}) + \varphi(\text{Z}) \cdot M(\text{Z}) = \\ &= \chi(\text{X}) \cdot M(\text{X}) + \chi(\text{Y}) \cdot M(\text{Y}) + \chi(\text{Z}) \cdot M(\text{Z}). \end{aligned} \quad (9)$$

Массовая доля газа в газовой смеси:

$$w(\text{X}) = \frac{\chi(\text{X}) \cdot \nu(\text{смеси}) \cdot M(\text{X})}{m(\text{смеси})} = \frac{\chi(\text{X}) \cdot M(\text{X})}{M(\text{смеси})}. \quad (10)$$

Объединённый газовый закон Бойля – Мариотта и Гей-Люссака используют для приведения объёма газа к нормальным условиям:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}, \quad (11)$$

где p – давление газа; V – его объём; T – температура при данных условиях ($T = t + 273$).

Уравнение Клапейрона – Менделеева:

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT, \quad (12)$$

где $R = 8,314$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная. Указанное значение R соответствует давлению, выраженному в кПа или Па.

2. Вычисления с использованием физических величин (количество вещества, молярная масса, молярный объём газа, относительная плотность газа, массовая доля и постоянной Авогадро)

Задача 1. Определите количество вещества, соответствующее диоксиду кремния массой 180 г.

Дано:

$$m(\text{SiO}_2) = 180 \text{ г}$$

Найти:

$$\nu(\text{SiO}_2)$$

Решение

$$M(\text{SiO}_2) = M(\text{Si}) + 2M(\text{O});$$

$$M(\text{SiO}_2) = 28 \text{ г/моль} + 2 \cdot 16 \text{ г/моль} = 60 \text{ г/моль}.$$

Используя формулу (1), определяем количество вещества диоксида кремния:

$$\nu(\text{SiO}_2) = \frac{m(\text{SiO}_2)}{M(\text{SiO}_2)};$$

$$\nu(\text{SiO}_2) = \frac{180 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 3 \text{ моль}.$$

Ответ: $\nu(\text{SiO}_2) = 3$ моль.

Задача 2. Определите массу серной кислоты количеством вещества 0,25 моль.

Дано:

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,25 \text{ моль}$$

Найти:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Решение

Из формулы (1) следует, что

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2M(\text{H}) + M(\text{S}) + 4M(\text{O});$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 1 \text{ г/моль} + 32 \text{ г/моль} + 4 \cdot 16 \text{ г/моль} = 98 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,25 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 24,5 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 24,5 \text{ г}.$

Задача 3. Определите количество вещества, соответствующее кислороду объёмом 11,2 л (н. у.).

Дано:

$$V(\text{O}_2) = 11,2 \text{ л}$$

Найти:

$$\nu(\text{O}_2)$$

Решение

Для расчёта используем формулу (2):

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m};$$

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{11,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,5 \text{ моль}.$$

Ответ: $\nu(\text{O}_2) = 0,5 \text{ моль}.$

Задача 4. Определите объём (н. у.) водорода количеством вещества 0,1 моль.

Дано:

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

Найти:

$$V(\text{H}_2)$$

Решение

Из формулы (2) следует, что

$$V(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot V_m;$$

$$V(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2,24 \text{ л}.$$

Ответ: $V(\text{H}_2) = 2,24 \text{ л}.$

Задача 5. Вычислите, сколько атомов содержится в сере количеством вещества 2 моль.

Дано:

$$\nu(\text{S}) = 2 \text{ моль}$$

Найти:

$$N(\text{S})$$

Решение

Число структурных единиц серы определяем по формуле (3):

$$N(\text{S}) = N_A \cdot \nu(\text{S});$$

$$\begin{aligned} N(\text{S}) &= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 2 \text{ моль} = 12,04 \cdot 10^{23} = \\ &= 1,204 \cdot 10^{24} \text{ (атомов серы)}. \end{aligned}$$

Ответ: $N(\text{S}) = 1,204 \cdot 10^{24} \text{ атомов}.$

Задача 6. Определите массу одной молекулы оксида углерода(IV).

Дано:

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль}$$

Найти:

$$m_m(\text{CO}_2)$$

Решение

Из формулы (3) следует, что 1 моль вещества содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул, следовательно,

$$M(\text{CO}_2) = m_m(\text{CO}_2) \cdot N_A;$$

тогда

$$m_m(\text{CO}_2) = \frac{M(\text{CO}_2)}{N_A};$$
$$m_m(\text{CO}_2) = \frac{44 \text{ г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 7,31 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

Ответ: $m_m(\text{CO}_2) = 7,31 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$

Задача 7. Вычислите относительную плотность оксида серы(IV) по водороду и по воздуху.

Дано:

$M(\text{SO}_2) = 64 \text{ г/моль}$

Найти:

$D_{\text{H}_2}(\text{SO}_2)$

$D_{\text{возд}}(\text{SO}_2)$

Решение

Из формулы (4) следует, что

$$D_{\text{H}_2}(\text{SO}_2) = \frac{M(\text{SO}_2)}{M(\text{H}_2)};$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{SO}_2) = \frac{64 \text{ г/моль}}{2 \text{ г/моль}} = 32;$$

$$D_{\text{возд}}(\text{SO}_2) = \frac{M(\text{SO}_2)}{M(\text{возд.})}; \quad D_{\text{возд}}(\text{SO}_2) = \frac{64 \text{ г/моль}}{29 \text{ г/моль}} = 2,2.$$

Ответ: $D_{\text{H}_2}(\text{SO}_2) = 32; D_{\text{возд}}(\text{SO}_2) = 2,2.$

Задача 8. Определите молярную массу благородного газа X, плотность которого по водороду составляет 20. Назовите этот газ.

Дано:

$D_{\text{H}_2}(\text{X}) = 20$

Найти:

$M(\text{X})$

Решение

Из формулы (4) следует, что

$$M(\text{X}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{X});$$

$$M(\text{X}) = 20 \cdot 2 \text{ г/моль} = 40 \text{ г/моль.}$$

Этой молярной массе соответствует благородный газ аргон ($M(\text{Ar}) \approx 40 \text{ г/моль}$).

Ответ: $M(\text{X}) = 40 \text{ г/моль}$; аргон.

Задача 9. Определите молярную массу галогена (Г_2), плотность которого по воздуху составляет 2,45. Назовите этот галоген.

Дано:

$D_{\text{возд}}(\text{Г}_2) = 2,45$

Найти:

$M(\text{Г}_2)$

Решение

Аналогично решению предыдущей задачи:

$$M(\text{Г}_2) = 29D_{\text{возд}}(\text{Г}_2);$$

$$M(\text{Г}_2) = 29 \text{ г/моль} \cdot 2,45 = 71 \text{ г/моль};$$

$$M_r(\text{Г}_2) = 71.$$

Молекулы галогенов двухатомные. Зная это, найдём относительную атомную массу искомого галогена:

$$A_r(\Gamma) = \frac{71}{2} = 35,5.$$

По Периодической системе химических элементов определяем галоген – хлор.

Ответ: $M(\Gamma_2) = 71$ г/моль; хлор.

Задача 10. Определите молярную массу газа X, если масса 0,6 л его (н. у.) составляет 0,75 г.

Дано:

$$m(X) = 0,75 \text{ г}$$

$$V(X) = 0,6 \text{ л}$$

Найти:

$$M(X)$$

Решение

Используем формулы (1) и (2):

$$\nu(X) = \frac{m(X)}{M(X)} \quad \text{и} \quad \nu(X) = \frac{V(X)}{V_m}.$$

$$\text{Тогда } \frac{m(X)}{M(X)} = \frac{V(X)}{V_m}, \text{ откуда}$$

$$M(X) = \frac{m(X) \cdot V_m}{V(X)}; \quad M(X) = \frac{0,75 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л/моль}}{0,6 \text{ л}} = 28 \text{ г/моль}.$$

Ответ: $M(X) = 28$ г/моль.

Задача 11. Смешали порошкообразные металлы: железо массой 24 г, цинк массой 46 г и медь массой 80 г. Вычислите массовую долю железа в полученной смеси.

Дано:

$$m(\text{Fe}) = 24 \text{ г}$$

$$m(\text{Zn}) = 46 \text{ г}$$

$$m(\text{Cu}) = 80 \text{ г}$$

Найти:

$$w(\text{Fe})$$

Решение

1. Вычисляем массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Fe}) + m(\text{Zn}) + m(\text{Cu});$$

$$m(\text{смеси}) = 24 \text{ г} + 46 \text{ г} + 80 \text{ г} = 150 \text{ г}.$$

2. По формуле (5) определяем массовую долю железа в смеси:

$$w(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{смеси})}; \quad w(\text{Fe}) = \frac{24 \text{ г}}{150 \text{ г}} = 0,16, \text{ или } 16\%.$$

Ответ: $w(\text{Fe}) = 0,16$, или 16%.

Задача 12. Вычислите массовые доли элементов в воде.

Дано:



Найти:

$$w(\text{H}); w(\text{O})$$

Решение

Найдём молярную массу воды:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1 \text{ г/моль} + 16 \text{ г/моль} = 18 \text{ г/моль}.$$

Берём для расчёта количество вещества 1 моль; тогда

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г.}$$

По формуле (6) определяем:

$$w(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\nu(\text{H}) \cdot M(\text{H})}{m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$w(\text{H}) = \frac{2 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль}}{18 \text{ г}} = 0,11, \text{ или } 11\%;$$

$$w(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\nu(\text{O}) \cdot M(\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$w(\text{O}) = \frac{1 \text{ моль} \cdot 16 \text{ г/моль}}{18 \text{ г}} = 0,89, \text{ или } 89\%.$$

Ответ: $w(\text{H}) = 0,11$, или 11%; $w(\text{O}) = 0,89$, или 89%.

Задача 13. Оксид элемента Э имеет состав ЭO_2 . Массовая доля элемента в этом оксиде составляет 71,15%. Определите элемент.

Дано:

$$w(\text{Э}) = 71,15\%$$

Найти:

Э

Решение

Молярная масса оксида элемента равна:

$$M(\text{ЭO}_2) = M(\text{Э}) + 2M(\text{O}) = M(\text{Э}) + 32.$$

$$\text{Из формулы (6) имеем: } w(\text{Э}) = \frac{m(\text{Э})}{m(\text{ЭO}_2)} = \frac{\nu(\text{Э}) \cdot M(\text{Э})}{\nu(\text{ЭO}_2) \cdot M(\text{ЭO}_2)}.$$

Для 1 моль оксида получим:

$$71,15 = \frac{1 \text{ моль} \cdot M(\text{Э})}{1 \text{ моль} \cdot (M(\text{Э}) + 32)} \cdot 100,$$

откуда $M(\text{Э}) = 78,9 \text{ г/моль}$.

По Периодической системе химических элементов определяем искомый элемент – селен.

Ответ: селен.

Задача 14. Воздух состоит примерно из 4 объёмов азота и 1 объёма кислорода. Определите среднюю молярную массу воздуха.

Дано:

$$V(\text{N}_2) : V(\text{O}_2) = 4 : 1$$

Найти:

$M(\text{воздуха})$

Решение

1. Используя формулу (7), определяем объёмные доли газов:

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{N}_2) + V(\text{O}_2)}; \quad \varphi(\text{N}_2) = \frac{4}{4 + 1} = 0,8;$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{N}_2) + V(\text{O}_2)}; \quad \varphi(\text{O}_2) = \frac{1}{4 + 1} = 0,2.$$

2. По формуле (9) находим среднюю молярную массу воздуха:

$$M(\text{воздуха}) = \varphi(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) + \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2);$$

$$\begin{aligned} M(\text{воздуха}) &= 0,8 \cdot 28 \text{ г/моль} + 0,2 \cdot 32 \text{ г/моль} = \\ &= 28,8 \text{ г/моль} \approx 29 \text{ г/моль}. \end{aligned}$$

Ответ: $M(\text{воздуха}) \approx 29 \text{ г/моль}$.

Задача 15. При температуре 25°C и давлении $99,3 \text{ кПа}$ газ занимает объём 152 л . Вычислите, какой объём займёт этот же газ при температуре 0°C и давлении $101,3 \text{ кПа}$.

Дано:

$$t = 25^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$p = 99,3 \text{ кПа}$$

$$p_0 = 101,3 \text{ кПа}$$

$$V = 152 \text{ л}$$

Найти:

$$V_0$$

Решение

1. Вычисляем абсолютную температуру, при которой находится газ:

$$T = 273 + t; \quad T = 273 + 25 = 298 \text{ (К)}.$$

2. На основе объединённого газового закона (формула (11)) рассчитываем объём газа при н. у.:

$$V_0 = \frac{pVT_0}{p_0T}; \quad V_0 = \frac{99,3 \text{ кПа} \cdot 152 \text{ л} \cdot 273 \text{ К}}{101,3 \text{ кПа} \cdot 298 \text{ К}} = 136,5 \text{ л}.$$

Ответ: $V_0 = 136,5 \text{ л}$.

Задача 16. При давлении $105,4 \text{ кПа}$ и температуре 25°C азот занимает сосуд объёмом $5,5 \text{ л}$. Вычислите количество вещества азота, находящегося в данном сосуде.

Дано:

$$p = 105,4 \text{ кПа}$$

$$t = 25^\circ\text{C}$$

$$V(\text{N}_2) = 5,5 \text{ л}$$

Найти:

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

Решение

Способ 1

1. Вычисляем абсолютную температуру, при которой находится азот:

$$T = 273 + t; \quad T = 273 + 25 = 298 \text{ (К)}.$$

2. На основе формулы (11) определяем объём азота при н. у.:

$$V_0 = \frac{pVT_0}{p_0T}; \quad V_0 = \frac{105,4 \text{ кПа} \cdot 5,5 \text{ л} \cdot 273 \text{ К}}{101,3 \text{ кПа} \cdot 298 \text{ К}} = 5,24 \text{ л}.$$

3. По формуле (2) вычисляем количество вещества азота, находящегося в сосуде:

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m}; \quad \nu(\text{N}_2) = \frac{5,24 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,234 \text{ моль.}$$

Способ 2

1. Вычисляем абсолютную температуру, при которой находится азот:

$$T = 273 + 25 = 298 \text{ (К)}.$$

2. Вычисляем количество вещества азота. Из уравнения Клапейрона – Менделеева (формула (12)) следует:

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{pV}{RT}; \quad \nu(\text{N}_2) = \frac{105,4 \text{ кПа} \cdot 5,5 \text{ л}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 298 \text{ К}} = 0,234 \text{ моль.}$$

Ответ: $\nu(\text{N}_2) = 0,234 \text{ моль.}$

Задача 17. Газ X массой 30,3 г заполнил сосуд объёмом 15 л при температуре 18 °С. Давление газа внутри сосуда составляет 122 кПа. Определите молярную массу газа.

Дано:

$$m(\text{X}) = 30,3 \text{ г}$$

$$V(\text{X}) = 15 \text{ л}$$

$$t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p = 122 \text{ кПа}$$

Найти:

$$M(\text{X})$$

Решение

Способ 1

1. Вычисляем абсолютную температуру, при которой находится газ:

$$T = 273 + t; \quad T = 273 + 18 = 291 \text{ (К)}.$$

2. Используя формулу (11), рассчитываем объём газа при н. у.:

$$V_0 = \frac{pVT_0}{p_0T}; \quad V_0 = \frac{122 \text{ кПа} \cdot 15 \text{ л} \cdot 273 \text{ К}}{101,3 \text{ кПа} \cdot 291 \text{ К}} \approx 17 \text{ л.}$$

3. По формуле (2) определяем количество вещества газа:

$$\nu(\text{X}) = \frac{V(\text{X})}{V_m}; \quad \nu(\text{X}) = \frac{17 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,76 \text{ моль.}$$

4. Из формулы (1) находим молярную массу газа:

$$M(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{\nu(\text{X})}; \quad M(\text{X}) = \frac{30,3 \text{ г}}{0,76 \text{ моль}} \approx 40 \text{ г/моль.}$$

Способ 2

1. Вычисляем абсолютную температуру, при которой находится газ:

$$T = 273 + t; \quad T = 273 + 18 = 291 \text{ (К)}.$$

2. Определяем молярную массу газа. Из формулы (12) следует:

$$M(X) = \frac{m(X)RT}{pV(X)};$$

$$M(X) = \frac{30,3 \text{ г} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 291 \text{ К}}{122 \text{ кПа} \cdot 15 \text{ л}} = 40 \text{ г/моль}.$$

Ответ: $M(X) = 40 \text{ г/моль}$.

Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислите количество вещества, которое соответствует 100 г следующих соединений: а) карбоната кальция; б) оксида магния; в) гидроксида натрия; г) нитрата аммония. (а) 1 моль; б) 2,5 моль; в) 2,5 моль; г) 1,25 моль.)

2. Определите массу 0,25 моль следующих веществ: а) хлорида натрия; б) оксида алюминия; в) бромоводорода; г) гидроксида калия. (а) 14,625 г; б) 25,5 г; в) 20,25 г; г) 14 г.)

3. Определите количество вещества оксида серы(IV) объемом 560 мл (н. у.). (0,025 моль.)

4. Определите объем (н. у.) сероводорода массой 13,6 г. (8,96 л.)

5. Определите массу кислорода объемом 33,6 л (н. у.). Сколько молекул содержится в этой порции кислорода? (48 г; $9,03 \cdot 10^{23}$ молекул.)

6. Определите объем (н. у.) водорода количеством вещества 0,1 моль. (2,24 л.)

7. Газовая смесь при н. у. содержит 2,24 л кислорода и 3,36 л оксида серы(IV). Определите массу смеси. (12,8 г.)

8. Определите объем газовой смеси (н. у.), содержащей 1,4 г водорода и 5,6 г азота. (20,16 л.)

9. Определите количество вещества в 1 м³ любого газа при н. у. (44,6 моль.)

10. Вычислите число молекул, содержащихся в 11 г углекислого газа. ($1,5 \cdot 10^{23}$ молекул.)

11. Определите массу и количество вещества, соответствующие $3 \cdot 10^{23}$ молекулам брома. (80 г; 0,5 моль.)

12. Определите массу одной молекулы воды. ($3 \cdot 10^{-23}$ г.)

13. Определите, какой объем при н. у. занимают $2,7 \cdot 10^{22}$ молекул газа. (1 л.)

14. Определите, одинаковое ли число молекул содержится: а) в 0,5 г азота и 0,5 г метана; б) в 0,5 л азота и 0,5 л ме-

тана; в) в смесях 1,1 г CO_2 с 2,4 г O_3 и 1,32 г CO_2 с 2,16 г O_3 ; г) в 0,001 кг H_2 и 0,001 кг O_2 ; д) в 1 г NH_3 и 1 г N_2 ; е) в 16 г CH_4 и 32 г O_2 . Ответ подтвердите расчётом. (а) нет; б) да; в) да; г) нет; д) нет; е) да.)

15. Дан оксид азота(II) массой 6 г. Вычислите: а) объём, занимаемый оксидом азота(II) указанной массы при н.у.; б) количество вещества, соответствующее указанной массе оксида азота(II); в) число молекул, содержащихся в указанной порции оксида. (а) 4,48 л; б) 0,2 моль; в) $1,2 \cdot 10^{23}$ молекул.)

16. Определите, в каком количестве вещества хлорида калия содержится столько же калия, сколько его: а) в 5 моль сульфата калия; б) в 17,4 г сульфата калия; в) в 0,3 моль нитрата калия; г) в 50,5 г нитрата калия. (а) 10 моль; б) 0,2 моль; в) 0,3 моль; г) 0,5 моль.)

17. Вычислите массу порции магния, в которой имеется столько же атомов, сколько их содержится в 1 г азота. (1,714 г.)

18. Найдите объём (н.у.), который займут $1,2 \cdot 10^{24}$ молекул газа. Определите молярную массу этого газа и назовите его, зная, что порция газа вычисленного объёма имеет массу 64 г. (44,8 л; 32 г/моль; кислород.)

19. Определите молярную массу газа, если масса 400 мл его при н.у. составляет 0,786 г. (44 г/моль.)

20. Вычислите относительную плотность хлора по водороду и по воздуху. (35,5; 2,45.)

21. Определите молярную массу оксида углерода, плотность которого по воздуху составляет 1,51. Какой это оксид углерода? (44 г/моль; CO_2 .)

22. Смешали стружки магния количеством вещества 1,5 моль и алюминия количеством вещества 2 моль. Определите массовую долю магния в полученной смеси. (0,4, или 40%.)

23. Определите массу серебряного сплава, в котором содержится 150 г серебра, а массовая доля серебра составляет 30%. (500 г.)

24. Рассчитайте число атомов меди в образце сплава меди с никелем массой 250 г, если массовая доля меди в сплаве равна 80%. ($1,875 \cdot 10^{24}$ атомов.)

25. Определите количество вещества свинца, который надо взять для приготовления 30 г сплава олова со свинцом. Массовая доля олова в сплаве составляет 31%. (0,1 моль.)

26. Определите процентный состав сплава, если в нём на 1 моль атомов бария приходится 2,74 моль атомов алюминия. (65% бария; 35% алюминия.)
27. Смесь содержит $3,01 \cdot 10^{23}$ молекул азота и $4,214 \cdot 10^{23}$ молекул кислорода. Определите объёмную, мольную и массовую доли азота в смеси. ($\varphi(\text{N}_2) = 42\%$; $\chi(\text{N}_2) = 42\%$; $w(\text{N}_2) = 38,5\%$.)
28. Вычислите массовую долю фосфора в оксиде фосфора(V). (0,437, или 43,7%.)
29. Определите массовую долю воды в медном купоросе $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. (0,36, или 36%.)
30. Определите массу алюминия, входящего в состав оксида алюминия массой 153 г. (81 г.)
31. Определите массу фосфора, который содержится в 40 г смеси, состоящей из 40% оксида фосфора(III) и 60% оксида фосфора(V). (19,5 г.)
32. Рассчитайте массу питьевой соды NaHCO_3 , содержащей 30 г углерода. (210 г.)
33. Вычислите массу гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, содержащего 8 г кальция. (34,4 г.)
34. Железные руды относятся к богатым, если содержание железа в них более 50% по массе. Определите, относится ли к богатым рудам сидерит FeCO_3 . (Нет.)
35. Оксид элемента имеет состав ЭO_3 . Массовая доля кислорода в этом оксиде составляет 60%. Определите элемент. (Сера.)
36. Хлорид элемента имеет состав ЭCl_2 . Массовая доля хлора в этом хлориде составляет 52,21%. Определите элемент. (Цинк.)
37. Молярная масса сульфата двухвалентного металла в три раза больше молярной массы оксида металла(II). Определите металл. (Магний.)
38. Установите формулу кристаллогидрата сульфата железа(II), если известно, что массовая доля воды в этой соли составляет 45,32%. ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.)
39. Определите массу 1 м³ газовой смеси, содержащей 20% (по объёму) водорода и 80% кислорода при н. у. (1160 г.)
40. Образец некоторого вещества содержит $2,11 \cdot 10^{24}$ молекул. Масса этого образца составляет 154 г. Рассчитайте молярную массу этого вещества. (44 г/моль.)

41. Вычислите среднюю молярную массу смеси, состоящей из 3 л кислорода и 2 л водорода. (20 г/моль.)

42. Определите среднюю молярную массу газовой смеси, если известно, что массовая доля кислорода в этой смеси составляет 60%, а азота – 40%. (30,3 г/моль.)

43. Вычислите относительную плотность по воздуху газовой смеси следующего состава: $3\text{N}_2 + 5\text{O}_2 + 2\text{H}_2$. (0,855.)

44. Вычислите относительную плотность по водороду газовой смеси следующего состава: $3\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{CO}_2$. (12,2.)

45. Объёмная доля водорода в газовой смеси составляет 25%, кислорода – 75%. Определите плотность смеси по водороду. (12,25.)

46. Дана газовая смесь, состоящая из трёх объёмов оксида углерода(II) и семи объёмов оксида углерода(IV). Определите массу 1 л смеси при н. у. (1,75 г.)

47. Определите, какой объём займёт при температуре 20 °С и давлении 250 кПа аммиак массой 51 г. (29,22 л.)

48. Вычислите количество вещества оксида углерода(IV), который занимает объём 120 л при температуре 27 °С и давлении 166,2 кПа. (8 моль.)

49. Вычислите массу азота, который занимает объём 1 м³ при температуре 20 °С и давлении 3 атм. (3,5 кг.)

50. Вычислите объём, который занимают 0,5 моль любого газа при температуре 100 °С и давлении 730 мм рт. ст. ($\approx 15,9$ л.)

51. Газ массой 1,56 г заполнил сосуд объёмом 0,624 л при температуре 17 °С. Давление газа внутри сосуда составляет 104 кПа. Вычислите молярную массу газа. (58 г/моль.)

52. Газометр объёмом 20 л наполнен газом. Плотность этого газа по воздуху 0,40. Давление газа внутри газометра составляет 103,3 кПа при температуре 17 °С. Вычислите массу газа. (9,94 г.)

53. При взаимодействии 0,65 г металла с водой выделился водород объёмом 0,38 л, измеренным при температуре 21 °С и давлении 104,5 кПа. Определите молярную массу металла. (40 г/моль.)

54. Определите молярную массу смеси хлороводорода и бромоводорода, имеющей плотность 3,139 г/л при давлении 110 кПа и температуре 20 °С. (69,49 г/моль.)

3. Определение состава газовых смесей

Алгоритм решения задач этого типа

1. Определить среднюю молярную массу газовой смеси. Способ определения молярной массы зависит от условия задачи:

а) на основе плотности газовой смеси по водороду, воздуху или другому газу:

$$M(\text{смеси}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{смеси}); M(\text{смеси}) = 29D_{\text{возд}}(\text{смеси})$$

или

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{газ}}(\text{смеси}) \cdot M(\text{газа});$$

б) по плотности (ρ) газовой смеси (г/л):

$$M(\text{смеси}) = V_m \cdot \rho;$$

в) на основе формулы (1):

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{\nu(\text{смеси})}.$$

2. Вычислить объёмную долю газа в смеси одним из следующих способов.

Способ 1

Молярная, объёмная и массовая доли вещества в смеси не зависят от общего количества вещества, объёма, массы смеси, поэтому для расчётов можно выбирать любое количество вещества, объём, массу смеси. Например, 1 моль, 100 л или 100 г и т.д. Вычисления проводить на основе формулы (9) (задачи 1, 2).

Способ 2

Применить «правило креста». В общем виде его можно записать как *диагональную схему*:

$$\left. \begin{array}{l} M_1 \xrightarrow{\quad\quad\quad} (M(\text{смеси}) - M_2) \longrightarrow V_1 \\ \quad \nearrow M(\text{смеси}) \searrow \\ M_2 \xrightarrow{\quad\quad\quad} (M_1 - M(\text{смеси})) \longrightarrow V_2 \end{array} \right\} V(\text{смеси})$$

$$M_1 > M_2$$

На основе «правила креста» определить объём газовой смеси ($V(\text{смеси})$) и объём каждого газа (V_1 и V_2) в смеси (задача 1), затем вычислить объёмную долю газа в смеси:

$$\varphi_1 = \frac{V_1}{V(\text{смеси})}.$$

Задача 1. Плотность по воздуху газовой смеси, состоящей из водорода и гелия, составляет 0,1. Определите объёмные доли этих газов в смеси.

Дано:

$$D_{\text{возл}}(\text{смеси}) = 0,1$$

Найтү:

$\varphi(\mathbf{H}_2)$

$\varphi(\text{He})$

Решение

1. Находим среднюю молярную массу смеси газов:

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{возл}}(\text{смеси}) \cdot M(\text{возд.});$$

$$M(\text{смеси}) = 0,1 \cdot 29 \text{ г/моль} = 2,9 \text{ г/моль}.$$

Способ 1

2. Вычисляем объёмную долю водорода в смеси. Пусть x – объёмная доля водорода в смеси, тогда $(1 - x)$ – объёмная доля гелия в смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = x, \quad \varphi(\text{He}) = 1 - x.$$

Используем формулу (9):

$$M(\text{смеси}) = \varphi(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) + \varphi(\text{He}) \cdot M(\text{He})$$

$$\Rightarrow 2,9 = x \cdot 2 + (1 - x) \cdot 4,$$

откуда $x = 0,55$, или 55%.

3. Находим объёмную долю гелия:

$$\varphi(\text{He}) = 1 - 0,55 = 0,45, \text{ или } 45\%.$$

Сносб 2

2. Составляем диагональную схему в соответствии с «правилом креста» и находим объём газовой смеси:

$$\left. \begin{array}{l} 4 \xrightarrow{\quad \quad \quad} 0,9 \rightarrow V_1 \\ \quad \quad \quad \searrow \quad \quad \quad \nearrow \\ \quad \quad \quad 2,9 \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \nearrow \quad \quad \quad \searrow \\ 2 \xrightarrow{\quad \quad \quad} 1,1 \rightarrow V_2 \end{array} \right\} V(\text{смеси}) = 0,9 \text{ л} + 1,1 \text{ л} = 2 \text{ л.}$$

3. Определяем объёмные доли водорода и гелия в смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{смеси})}; \quad \varphi(\text{H}_2) = \frac{1,1 \text{ л}}{2 \text{ л}} = 0,55, \text{ или } 55\%;$$

$$\varphi(\text{He}) = \frac{V(\text{He})}{V(\text{смеси})}; \quad \varphi(\text{He}) = \frac{0,9 \text{ л}}{2 \text{ л}} = 0,45, \text{ или } 45\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{H}_2) = 0,55$, или 55%; $\varphi(\text{He}) = 0,45$, или 45%.

Задача 2. Смесь азота и оксида углерода(IV) объёмом 14 л (н.у.) имеет массу 25,5 г. Определите объёмную, мольную и массовую доли азота в смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 25,5 \text{ г}$$

$$V(\text{смеси}) = 14 \text{ л}$$

Найти:

$$\varphi(\text{N}_2); \chi(\text{N}_2); w(\text{N}_2)$$

Решение

1. Находим количество вещества газовой смеси:

$$\nu(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m};$$

$$\nu(\text{смеси}) = \frac{14 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,625 \text{ моль.}$$

2. Вычисляем среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{\nu(\text{смеси})}; \quad M(\text{смеси}) = \frac{25,5 \text{ г}}{0,625 \text{ моль}} = 40,8 \text{ г/моль.}$$

3. Находим объёмную долю азота в смеси способом 1.

Пусть x – объёмная доля азота в смеси, тогда $(1 - x)$ – объёмная доля оксида углерода(IV) в смеси:

$$\varphi(\text{N}_2) = x, \quad \varphi(\text{CO}_2) = 1 - x;$$

$$M(\text{смеси}) = \varphi(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) + \varphi(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2)$$

$$\Rightarrow 40,8 = x \cdot 28 + (1 - x) \cdot 44,$$

$$x = 0,2, \text{ или } 20\%.$$

4. Определяем мольную долю азота в смеси. По закону Авогадро объёмная доля газа в смеси равна его мольной доле, поэтому объёмная доля азота $\varphi(\text{N}_2)$ равна его мольной доле $\chi(\text{N}_2)$, т. е. $\chi(\text{N}_2) = 0,2$, или 20%.

5. Вычисляем массовую долю азота в смеси. На основе формулы (8) имеем:

$$\nu(\text{N}_2) = \chi(\text{N}_2) \cdot \nu(\text{смеси}); \quad \nu(\text{N}_2) = 0,2 \cdot 0,625 \text{ моль} = 0,125 \text{ моль,}$$

тогда

$$m(\text{N}_2) = \nu(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2); \quad m(\text{N}_2) = 0,125 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 3,5 \text{ г};$$

$$w(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{m(\text{смеси})}; \quad w(\text{N}_2) = \frac{3,5 \text{ г}}{25,5 \text{ г}} = 0,137, \text{ или } 13,7\%.$$

Все эти действия можно объединить одной формулой (10):

$$w(\text{N}_2) = \frac{\chi(\text{N}_2) \cdot \nu(\text{смеси}) \cdot M(\text{N}_2)}{m(\text{смеси})};$$

$$w(\text{N}_2) = \frac{0,2 \cdot 0,625 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль}}{25,5 \text{ г}} = 0,137, \text{ или } 13,7\%;$$

$$\text{или } w(\text{N}_2) = \frac{\chi(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2)}{M(\text{смеси})};$$

$$w(\text{N}_2) = \frac{0,2 \cdot 28 \text{ г/моль}}{40,8 \text{ г/моль}} = 0,137, \text{ или } 13,7\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{N}_2) = 0,2$, или 20%; $\chi(\text{N}_2) = 0,2$, или 20%; $w(\text{N}_2) = 0,137$, или 13,7%.

Задачи для самостоятельного решения

55. Плотность по водороду газовой смеси, состоящей из водорода и кислорода, равна 7. Определите объёмные доли (%) газов в смеси. (40% O_2 ; 60% H_2 .)

56. При н.у. плотность смеси, состоящей из оксида углерода(II) и бутена, составляет 2 г/л. Определите объёмную, мольную и массовую доли (%) оксида углерода(II) в смеси. ($\varphi(\text{CO}) = 40\%$; $\chi(\text{CO}) = 40\%$; $w(\text{CO}) = 25\%$.)

57. Плотность по азоту смеси оксида серы(IV) и водорода равна 2. Определите объёмные и массовые доли газов в смеси (%). ($\varphi(\text{SO}_2) = 87,1\%$; $\varphi(\text{H}_2) = 12,9\%$; $w(\text{SO}_2) = 99,54\%$; $w(\text{H}_2) = 0,46\%$.)

58. Молярная масса смеси пропана и бутана равна 51 г/моль. Определите объёмные доли (%) газов в смеси. (50% C_3H_8 ; 50% C_4H_{10} .)

59. Вычислите относительную плотность по водороду газовой смеси, состоящей из 56 л (н.у.) аргона и 28 л (н.у.) азота. (18.)

60. Объёмная доля аммиака в смеси с кислородом равна 40%. Вычислите относительную плотность этой смеси по воздуху. (0,896.)

61. Смесь водорода и кислорода объёмом 13,44 л (н.у.) имеет массу 15 г. Определите объёмную и массовую доли (%) кислорода в смеси. ($\varphi(\text{O}_2) = 76,67\%$; $w(\text{O}_2) = 98,13\%$.)

62. Смесь оксида углерода(IV) и метана объёмом 20 л (н.у.) имеет массу 29,29 г. Определите объём каждого газа в смеси. (12 л CO_2 ; 8 л CH_4 .)

63. Смесь оксида углерода(IV) и аммиака объёмом 12 л (н.у.) имеет массу 18 г. Определите объём каждого газа в смеси и массовую долю (%) оксида углерода(IV). (4,62 л NH_3 ; 7,38 л CO_2 ; $\approx 80,5\%$.)

64. При н.у. плотность смеси, состоящей из азота и кислорода, составляет 1,35 г/л. Определите объёмные и массовые доли (%) газов в смеси. ($\varphi(\text{N}_2) = 44\%$; $\varphi(\text{O}_2) = 56\%$; $w(\text{N}_2) = 40,74\%$; $w(\text{O}_2) = 59,26\%$.)

65. Определите, при каком мольном соотношении оксида серы(IV) и аргона получается смесь, которая в два раза тяжелее воздуха. ($v(\text{SO}_2) : v(\text{Ar}) = 3 : 1$.)

II

1. Массовая доля растворённого вещества

Массовая доля растворённого вещества ($w(\text{в-ва})$) – это отношение массы растворённого вещества ($m(\text{в-ва})$, г) к общей массе раствора ($m(\text{р-ра})$, г):

$$w(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \text{ (в долях единицы),}$$

откуда

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{в-ва}).$$

Или

$$w(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\% \text{ (в процентах).}$$

Эта величина указывает массу безводного вещества, содержащегося в 100 г раствора. Например, раствор с массовой долей хлорида натрия 20% содержит 20 г соли и 80 г воды.

Раствор состоит из растворённого вещества и растворителя. Наиболее распространены водные растворы.

Масса раствора – это сумма масс растворённого вещества и растворителя:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{в-ва}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$w(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{в-ва}) + m(\text{H}_2\text{O})}.$$

Массу раствора можно выразить через объём раствора ($V(\text{р-ра})$, л, см³, мл) и его плотность ($\rho(\text{р-ра})$, г/см³ или г/мл):

$$m(\text{р-ра}) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}),$$

откуда

$$w(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра})};$$

$$m(\text{в-ва}) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{в-ва}).$$

Выведенные формулы позволяют решать разнообразные задачи (задачи 1–5).

Если взяты разные растворы одного вещества, то **массовую долю растворённого вещества в растворе, полученном их смешиванием**, можно вычислить по формуле:

$$w_{\text{см}}(\text{в-ва}) = \frac{m_1(\text{в-ва}) + m_2(\text{в-ва}) + \dots}{m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра}) + \dots}.$$

Данную формулу можно представить в ином виде:

$$w_{\text{см}}(\text{в-ва}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{в-ва}) + m_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{в-ва}) + \dots}{m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра}) + \dots}$$

или

$$w_{\text{см}}(\text{в-ва}) = \frac{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{в-ва}) + V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{в-ва}) + \dots}{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) + V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра}) + \dots}$$

(задачи 6, 7, 8).

Если массы растворов в условии отсутствуют, то задачи на смесь растворов можно решать методом составления алгебраических уравнений с одним неизвестным. В этом случае массу одного из растворов обозначают через x , а массу второго раствора через $(m - x)$ (задачи 9, 10).

При решении задач массовую долю растворённого вещества удобно выражать в долях единицы.

Для приготовления раствора с определённой массовой долей растворённого вещества смешиванием двух растворов большей и меньшей концентрации или разбавлением концентрированного раствора водой используют **правило смешения**: отношение массы первого раствора к массе второго равно отношению разности массовых долей вещества в смеси растворов и во втором растворе к разности массовых долей вещества в первом растворе и в смеси растворов.

Правило смешения может быть выражено формулой (задача 7):

$$\frac{m_1(\text{р-ра})}{m_2(\text{р-ра})} = \frac{w_{\text{см}}(\text{в-ва}) - w_2(\text{в-ва})}{w_1(\text{в-ва}) - w_{\text{см}}(\text{в-ва})}.$$

Правило смешения выражает также *диагональная схема («правило креста»)*:

$$\left. \begin{array}{l} w_1(\text{в-ва}) \xrightarrow{\quad \quad \quad} (w_{\text{см}}(\text{в-ва}) - w_2(\text{в-ва})) \rightarrow m_1(\text{р-ра}) \\ \quad \quad \quad \nearrow w_{\text{см}}(\text{в-ва}) \searrow \\ w_2(\text{в-ва}) \xrightarrow{\quad \quad \quad} (w_1(\text{в-ва}) - w_{\text{см}}(\text{в-ва})) \rightarrow m_2(\text{р-ра}) \end{array} \right\} m_{\text{см}}(\text{р-ра})$$

Здесь $w_{\text{см}}(\text{в-ва})$ – массовая доля раствора, приготовляемого смешиванием;

$w_1(\text{в-ва})$ и $w_2(\text{в-ва})$ – соответственно более высокая и более низкая массовые доли веществ в исходных растворах (в случае чистой воды $w_2(\text{в-ва}) = 0$);

$(w_{\text{см}}(\text{в-ва}) - w_2(\text{в-ва}))$ – массовая часть раствора более высокой концентрации;

$(w_1(\text{в-ва}) - w_{\text{см}}(\text{в-ва}))$ – массовая часть раствора более низкой концентрации (задачи 9, 11).

Задача 1. Определите массовую долю (%) соли в растворе, полученном при растворении 50 г соли в 200 г воды.

Дано:

$$m(\text{соли}) = 50 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ г}$$

Найти:

$$w(\text{соли})$$

Решение

$$w(\text{соли}) = \frac{m(\text{соли})}{m(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$w(\text{соли}) = \frac{50 \text{ г}}{50 \text{ г} + 200 \text{ г}} = 0,2, \text{ или } 20\%.$$

Ответ: $w(\text{соли}) = 0,2$, или 20%.

Задача 2. Поваренную соль массой 10 г растворили в 80 мл воды. Определите массовую долю (%) соли в растворе.

Дано:

$$m(\text{NaCl}) = 10 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 80 \text{ мл}$$

Найти:

$$w(\text{NaCl})$$

Решение

1. По условию задачи известен объём воды, поэтому находим массу воды, зная что плотность воды равна 1 г/мл:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 80 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 80 \text{ г}.$$

2. Вычисляем массовую долю (%) соли в растворе:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{р-ра})} = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$w(\text{NaCl}) = \frac{10 \text{ г}}{10 \text{ г} + 80 \text{ г}} = 0,11, \text{ или } 11\%.$$

Ответ: $w(\text{NaCl}) = 0,11$, или 11%.

Задача 3. Вычислите массу гидроксида калия в растворе объемом 600 мл и плотностью 1,082 г/мл, если массовая доля гидроксида калия составляет 10%, или 0,1.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 600 \text{ мл}$$

$$w(\text{KOH}) = 0,1$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,082 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$m(\text{KOH})$$

Решение

$$w(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра})};$$

$$m(\text{KOH}) = w(\text{KOH}) \cdot V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра});$$

$$m(\text{KOH}) = 0,1 \cdot 600 \text{ мл} \cdot 1,082 \text{ г/мл} = 64,92 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{KOH}) = 64,92 \text{ г}.$

Задача 4. Определите массу воды, которую надо прибавить к раствору массой 150 г с массовой долей гидроксида натрия 10%, или 0,1, чтобы получить раствор с массовой долей 2%, или 0,02.

Дано:

$$m_1(\text{р-ра}) = 150 \text{ г}$$

$$w_1(\text{NaOH}) = 0,1$$

$$w_2(\text{NaOH}) = 0,02$$

Найти:

$$m(\text{H}_2\text{O})$$

Решение

$$m_2(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$w_2(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_2(\text{р-ра})};$$

$$w_2(\text{NaOH}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{NaOH})}{m_1(\text{р-ра}) + m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$0,02 = \frac{150 \text{ г} \cdot 0,1}{150 \text{ г} + m(\text{H}_2\text{O})}; \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 600 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 600 \text{ г}.$

Задача 5. Определите массу раствора с массовой долей уксусной кислоты 40%, или 0,4, который надо прибавить к 500 г воды для получения раствора с массовой долей уксусной кислоты 15%, или 0,15.

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ г}$$

$$w_1(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,4$$

$$w_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,15$$

Найти:

$$m_1(\text{р-ра})$$

Решение

$$w_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{CH}_3\text{COOH})}{m_1(\text{р-ра}) + 500};$$

$$0,15 = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot 0,4}{m_1(\text{р-ра}) + 500};$$

$$m_1(\text{р-ра}) = 300 \text{ г}.$$

Ответ: $m_1(\text{р-ра}) = 300 \text{ г}.$

Задача 6. Определите объём раствора с массовой долей гидроксида калия 50%, или 0,5 ($\rho_1 = 1,538$ г/мл), который требуется для приготовления 3 л раствора гидроксида калия с массовой долей 6%, или 0,06 ($\rho_2 = 1,048$ г/мл).

Дано:

$$w_1(\text{KOH}) = 0,5$$

$$\rho_1(\text{р-ра}) = 1,538 \text{ г/мл}$$

$$V_2(\text{р-ра}) = 3 \text{ л}$$

$$w_2(\text{KOH}) = 0,06$$

$$\rho_2(\text{р-ра}) = 1,048 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$V_1(\text{р-ра})$$

Решение

$$w_2(\text{KOH}) = \frac{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{KOH})}{V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра})};$$

$$0,06 = \frac{V_1(\text{р-ра}) \cdot 1,538 \text{ г/мл} \cdot 0,5}{3000 \text{ мл} \cdot 1,048 \text{ г/мл}};$$

$$0,06 \cdot 3000 \text{ мл} \cdot 1,048 \text{ г/мл} =$$

$$= V_1(\text{р-ра}) \cdot 1,538 \text{ г/мл} \cdot 0,5;$$

$$V_1(\text{р-ра}) = 245,3 \text{ мл.}$$

Ответ: $V_1(\text{р-ра}) = 245,3 \text{ мл.}$

Задача 7. Смешали 300 г раствора с массовой долей хлорида натрия 20% и 500 г раствора с массовой долей соли 40%. Вычислите массовую долю хлорида натрия в полученном растворе.

Дано:

$$m_1(\text{р-ра}) = 300 \text{ г}$$

$$w_1(\text{NaCl}) = 0,2$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 500 \text{ г}$$

$$w_2(\text{NaCl}) = 0,4$$

Найти:

$$w_{\text{см}}(\text{NaCl})$$

Решение

Способ 1

По правилу смешения

$$\frac{m_1(\text{р-ра})}{m_2(\text{р-ра})} = \frac{w_{\text{см}}(\text{NaCl}) - w_2(\text{NaCl})}{w_1(\text{NaCl}) - w_{\text{см}}(\text{NaCl})}.$$

Подставляем в формулу соответствующие значения:

$$\frac{300 \text{ г}}{500 \text{ г}} = \frac{w_{\text{см}}(\text{NaCl}) - 0,2}{0,4 - w_{\text{см}}(\text{NaCl})}, \text{ откуда } w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = 0,325, \text{ или } 32,5\%.$$

Способ 2

$$w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{NaCl}) + m_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{NaCl})}{m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра})};$$

$$w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = \frac{300 \text{ г} \cdot 0,2 + 500 \text{ г} \cdot 0,4}{300 \text{ г} + 500 \text{ г}} = 0,325, \text{ или } 32,5\%.$$

Ответ: $w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = 0,325, \text{ или } 32,5\%.$

Задача 8. Смешали 10 мл раствора с массовой долей азотной кислоты 10% ($\rho_1 = 1,056$ г/мл) и 100 мл раствора с массовой долей 30% ($\rho_2 = 1,184$ г/мл). Вычислите массовую долю азотной кислоты в полученном растворе.

Дано:

$$V_1(\text{р-ра}) = 10 \text{ мл}$$

$$\rho_1(\text{р-ра}) = 1,056 \text{ г/мл}$$

$$w_1(\text{HNO}_3) = 0,1$$

$$V_2(\text{р-ра}) = 100 \text{ мл}$$

$$\rho_2(\text{р-ра}) = 1,184 \text{ г/мл}$$

$$w_2(\text{HNO}_3) = 0,3$$

Найти:

$$w_{\text{см}}(\text{HNO}_3)$$

Решение

$$w_{\text{см}}(\text{HNO}_3) =$$

$$= \frac{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{HNO}_3) + V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{HNO}_3)}{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) + V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра})};$$

$$w_{\text{см}}(\text{HNO}_3) =$$

$$= \frac{10 \text{ мл} \cdot 1,056 \text{ г/мл} \cdot 0,1 + 100 \text{ мл} \cdot 1,184 \text{ г/мл} \cdot 0,3}{10 \text{ мл} \cdot 1,056 \text{ г/мл} + 100 \text{ мл} \cdot 1,184 \text{ г/мл}} =$$

$$= 0,2837, \text{ или } 28,37\%.$$

Ответ: $w_{\text{см}}(\text{HNO}_3) = 0,2837$, или 28,37%.

Задача 9. В лаборатории имеются растворы с массовой долей хлорида натрия 10 и 20%. Определите массу каждого раствора, которую надо взять для получения 300 г раствора с массовой долей соли 12%.

Дано:

$$w_1(\text{NaCl}) = 0,1$$

$$w_2(\text{NaCl}) = 0,2$$

$$m_{\text{см}}(\text{р-ра}) = 300 \text{ г}$$

$$w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = 0,12$$

Найти:

$$m_1(\text{р-ра}); m_2(\text{р-ра})$$

Решение

Способ 1

1. Используем диагональную схему правила смешения («правило креста»). Подставив в неё соответствующие значения, определим массовые части исходных растворов:

$$\begin{array}{ccc} w_2(\text{NaCl}) & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & (w_{\text{см}}(\text{NaCl}) - w_1(\text{NaCl})) \\ & \searrow \quad \nearrow & \\ & w_{\text{см}}(\text{NaCl}) & \\ & \nearrow \quad \searrow & \\ w_1(\text{NaCl}) & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & (w_2(\text{NaCl}) - w_{\text{см}}(\text{NaCl})) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 0,2 & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & 0,02 \\ & \searrow \quad \nearrow & \\ & 0,12 & \\ & \nearrow \quad \searrow & \\ 0,1 & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & 0,08 \end{array}$$

Получаем, что следует смешать раствор с $w_2(\text{NaCl}) = 0,2$, или 20%, и раствор с $w_1(\text{NaCl}) = 0,1$, или 10%, в массовых соотношениях 0,02 : 0,08.

2. Находим массу раствора с $w_2(\text{NaCl}) = 0,2$, или 20% :

$$m_2(\text{р-ра}) = \frac{m_{\text{см}}(\text{р-ра}) \cdot 0,02}{0,02 + 0,08}; \quad m_2(\text{р-ра}) = \frac{300 \text{ г} \cdot 0,02}{0,02 + 0,08} = 60 \text{ г}.$$

3. Находим массу раствора с $w_1(\text{NaCl}) = 0,1$, или 10% :

$$m_1(\text{р-ра}) = \frac{m_{\text{см}}(\text{р-ра}) \cdot 0,08}{0,02 + 0,08}; \quad m_1(\text{р-ра}) = \frac{300 \text{ г} \cdot 0,08}{0,02 + 0,08} = 240 \text{ г}.$$

Способ 2

$$w_{\text{см}}(\text{NaCl}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{NaCl}) + m_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{NaCl})}{m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра})}.$$

Обозначим массу 10% -ного раствора соли через x , а массу 20% -ного раствора через $(300 - x)$, тогда

$$0,12 = \frac{0,1x + 0,2 \cdot (300 - x)}{x + (300 - x)}, \quad 0,1x = 24;$$

$$x = \frac{24}{0,1} = 240;$$

$m_1(\text{р-ра}) = 240 \text{ г}$ (10% -ного раствора);

$m_2(\text{р-ра}) = 300 \text{ г} - 240 \text{ г} = 60 \text{ г}$ (20% -ного раствора).

Ответ: $m_1(\text{р-ра}) = 240 \text{ г}$; $m_2(\text{р-ра}) = 60 \text{ г}$.

Задача 10. Определите объёмы растворов с массовыми долями серной кислоты 60% ($\rho_1 = 1,5 \text{ г/мл}$) и 30% ($\rho_2 = 1,2 \text{ г/мл}$), которые надо взять для приготовления 240 г раствора с массовой долей кислоты 50%.

Дано:

$$\begin{aligned} w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 0,6 \\ \rho_1(\text{р-ра}) &= 1,5 \text{ г/мл} \\ w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 0,3 \\ \rho_2(\text{р-ра}) &= 1,2 \text{ г/мл} \\ m_{\text{см}}(\text{р-ра}) &= 240 \text{ г} \\ w_{\text{см}}(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 0,5 \end{aligned}$$

Найти:

$$V_1(\text{р-ра}); V_2(\text{р-ра})$$

Решение

$$\begin{aligned} w_{\text{см}}(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \\ &= \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m_2(\text{р-ра}) \cdot w_2(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра})}. \end{aligned}$$

Обозначим массу 60% -ного раствора через x , а массу 30% -ного раствора через $(240 - x)$, тогда

$$0,5 = \frac{0,6x + 0,3 \cdot (240 - x)}{x + (240 - x)},$$

$$0,3x = 48; \quad x = \frac{48}{0,3} = 160;$$

$$m_1(\text{р-ра}) = 160 \text{ г}.$$

$$\text{Следовательно, } V_1(\text{р-ра}) = \frac{m_1(\text{р-ра})}{\rho_1(\text{р-ра})};$$

$$V_1(\text{р-ра}) = \frac{160 \text{ г}}{1,5 \text{ г/мл}} = 107 \text{ мл (60\% -ного раствора);}$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 240 \text{ г} - 160 \text{ г} = 80 \text{ г};$$

$$m_2(\text{р-ра}) = V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра});$$

$$V_2(\text{р-ра}) = \frac{m_2(\text{р-ра})}{\rho_2(\text{р-ра})};$$

$$V_2(\text{р-ра}) = \frac{80 \text{ г}}{1,2 \text{ г/мл}} = 66,7 \text{ мл (30\% -ного раствора).}$$

Ответ: $V_1(\text{р-ра}) = 107 \text{ мл}$; $V_2(\text{р-ра}) = 66,7 \text{ мл}$.

Задачи для самостоятельного решения

66. В 280 г воды растворили 40 г глюкозы. Определите массовую долю (%) глюкозы в полученном растворе. (12,5%.)

67. Определите объём воды и массу гидроксида натрия, необходимых для приготовления 300 мл раствора ($\rho = 1,22 \text{ г/мл}$) с массовой долей щёлочи 20%. ($m(\text{NaOH}) = 73,2 \text{ г}$; $V(\text{H}_2\text{O}) = 292,8 \text{ мл}$.)

68. Найдите массу соли, которую надо растворить в 200 г воды для получения 10%-ного раствора. (22,2 г.)

69. Вычислите массу сульфата натрия Na_2SO_3 в 5 л раствора ($\rho = 1,075 \text{ г/мл}$), если массовая доля соли составляет 8%. (430 г.)

70. Из 700 г раствора с массовой долей серной кислоты 60% выпариванием удалили 200 г воды. Найдите массовую долю (%) серной кислоты в оставшемся растворе. (84%.)

71. К раствору массой 500 г с массовой долей нитрата калия 10% прилили 300 г воды. Определите массовую долю (%) соли в полученном растворе. (6,25%.)

72. В растворе объёмом 200 мл с массовой долей хлороводорода 20% ($\rho = 1,1 \text{ г/мл}$) растворили 11,2 л (н. у.) хлороводорода. Вычислите массовую долю (%) хлороводорода в полученном растворе. (22%.)

73. К раствору массой 50 г с массовой долей азотной кислоты 10% прибавили 80 г 5%-ного раствора серной кислоты. Вычислите массовые доли (%) кислот в полученном растворе. ($w(\text{HNO}_3) = 3,8\%$; $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3\%$.)

74. Из 10 кг раствора с массовой долей хлорида натрия 20% при охлаждении выделилось 400 г соли. Найдите массовую долю (%) хлорида натрия в охлаждённом растворе. (16,7%.)

75. Вычислите массу раствора с массовой долей серной кислоты 30%, который надо прибавить к 300 г воды для получения раствора с массовой долей кислоты 10%. (150 г.)

76. Вычислите массу раствора с массовой долей гидроксида калия 20%, который надо прибавить к 1 кг раствора с массовой долей гидроксида калия 50%, чтобы получить раствор с массовой долей щёлочи 25%. (5 кг.)

77. Смешали 300 г раствора с массовой долей вещества 25% и 400 г раствора с массовой долей 40%. Определите массовую долю (%) вещества в полученном растворе. (33,6%.)

78. Вычислите объём воды, которую надо прибавить к 100 мл раствора с массовой долей серной кислоты 20% ($\rho = 1,14$ г/мл), чтобы получить раствор с массовой долей кислоты 5%. (342 мл.)

79. Имеются растворы с массовыми долями уксусной кислоты 8 и 75%. Вычислите массы растворов, которые потребуются для получения 400 г раствора с массовой долей кислоты 42%. (197 г 8%-ного раствора; 203 г 75%-ного раствора.)

80. Определите массы воды и раствора с массовой долей хлорида магния 0,2, которые потребуются для приготовления 300 г раствора с массовой долей хлорида магния 0,04. (60 г раствора и 240 г воды.)

81. Определите объёмы воды и раствора серной кислоты с массовой долей 96% ($\rho = 1,84$ г/мл), которые потребуются для приготовления 50 г раствора с массовой долей кислоты 10%. (2,83 мл раствора кислоты и 44,79 мл воды.)

82. В 72,8 мл воды растворили 11,2 л хлороводорода (н.у.). Плотность образовавшегося раствора 1,1 г/мл. Определите объём полученного раствора и массовую долю (%) хлороводорода в растворе. (83 мл; 20%.)

83. В одном объёме воды растворили 500 объёмов хлороводорода (н.у.). Определите массовую долю (%) хлороводорода в полученном растворе. (44,9%.)

84. Плотность раствора с массовой долей гидроксида калия 26% равна 1,24 г/мл. Определите количество вещества гидроксида калия в растворе объёмом 5 л. (28,78 моль.)

85. Вычислите молярные доли спирта и воды в растворе с массовой долей этилового спирта 96%. (0,905; 0,095.)

86. Определите объём сероводорода при н.у., который надо растворить в 300 г воды для получения сероводородной кислоты с массовой долей H_2S 1,2%. (2,4 л.)

87. Определите массу соли, выпавшей в осадок при охлаждении 200 г раствора с массовой долей соли 19%, если при этом образовался 10%-ный раствор. (20 г.)

88. Вычислите объём раствора с массовой долей аммиака 30% ($\rho = 0,89$ г/мл), который требуется для приготовления 20 мл раствора с массовой долей аммиака 5% ($\rho = 0,98$ г/мл). (3,67 мл.)

89. Рассчитайте массу воды, выпаренной из 250 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 15%, если массовая доля гидроксида натрия в полученном растворе стала равной 20%. (62,5 г.)

2. Кристаллогидраты

Кристаллогидраты – кристаллические вещества, содержащие молекулы воды. Воду, входящую в их состав, называют **кристаллизационной**.

Состав кристаллогидратов изображают формулами, в которых после точки показано, какое количество вещества кристаллизационной воды содержит 1 моль кристаллогидрата, например $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Ниже представлено несколько способов решения задач на приготовление растворов из кристаллогидрата соли (задача 1).

Задача 1. Определите массы медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и воды, необходимых для приготовления раствора сульфата меди(II) массой 40 кг с массовой долей CuSO_4 2%.

Дано:

$$m(\text{p-ра}) = 40 \text{ кг}$$

$$w(\text{CuSO}_4) = 0,02$$

Найти:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{H}_2\text{O})$$

Решение

Способ 1

1. Находим массу сульфата меди(II) в растворе массой 40 кг с массовой долей CuSO_4 2%, или 0,02:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{p-ра}) \cdot w(\text{CuSO}_4);$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 40000 \text{ г} \cdot 0,02 = 800 \text{ г}.$$

2. Определяем количество вещества сульфата меди(II):

$$\nu(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)}; \quad \nu(\text{CuSO}_4) = \frac{800 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 5 \text{ моль}.$$

3. Теперь находим количество вещества кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. На основе формулы кристаллогидрата можно записать:

$$\nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{CuSO}_4) \Rightarrow \nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 5 \text{ моль}.$$

4. Определяем массу медного купороса:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 5 \text{ моль} \cdot 250 \text{ г/моль} = 1250 \text{ г} = 1,25 \text{ кг}.$$

5. Вычисляем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 40 \text{ кг} - 1,25 \text{ кг} = 38,75 \text{ кг}.$$

Способ 2

Пункты 1–4 способа 1 можно выполнить в одно действие:

$$m(\text{крист.}) = \frac{m(\text{безв. в-ва}) \cdot M(\text{крист.})}{M(\text{безв. в-ва})},$$

где $m(\text{крист.})$ – масса кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;

$M(\text{крист.})$ – молярная масса кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;

$m(\text{безв. в-ва})$ – масса безводного вещества CuSO_4 в растворе заданного состава;

$M(\text{безв. в-ва})$ – молярная масса безводного вещества CuSO_4 .

1. На основе приведённой формулы определяем массу кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CuSO}_4) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4)};$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{w(\text{CuSO}_4) \cdot m(\text{р-ра}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4)};$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,02 \cdot 40\,000 \text{ г} \cdot 250 \text{ г/моль}}{160 \text{ г/моль}} = 1250 \text{ г} = 1,25 \text{ кг}.$$

2. Вычисляем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 40 \text{ кг} - 1,25 \text{ кг} = 38,75 \text{ кг}.$$

Способ 3

1. Находим массу CuSO_4 в растворе массой 40 кг с массовой долей сульфата меди 2%, или 0,02:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{CuSO}_4);$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 40000 \text{ г} \cdot 0,02 = 800 \text{ г}.$$

2. Определяем массу медного купороса, которая соответствует 800 г CuSO_4 .

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль}, M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ г/моль}.$$

Составляем пропорцию:

в 250 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержится 160 г CuSO_4 ;

в x г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержится 800 г CuSO_4 ;

$$x = \frac{250 \text{ г} \cdot 800 \text{ г}}{160 \text{ г}} = 1250 \text{ г} = 1,25 \text{ кг}.$$

3. Вычисляем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 40 \text{ кг} - 1,25 \text{ кг} = 38,75 \text{ кг}.$$

Способ 4

Эту задачу можно решить, используя диагональную схему правила смешения («правило креста»).

1. Определяем массовую долю CuSO_4 в медном купоросе, приняв его количество вещества равным 1 моль:

$$w(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}; w(\text{CuSO}_4) = \frac{160 \text{ г}}{250 \text{ г}} = 0,64 \text{ г, или } 64\%.$$

2. Составляем схему правила смешения (в случае чистой воды $w_2 = 0$):

$$\begin{array}{ccccc} 0,64 & \cdots\dots\dots & & & 0,02 \\ & \searrow & \rightarrow & 0,02 & \nearrow \\ 0 & \cdots\dots\dots & & & 0,62 \end{array}$$

3. Находим массу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot 0,02}{0,02 + 0,62};$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{40000 \text{ г} \cdot 0,02}{0,02 + 0,62} = 1250 \text{ г} = 1,25 \text{ кг}.$$

4. Находим массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot 0,62}{0,02 + 0,62};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{40000 \text{ г} \cdot 0,62}{0,64} = 38750 \text{ г} = 38,75 \text{ кг}.$$

Ответ: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 1,25 \text{ кг}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 38,75 \text{ кг}$.

Задача 2. Кристаллогидрат сульфата цинка массой 5,38 г растворили в 92 мл воды и получили раствор с массовой долей сульфата цинка 3,3%. Установите формулу кристаллогидрата.

Дано:

$$m(\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 5,38 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 92 \text{ мл}$$

$$w(\text{ZnSO}_4) = 0,033$$

Найти:

$$\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$$

Решение

Способ 1

1. Находим массу раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{р-ра}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{р-ра}) = 92 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} + 5,38 \text{ г} = 97,38 \text{ г}.$$

2. Определяем массу сульфата цинка в растворе:

$$m(\text{ZnSO}_4) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{ZnSO}_4);$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 97,38 \text{ г} \cdot 0,033 = 3,21 \text{ г}.$$

3. Вычисляем массу кристаллизационной воды $m_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O})$ в 5,38 г кристаллогидрата $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$:

$$m_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) - m(\text{ZnSO}_4);$$

$$m_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = 5,38 \text{ г} - 3,21 \text{ г} = 2,17 \text{ г}.$$

4. Рассчитываем количества веществ сульфата цинка и кристаллизационной воды:

$$\nu(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4)}; \nu(\text{ZnSO}_4) = \frac{3,21 \text{ г}}{161 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль};$$

$$\nu_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; \nu_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,17 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,12 \text{ моль}.$$

5. Находим соотношение количеств веществ сульфата цинка и кристаллизационной воды:

$$\nu(\text{ZnSO}_4) : \nu_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,02 \text{ моль} : 0,12 \text{ моль}.$$

Находим целочисленное соотношение:

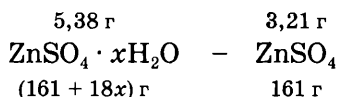
$$\nu(\text{ZnSO}_4) : \nu_{\text{кр}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,02}{0,02} : \frac{0,12}{0,02} = 1 : 6.$$

Следовательно, $x = 6$ и формула кристаллогидрата сульфата цинка – $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Способ 2

1. Вычисляем массу сульфата цинка в растворе (см. способ 1, пункты 1 и 2).

2. Составляем стехиометрическую схему:



Из схемы следует:

$$\frac{5,38 \text{ г}}{(161 + 18x) \text{ г}} = \frac{3,21 \text{ г}}{161 \text{ г}}.$$

Отсюда $x = 6$.

Ответ: $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Задачи для самостоятельного решения

90. Вычислите массу кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, необходимого для приготовления раствора массой 50 г с массовой долей карбоната натрия 3%. (4,05 г.)

91. Раствор хлорида кальция, плотность которого 1,396 г/мл, содержит 40% соли. Определите массу кристаллогидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, который потребуется для приготовления 1 л такого раствора. (1,1 кг.)

92. Определите массу раствора с массовой долей сульфата железа(II) 15%, приготовленного из 695 г железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. (2,53 кг.)

93. Определите массу кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, который надо растворить в 800 г воды, чтобы получить раствор с массовой долей сульфата натрия 10%. (234,6 г.)

94. Определите массы медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и раствора с массовой долей сульфата меди(II) 8%, которые необходимы для приготовления 500 г раствора с массовой долей сульфата меди(II) 16%. (68 г медного купороса; 432 г раствора.)

95. Вычислите массы раствора с массовой долей сульфата натрия 5% и кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, необходимых для приготовления раствора массой 50 г с массовой долей сульфата натрия 20%. (30,8 г раствора; 19,2 г кристаллогидрата.)

96. Для приготовления раствора с массовой долей сульфата магния 5% взято 400 г кристаллогидрата $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Определите массу полученного раствора. (3,9 кг.)

97. Вычислите количество вещества кристаллогидрата сульфата магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, который надо прибавить к 100 моль воды, чтобы получить 10%-ный раствор сульфата магния. (1,88 моль.)

98. Для борьбы со свекловичным долгоносиком используют раствор хлорида бария, который готовят из расчёта 500 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ на 10 л воды. Вычислите массовую долю (%) безводной соли в таком растворе. ($\approx 4\%$.)

99. В воде массой 40 г растворили 3,5 г железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Определите массовую долю (%) сульфата железа(II) в полученном растворе. (4,4%.)

100. В 180 г воды растворили 250 г медного купороса, содержащего 20% нерастворимых примесей. Вычислите массовую долю (%) сульфата меди(II) в полученном растворе (33,68%.)

101. Необходимо приготовить 1000 г раствора с массовой долей соли 20%. Определите массы её кристаллогидрата и воды, которые необходимы для этого, если известно, что кристаллогидрат массой 239,5 г содержит соли на 79,5 г больше, чем воды. (300,3 г кристаллогидрата; 699,7 г H_2O .)

102. Найдите массу кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, который необходимо добавить к 100 мл раствора (плотность 1,07 г/мл) с массовой долей сульфата натрия 8%, чтобы удвоить массовую долю соли в растворе. (30,5 г.)

103. Из 500 г раствора с массовой долей сульфата железа(II) 40% при охлаждении выпало 100 г его кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Вычислите массовую долю (%) соли в оставшемся растворе. (36,3% FeSO_4 .)

104. Из 200 г раствора с массовой долей нитрата кальция 40% при охлаждении выпал в осадок его кристаллогидрат $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ массой 47,2 г. Определите массовую долю (%) соли в образовавшемся над осадком растворе. (31,2% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.)

105. При растворении 111,2 г кристаллогидрата в воде было получено 243,2 г раствора с массовой долей сульфата железа(II) 25%. Определите состав кристаллогидрата. ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.)

106. Установите формулу кристаллогидрата сульфата натрия, если при его полном обезвоживании потеря массы составляет 47% от массы кристаллогидрата. ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.)

107. К 400 мл раствора дихромата натрия концентрацией 0,238 моль/л (плотность 1,041 г/мл) добавили 40 г кристаллогидрата этой соли. Массовая доля соли в растворе стала равной 13,17%. Установите состав кристаллогидрата. ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.)

108. В воде растворили 6,09 г кристаллогидрата хлорида магния. К полученному раствору добавили избыток раствора нитрата серебра, при этом выпало 8,61 г осадка. Определите формулу кристаллогидрата. ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.)

109. Кристаллогидрат сульфата меди(II) массой 50 г прокалили до постоянной массы, которая составила 32 г. Установите состав данного кристаллогидрата. ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.)

3. Олеум

Олеум – это раствор оксида серы(VI) в 100%-ной серной кислоте. Вода в олеуме отсутствует.

А. Приготовление олеума из воды или раствора серной кислоты. Смешивание оксида серы(VI) с раствором серной кислоты.

Состав конечного раствора зависит от соотношения количеств веществ оксида серы(VI) SO_3 и воды:

а) если $v(\text{H}_2\text{O}) > v(\text{SO}_3)$, то образуется раствор серной кислоты с большей массовой долей кислоты по сравнению с исходным раствором;

б) если $v(\text{H}_2\text{O}) < v(\text{SO}_3)$, то в результате смешивания образуется олеум, т.е. раствор оксида серы(VI) в безводной серной кислоте.

Задача 1. В раствор массой 250 г с массовой долей серной кислоты 70% прибавили 500 г оксида серы(VI). Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.

Дано:

$$m_1(\text{р-ра}) = 250 \text{ г}$$

$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,7$$

$$m(\text{SO}_3) = 500 \text{ г}$$

Найти:

$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$w_2(\text{SO}_3)$$

Решение

1. Определяем количество вещества оксида серы(VI):

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

$$v(\text{SO}_3) = \frac{500 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 6,25 \text{ моль.}$$

2. Определяем количество вещества воды в исходном растворе серной кислоты (раствор 1):

$$w(\text{H}_2\text{O}) = 100\% - 70\% = 30\%, \text{ или } 0,3;$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_1(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})};$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{250 \text{ г} \cdot 0,3}{18 \text{ г/моль}} = 4,17 \text{ моль}.$$

Поскольку $v(\text{H}_2\text{O}) < v(\text{SO}_3)$, в результате смешивания образуется олеум, т.е. раствор оксида серы(VI) в безводной серной кислоте.

3. Находим массу олеума (раствор 2):

$$m_2(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m(\text{SO}_3);$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 250 \text{ г} + 500 \text{ г} = 750 \text{ г}.$$

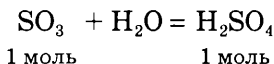
4. Рассчитываем массу и массовую долю 100%-ной серной кислоты в олеуме.

а) Находим массу серной кислоты в 250 г *исходного* раствора (раствор 1):

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot m_1(\text{р-ра});$$

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,7 \cdot 250 \text{ г} = 175 \text{ г}.$$

б) При смешивании оксида серы(VI) с раствором серной кислоты оксид серы(VI) взаимодействует с водой, которая находилась в этом растворе (раствор 1):



Так как $v(\text{H}_2\text{O}) < v(\text{SO}_3)$, массу *образовавшейся* серной кислоты рассчитываем по количеству вещества воды. Из уравнения реакции следует, что

$$v_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = v_{\text{реак}}(\text{SO}_3) = v(\text{H}_2\text{O}) = 4,17 \text{ моль};$$

$$m_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = v_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,17 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} \approx 409 \text{ г}.$$

в) Определяем *суммарную* массу 100%-ной серной кислоты в олеуме (раствор 2):

$$m_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 175 \text{ г} + 409 \text{ г} = 584 \text{ г}.$$

г) Вычисляем массовую долю серной кислоты в oleume (раствор 2):

$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_2(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_2(\text{p-ра})};$$

$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{584 \text{ г}}{750 \text{ г}} = 0,779, \text{ или } 77,9\%.$$

5. Находим количество вещества, массу и массовую долю оксида серы(VI) в oleume (раствор 2):

$$\nu_2(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) - \nu_{\text{реак}}(\text{SO}_3);$$

$$\nu_2(\text{SO}_3) = 6,25 \text{ моль} - 4,17 \text{ моль} = 2,08 \text{ моль};$$

$$m_2(\text{SO}_3) = \nu_2(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3);$$

$$m_2(\text{SO}_3) = 2,08 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} \approx 166 \text{ г};$$

$$w_2(\text{SO}_3) = \frac{m_2(\text{SO}_3)}{m_2(\text{p-ра})};$$

$$w_2(\text{SO}_3) = \frac{166 \text{ г}}{750 \text{ г}} = 0,221, \text{ или } 22,1\%.$$

Массовую долю оксида серы(VI) в oleume (раствор 2) можно найти и иначе:

$$w_2(\text{SO}_3) = 100\% - w_2(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$w_2(\text{SO}_3) = 100\% - 77,9\% = 22,1\%.$$

Ответ: $w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 77,9\%$; $w_2(\text{SO}_3) = 22,1\%$.

Задача 2. Определите массу оксида серы(VI), который необходимо добавить к 500 г раствора с массовой долей серной кислоты 20%, чтобы увеличить её массовую долю до 40%.

Дано:

$$m_1(\text{p-ра}) = 500 \text{ г}$$

$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2$$

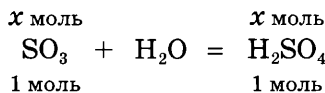
$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4$$

Найти:

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

Решение

1. Записываем уравнение реакции:



2. Определяем массу серной кислоты в исходном (первом) растворе:

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot m_1(\text{p-ра});$$

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \cdot 500 \text{ г} = 100 \text{ г}.$$

3. Находим массы оксида серы(VI) и полученной из x моль оксида серы(VI) серной кислоты:

$$m(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3); \quad m(\text{SO}_3) = 80x;$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4); \quad m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98x.$$

4. Вычисляем суммарную массу серной кислоты в полученном (втором) растворе:

$$m_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 100 \text{ г} + 98x.$$

5. Находим массу образовавшегося раствора:

$$m_2(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m(\text{SO}_3);$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 500 \text{ г} + 80x.$$

6. Рассчитываем массу SO_3 , необходимого для растворения:

$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_2(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_2(\text{р-ра})};$$

$$0,4 = \frac{100 \text{ г} + 98x}{500 \text{ г} + 80x}, \text{ откуда } x = \nu(\text{SO}_3) = 1,52 \text{ моль}.$$

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

$$m(\text{SO}_3) = 1,52 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 121,6 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{SO}_3) = 121,6 \text{ г}$.

Б. Химические реакции с участием олеума.

Задача 3. Для полной нейтрализации олеума массой 40 г потребовался раствор объёмом 70 мл и плотностью 1,38 г/мл с массовой долей гидроксида натрия 0,35. Рассчитайте массовую долю оксида серы(VI) в олеуме.

Дано:

$$m_1(\text{р-ра}) = 40 \text{ г}$$

$$V_2(\text{р-ра}) = 70 \text{ мл}$$

$$\rho_2(\text{р-ра}) = 1,38 \text{ г/мл}$$

$$w_2(\text{NaOH}) = 0,35$$

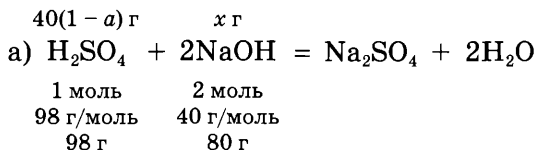
Найти:

$$w_1(\text{SO}_3)$$

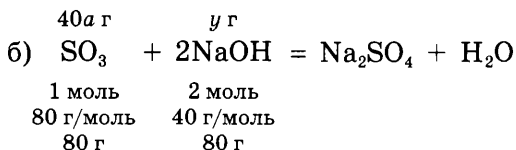
Решение

1. Определяем массы оксида серы(VI) и серной кислоты в олеуме (раствор 1). Для этого обозначим массовую долю оксида серы(VI) в олеуме через a , тогда масса оксида составит $40a$ г, масса серной кислоты – $(40 - 40a) \text{ г} = 40(1 - a) \text{ г}$.

2. Составим уравнения реакций и выразим массы прореагировавшей щёлочи через полученные выражения:



$$x = \frac{40(1-a) \text{ г} \cdot 80 \text{ г}}{98 \text{ г}} = 32,65(1-a) \text{ г}.$$



$$y = \frac{40a \text{ г} \cdot 80 \text{ г}}{80 \text{ г}} = 40a \text{ г}.$$

3. Находим массу гидроксида натрия в растворе 2:

$$m_2(\text{NaOH}) = w_2(\text{NaOH}) \cdot \rho_2(p-pa) \cdot V_2(p-pa);$$

$$m_2(\text{NaOH}) = 0,35 \cdot 1,38 \text{ г/мл} \cdot 70 \text{ мл} = 33,81 \text{ г}.$$

4. Находим значение a , т.е. массовую долю оксида серы(VI) в oleуме. Для этого составим и решим уравнение:

$$32,65(1-a) \text{ г} + 40a \text{ г} = 33,81 \text{ г};$$

$$a = 0,158, \text{ или } 15,8\%.$$

Ответ: $w_1(\text{SO}_3) = 0,158$, или 15,8%.

Возможен и другой способ решения задачи. При добавлении щёлочи к oleуму вначале вода (из раствора щёлочи) реагирует с оксидом серы(VI) (из oleума), образуя серную кислоту, а затем гидроксид натрия взаимодействует с серной кислотой, как образовавшейся, так и исходной (из oleума).

Самостоятельно решите задачу этим способом. Какой из них более простой?

Задачи для самостоятельного решения

110. К oleуму массой 200 г с массовой долей оксида серы(VI) 30% добавили 100 г раствора с массовой долей серной кислоты 90%. Найдите массовые доли веществ в полученном растворе. (5% SO_3 ; 95% H_2SO_4 .)

111. К oleуму массой 200 г с массовой долей оксида серы(VI) 20% добавили 150 г раствора с массовой долей сер-

ной кислоты 60%. Рассчитайте массовую долю вещества в полученном растворе. (85,4% H_2SO_4 .)

112. К олеуму массой 75 г с массовой долей оксида серы(VI) 20% прибавили 25 г оксида серы(VI). Найдите массовые доли веществ в полученном растворе. (40% SO_3 ; 60% H_2SO_4 .)

113. Рассчитайте массу оксида серы(VI), который необходимо добавить к 180 г раствора с массовой долей серной кислоты 80% для приготовления раствора с массовой долей серной кислоты 95%. (98,4 г.)

114. Вычислите массу оксида серы(VI), который надо растворить в 180 г воды, чтобы получить олеум с массовой долей оксида серы(VI) 24%. Найдите массу полученного олеума. (1109,5 г SO_3 ; 1289,5 г олеума.)

115. Вычислите массу оксида серы(VI), который следует растворить в 400 г раствора с массовой долей серной кислоты 86,5%, чтобы получить олеум с массовой долей оксида серы(VI) 30%. (514,3 г.)

116. Имеется раствор с массовой долей серной кислоты 85%. Определите массу оксида серы(VI), который будет израсходован на получение из этого раствора 300 г олеума с массовой долей оксида серы(VI) 30%. (174 г.)

117. Найдите массу воды, которую следует добавить к 600 г олеума с массовой долей оксида серы(VI) 30%, чтобы получить раствор с массовой долей серной кислоты 80%. (200,6 г.)

118. Определите массу олеума состава $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$, который надо добавить к воде для получения 250 г раствора с массовой долей серной кислоты 60%. (136,2 г.)

119. Рассчитайте массу раствора с массовой долей серной кислоты 70%, который можно получить из 240 г 25%-ного олеума. (362,1 г.)

120. Определите массы оксида серы(VI) и раствора с массовой долей серной кислоты 49%, необходимых для приготовления 450 г раствора с массовой долей серной кислоты 83,3%. (210 г SO_3 ; 240 г раствора.)

121. Определите, в каком объеме воды нужно растворить $6,02 \cdot 10^{24}$ молекул оксида серы(VI), чтобы получить раствор с массовой долей серной кислоты 10%. (9 л.)

122. Вычислите массу раствора с массовой долей серной кислоты 61,25%, в котором нужно растворить 40 г оксида серы(VI), чтобы получить раствор с массовой долей серной кислоты 73,5%. (160 г.)

123. К олеуму массой 29 г с массовой долей оксида серы(VI) 7% добавляли раствор гидроксида калия, содержащий в 1 л 0,1 моль щёлочи, до полной нейтрализации олеума. Определите объём добавленного раствора щёлочи. (6,01 л.)

124. К раствору массой 100 г с массовой долей серной кислоты 27,2% добавили 20 г олеума с массовой долей оксида серы(VI) 40%. Вычислите массу хлорида бария, который надо прилить к полученному раствору, чтобы осадить все сульфат-ионы. (104 г.)

4. Молярная концентрация и молярная концентрация эквивалента растворённого вещества

Молярная концентрация растворённого вещества X ($c(X)$) – это отношение количества вещества ($\nu(X)$, моль) к объёму раствора ($V(p-pa)$, л):

$$c(X) = \frac{\nu(X)}{V(p-pa)} \text{ (моль/л)}.$$

Величина $c(X)$ показывает, сколько молей растворённого вещества содержится в 1 л раствора.

Так как

$$\nu(X) = \frac{m(X)}{M(X)}, \text{ то } c(X) = \frac{m(X)}{M(X) \cdot V(p-pa)}.$$

Единица молярной концентрации вещества – моль/л.

Единицу молярной концентрации обозначают буквой M , которую ставят после числа. Например, если 1 л раствора содержит 1 моль растворённого вещества, то раствор называют одномолярным (1 M), 0,1 моль – децимолярным (0,1 M), 0,01 моль – сантимольным (0,01 M), 0,001 моль – миллимольным (0,001 M).

Эквивалент – это реальная или условная частица вещества, которая равноценна одному иону водорода в кислотно-основных (обменных) реакциях или одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях.

Молярная масса эквивалента вещества $M_{\text{экв}}$ – это отношение массы эквивалента этого вещества к количеству вещества эквивалента, выражается в г/моль.

Молярная масса эквивалента кислоты равна частному от деления её молярной массы на основность кислоты:

$$M_{\text{экв}}(\text{кислоты}) = \frac{M(\text{кислоты})}{\text{основность кислоты}}.$$

Молярная масса эквивалента основания равна частному от деления его молярной массы на кислотность основания:

$$M_{\text{эkv}}(\text{основания}) = \frac{M(\text{основания})}{\text{кислотность основания}}.$$

Молярная масса эквивалента соли равна частному от деления её молярной массы на произведение числа ионов металла и его степени окисления:

$$M_{\text{эkv}}(\text{соли}) = \frac{M(\text{соли})}{\text{число ионов металла} \cdot \text{степень окисления}}.$$

Молярная концентрация эквивалента (нормальная концентрация) растворённого вещества X ($c_{\text{эkv}}(\text{X})$) – это отношение количества вещества эквивалента в растворе ($v_{\text{эkv}}(\text{X})$, моль) к объёму раствора ($V(\text{р-ра})$, л):

$$c_{\text{эkv}}(\text{X}) = \frac{v_{\text{эkv}}(\text{X})}{V(\text{р-ра})} \text{ (моль/л)}.$$

Величина $c_{\text{эkv}}(\text{X})$ показывает, сколько молей эквивалента растворённого вещества X содержится в 1 л раствора.

$$\text{Так как } v_{\text{эkv}}(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M_{\text{эkv}}(\text{X})}, \text{ то } c_{\text{эkv}}(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{M_{\text{эkv}}(\text{X}) \cdot V(\text{р-ра})}.$$

Единица молярной концентрации эквивалента (нормальной концентрации) – моль/л.

Допускается сокращённое обозначение единицы молярной концентрации эквивалента вещества – н., которое ставится после числа. Например, если 1 л раствора содержит 1 моль эквивалентов растворённого вещества, то его называют **однонормальным** (1 н. H_2SO_4).

Задача 1. В растворе объёмом 500 мл содержится 9,5 г хлорида магния. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 500 \text{ мл}$$

$$m(\text{MgCl}_2) = 9,5 \text{ г}$$

Найти:

$$c(\text{MgCl}_2)$$

$$c_{\text{эkv}}(\text{MgCl}_2)$$

Решение

1. Определяем молярную концентрацию вещества:

$$c(\text{MgCl}_2) = \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$\begin{aligned} c(\text{MgCl}_2) &= \frac{9,5 \text{ г}}{95 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = \\ &= 0,2 \text{ моль/л, или } 0,2 \text{ М.} \end{aligned}$$

2. Для определения нормальной концентрации вещества необходимо вычислить молярную массу эквивалента соли:

$$M_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = \frac{M(\text{MgCl}_2)}{1 \cdot 2}; \quad M_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = \frac{95 \text{ г/моль}}{2} = 47,5 \text{ г/моль}.$$

Теперь вычислим нормальную концентрацию вещества:

$$c_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = \frac{m(\text{MgCl}_2)}{M_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$c_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = \frac{9,5 \text{ г}}{47,5 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = 0,4 \text{ моль/л, или } 0,4 \text{ н.}$$

Ответ: $c(\text{MgCl}_2) = 0,2 \text{ М}; c_{\text{экв}}(\text{MgCl}_2) = 0,4 \text{ н.}$

Задача 2. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества в растворе с массовой долей серной кислоты 62%, плотность которого равна 1,52 г/мл.

Дано:

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 62\%$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,52 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Решение

1. Определяем массу серной кислоты в 1 л (1000 мл) раствора с массовой долей H_2SO_4 62%:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) =$$

$$= 1000 \text{ мл} \cdot 1,52 \text{ г/мл} \cdot 0,62 = 942,4 \text{ г.}$$

2. Вычисляем молярную концентрацию растворённого вещества (объём раствора составляет 1 л):

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{942,4 \text{ г}}{98 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} = 9,616 \text{ моль/л, или } 9,616 \text{ М.}$$

Молярную концентрацию можно вычислить в одно действие:

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})} = \\ &= \frac{V(\text{р-ра})(\text{мл}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра}) (\text{л})}; \end{aligned}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1000 \text{ мл} \cdot 1,52 \text{ г/мл} \cdot 0,62}{98 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} = 9,616 \text{ моль/л, или } 9,616 \text{ М.}$$

3. Определяем нормальную концентрацию растворённого вещества:

$$M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\text{основность кислоты}};$$

$$M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98 \text{ г/моль}}{2} = 49 \text{ г/моль};$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1000 \text{ мл} \cdot 1,52 \text{ г/мл} \cdot 0,62}{49 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} =$$

$$= 19,232 \text{ моль/л, или } 19,232 \text{ н.}$$

Ответ: $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9,616 \text{ М}$; $c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 19,232 \text{ н.}$

Задача 3. В воде объёмом 282 мл растворили 18 г ортофосфорной кислоты, плотность полученного раствора равна 1,031 г/мл. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества.

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 282 \text{ мл}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 18 \text{ г}$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,031 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4)$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4)$$

Решение

1. Плотность воды равна 1 г/мл, поэтому

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 282 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 282 \text{ г.}$$

2. Определяем массу полученного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$m(\text{р-ра}) = 282 \text{ г} + 18 \text{ г} = 300 \text{ г.}$$

3. Находим объём раствора:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho(\text{р-ра})}; \quad V(\text{р-ра}) = \frac{300 \text{ г}}{1,031 \text{ г/мл}} = 291 \text{ мл.}$$

Пункты 2 и 3 можно объединить в одно действие:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\rho(\text{р-ра})}; \quad V(\text{р-ра}) = \frac{282 \text{ г} + 18 \text{ г}}{1,031 \text{ г/мл}} = 291 \text{ мл.}$$

4. Определяем молярную концентрацию ортофосфорной кислоты:

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{18 \text{ г}}{98 \text{ г/моль} \cdot 0,291 \text{ л}} = 0,63 \text{ моль/л, или } 0,63 \text{ М.}$$

5. Определяем нормальную концентрацию вещества:

$$M_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\text{основность кислоты}};$$

$$M_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{98 \text{ г/моль}}{3} = 32,66 \text{ г/моль};$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{р-ра})};$$

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{18 \text{ г}}{32,66 \text{ г/моль} \cdot 0,291 \text{ л}} = 1,89 \text{ моль/л, или } 1,89 \text{ н.}$$

Ответ: $c(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,63 \text{ М}$; $c_{\text{экв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1,89 \text{ н.}$

Задача 4. Вычислите объём раствора с массовой долей серной кислоты 70% ($\rho = 1,622 \text{ г/мл}$), который необходим для приготовления растворов объёмом 25 мл с концентрацией H_2SO_4 : а) 2 М; б) 2 н.

Дано:

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 70\%$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,622 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{р-ра}) = 25 \text{ мл}$$

$$\text{а) } c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ М}$$

$$\text{б) } c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ н.}$$

Найти:

$$V_1(\text{р-ра}); V_2(\text{р-ра})$$

Решение

а) 1. Находим массу серной кислоты, которая содержится в 2 М растворе объёмом 25 мл.

Из формулы

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})}$$

следует, что

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра});$$

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ моль/л} \cdot 98 \text{ г/моль} \cdot 0,025 \text{ л} = 4,9 \text{ г.}$$

2. Вычисляем массу раствора с массовой долей серной кислоты 70%, в котором содержится H_2SO_4 массой 4,9 г.

Из формулы $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_1(\text{р-ра})}$ следует, что

$$m_1(\text{р-ра}) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4)}; \quad m_1(\text{р-ра}) = \frac{4,9 \text{ г}}{0,7} = 7 \text{ г.}$$

3. Определяем объём раствора:

$$V_1(\text{р-ра}) = \frac{m_1(\text{р-ра})}{\rho(\text{р-ра})}; \quad V_1(\text{р-ра}) = \frac{7 \text{ г}}{1,622 \text{ г/мл}} = 4,32 \text{ мл.}$$

Задачу (а) можно решить в одно действие. Из формулы

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})} = \\ = \frac{V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})}$$

следует, что

$$V_1(\text{р-ра}) = \frac{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})}{\rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)}; \\ V_1(\text{р-ра}) = \frac{2 \text{ моль/л} \cdot 98 \text{ г/моль} \cdot 0,025 \text{ л}}{1,622 \text{ г/мл} \cdot 0,7} = 4,32 \text{ мл.}$$

б) 4. Определяем объём раствора, который потребуется для приготовления 25 мл 2 н. раствора H_2SO_4 . Из формулы

$$c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_2(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})} = \\ = \frac{V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})}$$

следует, что

$$V_2(\text{р-ра}) = \frac{c_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})}{\rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)}; \\ V_2(\text{р-ра}) = \frac{2 \text{ моль/л} \cdot 49 \text{ г/моль} \cdot 0,025 \text{ л}}{1,622 \text{ г/мл} \cdot 0,7} = 2,16 \text{ мл.}$$

Ответ: $V_1(\text{р-ра}) = 4,32 \text{ мл}$; $V_2(\text{р-ра}) = 2,16 \text{ мл}$.

Задачи для самостоятельного решения

125. Вычислите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества, если:

1) в растворе объёмом 2 л содержится азотная кислота массой 12,6 г (0,1 М; 0,1 н.);

2) в растворе объёмом 200 мл содержится гидроксид калия массой 5,6 г (0,5 М; 0,5 н.);

3) в растворе объёмом 740 мл содержится нитрат меди(II) массой 22,27 г (0,16 М; 0,32 н.);

4) в растворе объёмом 0,65 л содержится сульфат цинка массой 25,35 г (0,24 М; 0,48 н.);

5) в растворе объёмом 2,5 л содержится нитрат железа(III) массой 60,5 г (0,1 М; 0,3 н.).

126. Определите массу растворённого вещества, содержащегося в:

- 1) 0,1 М растворе гидроксида калия объёмом 500 мл (2,8 г);
- 2) 0,5 М растворе хлорида алюминия объёмом 2 л (133,5 г);
- 3) 0,025 М растворе нитрата аммония объёмом 200 мл (0,40 г);
- 4) 0,4 М растворе серной кислоты объёмом 750 мл (29,4 г);
- 5) 0,05 М растворе нитрата цинка объёмом 3 л (28,35 г);
- 6) 0,3 н. растворе сульфата железа(III) объёмом 300 мл (6 г);
- 7) 0,1 н. растворе сульфата магния объёмом 100 мл (0,6 г);
- 8) 0,08 н. растворе гидроксида бария объёмом 1,5 л (10,26 г);
- 9) 0,01 н. растворе карбоната натрия объёмом 200 мл (0,106 г);
- 10) 0,1 н. растворе гидроксида калия объёмом 500 мл (2,8 г).

127. Определите объём 1 М раствора, в котором содержится серная кислота массой 4,9 г. (50 мл.)

128. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества в растворе:

- 1) с массовой долей гидроксида натрия 40%, плотность раствора равна 1,4 г/мл (14 М; 14 н.);
- 2) с массовой долей ортофосфорной кислоты 20%, плотность раствора равна 1,1 г/мл (2,25 М; 6,75 н.);
- 3) с массовой долей хлорида кальция 20%, плотность раствора равна 1,178 г/мл (2,12 М; 4,25 н.);
- 4) с массовой долей карбоната натрия 10%, плотность раствора равна 1,105 г/мл (1,04 М; 2,08 н.).

129. В воде объёмом 500 мл растворили 60 г гидроксида натрия, плотность полученного раствора равна 1,12 г/мл. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества. (3 М; 3 н.)

130. Смешали 1 л раствора с массовой долей гидроксида калия 10% ($\rho = 1,092$ г/мл) и 0,5 л раствора с массовой долей гидроксида калия 5% ($\rho = 1,045$ г/мл). Объём смеси довели водой до 2 л. Определите молярную и нормальную концентрации растворённого вещества в полученном растворе. (1,2 М; 1,2 н.)

131. К раствору объёмом 500 мл с массовой долей аммиака 28% ($\rho = 0,9$ г/мл) прибавили воду объёмом 1 л. Определите молярную концентрацию аммиака в полученном растворе. (4,94 М.)

132. К раствору объёмом 3 л с массовой долей азотной кислоты 10% ($\rho = 1,054$ г/мл) прибавили раствор объёмом 5 л с массовой долей той же кислоты 2% ($\rho = 1,009$ г/мл). Вычислите массовую долю, молярную и нормальную концентрации кислоты в полученном растворе. (5%; 0,82 М; 0,82 н.)

133. Хлороводород объёмом 100 л (н. у.) растворили в 1 л воды. Полученный раствор занимает объём 1,09 л. Вычислите массовую долю хлороводорода в растворе, его молярную и нормальную концентрации. (14%; 4,09 М; 4,09 н.)

134. Вычислите объём раствора с массовой долей азотной кислоты 60% ($\rho = 1,373$ г/мл), который потребуется для приготовления растворов объёмом 1 л с концентрацией кислоты: а) 0,2 М; б) 0,2 н. (15,3 мл.)

135. Определите молярную и нормальную концентрации кислоты в растворе, полученном при смешивании 200 мл 8 М и 300 мл 2 М растворов серной кислоты. (4,4 М; 8,8 н.)

5. Растворимость веществ

Растворимость – это способность вещества растворяться в воде или другом растворителе. Количественно растворимость вещества характеризуют *коэффициентом растворимости* или просто *растворимостью вещества*.

Растворимость вещества X ($s'(X)$) – это масса вещества, которое может раствориться при данной температуре в 100 г растворителя с образованием насыщенного раствора:

$$s'(X) = \frac{m(X)}{m(H_2O)} \cdot 100 \text{ г.}$$

Насыщенный раствор – это раствор, который находится в динамическом равновесии с растворяющимся веществом.

Массовая доля безводного вещества X в насыщенном растворе связана с его растворимостью соотношением:

$$w(X) = \frac{s'(X)}{s'(X) + 100 \text{ г.}}$$

Для вычисления массы безводного вещества в насыщенном растворе определённой массы можно вывести формулу:

$$w(X) = \frac{m(X)}{m(p\text{-ра})} \Rightarrow \frac{m(X)}{m(p\text{-ра})} = \frac{s'(X)}{s'(X) + 100 \text{ г.}}$$

откуда

$$m(X) = \frac{s'(X) \cdot m(\text{р-ра})}{s'(X) + 100 \text{ г}}.$$

Задача 1. Определите массу нитрата бария, который может раствориться в воде объемом 500 мл при 30 °С. Растворимость нитрата бария при данной температуре составляет 14,2 г.

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ мл}$$

$$t = 30 \text{ °С}$$

$$s^{30}(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 14,2 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2)$$

Решение

Плотность воды составляет 1 г/мл, поэтому

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 500 \text{ г}.$$

Определяем массу нитрата бария.

Способ 1

На 100 г воды приходится 14,2 г соли;

на 500 г воды приходится x г соли;

$$x = \frac{500 \text{ г} \cdot 14,2 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 71 \text{ г}.$$

Способ 2

Используем формулу:

$$s^{30}(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 \text{ г}$$

$$\Rightarrow m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = \frac{s^{30}(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}{100 \text{ г}};$$

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = \frac{14,2 \text{ г} \cdot 500 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 71 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 71 \text{ г}.$

Задача 2. Массовая доля хлорида аммония в насыщенном при 30 °С растворе равна 29,5%. Определите растворимость соли при данной температуре.

Дано:

$$w(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,295$$

$$t = 30 \text{ °С}$$

Найти:

$$s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl})$$

Решение

1. Вычисляем массу соли в растворе массой 100 г:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{NH}_4\text{Cl});$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 100 \text{ г} \cdot 0,295 = 29,5 \text{ г}.$$

2. Находим массу воды в растворе массой 100 г:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{NH}_4\text{Cl});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г} - 29,5 \text{ г} = 70,5 \text{ г}.$$

3. Определяем растворимость NH_4Cl .

Способ 1

На 70,5 г воды приходится 29,5 г соли;

на 100 г воды приходится x г соли;

$$x = s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{29,5 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{70,5 \text{ г}} = 41,84 \text{ г}.$$

Способ 2

Используем формулу:

$$s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 \text{ г};$$

$$s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{29,5 \text{ г}}{70,5 \text{ г}} \cdot 100 \text{ г} = 41,84 \text{ г}.$$

Способ 3

Используем формулу:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot m(\text{р-ра})}{s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) + 100 \text{ г}}; \quad 29,5 = \frac{s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot 100 \text{ г}}{s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) + 100 \text{ г}};$$

$$29,5 \text{ г} \cdot (s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) + 100 \text{ г}) = 100 \text{ г} \cdot s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl});$$

$$s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) = 41,84 \text{ г}.$$

Ответ: $s^{30}(\text{NH}_4\text{Cl}) = 41,84 \text{ г}$.

Задача 3. Вычислите массу нитрата калия, который выпадет в осадок, если 100 г насыщенного при температуре 70 °С раствора охладить до температуры 0 °С. Растворимость нитрата калия составляет 138 г при температуре 70 °С и 13,3 г при температуре 0 °С.

При охлаждении насыщенного раствора из-за уменьшения растворимости часть вещества выпадает в осадок. Масса воды при этом остаётся постоянной, если соль не образует кристаллогидрат.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 100 \text{ г}$$

$$s^{70}(\text{KNO}_3) = 138 \text{ г}$$

$$s^0(\text{KNO}_3) = 13,3 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{KNO}_3)$$

Решение

1. Находим массу соли в растворе массой 100 г, насыщенном при 70 °С, – $m^{70}(\text{KNO}_3)$.

Используем формулу:

$$s^{70}(\text{KNO}_3) = \frac{m^{70}(\text{KNO}_3)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 \text{ г} = \frac{m^{70}(\text{KNO}_3)}{m(\text{р-ра}) - m^{70}(\text{KNO}_3)} \cdot 100 \text{ г}$$

$$\Rightarrow m^{70}(\text{KNO}_3) = \frac{s^{70}(\text{KNO}_3) \cdot (m(\text{р-ра}) - m^{70}(\text{KNO}_3))}{100 \text{ г}};$$

$$m^{70}(\text{KNO}_3) = \frac{138 \text{ г} \cdot (100 \text{ г} - m^{70}(\text{KNO}_3))}{100 \text{ г}},$$

отсюда $m^{70}(\text{KNO}_3) = 57,98 \text{ г}$.

Или используем другую формулу:

$$m^{70}(\text{KNO}_3) = \frac{s^{70}(\text{KNO}_3) \cdot m(\text{р-ра})}{s^{70}(\text{KNO}_3) + 100 \text{ г}};$$

$$m^{70}(\text{KNO}_3) = \frac{138 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{138 \text{ г} + 100 \text{ г}} = 57,98 \text{ г}.$$

2. Находим массу воды в насыщенном при 70°C растворе массой 100 г:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m^{70}(\text{KNO}_3);$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г} - 57,98 \text{ г} = 42,02 \text{ г}.$$

3. Находим массу соли в растворе при 0°C :

$$s^0(\text{KNO}_3) = \frac{m^0(\text{KNO}_3)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 \text{ г}$$

$$\Rightarrow m^0(\text{KNO}_3) = \frac{s^0(\text{KNO}_3) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}{100 \text{ г}};$$

$$m^0(\text{KNO}_3) = \frac{13,3 \text{ г} \cdot 42,02 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 5,59 \text{ г}.$$

4. Находим массу соли, выпавшей в осадок:

$$m(\text{KNO}_3) = m^{70}(\text{KNO}_3) - m^0(\text{KNO}_3);$$

$$m(\text{KNO}_3) = 57,98 \text{ г} - 5,59 \text{ г} = 52,39 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{KNO}_3) = 52,39 \text{ г}$.

Задача 4. При 30°C растворимость сульфата натрия составляет 40,8 г. Рассчитайте массы воды и глауберовой соли $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, необходимых для приготовления насыщенного при 30°C раствора сульфата натрия массой 100 г.

Дано:

$$m(\text{p-ра}) = 100 \text{ г}$$

$$t = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$s^{30}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 40,8 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$$

Решение

1. Вычисляем массу безводного Na_2SO_4 , который необходим для приготовления насыщенного при $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ раствора массой 100 г.

Используем формулу:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{s^{30}(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot m(\text{p-ра})}{s^{30}(\text{Na}_2\text{SO}_4) + 100 \text{ г}};$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{40,8 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{40,8 \text{ г} + 100} = 28,98 \text{ г}.$$

Можно также использовать другую формулу:

$$s^{30}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{p-ра}) - m(\text{Na}_2\text{SO}_4)} \cdot 100 \text{ г}$$

$$\Rightarrow m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{s^{30}(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot (m(\text{p-ра}) - m(\text{Na}_2\text{SO}_4))}{100 \text{ г}};$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{40,8 \text{ г} \cdot (100 \text{ г} - m(\text{Na}_2\text{SO}_4))}{100 \text{ г}},$$

отсюда $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 28,98 \text{ г}$.

2. Находим количество вещества кристаллогидрата сульфата натрия:

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)};$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{28,98 \text{ г}}{142 \text{ г/моль}} = 0,204 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,204 \text{ моль}.$$

3. Находим массу глауберовой соли:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,204 \text{ моль} \cdot 322 \text{ г/моль} = 65,69 \text{ г}.$$

4. Находим массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г} - 65,69 \text{ г} = 34,31 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 65,69 \text{ г}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 34,31 \text{ г}$.

Задачи для самостоятельного решения

136. При температуре 40 °С растворимость хлорида натрия составляет 36,6 г. Вычислите массовую долю соли в насыщенном растворе. (26,79%.)

137. При температуре 0 °С растворимость нитрата серебра составляет 122 г. Вычислите массовую долю соли в насыщенном растворе. (54,95%.)

138. В 100 г воды при температуре 20 °С может раствориться 31,6 г нитрата калия. Рассчитайте массовую долю (%) соли в насыщенном растворе. (24%.)

139. Определите массу нитрата свинца, который может раствориться в воде объёмом 750 мл. Растворимость нитрата свинца составляет 138,5 г. (1038,75 г.)

140. При температуре 20 °С в воде массой 50 г растворяется сульфат магния массой 18,1 г. Вычислите массовую долю соли в насыщенном растворе. (26,58%.)

141. Массовая доля хлорида магния в насыщенном при температуре 60 °С растворе равна 37,7%. Определите растворимость хлорида магния при данной температуре. (60,5 г.)

142. В воде массой 100 г при температуре 25 °С растворяется сульфат марганца (II) массой 39,3 г. Рассчитайте массу сульфата марганца(II) и воды, которые надо взять для приготовления насыщенного при 25 °С раствора соли массой 250 г. (70,53 г MnSO_4 ; 179,47 г H_2O .)

143. Вычислите массу хлорида натрия, который выпадет в осадок при охлаждении его насыщенного при температуре 80 °С раствора массой 600 г до температуры 0 °С. Растворимость хлорида натрия при 80 °С составляет 38,05 г, а при 0 °С – 35,6 г. (10,64 г.)

144. Вычислите массу нитрата серебра, который выпадет в осадок при охлаждении его насыщенного при температуре 80 °С раствора массой 10 г до температуры 20 °С. Растворимость соли составляет 635 г при 80 °С и 228 г при 20 °С. (5,54 г.)

145. При охлаждении насыщенного при температуре 60 °С раствора нитрата калия до температуры 0 °С выпал осадок массой 20 г. Определите массы воды и нитрата калия, необходимых для приготовления исходного раствора. Растворимость нитрата калия при 60 °С составляет 110 г, а при 0 °С – 13,3 г. (20,68 г H_2O ; 22,75 г KNO_3 .)

146. При температуре 60 °С растворимость хлорида бария составляет 39,55 г. Вычислите массу кристаллогидрата $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который может быть растворён в воде объёмом 400 мл. (199,2 г.)

147. Рассчитайте массы медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и воды, необходимых для приготовления насыщенного при температуре 50 °С раствора сульфата меди(II) массой 500 г. Растворимость CuSO_4 при 50 °С составляет 33,3 г. (195,17 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 304,83 г H_2O .)

III

Алгоритм решения задач
по уравнениям химических реакций

1. Составить уравнение химической реакции и расставить коэффициенты.

2. В уравнении одной чертой подчеркнуть формулу вещества, масса (объём) которого указана в условии задачи, а двумя чертами – формулу того вещества, массу (объём) которого требуется вычислить.

3. *Под формулами* подчёркнутых веществ указать количества веществ (число молей) согласно уравнению реакции (эти числа соответствуют коэффициентам, стоящим перед формулами веществ в уравнении реакции).

Затем в зависимости от способа решения сделать дополнительные подписи в уравнении реакции.

Способ 1 (по количеству вещества)

4. По массе или объёму вещества, заданным в условии задачи, вычислить количество вещества:

$$\nu(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{M(\text{в-ва})}$$

или

$$\nu(\text{в-ва}) = \frac{V(\text{в-ва})}{V_m(\text{в-ва})}.$$

Поставить полученное значение *над формулой* этого вещества.

5. *Над формулой* вещества, масса (объём) которого *неизвестна*, поставить x моль.

6. По уравнению реакции установить соотношение количеств веществ и найти x .

7. По найденному количеству вещества (x) вычислить искомую массу или объём, используя формулы:

$$m(\text{в-ва}) = \nu(\text{в-ва}) \cdot M(\text{в-ва}); \quad V(\text{в-ва}) = \nu(\text{в-ва}) \cdot V_m(\text{в-ва}).$$

8. Записать ответ.

Способ 2 (по массе или объёму веществ)

4. Под формулами веществ указать молярные массы (молярные объёмы) и массы (объёмы) веществ; над формулой вещества – данные условия задачи.

5. Над формулой вещества, масса (объём) которого неизвестна, поставить x г (x л).

6. Составить и решить пропорцию, тем самым определить искомую величину.

7. Записать ответ.

1. Вычисление массы вещества или объёма газа по известной массе, количеству вещества, вступающего в реакцию или полученного в результате реакции

Задача 1. Вычислите массу воды, образовавшейся при взаимодействии 280 г гидроксида калия с раствором серной кислоты.

Дано:

$$m(\text{KOH}) = 280 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{H}_2\text{O})$$

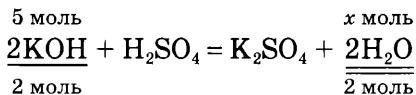
Решение

Способ 1

1. Вычисляем количество вещества гидроксида калия:

$$\nu(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}; \quad \nu(\text{KOH}) = \frac{280 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 5 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции гидроксида калия с серной кислотой, подчёркиваем необходимые формулы веществ, указываем данные над и под формулами:

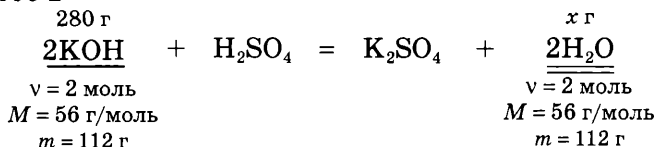


3. На основании уравнения реакции устанавливаем соотношение количеств веществ KOH и H₂O и находим количество вещества воды. Для этого составляем пропорцию и решаем её:

$$\frac{5 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{x \text{ моль}}{2 \text{ моль}}; \quad x = \frac{5 \text{ моль} \cdot 2 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 5 \text{ моль.}$$

4. Находим массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}); \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 5 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 90 \text{ г.}$$

Способ 2

Из уравнения реакции следует:

112 г KOH образует 36 г H₂O;

280 г KOH образует x г KOH.

$$\text{Отсюда } x = \frac{36 \text{ г} \cdot 280 \text{ г}}{112 \text{ г}} = 90 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 90 \text{ г}$.

Задача 2. Определите объём кислорода (н. у.), который расходуется на окисление 3,6 г глюкозы C₆H₁₂O₆.

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3,6 \text{ г}$$

Найти:

$$V(\text{O}_2)$$

Решение

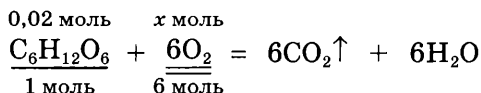
Способ 1

1. Определяем количество вещества глюкозы:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)};$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{3,6 \text{ г}}{180 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции, подчёркиваем необходимые формулы веществ, указываем данные над и под формулами:

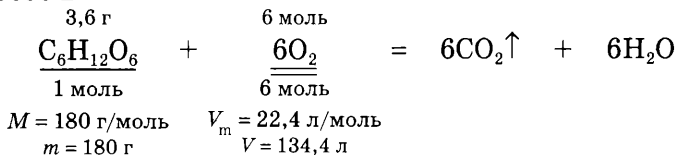


3. На основании уравнения реакции устанавливаем соотношение количеств веществ C₆H₁₂O₆ и O₂ и находим количество вещества кислорода. Для этого составляем пропорцию и решаем её:

$$\frac{0,02 \text{ моль}}{1 \text{ моль}} = \frac{x \text{ моль}}{6 \text{ моль}}; x = \frac{0,02 \text{ моль} \cdot 6 \text{ моль}}{1 \text{ моль}} = 0,12 \text{ моль}.$$

4. Вычисляем объём кислорода:

$$V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot V_m; V(\text{O}_2) = 0,12 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2,68 \text{ л}.$$

Способ 2

Из уравнения реакции следует:

на окисление 180 г $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ требуется 134,4 л O_2 ;

на окисление 3,6 г $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ требуется x л O_2 .

$$\text{Отсюда } x = \frac{3,6 \text{ г} \cdot 134,4 \text{ л}}{180 \text{ г}} = 2,68 \text{ л.}$$

Ответ: $V(\text{O}_2) = 2,68 \text{ л.}$

Задача 3. Вычислите массу нитрата серебра, который вступит в реакцию с хлоридом калия, если при этом образуется осадок хлорида серебра массой 0,716 г.

Дано:

$$m(\text{AgCl}) = 0,716 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{AgNO}_3)$$

Решение

Способ 1

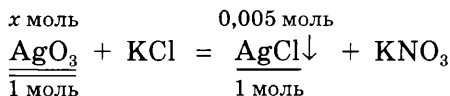
1. Определяем количество вещества

AgCl :

$$\nu(\text{AgCl}) = \frac{m(\text{AgCl})}{M(\text{AgCl})};$$

$$\nu(\text{AgCl}) = \frac{0,716 \text{ г}}{143,5 \text{ г/моль}} = 0,005 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Находим количество вещества нитрата серебра: из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{AgNO}_3) : \nu(\text{AgCl}) = 1 : 1.$$

Следовательно,

$$\nu(\text{AgNO}_3) = \nu(\text{AgCl}) = 0,005 \text{ моль.}$$

4. Вычисляем массу нитрата серебра:

$$m(\text{AgNO}_3) = \nu(\text{AgNO}_3) \cdot M(\text{AgNO}_3);$$

$$m(\text{AgNO}_3) = 0,005 \text{ моль} \cdot 170 \text{ г/моль} = 0,85 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{AgNO}_3) = 0,85 \text{ г.}$

Если исходное вещество или продукт реакции находятся в растворе, то при решении таких задач добавляется ещё одно действие: определение массы вещества в растворе по его массовой доле (см. главу 2 «Растворы», с. 21).

Задача 4. К раствору объёмом 250 мл с массовой долей гидроксида натрия 12% ($\rho = 1,13$ г/мл) прилили раствор хлорида марганца(II). Определите массу образовавшегося осадка.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 250 \text{ мл}$$

$$w(\text{NaOH}) = 0,12$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,13 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$m(\text{Mn}(\text{OH})_2)$$

Решение

1. Находим массу гидроксида натрия в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = w(\text{NaOH}) \cdot V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра});$$

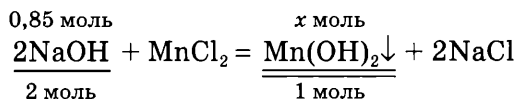
$$m(\text{NaOH}) =$$

$$= 0,12 \cdot 250 \text{ мл} \cdot 1,13 \text{ г/мл} = 33,9 \text{ г.}$$

2. Вычисляем количество вещества гидроксида натрия:

$$v(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; \quad v(\text{NaOH}) = \frac{33,9 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,85 \text{ моль.}$$

3. Далее считаем, как обычно, по уравнению реакции:



Устанавливаем соотношение количеств веществ гидроксидов натрия и марганца(II) и находим количество вещества гидроксида марганца(II):

$$\frac{0,85 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{x \text{ моль}}{1 \text{ моль}}; \quad x = \frac{0,85 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 0,425 \text{ моль.}$$

4. Вычисляем массу образовавшегося гидроксида марганца(II):

$$m(\text{Mn}(\text{OH})_2) = v(\text{Mn}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Mn}(\text{OH})_2);$$

$$m(\text{Mn}(\text{OH})_2) = 0,425 \text{ моль} \cdot 89 \text{ г/моль} = 37,8 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Mn}(\text{OH})_2) = 37,8 \text{ г.}$

Задача 5. Определите массу раствора с массовой долей гидроксида натрия 4%, или 0,04, который расходуется на нейтрализацию 18 г уксусной кислоты.

Дано:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 18 \text{ г}$$

$$w(\text{NaOH}) = 0,04$$

Найти:

$$m(\text{р-ра})$$

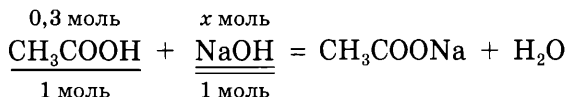
Решение

1. Вычисляем количество вещества уксусной кислоты:

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH})};$$

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{18 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Находим количество вещества гидроксида натрия.

Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) : \nu(\text{NaOH}) = 1 : 1.$$

Следовательно,

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{NaOH}) = 0,3 \text{ моль.}$$

4. Вычисляем массу гидроксида натрия:

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

$$m(\text{NaOH}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 12 \text{ г.}$$

5. Определяем массу раствора гидроксида натрия:

$$w(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{р-ра})} \Rightarrow m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{NaOH})}{w(\text{NaOH})};$$

$$m(\text{р-ра}) = \frac{12 \text{ г}}{0,04} = 300 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{р-ра}) = 300 \text{ г.}$

Задачи для самостоятельного решения

148. Определите массу соли и объём водорода (н.у.), образующихся при взаимодействии алюминия с соляной кислотой, содержащей хлороводород количеством вещества 1,5 моль. (66,75 г; 16,8 л.)

149. Железо массой 6,72 г сожгли в хлоре. Рассчитайте массу образовавшегося хлорида железа(III) и массу хлора, вступившего в реакцию. (19,5 г FeCl_3 ; 12,8 г Cl_2 .)

150. Рассчитайте объём сероводорода (н.у.), который расходуется на взаимодействие с раствором объёмом 40 мл

с массовой долей гидроксида натрия 6% ($\rho = 1,044$ г/мл) с образованием гидросульфида натрия. (1,4 л.)

151. Образец магния, содержащий $3 \cdot 10^{23}$ атомов металла, обработали раствором серной кислоты. Определите количество вещества и массу образовавшейся соли. (0,5 моль; 60 г.)

152. Определите объём (н. у.) водорода, необходимого для получения $1,8 \cdot 10^{24}$ молекул воды. (67,2 л.)

153. Вычислите массу карбоната кальция, необходимого для получения оксида кальция массой 224 т. (400 т.)

154. Найдите массу сульфата бария, который образуется при взаимодействии раствора, содержащего 62,4 г хлорида бария, с избытком серной кислоты. (69,9 г.)

155. Определите объём водорода (н. у.), который потребуется для полного восстановления: а) 0,2 моль оксида меди(II); б) 20 г оксида меди(II). (а) 4,48 л; б) 5,6 л.)

156. В избытке соляной кислоты растворили магний массой 6 г и цинк массой 6,5 г. Определите объём водорода (н. у.), который выделился при этом. (7,84 л.)

157. При пропускании оксида углерода(IV) через раствор гидроксида кальция получили гидрокарбонат кальция массой 8,1 г. Определите объём оксида углерода(IV) (н. у.), который был пропущен через раствор. (2,24 л.)

158. Определите объём раствора с массовой долей серной кислоты 10% ($\rho = 1,07$ г/мл), который потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 16 г гидроксида натрия. (183 мл.)

159. Для полной нейтрализации 25 г раствора с массовой долей азотной кислоты 6,3% потребовался раствор гидроксида калия массой 40 г. Определите массовую долю щёлочи в исходном растворе. (3,5%.)

160. Вычислите объём аммиака (н. у.), который потребуется для полной нейтрализации 20 мл раствора с массовой долей серной кислоты 3% ($\rho = 1,02$ г/мл). (280 мл.)

161. При пропускании водяного пара над раскалённым углём образуется водяной газ, состоящий из равных объёмов оксида углерода(II) и водорода. Вычислите объём водяного газа (н. у.), который может быть получен из 3 кг угля. (11,2 м³.)

162. Из алюминия массой 81 г получен оксид, который растворили в избытке щёлочи. Определите массу гидроксида

натрия, вступившего в реакцию. (120 г или 360 г в зависимости от состава продукта реакции.)

163. При взаимодействии 0,36 г магния с галогеном образовалось 4,17 г галогенида магния. Определите, какой галоген прореагировал с магнием. (Иод.)

164. При взаимодействии металла массой 10 г с водой выделилось 0,5 г водорода. Определите, какой металл взят, если известно, что в соединениях он двухвалентен. (Кальций.)

165. При сжигании 24,25 г сульфида двухвалентного металла израсходован кислород объёмом 8,4 л (н. у.). Определите металл. (Цинк.)

166. При разложении 4,9 г галогенида аммония получили аммиак, объём которого при н. у. равен 1,12 л. Определите галогенид. (Бромид аммония.)

167. При взаимодействии металла массой 13,7 г с водой выделился газ объёмом 2,24 л (н. у.). Определите металл, если известно, что в соединениях он двухвалентен. К полученному раствору прилили избыток сульфата натрия. Вычислите количество вещества и массу осадка. (Барий; 0,1 моль; 23,3 г.)

168. Определите массовую долю углерода в соли, полученной взаимодействием 1 моль оксида углерода(IV) с 1 моль гидроксида натрия. (14,3%.)

169. К раствору объёмом 250 мл с массовой долей хлорида натрия 12% ($\rho = 1,09$ г/мл) прилили раствор нитрата серебра. Определите массу образовавшегося осадка. (80,36 г.)

170. Вычислите объём хлора (н. у.), который должен вступить в реакцию с водородом, чтобы, используя образовавшийся хлороводород, получить 2 л соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 16% ($\rho = 1,08$ г/мл). (106 л.)

171. Рассчитайте объём раствора с массовой долей серной кислоты 98% ($\rho = 1,84$ г/мл), который необходим для полного растворения 10 г меди. (17 мл.)

172. Определите массу хлорида фосфора(V), полностью подвергнувшегося разложению водой, если на нейтрализацию полученного раствора потребовалось 200 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 10% ($\rho = 1,0$ г/мл). (13 г.)

173. Определите массу нитрида магния, полностью подвергнувшегося разложению водой, если для солеобразования с продуктом гидролиза потребовалось 150 мл раствора с массовой долей хлороводорода 4% ($\rho = 1,02$ г/мл). (2,8 г.)

174. Рассчитайте массу бромной воды (массовая доля брома 2,4%), которую может обесцветить пропилен объёмом 1,68 л (н. у.). (500 г.)

175. К раствору массой 180 г с массовой долей уксусной кислоты 20% прибавили карбонат калия. Вычислите количество вещества, объём (н. у.) и массу выделившегося газа. (0,3 моль; 6,72 л; 13,2 г.)

176. Гидратацией этилена получено 400 кг этилового спирта с массовой долей этанола 96,5%. Определите объём (н. у.) и массу этилена, вступившего в реакцию. (187,97 м³; 234,96 кг.)

177. Определите массу брома в растворе, если при его взаимодействии с фенолом образовался трибромфенол массой 16,55 кг. (24 кг.)

178. Определите массу уксусного альдегида, образующегося по реакции Кучерова из 89,6 л ацетилена (н. у.). (176 г.)

179. Вычислите массу метана, который образуется при нагревании со щёлочью ацетата натрия количеством вещества 3 моль. (48 г.)

180. Диметиловый эфир массой 220,8 г при нагревании разлагается на метан, оксид углерода(II) и водород. Рассчитайте суммарный объём (н. у.) выделяющихся газов. (322,56 л.)

2. Вычисление объёмных отношений газов в реакциях

При решении задач этого типа нужно помнить закон объёмных отношений газообразных веществ: объёмы реагирующих и образующихся газов (при одинаковых условиях) пропорциональны указанным в уравнении реакции количествам этих веществ (коэффициентам):

$$V_1 : V_2 = \nu_1 : \nu_2.$$

Задача 1. Вычислите объём кислорода, необходимого для окисления 5 л метиламина.

Дано:		Решение
$V(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 5 \text{ л}$	5 л	$x \text{ л}$
Найти:	$4\text{CH}_3\text{NH}_2 +$	$\underline{9\text{O}_2} = 4\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O} + 2\text{N}_2$
$V(\text{O}_2)$	4 моль	9 моль
	4 объёма	9 объёмов

Согласно сформулированному выше закону можно записать:

$$V(\text{CH}_3\text{NH}_2) : V(\text{O}_2) = \nu(\text{CH}_3\text{NH}_2) : \nu(\text{O}_2),$$

$$\text{тогда } \frac{5 \text{ л}}{x \text{ л}} = \frac{4 \text{ моль}}{9 \text{ моль}} \Rightarrow x = \frac{5 \text{ л} \cdot 9 \text{ моль}}{4 \text{ моль}} = 11,25 \text{ л.}$$

Ответ: $V(\text{O}_2) = 11,25 \text{ л.}$

Задача 2. К смеси метана и азота объёмом 50 мл прибавили 100 мл кислорода. После сгорания метана и охлаждения продуктов реакции до исходной температуры объём газовой смеси составил 78 мл. Определите объёмные доли (%) метана и азота в исходной смеси.

Дано:

$$V(\text{CH}_4, \text{N}_2) = 50 \text{ мл}$$

$$V(\text{O}_2) = 100 \text{ мл}$$

$$V_{\text{кон}}(\text{смеси}) = 78 \text{ мл}$$

Найти:

$$\varphi(\text{CH}_4); \varphi(\text{N}_2)$$

Решение

Способ 1

1. Находим исходный объём газовой смеси:

$$V_{\text{исх}}(\text{смеси}) = V(\text{CH}_4, \text{N}_2) + V(\text{O}_2);$$

$$V_{\text{исх}}(\text{смеси}) =$$

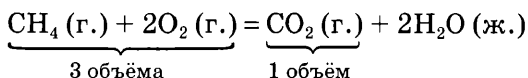
$$= 50 \text{ мл} + 100 \text{ мл} = 150 \text{ мл.}$$

2. Определяем изменение объёма газовой смеси, вытекающее из условия задачи:

$$\Delta V_{\text{усл}}(\text{смеси}) = V_{\text{исх}}(\text{смеси}) - V_{\text{кон}}(\text{смеси});$$

$$\Delta V_{\text{усл}}(\text{смеси}) = 150 \text{ мл} - 78 \text{ мл} = 72 \text{ мл.}$$

3. Определяем изменение объёма газовой смеси, вытекающее из уравнения реакции:



Допустим, что в исходной смеси содержался 1 мл метана, тогда по закону объёмных отношений в реакцию с ним вступило 2 мл кислорода, а в результате реакции выделился оксид углерода(IV) объёмом 1 мл. Отсюда

$$\Delta V_{\text{уравн}}(\text{смеси}) = 1 \text{ мл} + 2 \text{ мл} - 1 \text{ мл} = 2 \text{ мл.}$$

4. Вычисляем объём метана в смеси:

$$\text{при сгорании } 1 \text{ мл } \text{CH}_4 \Delta V_{\text{уравн}}(\text{смеси}) = 2 \text{ мл};$$

$$\text{при сгорании } x \text{ мл } \text{CH}_4 \Delta V_{\text{усл}}(\text{смеси}) = 72 \text{ мл};$$

$$\frac{1 \text{ мл}}{x \text{ мл}} = \frac{2 \text{ мл}}{72 \text{ мл}}; \quad x = \frac{72 \text{ мл} \cdot 1 \text{ мл}}{2 \text{ мл}} = 36 \text{ мл.}$$

5. Находим объём азота в смеси:

$$V(\text{N}_2) = V(\text{CH}_4, \text{N}_2) - V(\text{CH}_4);$$

$$V(\text{N}_2) = 50 \text{ мл} - 36 \text{ мл} = 14 \text{ мл}.$$

6. Определяем объёмные доли метана и азота в исходной смеси:

$$\varphi(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V(\text{CH}_4, \text{N}_2)}; \quad \varphi(\text{CH}_4) = \frac{36 \text{ мл}}{50 \text{ мл}} = 0,72, \text{ или } 72\%;$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{CH}_4, \text{N}_2)}; \quad \varphi(\text{N}_2) = \frac{14 \text{ мл}}{50 \text{ мл}} = 0,28, \text{ или } 28\%.$$

Способ 2 (алгебраический)

Конечный объём газовой смеси равен исходному объёму минус объёмы прореагировавших газообразных веществ плюс объёмы газообразных веществ, образующихся в результате реакции:

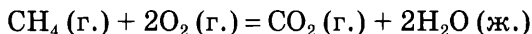
$$V_{\text{кон}} = V_{\text{исх}} - V_{\text{реак}} + V_{\text{обр}}.$$

1. Рассчитываем исходный объём газовой смеси:

$$V_{\text{исх}}(\text{смеси}) = V(\text{CH}_4, \text{N}_2) + V(\text{O}_2);$$

$$V_{\text{исх}}(\text{смеси}) = 50 \text{ мл} + 100 \text{ мл} = 150 \text{ мл}.$$

2. Из двух газов (CH_4 и N_2) горит только метан:



3. Вычисляем объём метана в смеси.

Допустим, что в исходной смеси содержалось x мл CH_4 , тогда, по закону объёмных отношений, на реакцию с ним израсходовалось $2x$ мл кислорода, а в результате реакции образовалось x мл CO_2 . Отсюда

$$V_{\text{кон}}(\text{смеси}) = V_{\text{исх}}(\text{смеси}) - V_{\text{реак}} + V_{\text{обр}};$$

$$78 \text{ мл} = 150 \text{ мл} - V(\text{CH}_4) - V(\text{O}_2) + V(\text{CO}_2) =$$

$$= 150 \text{ мл} - x \text{ мл} - 2x \text{ мл} + x \text{ мл};$$

$$2x = 72, \quad x = 36 \text{ мл}.$$

4. Находим объём азота в смеси:

$$V(\text{N}_2) = V(\text{CH}_4, \text{N}_2) - V(\text{CH}_4);$$

$$V(\text{N}_2) = 50 \text{ мл} - 36 \text{ мл} = 14 \text{ мл}.$$

Затем определяем объёмные доли газов в исходной смеси, как в способе 1.

Ответ: $\varphi(\text{CH}_4) = 72\%$; $\varphi(\text{N}_2) = 28\%$.

Для смеси газов А и В, один из которых или оба участвуют в некоторой реакции, можно вычислить соотношение их объёмов $V(\text{A}) : V(\text{B})$, а при заданном соотношении – объём их смеси.

Задача 3. При высокой температуре кальций реагирует с азотом, взятым в смеси с аргоном общим объёмом 5,6 л (н. у.), и образует 22,2 г нитрида. Определите объёмные отношения газов $V(\text{N}_2) : V(\text{Ar})$ в исходной смеси.

Дано:

$V(\text{N}_2, \text{Ar}) = 5,6 \text{ л}$
 $m(\text{Ca}_3\text{N}_2) = 22,2 \text{ г}$

Найти:

$V(\text{N}_2) : V(\text{Ar})$

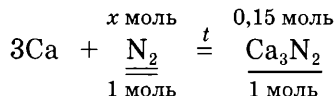
Решение

1. Вычисляем количество вещества нитрида кальция:

$$\nu(\text{Ca}_3\text{N}_2) = \frac{m(\text{Ca}_3\text{N}_2)}{M(\text{Ca}_3\text{N}_2)};$$

$$\nu(\text{Ca}_3\text{N}_2) = \frac{22,2 \text{ г}}{148 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции и находим объём азота в смеси:



Из уравнения реакции следует:

$\nu(\text{N}_2) : \nu(\text{Ca}_3\text{N}_2) = 1 : 1$, следовательно, $\nu(\text{N}_2) = \nu(\text{Ca}_3\text{N}_2) = 0,15 \text{ моль}$.

$$V(\text{N}_2) = \nu(\text{N}_2) \cdot V_m; V(\text{N}_2) = 0,15 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 3,36 \text{ л}.$$

3. Определяем объём аргона в смеси и объёмные отношения газов:

$$V(\text{Ar}) = V(\text{N}_2, \text{Ar}) - V(\text{N}_2); V(\text{Ar}) = 5,6 \text{ л} - 3,36 \text{ л} = 2,24 \text{ л};$$

$$\frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{Ar})} = \frac{3,36 \text{ л}}{2,24 \text{ л}} = \frac{3}{2}.$$

Ответ: $V(\text{N}_2) : V(\text{Ar}) = 3 : 2$.

Задача 4. Иодид натрия массой 180 г в растворе прореагировал с хлором, взятым в смеси с воздухом в объёмном отношении 1 объём Cl_2 на 2 объёма воздуха. Вычислите общий объём (н. у.) исходной смеси газов.

Дано:

$$m(\text{NaI}) = 180 \text{ г}$$

$$V(\text{Cl}_2) : V(\text{воздуха}) = 1 : 2$$

Найти:

$$V(\text{смеси})$$

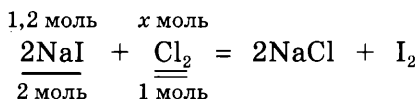
Решение

1. Вычисляем количество вещества иодида натрия:

$$\nu(\text{NaI}) = \frac{m(\text{NaI})}{M(\text{NaI})};$$

$$\nu(\text{NaI}) = \frac{180 \text{ г}}{150 \text{ г/моль}} = 1,2 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции и находим объём хлора в смеси:



Из уравнения реакции следует:

$$\frac{1,2 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{x \text{ моль}}{1 \text{ моль}}; \quad x = \frac{1,2 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 0,6 \text{ моль.}$$

$$V(\text{Cl}_2) = \nu(\text{Cl}_2) \cdot V_{\text{м}}; \quad V(\text{Cl}_2) = 0,6 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 13,44 \text{ л.}$$

3. Вычисляем общий объём исходной смеси газов:

$$V(\text{смеси}) = V(\text{Cl}_2) + V(\text{воздуха}) = V(\text{Cl}_2) + 2V(\text{Cl}_2) = 3V(\text{Cl}_2);$$

$$V(\text{смеси}) = 3 \cdot 13,44 \text{ л} = 40,32 \text{ л.}$$

Ответ: $V(\text{смеси}) = 40,32 \text{ л.}$

Задачи для самостоятельного решения

181. Взята смесь 6 л угарного газа и 2 л кислорода. Определите объём образующегося при их взаимодействии углекислого газа. (4 л.)

182. Вычислите, какой объём кислорода потребуется и какой объём азота образуется при сжигании 2 л аммиака в отсутствие катализатора. ($V(\text{O}_2) = 1,5 \text{ л}$; $V(\text{N}_2) = 1 \text{ л}$.)

183. Вычислите объём оксида углерода(IV), образующегося при сгорании 2 л бутана. (8 л.)

184. При синтезе аммиака израсходовано $22,4 \text{ м}^3$ азота. Найдите объём аммиака, образовавшегося при этом. ($44,8 \text{ м}^3$.)

185. Определите объём воздуха, который потребуются для того, чтобы в результате обжига пирита FeS_2 получить 1000 м^3 диоксида серы. (6550 м^3 ; уравнение реакции: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$.)

186. Смесь хлора и кислорода в объёмном отношении 1 : 7 использована для выделения 0,5 моль простого вещества из раствора бромида калия. Определите общий объём (н. у.) затраченной смеси газов. (89,6 л.)

187. Вычислите объём воздуха, который потребуется для сжигания 1 м³ газа, имеющего следующий состав по объёму: 50% H₂; 35% CH₄; 8% CO; 2% C₂H₄ и 5% негорючих примесей. (5 м³.)

188. При пропускании над катализатором смеси, состоящей из 10 моль диоксида серы и 15 моль кислорода, образовалось 8 моль триоксида серы. Определите количество вещества каждого газа, не вступившего в реакцию. (2 моль SO₂; 11 моль O₂.)

189. Смесь, состоявшая из трёх объёмов хлора и одного объёма водорода, оставлена в закрытом сосуде на рассеянном свете при постоянной температуре. Через некоторое время содержание хлора уменьшилось на 20%. Изменилось ли давление в сосуде? Определите процентный состав смеси (по объёму) после реакции. (Не изменилось; 60% Cl₂; 30% HCl; 10% H₂.)

190. При пропускании смеси равных объёмов азота и водорода через колонну синтеза в аммиак превращается 12% азота. Определите состав (в мольных долях) газовой смеси, которая выходит из колонны синтеза. (0,5 N₂; 0,364 H₂; 0,136 NH₃.)

191. При пропускании смеси равных объёмов диоксида серы и кислорода через контактный аппарат 90% молекул диоксида серы превращается в молекулы триоксида серы. Определите состав (в процентах по объёму) газовой смеси, выходящей из контактного аппарата. (58% SO₃; 35,5% O₂; 6,5% SO₂.)

192. После взрыва 0,02 л смеси водорода с кислородом осталось 0,0032 л кислорода. Вычислите объёмные доли газов в исходной смеси. Объёмы газов измерены при одинаковых условиях. (44% O₂; 56% H₂.)

193. Вычислите объёмы (н. у.) водорода и кислорода, необходимых для получения воды массой 1 г. (1244 мл H₂; 622 мл O₂.)

194. Определите, увеличится, уменьшится или останется неизменным объём газов при сжигании серы в кислороде. Измерения объёмов газов до и после реакции произведены при одинаковых условиях. (Останется неизменным.)

195. Газ А, полученный при прокаливании на катализаторе 0,04 моль хлората калия, смешали (при н. у.) в сосуде

с газом В, выделившимся при обработке 6 г кальция водой. Вычислите объёмные отношения газов $V(A) : V(B)$ в образовавшейся смеси. (2 : 5.)

196. Вычислите, во сколько раз объём кислорода, вступающего в реакцию окисления сероводорода до оксида серы(IV) и воды, превышает объём сероводорода. (В 1,5 раза.)

197. Рассчитайте, в каком объёмном отношении следует смешать метан и оксид углерода(II), чтобы для полного сгорания (до оксида углерода(IV) и воды) любого объёма этой смеси расходовался такой же объём кислорода. ($V(\text{CH}_4) : V(\text{CO}) = 1 : 2$.)

198. После облучения смеси хлора и оксида углерода(II) объёмом 5 л ультрафиолетовым светом остался непрореагировавший хлор объёмом 0,6 л. Вычислите объёмные доли (%) газов в исходной смеси. (56% Cl_2 ; 44% CO ; уравнение реакции: $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$ (фосген).)

199. Объём смеси оксида углерода(II) и кислорода составляет 170 мл. После сжигания оксида углерода(II) объём уменьшился на 50 мл. Определите объёмный состав исходной смеси. (100 мл CO ; 70 мл O_2 .)

200. При сжигании водорода в замкнутой системе в избытке кислорода объём газовой смеси после охлаждения до прежней температуры сократился на 27 мл. Определите исходный объём водорода. (18 мл.)

201. В двух ёмкостях объёмом 7 и 4 л находятся соответственно газообразные кислород и оксид азота(II). Ёмкости соединили тонкой трубкой, газы перемешали. Определите объёмные доли (%) газов после реакции. (55,56% O_2 ; 44,44% NO_2 .)

202. При нагревании 150 мл смеси оксида углерода(IV) с азотом и углеродом в замкнутой системе объём газовой смеси после охлаждения до прежней температуры увеличился на 50 мл. Определите объёмный состав исходной газовой смеси. (50 мл CO_2 ; 100 мл N_2 .)

203. Смесь, содержащую 5 л хлороводорода и 5 л азота, перемешали при н. у. с аммиаком объёмом 4 л. Определите объёмные доли (%) газов после реакции. (83,33% N_2 ; 16,67% HCl .)

204. Смесь оксида углерода(II) и кислорода занимала объём 500 мл. После сжигания оксида углерода(II) и охлаж-

дения продуктов реакции до исходной температуры объём газовой смеси составил 350 мл. Определите мольную долю оксида углерода(II) в исходной смеси. (0,6.)

205. К смеси метана и этана объёмом 150 мл прибавили кислород объёмом 400 мл. Смесь подожгли. После охлаждения продуктов до исходной температуры и конденсации воды объём смеси оказался равным 225 мл. Вычислите объёмную долю (%) этана в исходной смеси. (33%.)

206. В каком объёмном отношении следует взять углеводороды этан и этилен, чтобы газ, выделившийся при термическом разложении этана на простые вещества, полностью поглотился при определённых условиях этиленом? ($V(C_2H_6) : V(C_2H_4) = 1 : 3$.)

3. Определение массы раствора

Задачи по уравнениям химических реакций, в ходе решения которых необходимо определить массу конечного раствора, можно разделить на два типа.

3.1. В процессе химической реакции не образуется осадок или газ

Если в процессе химической реакции **не образуется осадок или газ**, то масса конечного раствора $m_{\text{кон}}(\text{р-ра})$ будет равна массе исходного раствора или воды **плюс** масса раствора или вещества, добавляемого для протекания реакции:

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра});$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(H_2O) + m(\text{в-ва})$$

Задача 1. Оксид фосфора(V) массой 21,3 г растворили в 400 г горячей воды. Вычислите массовую долю ортофосфорной кислоты в полученном растворе.

Дано:

$$m(P_2O_5) = 21,3 \text{ г}$$

$$m(H_2O) = 400 \text{ г}$$

Найти:

$$w(H_3PO_4)$$

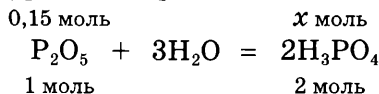
Решение

1. Определяем количество вещества P_2O_5 :

$$\nu(P_2O_5) = \frac{m(P_2O_5)}{M(P_2O_5)};$$

$$\nu(P_2O_5) = \frac{21,3 \text{ г}}{142 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Вычисляем массу образовавшейся H_3PO_4 .

Из уравнения реакции следует:

$$\nu(\text{P}_2\text{O}_5) : \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1 : 2,$$

значит, $\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,3$ моль.

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,3 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 29,4 \text{ г}.$$

4. Находим массу полученного (конечного) раствора (обратите внимание – в процессе реакции **не образуется осадок или газ**):

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = 400 \text{ г} + 21,3 \text{ г} = 421,3 \text{ г}.$$

5. Вычисляем массовую долю H_3PO_4 в образовавшемся растворе:

$$w(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{m_{\text{кон}}(\text{р-ра})};$$

$$w(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{29,4 \text{ г}}{421,3 \text{ г}} = 0,0698, \text{ или } 6,98\%.$$

Ответ: $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,0698$, или $6,98\%$.

Задачи для самостоятельного решения

207. Оксид бария массой 382,5 г растворили в 400 г воды. Вычислите массовую долю гидроксида бария в образовавшемся растворе. (54,63%.)

208. Для полного растворения оксида меди(II) количеством вещества 0,05 моль использован раствор серной кислоты массой 300 г. Определите массовую долю сульфата меди(II) в полученном растворе. (2,63%.)

209. К раствору массой 353 г с массовой долей гидроксида калия 7,99% добавили 47 г оксида калия. Вычислите массовую долю щёлочи в полученном растворе. (21%.)

210. Определите объём аммиака (н.у.), который необходимо растворить в 249 мл воды для получения раствора с массовой долей гидрата аммиака (гидроксида аммония) 35%. (67,2 л.)

211. Оксид фосфора(V), образовавшийся при сжигании 3,1 г фосфора, растворили в 70 мл раствора с массовой долей

гидроксида калия 14% ($\rho = 1,14$ г/мл). Определите состав полученной соли и её массовую долю (%) в образовавшемся растворе. (K_2HPO_4 ; 20%.)

212. Определите массу серы, которую необходимо сжечь в кислороде, чтобы, растворив образовавшийся оксид в 1 л воды, получить раствор сернистой кислоты с массовой долей 0,01. (3,84 г.)

213. Рассчитайте массу уксусного ангидрида и раствора с массовой долей уксусной кислоты 20%, необходимых для приготовления 830 г раствора с массовой долей уксусной кислоты 60%. (340 г уксусного ангидрида; 490 г раствора.)

214. Определите массу уксусного ангидрида, который нужно растворить в 199 г раствора, содержащего 30 г уксусной кислоты, чтобы получить раствор с массовой долей уксусной кислоты 36%. (51 г.)

3.2. В процессе химической реакции образуется осадок или газ

Если в процессе химической реакции **образуется осадок или выделяется газ**, то масса конечного раствора будет равна массе исходного раствора или воды **плюс** масса вещества или раствора, добавляемого для протекания реакции, **минус** масса образовавшегося осадка или выделившегося газа:

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра}) - m(\text{осадка});$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m_1(\text{р-ра}) + m_2(\text{р-ра}) - m(\text{газа});$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(H_2O) + m(\text{в-ва}) - m(\text{газа})$$

Массу конечного раствора можно рассчитать и другими способами, которые не рассматриваются в данном пособии. Вода в подобных задачах берётся, как правило, в избытке.

Задача 1. Натрий массой 34,5 г растворили в 300 г воды. Вычислите массовую долю гидроксида натрия в образовавшемся растворе.

Дано:

$$m(\text{Na}) = 34,5 \text{ г}$$

$$m(H_2O) = 300 \text{ г}$$

Найти:

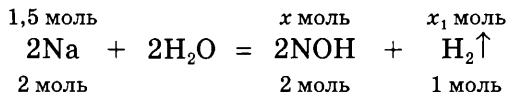
$$\omega(\text{NaOH})$$

Решение

1. Вычисляем количество вещества натрия:

$$\nu(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}; \nu(\text{Na}) = \frac{34,5 \text{ г}}{23 \text{ г/моль}} = 1,5 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Находим массу образовавшегося гидроксида натрия.

Из уравнения реакции следует:

$$\nu(\text{Na}) : \nu(\text{NaOH}) = 2 : 2 = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{Na}) = \nu(\text{NaOH}) = 1,5 \text{ моль};$$

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

$$m(\text{NaOH}) = 1,5 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 60 \text{ г}.$$

4. Вычисляем массу выделившегося водорода.

Из уравнения реакции следует:

$$\nu(\text{Na}) : \nu(\text{H}_2) = 2 : 1 \Rightarrow \nu(\text{H}_2) = 0,75 \text{ моль}.$$

Тогда

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); \quad m(\text{H}_2) = 0,75 \text{ моль} \cdot 2 \text{ г/моль} = 1,5 \text{ г}.$$

5. Находим массу полученного (конечного) раствора (обратите внимание – химическая реакция сопровождается **выделением газа**):

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Na}) - m(\text{H}_2);$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = 300 \text{ г} + 34,5 \text{ г} - 1,5 \text{ г} = 333 \text{ г}.$$

6. Определяем массовую долю NaOH в растворе:

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_{\text{кон}}(\text{р-ра})}; \quad \omega(\text{NaOH}) = \frac{60 \text{ г}}{333 \text{ г}} = 0,1802, \text{ или } 18,02\%.$$

Ответ: $\omega(\text{NaOH}) = 0,1802$, или $18,02\%$.

Задача 2. Серный колчедан массой 12 г подвергли обжигу.

Полученный при этом газ окислили при нагревании в присутствии катализатора. Продукт окисления полностью растворили в 400 г воды и получили раствор сильной кислоты. Затем к этой кислоте добавили 13 г цинка. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

Дано:

$$m(\text{FeS}_2) = 12 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ г}$$

$$m(\text{Zn}) = 13 \text{ г}$$

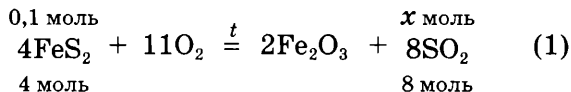
Найти:

$$\omega(\text{ZnSO}_4)$$

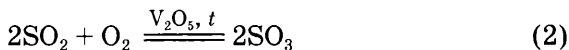
Решение

1. Составим и проанализируем уравнения описанных реакций.

При обжиге серного колчедана образовался оксид серы(IV):



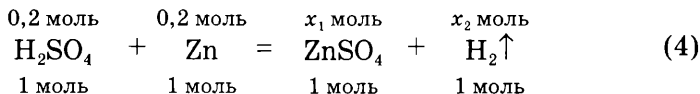
Процесс окисления образовавшегося сернистого газа описывается уравнением:



Оксид серы(VI) при растворении в воде образовал сильную кислоту — серную:



К образовавшейся кислоте добавили 13 г цинка. Взаимодействие цинка с кислотой сопровождается выделением водорода:



В этом случае масса конечного раствора будет равна:

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{SO}_3) + m(\text{Zn}) - m(\text{H}_2).$$

2. Находим количества веществ серного колчедана и цинка:

$$\nu(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{M(\text{FeS}_2)}; \quad \nu(\text{FeS}_2) = \frac{12 \text{ г}}{120 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})}; \quad \nu(\text{Zn}) = \frac{13 \text{ г}}{65 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль}.$$

3. По уравнению реакции (1) находим количество вещества оксида серы(IV):

$$\nu(\text{FeS}_2) : \nu(\text{SO}_2) = 4 : 8 = 1 : 2 \Rightarrow \nu(\text{SO}_2) = 0,1 \text{ моль} \cdot 2 = 0,2 \text{ моль}.$$

4. Определяем массу образовавшегося оксида серы(VI) по уравнению реакции (2):

$$\nu(\text{SO}_2) : \nu(\text{SO}_3) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{SO}_3) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3); \quad m(\text{SO}_3) = 0,2 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 16 \text{ г}.$$

5. Вычисляем количество вещества образовавшейся серной кислоты по уравнению реакции (3):

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) : \nu(\text{SO}_3) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль}.$$

6. Рассчитываем массы веществ по уравнению реакции (4):

а) образовавшегося сульфата цинка:

$$\nu(\text{ZnSO}_4) : \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{ZnSO}_4) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = \nu(\text{ZnSO}_4) \cdot M(\text{ZnSO}_4);$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 0,2 \text{ моль} \cdot 161 \text{ г/моль} = 32,2 \text{ г};$$

б) выделившегося водорода:

$$v(\text{H}_2) : v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 : 1 \Rightarrow v(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль} \cdot 2 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ г}.$$

7. Вычисляем массу конечного раствора (см. выше):

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{SO}_3) + m(\text{Zn}) - m(\text{H}_2);$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = 400 \text{ г} + 16 \text{ г} + 13 \text{ г} - 0,4 \text{ г} = 428,6 \text{ г}.$$

8. Рассчитываем массовую долю сульфата цинка в полученном растворе:

$$w(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{m_{\text{кон}}(\text{р-ра})}; \quad w(\text{ZnSO}_4) = \frac{32,2 \text{ г}}{428,6 \text{ г}} = 0,075, \text{ или } 7,5\%.$$

Ответ: $w(\text{ZnSO}_4) = 0,075$, или $7,5\%$.

Задачи для самостоятельного решения

215. Вычислите массу карбоната кальция, который необходимо добавить к 600 г раствора с массовой долей азотной кислоты 31,5%, чтобы массовая доля кислоты уменьшилась до 10,5%. (95,5 г.)

216. В воде объёмом 500 мл растворили 82,2 г бария. Определите массовую долю гидроксида бария в растворе. (17,66%.)

217. Алюминий массой 5,4 г растворили в соляной кислоте объёмом 332 мл ($\rho = 1,1 \text{ г/мл}$). Определите массовую долю образовавшейся соли в растворе. (7,22%.)

218. Для полного осаждения ионов Fe^{3+} в виде гидроксида железа(III) к раствору массой 50 г с массовой долей хлорида железа(III) 13% добавили раствор гидроксида натрия массой 10,28 г. Определите массовую долю хлорида натрия в полученном растворе. (12,54%.)

219. Для полного осаждения ионов меди в виде сульфида меди(II) к 200 г раствора с массовой долей сульфата меди(II) 16% добавили 50 г раствора сульфида натрия. Определите массовую долю сульфата натрия в полученном растворе. (12,3%.)

220. К раствору массой 100 г с массовой долей гидроксида натрия 5% добавили 1,15 г натрия. Определите массовую долю (%) гидроксида натрия в полученном растворе. (6,92%.)

221. Для получения раствора нитрата натрия необходимую массу карбоната натрия растворили в 6,3%-ной азотной кислоте. Рассчитайте массовую долю (%) соли в полученном растворе. (8,2%.)

222. При растворении пероксида лития в тёплой воде образуется гидроксид лития и выделяется кислород. Определите массовую долю (%) гидроксида лития в растворе, полученном растворением 2,3 г пероксида лития в 62 г воды. Вычислите максимальный объём углекислого газа (н. у.), который может быть поглощён получившейся щёлочью. (2,24 л.)

223. Сероводород, выделившийся при взаимодействии избытка концентрированной серной кислоты с 1,44 г магния, пропустили через 160 г раствора с массовой долей брома 1,5%. Определите массу выпавшего при этом осадка и массовую долю кислоты в образовавшемся растворе. (0,48 г; 1,5%.)

224. Для получения раствора сульфата калия рассчитанное количество карбоната калия растворили в растворе с массовой долей серной кислоты 5%. Найдите массовую долю (%) сульфата калия в полученном растворе. (8,5%.)

4. Вычисление массы (объёма, количества вещества) продукта реакции, если одно из реагирующих веществ дано в избытке

В условиях задач этого типа указаны массы или объёмы *двух* реагирующих веществ, одно из которых взято *в избытке* и, следовательно, прореагирует не полностью, поэтому при решении таких задач важно определить, какое вещество дано в избытке. Для этого сначала нужно вычислить количество вещества каждого из реагентов, а затем определить вещество, взятое в избытке, одним из следующих способов.

Способ 1

Установить мольное соотношение реагирующих веществ, исходя из данных задачи, и сравнить его с мольным соотношением, вытекающим из уравнения реакции.

Способ 2

Количества веществ, вычисленные по условию задачи $\nu_{\text{усл}}(\text{X})$ и $\nu_{\text{усл}}(\text{Y})$, разделить на соответствующие количества веществ, рассчитанные по уравнению реакции $\nu_{\text{ур}}(\text{X})$ и $\nu_{\text{ур}}(\text{Y})$:

$$\frac{\nu_{\text{усл}}(\text{X})}{\nu_{\text{ур}}(\text{X})} \text{ и } \frac{\nu_{\text{усл}}(\text{Y})}{\nu_{\text{ур}}(\text{Y})}.$$

Большее число указывает на вещество, взятое в избытке.

Вычисление массы (объёма) продукта реакции проводят по веществу, которое *полностью вступает в реакцию*, т. е. взятому в недостатке.

Рассматриваемые задачи можно разделить на три типа.

4.1. Вещество, взятое в избытке, не реагирует с продуктом реакции

Задача 1. Определите массу нитрата магния, который образуется при взаимодействии 80 г оксида магния с раствором, содержащим 126 г азотной кислоты.

Дано:

$$m(\text{MgO}) = 80 \text{ г}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 126 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2)$$

Решение

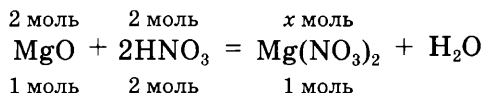
1. Вычисляем количества веществ оксида магния и азотной кислоты:

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{m(\text{MgO})}{M(\text{MgO})};$$

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{80 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)}; \quad \nu(\text{HNO}_3) = \frac{126 \text{ г}}{63 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Определяем, какое из веществ – оксид магния или азотная кислота – дано в избытке.

Способ 1

Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{MgO}) : \nu(\text{HNO}_3) = 1 : 2,$$

тогда как по условию задачи

$$\nu(\text{MgO}) : \nu(\text{HNO}_3) = 2 : 2 = 1 : 1.$$

Сравнивая эти соотношения, устанавливаем, что оксид магния дан в избытке, значит, азотная кислота прореагирует полностью.

Способ 2

$$\frac{\nu_{\text{исл}}(\text{MgO})}{\nu_{\text{уп}}(\text{MgO})} = \frac{2}{1} = 2; \quad \frac{\nu_{\text{исл}}(\text{HNO}_3)}{\nu_{\text{уп}}(\text{HNO}_3)} = \frac{2}{2} = 1;$$

$2 > 1 \Rightarrow$ оксид магния взят в избытке.

Итак, массу нитрата магния рассчитываем по азотной кислоте.

4. Находим массу нитрата магния по количеству вещества. По уравнению реакции

$$\nu(\text{HNO}_3) : \nu(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 2 : 1 \Rightarrow \nu(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 1 \text{ моль};$$

$$m(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = \nu(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) \cdot M(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2);$$

$$m(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 1 \text{ моль} \cdot 148 \text{ г/моль} = 148 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 148 \text{ г.}$

Задача 2. Определите массу соли, полученной при смешении 40 мл раствора с массовой долей азотной кислоты 0,2 ($\rho = 1,12 \text{ г/мл}$) с раствором объёмом 36 мл с массовой долей гидроксида натрия 0,15 ($\rho = 1,17 \text{ г/мл}$).

Дано:

$$V_1(\text{р-ра}) = 40 \text{ мл}$$

$$w(\text{HNO}_3) = 0,2$$

$$\rho_1(\text{р-ра}) = 1,12 \text{ г/мл}$$

$$V_2(\text{р-ра}) = 36 \text{ мл}$$

$$w(\text{NaOH}) = 0,15$$

$$\rho_2(\text{р-ра}) = 1,17 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$m(\text{NaNO}_3)$$

Решение

1. Определяем массу азотной кислоты в растворе:

$$m(\text{HNO}_3) = V_1(\text{р-ра}) \cdot \rho_1(\text{р-ра}) \cdot w(\text{HNO}_3);$$

$$m(\text{HNO}_3) =$$

$$= 40 \text{ мл} \cdot 1,12 \text{ г/мл} \cdot 0,2 = 8,96 \text{ г.}$$

2. Находим массу гидроксида натрия в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = V_2(\text{р-ра}) \cdot \rho_2(\text{р-ра}) \cdot w(\text{NaOH});$$

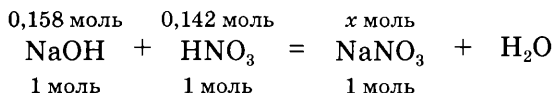
$$m(\text{NaOH}) = 36 \text{ мл} \cdot 1,17 \text{ г/мл} \cdot 0,15 = 6,32 \text{ г.}$$

3. Вычисляем количества веществ кислоты и щёлочи:

$$\nu(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)}; \quad \nu(\text{HNO}_3) = \frac{8,96 \text{ г}}{63 \text{ г/моль}} = 0,142 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; \quad \nu(\text{NaOH}) = \frac{6,32 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,158 \text{ моль.}$$

4. Составляем уравнение реакции:



5. Определяем, какое вещество дано в избытке.

Способ 1

Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{HNO}_3) : \nu(\text{NaOH}) = 1 : 1,$$

тогда как по условию задачи

$$\nu(\text{HNO}_3) : \nu(\text{NaOH}) = 1 : 1,1.$$

Следовательно, гидроксид натрия взят в избытке.

Способ 2

$$\frac{\nu_{\text{исл}}(\text{NaOH})}{\nu_{\text{пр}}(\text{NaOH})} = \frac{0,158}{1} = 0,158;$$

$$\frac{\nu_{\text{исл}}(\text{HNO}_3)}{\nu_{\text{пр}}(\text{HNO}_3)} = \frac{0,142}{1} = 0,142;$$

$$0,158 > 0,142 \Rightarrow \text{гидроксид натрия взят в избытке.}$$

6. Рассчитываем массу соли по азотной кислоте.

По уравнению реакции

$$\nu(\text{HNO}_3) : \nu(\text{NaNO}_3) = 1 : 1$$

$$\Rightarrow \nu(\text{NaNO}_3) = \nu(\text{HNO}_3) = 0,142 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaNO}_3) = \nu(\text{NaNO}_3) \cdot M(\text{NaNO}_3);$$

$$m(\text{NaNO}_3) = 0,142 \text{ моль} \cdot 85 \text{ г/моль} = 12,1 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{NaNO}_3) = 12,1 \text{ г.}$

Задачи для самостоятельного решения

225. Смешали 9 г алюминия с 9 г серы. Смесь нагрели. Вычислите массу полученного сульфида алюминия. (14 г.)

226. Смешали 5,6 г оксида кальция с углеродом массой 5,4 г. Смесь нагрели. Определите состав смеси после проведения реакции. (6,4 г CaC_2 ; 1,8 г C.)

227. К раствору, содержащему 25,5 г нитрата серебра, прилили раствор, содержащий 7,8 г сульфида натрия. Рассчитайте массу образовавшегося осадка. (18,6 г.)

228. Над нагретым оксидом меди(II) массой 20 г пропустили 10,08 л (н.у.) водорода. Вычислите массу полученной меди. (16 г.)

229. Вычислите массу осадка, полученного действием раствора, содержащего гидроксид натрия массой 20 г, на раствор, содержащий сульфат меди(II) массой 32 г. (19,61 г.)

230. Вычислите объём водорода (н.у.), выделившегося при взаимодействии 13 г цинка с раствором, содержащим 30 г серной кислоты. (4,48 л.)

231. К раствору, содержащему 100 г гидроксида натрия, прилили раствор, содержащий 100 г азотной кислоты. Какова реакция среды полученного раствора: кислотная, щелочная, нейтральная? Ответ обоснуйте расчётом. (Щелочная.)

232. Смешали 7,3 г хлороводорода с аммиаком массой 4,0 г. Определите массу образовавшейся соли и оставшегося после реакции газа. (10,7 г NH_4Cl ; 0,6 г NH_3 .)

233. В раствор, содержащий 34,0 г нитрата серебра, прилили раствор, содержащий такую же массу хлорида натрия. Определите массу образовавшегося осадка и укажите, какая соль не полностью вступит в реакцию. (28,7 г; NaCl .)

234. Сплавляли 6 г магния с 45 г оксида кремния(IV). Полученную смесь обработали раствором гидроксида натрия. Вычислите объём полученного водорода (н.у.). (5,6 л.)

235. Определите количество вещества гидросульфата натрия, который образуется при смешении 200 г раствора с массовой долей серной кислоты 12% и 100 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 8%. (0,2 моль.)

236. К раствору объёмом 153,5 мл с массовой долей гидроксида калия 16% ($\rho = 1,14$ г/мл) прилили 86,8 мл раствора с массовой долей серной кислоты 20% ($\rho = 1,14$ г/мл). Определите массу образовавшейся соли. (34,8 г K_2SO_4 .)

237. К раствору, содержащему 1,48 г гидроксида кальция, прилили 150 г раствора с массовой долей карбоната натрия 5%. Определите массу образовавшегося гидроксида натрия. (1,6 г.)

238. Вычислите количество вещества и массу соли, образующейся при действии на гидроксид железа(III) массой 5,35 г раствором, содержащим 30 г азотной кислоты. (0,05 моль; 12,1 г.)

239. Вычислите количество вещества, объём (н.у.) и массу оксида углерода(IV), выделившегося при действии раствора, содержащего 30 г хлороводорода, на карбонат кальция массой 25 г. (0,25 моль; 5,6 л; 11 г.)

240. При взаимодействии оксида азота(II) количеством вещества 3 моль с кислородом объёмом 56 л (н.у.) получен оксид азота(IV). Определите массу и число молекул образовавшегося оксида азота(IV). (138 г; $1,8 \cdot 10^{24}$ молекул.)

241. При пропускании газовой смеси, состоящей из 5 л азота и 2 л водорода, над катализатором получен газ с резким запахом. Вычислите количество вещества, объём (н.у.), массу и число молекул этого газа. (0,059 моль; 1,33 л; 1,003 г; $3,54 \cdot 10^{22}$ молекул.)

242. Смешали 200 г раствора с массовой долей сульфата цинка 16,1% с раствором массой 100 г с массовой долей сульфида натрия 7,8%. Определите массу осадка и массовую долю соли в полученном растворе. (9,7 г; 4,89% Na_2SO_4 .)

243. При взаимодействии 6,4 г меди с хлором объёмом 33,6 л (н.у.) получили соль, которую растворили в 256,5 г воды. Вычислите массовую долю (%) соли в растворе. (5%.)

244. Газ, полученный при восстановлении 16 г оксида железа(III) оксидом углерода(II), пропущен через 200 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 25%. Вычислите массовую долю образовавшейся соли в растворе. (14,92%.)

245. Раствор объёмом 100 мл с массовой долей серной кислоты 20% ($\rho = 1,14$ г/мл) смешан с 400 г раствора с массовой долей хлорида бария 5,2%. Определите массу осадка и массовые доли веществ, находящихся в растворе после отделения осадка. (23,3 г; 2,65% H_2SO_4 ; 1,487% HCl .)

246. Через раствор щёлочи объёмом 164 мл с массовой долей гидроксида натрия 20% ($\rho = 1,22$ г/мл) пропустили 5,6 л (н.у.) оксида углерода(IV). Определите массовые доли веществ в полученном растворе. (9,48% NaOH ; 12,56% Na_2CO_3 .)

247. Смешали раствор массой 100 г, содержащий 10,2 г нитрата серебра, с раствором массой 50 г, содержащим 6,56 г ортофосфата натрия. Определите массовые доли солей в растворе. (3,6% NaNO_3 ; 2,3% Na_3PO_4 .)

248. К водному раствору, содержащему 3,17 г хлорида хрома(III), прилили раствор объёмом 33,5 мл с массовой долей сульфида калия 10% ($\rho = 1,15$ г/мл). Какое вещество выпадет в осадок? Определите массу осадка. ($\text{Cr}(\text{OH})_3$; 2,06 г.)

249. Образец сульфида цинка, содержащий $2,4 \cdot 10^{24}$ «молекул» (формульных единиц) соли, обработали раствором массой 1 кг с массовой долей серной кислоты 49%. Вычислите количество вещества, объём (н.у.) и массу выделившегося газа. (4 моль; 89,6 л; 136 г.)

250. При освещении солнечным светом газовой смеси, состоящей из $1,2 \cdot 10^{24}$ молекул хлора и $1,8 \cdot 10^{24}$ молекул водорода, образовался хлороводород. Определите количество вещества, объём (н. у.) и массу образовавшегося газа. (4 моль; 89,6 л; 146 г.)

251. Нитрит натрия массой 13,8 г внесли при нагревании в 220 г раствора с массовой долей хлорида аммония 10%. Определите объём (н. у.) азота, выделившегося при этом, и массовую долю (%) хлорида аммония в получившемся растворе. (4,48 л; 4,9%.)

252. Пентахлорид фосфора массой 2,085 г осторожно внесли в 200 г раствора с массовой долей карбоната натрия 15%, при этом не происходило выделения газа. Напишите уравнение реакции и рассчитайте массовую долю гидрофосфата натрия в полученном растворе. (70%.)

253. К раствору, полученному при добавлении 8 г гидроксида лития к 1 л воды, прилили 100 мл раствора с массовой долей хлороводорода 8,5% ($\rho = 1,04$ г/мл). Определите массовые доли (%) растворённых веществ в полученном растворе. (1,6% LiOH; 0,9% LiCl).

254. Смешали 100 мл раствора с массовой долей хлорной кислоты 30% ($\rho = 1,11$ г/мл) и 300 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% ($\rho = 1,10$ г/мл). Вычислите объём воды, которую следует добавить к полученной смеси, чтобы массовая доля перхлората натрия в ней составляла 8%. (64 мл.)

255. Газ, полученный при полном растворении 12,8 г меди в избытке концентрированной азотной кислоты, пропустили через раствор, содержащий 18 г гидроксида натрия. Какие соли и в каком количестве вещества образовались в этом растворе? (2 моль NaNO_2 ; 2 моль NaNO_3 .)

256. Смешали 300 мл раствора с массовой долей серной кислоты 10% ($\rho = 1,05$ г/мл) и 200 мл раствора с массовой долей гидроксида калия 20% ($\rho = 1,10$ г/мл). Определите объём воды, которую следует добавить к полученной смеси, чтобы массовая доля соли в ней составила 7%. (262,9 мл.)

257. Оксид меди(II) массой 16 г обработали 40 мл раствора с массовой долей серной кислоты 5% ($\rho = 1,03$ г/мл). Полученный раствор отфильтровали, фильтрат упарили. Определите массу полученного кристаллогидрата. (5,25 г.)

258. Диоксид марганца массой 26,1 г добавили при нагревании к 250 мл раствора с массовой долей хлороводорода 34% ($\rho = 1,16$ г/мл). Найдите объём хлора (н. у.), выделившегося при этом. Вычислите массу карбоната калия, который прореагирует с выделившимся хлором в холодном растворе. (6,72 л; 41,4 г.)

259. Определите массовую долю алкоголята натрия в его спиртовом растворе, полученном в результате реакции между натрием массой 2,3 г и абсолютным (100%-ным) этанолом объёмом 50 мл и плотностью 0,79 г/мл. (16,3%.)

260. Определите массу 2,4,6-триброманилина, который можно получить при взаимодействии 18,6 г анилина с бромом массой 104 г. (66 г.)

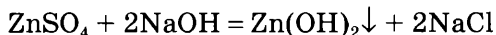
261. Определите объём оксида углерода(IV), который образуется при взаимодействии 6 л ацетилена и кислорода объёмом 18 л. (12 л.)

262. Определите массу фенолята калия, который можно получить взаимодействием 4,7 г фенола с раствором массой 120 г с массовой долей гидроксида калия 14%. (6,6 г.)

263. В 200 г раствора этилата алюминия в этаноле с массовой долей этилата алюминия 32,4% добавили 14,4 г воды. Определите массовую долю этилата алюминия в полученном растворе. (11,13%.)

4.2. Вещество, взятое в избытке, взаимодействует с продуктом реакции

Продукты некоторых реакций могут вступать во взаимодействие с избыточным количеством реагента. Так, при добавлении раствора щёлочи к раствору соли цинка выпадает осадок гидроксида цинка. Но поскольку этот гидроксид амфотерен, то добавление избытка раствора щёлочи приводит к его растворению:



Это необходимо учитывать при решении задач.

Задача. Водный раствор, содержащий гидроксид кальция массой 3,7 г, поглотил оксид углерода(IV) объёмом 1,68 л (н. у.). Определите массу осадка.

Дано:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3,7 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 1,68 \text{ л}$$

Найти:

$$m(\text{CaCO}_3)$$

Решение

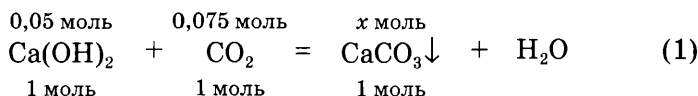
1. Вычисляем количества веществ гидроксида кальция и оксида углерода(IV):

$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ca}(\text{OH})_2)};$$

$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{3,7 \text{ г}}{74 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; \quad \nu(\text{CO}_2) = \frac{1,68 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,075 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Определяем, какое вещество взято в избытке.

Способ 1

Из уравнения реакции (1) следует, что

$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) : \nu(\text{CO}_2) = 1 : 1,$$

а по условию задачи

$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) : \nu(\text{CO}_2) = 0,05 : 0,075 = 1 : 1,5,$$

следовательно, оксид углерода(IV) взят в избытке.

Способ 2

$$\frac{\nu_{\text{исл}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{\nu_{\text{ур}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)} = \frac{0,05}{1} = 0,05; \quad \frac{\nu_{\text{исл}}(\text{CO}_2)}{\nu_{\text{ур}}(\text{CO}_2)} = \frac{0,075}{1} = 0,075;$$

$$0,075 > 0,05 \Rightarrow \text{оксид углерода(IV) взят в избытке.}$$

4. Находим массу осадка по гидроксиду кальция. Согласно уравнению реакции (1)

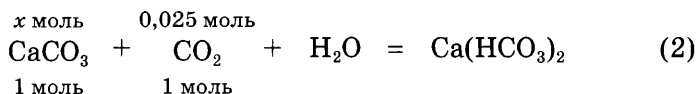
$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) : \nu(\text{CaCO}_3) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,05 \text{ моль};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,05 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 5 \text{ г}.$$

5. Но под действием избытка оксида углерода(IV) средняя соль (осадок) частично или полностью превращается в растворимую кислую соль. Определяем избыток оксида углерода(IV):

$$\nu_{\text{изб}}(\text{CO}_2) = 0,075 \text{ моль} - 0,05 \text{ моль} = 0,025 \text{ моль}.$$



6. Вычисляем массу средней соли (осадка), превратившейся в кислую соль. По уравнению реакции (2)

$$v_2(\text{CaCO}_3) : v_2(\text{CO}_2) = 1 : 1 \Rightarrow v_2(\text{CaCO}_3) = 0,025 \text{ моль};$$

$$m_2(\text{CaCO}_3) = v_2(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m_2(\text{CaCO}_3) = 0,025 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 2,5 \text{ г.}$$

7. Находим массу осадка (оставшейся нерастворённой соли):

$$m_{\text{ост}}(\text{CaCO}_3) = 5 \text{ г} - 2,5 \text{ г} = 2,5 \text{ г.}$$

Ответ: $m_{\text{ост}}(\text{CaCO}_3) = 2,5 \text{ г.}$

Задачи для самостоятельного решения

264. К раствору массой 200 г с массовой долей хлорида цинка 34% прилили раствор объёмом 116 мл с массовой долей гидроксида натрия 32% и плотностью 1,35 г/мл. Определите массу осадка и массовые доли солей в полученном растворе. (37,125 г; 18,32% NaCl; 7% $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$.)

265. Определите массу гидрофосфата кальция, образовавшегося при взаимодействии 3,7 г гидроксида кальция с ортофосфорной кислотой массой 3,92 г. (2,72 г.)

266. Углерод массой 12 г сожгли в кислороде объёмом 16,8 л (н. у.). Определите объёмный состав газовой смеси после реакции. (11,2 л CO; 11,2 л CO₂.)

267. Через газовую смесь, содержащую 4 л азота и 1 л кислорода, пропустили электрический разряд, при этом в реакцию вступило 17,5% азота. Через некоторое время газовая смесь приобрела бурый цвет, кислород полностью вступил в реакцию. Определите объёмную долю (%) газов после реакции. (70,21% N₂; 17,02% NO; 12,77% NO₂.)

268. Газ, выделившийся при полном разложении 135 г карбоната кальция, пропустили через раствор, полученный взаимодействием 36 г кальция с водой. Вычислите массы образовавшихся солей. (45 г CaCO₃; 72,9 г Ca(HCO₃)₂.)

269. Через раствор объёмом 178,6 мл с массовой долей гидроксида натрия 5% ($\rho = 1,12 \text{ г/мл}$) пропустили 3,36 л (н. у.) оксида серы(IV). Определите массовые доли полученных солей в растворе. (2,48% NaHSO₃; 6,01% Na₂SO₃.)

270. Прокалили смесь, состоящую из 48 г оксида кремния и 57,6 г магния. При обработке полученной массы соляной

кислотой выделился водород объёмом 13,44 л (н. у.). Определите массу образовавшегося кремния. (19,6 г.)

271. Сульфид марганца(II) массой 26,1 г обработали раствором хлороводорода. Выделившийся газ пропустили через раствор, полученный при взаимодействии 9,2 г натрия с 300 г воды. Определите массовые доли солей в полученном растворе. (3,5% NaHS ; 2,45% Na_2S .)

272. К раствору массой 25 г с массовой долей хлорида алюминия 8% прилили раствор массой 25 г с массовой долей гидроксида натрия 8%. Образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили. Определите его состав и массу. (0,51 г Al_2O_3 .)

273. Продукты полного сгорания 4,48 л сероводорода (н. у.) в избытке кислорода поглощены раствором, содержащим 10 г гидроксида натрия. Затем к этому раствору добавили избыток хлорида бария. Вычислите массу образовавшегося при этом осадка. (10,85 г.)

274. К фосфату кальция массой 31 г малыми порциями прибавили раствор, содержащий 15,68 г серной кислоты. Определите состав и массы образовавшихся солей. (21,76 г CaSO_4 ; 14,04 г $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; 10,88 г CaHPO_4 .)

275. Газ, полученный при сжигании 6,4 г серы, без остатка прореагировал со 138 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 8% ($\rho = 1,087$ г/мл). Определите состав полученного раствора и рассчитайте массовые доли веществ в этом растворе. (6,39% NaHSO_3 ; 7,74% Na_2SO_3 .)

276. К раствору, содержащему по одному молю сульфата алюминия и сульфата железа(III), прилили 2,5 л раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% ($\rho = 1,2$ г/моль). Полученный осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы. Определите массу продукта после прокаливании. (160 г Fe_2O_3 .)

277. Бензол массой 78 г вступил в реакцию алкилирования с 70,7 г хлорметана. Определите массу и состав органических продуктов реакции, исходя из предположения, что алкилирование протекает постадийно. (55,2 г толуола; 42,4 г ксилолов.)

278. Этан массой 42 г вступил в реакцию с 288 г брома. Определите массовые доли органических продуктов реакции в полученной смеси и назовите их. (59,17% бромэтана; 40,83% 1,1-дибромэтана.)

279. При каталитическом гидрировании 302,4 г *m*-динитробензола использовали 174,72 л водорода (н. у.). Определите массу образовавшегося *m*-нитроанилина. (138 г.)

280. В реакцию вступили изопрен массой 108,8 г и бром массой 288 г. Определите состав и массы продуктов реакции. (319,2 г 3,4-дибром-3-метилбутена-1; 77,6 г 1,2,3,4-тетрабром-2-метилбутана.)

4.3. Твёрдое вещество, взятое в избытке, частично вступает в реакцию

В некоторых случаях вещество, взятое в избытке, находится в твёрдом состоянии и только частично вступает в реакцию. Это необходимо учитывать при определении массы конечного раствора.

Задача. К цинку массой 13 г прибавили 80 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 13% ($\rho = 1,15$ г/мл). Рассчитайте массовую долю соли в растворе после завершения реакции.

Дано:

$$m(\text{Zn}) = 13 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра}) = 80 \text{ мл}$$

$$w(\text{NaOH}) = 0,13$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,15 \text{ г/мл}$$

Найти:

$$w(\text{соли})$$

Решение

1. Находим количества веществ цинка и гидроксида натрия:

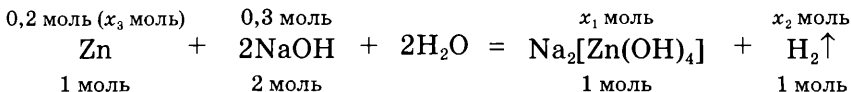
$$\nu(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})};$$

$$\nu(\text{Zn}) = \frac{13 \text{ г}}{65 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot w(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})};$$

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{80 \text{ мл} \cdot 1,15 \text{ г/мл} \cdot 0,13}{40 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Определяем, какое из веществ – цинк или гидроксид натрия – дано в избытке.

Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Zn}) : \nu(\text{NaOH}) = 1 : 2,$$

тогда как по условию задачи

$$\nu(\text{Zn}) : \nu(\text{NaOH}) = 0,2 : 0,3 = 2 : 3 = 1,5.$$

Следовательно, цинк дан в избытке, значит, расчёт ведём по гидроксиду натрия.

4. Находим количество вещества и массу образовавшейся соли:

$$\frac{0,3 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{x_1 \text{ моль}}{1 \text{ моль}}; \quad x_1 = \frac{0,3 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = \nu(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) \cdot M(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]);$$

$$m(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = 0,15 \text{ моль} \cdot 179 \text{ г/моль} = 26,85 \text{ г}.$$

5. Вычисляем количество вещества и массу водорода:

$$\frac{0,3 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{x_2 \text{ моль}}{1 \text{ моль}}; \quad x_2 = \frac{0,3 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); \quad \nu(\text{H}_2) = 0,15 \text{ моль} \cdot 2 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ г}.$$

6. Определяем количество вещества и массу цинка, вступившего в реакцию:

$$\frac{x_3 \text{ моль}}{1 \text{ моль}} = \frac{0,3 \text{ моль}}{2 \text{ моль}}; \quad x_3 = \frac{0,3 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m_{\text{реак}}(\text{Zn}) = \nu_{\text{реак}}(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn});$$

$$m_{\text{реак}}(\text{Zn}) = 0,15 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 9,75 \text{ г}.$$

7. Находим избыточную массу цинка:

$$m_{\text{изб}}(\text{Zn}) = m(\text{Zn}) - m_{\text{реак}}(\text{Zn});$$

$$m_{\text{изб}}(\text{Zn}) = 13 \text{ г} - 9,75 \text{ г} = 3,25 \text{ г}.$$

8. Рассчитываем массу конечного раствора:

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра}) + m(\text{Zn}) - m_{\text{изб}}(\text{Zn}) - m(\text{H}_2);$$

$$m_{\text{кон}}(\text{р-ра}) = 80 \text{ мл} \cdot 1,15 \text{ г/мл} + 13 \text{ г} - 3,25 \text{ г} - 0,3 \text{ г} = 101,45 \text{ г}.$$

9. Определяем массовую долю соли в растворе:

$$w(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = \frac{m(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4])}{m_{\text{кон}}(\text{р-ра})};$$

$$w(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = \frac{26,85 \text{ г}}{101,45 \text{ г}} = 0,265, \text{ или } 26,5\%.$$

Ответ: $w(\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]) = 26,5\%.$

Задачи для самостоятельного решения

281. Карбонат кальция массой 25 г обработали раствором объёмом 150 мл с массовой долей хлороводорода 9,5% ($\rho = 1,04$ г/мл). Определите массовую долю соли в образовавшемся растворе. (13,3%.)

282. Карбонат натрия массой 15,9 г сплывили с 12 г оксида кремния. Плав обработали водой объёмом 500 мл. Вычислите массовую долю соли в образовавшемся растворе. (3,53%.)

283. Магний массой 9,6 г обработали раствором объёмом 200 мл с массовой долей серной кислоты 12% ($\rho = 1,05$ г/мл). Вычислите массовую долю сульфата магния в конечном растворе. (14,3%.)

284. К раствору массой 400 г с массовой долей хлорида кальция 11,1% добавили 57,2 г кристаллогидрата карбоната натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, после чего пропустили через него 3,36 л углекислого газа (н.у.). Вычислите массовые доли всех веществ в растворе после завершения реакции. (4,84% CaCl_2 ; 5,10% NaCl ; 5,30% $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.)

285. Смешали 100 г раствора, содержащего 7,6 г сульфата железа(II), и 100 г раствора, содержащего 3,9 г сульфида натрия, затем добавили 50 г раствора с массовой долей хлороводорода 0,058%. Вычислите массовые доли веществ в образовавшемся растворе. (2,86% Na_2SO_4 ; 2,05% FeCl_2 .)

286. К 50 г раствора, содержащего 6,84 г сульфата алюминия, прибавили 100 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 0,052%. Рассчитайте массовые доли веществ в образовавшемся растворе. (5,77% Na_2SO_4 ; 0,8% $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$.)

287. В раствор массой 100 г с массовой долей гидроксида натрия 8% опустили алюминиевую пластину массой 6 г. Определите массу раствора, полученного после завершения реакции. (104,8 г.)

5. Выход продукта реакции

В процессе производства получают меньше готового продукта, чем его должно образоваться в соответствии с теоретическими расчётами. Это связано с тем, что исходные вещества могут реагировать не полностью, а часть продукта – теряться в процессе производства (нарушение технологии, прилипание к стенкам аппаратов и т. д.).

Выход продукта реакции – это отношение массы, количества вещества или объёма практически полученного вещества к теоретически рассчитанным величинам (обозначают греческой буквой η – «эта»; выражают в долях единицы или процентах):

$$\eta(X) = \frac{m_{\text{пр}}(X)}{m_{\text{теор}}(X)} \text{ или } \eta(X) = \frac{m_{\text{пр}}(X)}{m_{\text{теор}}(X)} \cdot 100\% ;$$

$$\eta(X) = \frac{v_{\text{пр}}(X)}{v_{\text{теор}}(X)} \text{ или } \eta(X) = \frac{v_{\text{пр}}(X)}{v_{\text{теор}}(X)} \cdot 100\% ;$$

$$\eta(X) = \frac{V_{\text{пр}}(X)}{V_{\text{теор}}(X)} \text{ или } \eta(X) = \frac{V_{\text{пр}}(X)}{V_{\text{теор}}(X)} \cdot 100\% .$$

В этих формулах $m_{\text{пр}}(X)$, $v_{\text{пр}}(X)$, $V_{\text{пр}}(X)$ – масса, количество вещества и объём практически полученного вещества X; $m_{\text{теор}}(X)$, $v_{\text{теор}}(X)$, $V_{\text{теор}}(X)$ – теоретически рассчитанные по уравнению реакции масса, количество вещества и объём. Если практический выход оказывается равным теоретическому, то процесс (реакция) имеет *количественный выход*.

Задачи на выход продукта реакции можно разделить на три типа.

5.1. Вычисление выхода продукта реакции

Задача. В лаборатории восстановлением 61,5 г нитробензола получили 44 г анилина. Рассчитайте выход анилина (%).

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 61,5 \text{ г}$$

$$m_{\text{пр}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 44 \text{ г}$$

Найти: η

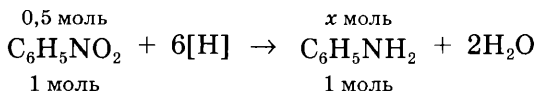
Решение

1. Рассчитываем количество вещества нитробензола:

$$v(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2)}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2)};$$

$$v(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = \frac{61,5 \text{ г}}{123 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции:



Для вычисления выхода продукта реакции – анилина $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ – нужно знать $m_{\text{пр}}$ и $m_{\text{теор}}$. Первая величина указана в условии задачи, а вторую нужно рассчитать по уравнению реакции.

3. Определяем теоретическую массу анилина:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = \nu_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 0,5 \text{ моль (по уравнению реакции);}$$

$$m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \nu_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2);$$

$$m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 0,5 \text{ моль} \cdot 93 \text{ г/моль} = 46,5 \text{ г.}$$

4. Определяем выход продукта реакции:

$$\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{m_{\text{пр}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}{m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)};$$

$$\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{44 \text{ г}}{46,5 \text{ г}} = 0,946, \text{ или } 94,6\%.$$

Ответ: $\eta = 94,6\%$.

5.2. Вычисление массы или объёма продукта реакции по значению выхода продукта реакции

Задача. Вычислите массу карбида кальция, образовавшегося при действии угля на 16,8 г оксида кальция, если выход продукта реакции составляет 80%.

Дано:

$$m(\text{CaO}) = 16,8 \text{ г}$$

$$\eta = 80\%$$

Найти:

$$m_{\text{пр}}(\text{CaC}_2)$$

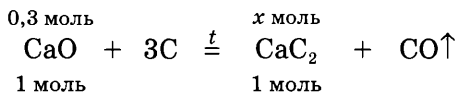
Решение

1. Вычисляем количество вещества оксида кальция:

$$\nu(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})};$$

$$\nu(\text{CaO}) = \frac{16,8 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Определяем теоретическое значение количества вещества карбида кальция. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{CaO}) = \nu_{\text{теор}}(\text{CaC}_2) \Rightarrow \nu_{\text{теор}}(\text{CaC}_2) = 0,3 \text{ моль.}$$

4. Вычисляем практическое значение количества вещества карбида кальция:

$$\nu_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) = \nu_{\text{теор}}(\text{CaC}_2) \cdot \eta;$$

$$\nu_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) = 0,3 \text{ моль} \cdot 0,8 = 0,24 \text{ моль.}$$

5. Рассчитываем практически полученную массу карбида кальция:

$$m_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) = v_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) \cdot M(\text{CaC}_2);$$

$$m_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) = 0,24 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 15,36 \text{ г.}$$

Ответ: $m_{\text{пр}}(\text{CaC}_2) = 15,36 \text{ г.}$

5.3. Вычисление массы или объёма исходного вещества по данным о практически полученном веществе и выходе этого продукта реакции

Задача. Вычислите массу карбоната натрия, который нужно взять для получения 28,56 л (н. у.) оксида углерода(IV), если выход продукта реакции равен 85%.

Дано:

$$V_{\text{пр}}(\text{CO}_2) = 28,56 \text{ л}$$

$$\eta = 85\%$$

Найти:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

Решение

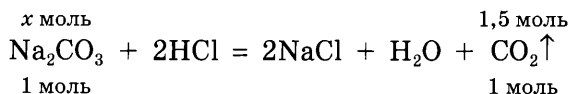
1. Вычисляем теоретические значения объёма и количества вещества оксида углерода(IV):

$$V_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \frac{V_{\text{пр}}(\text{CO}_2)}{\eta};$$

$$V_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \frac{28,56 \text{ л}}{0,85} = 33,6 \text{ л};$$

$$v_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \frac{V_{\text{теор}}(\text{CO}_2)}{V_{\text{м}}}; \quad v_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \frac{33,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,5 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Вычисляем массу карбоната натрия:

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v(\text{CO}_2) = 1,5 \text{ моль (по уравнению реакции);}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,5 \text{ моль} \cdot 106 \text{ г/моль} = 159 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 159 \text{ г.}$

Задачи для самостоятельного решения

288. При взаимодействии 1,2 г магния с раствором серной кислоты получили 5,5 г соли. Определите выход продукта реакции (%). (91,67%.)

289. В кислороде, полученном разложением 49 г хлората калия, сожгли серу. В результате реакции получили 7 л газа (н. у.). Рассчитайте выход этого газа. (52,1%.)

290. Через раствор сульфата меди(II) пропустили 2,8 л (н. у.) сероводорода. При этом образовалось 11,4 г осадка. Рассчитайте выход малорастворимого продукта реакции (9,5%.)

291. При растворении в воде 28,4 г оксида фосфора(V) получили 36 г ортофосфорной кислоты. Рассчитайте её выход. (91,8%.)

292. При взаимодействии натрия количеством вещества 0,5 моль с водой получили 4,2 л (н. у.) водорода. Вычислите выход газа (%). (75%.)

293. Хром получают восстановлением его оксида Cr_2O_3 алюминием. Вычислите массу хрома, который можно получить восстановлением 228 кг его оксида, если выход хрома составляет 95%. (148,2 кг.)

294. При сплавлении 60 г гидроксида натрия и оксида кремния(IV) образовалось 13 г водяных паров. Определите выход воды. (96,3%.)

295. Определите массу меди, которая вступит в реакцию с концентрированной серной кислотой для получения оксида серы(IV) объёмом 3,0 л (н. у.), если выход оксида серы(IV) составляет 90%. (9,51 г.)

296. Вычислите объём аммиака (н. у.), который можно получить, нагревая 20 г хлорида аммония с избытком гидроксида кальция, если выход аммиака составляет 98%. (8,2 л.)

297. При пропускании аммиака объёмом 672 л (н. у.) через 900 г раствора с массовой долей азотной кислоты 40% получено 440,68 г нитрата аммония. Определите выход соли. (96%.)

298. Из фосфора массой 15,5 кг получили 41,6 кг фосфорной кислоты. Вычислите выход продукта. (85%.)

299. Какое количество вещества серной кислоты можно получить из 192 г серы, если выход продукта на последней стадии составляет 95%? (5,7 моль.)

300. При пропускании сероводорода объёмом 2,8 л (н. у.) через избыток раствора сульфата меди(II) образовалось 11,4 г осадка. Определите выход продукта реакции. (95%.)

301. Через раствор массой 50 г с массовой долей иодида натрия 15% пропустили избыток хлора. Выделился йод массой 5,6 г. Определите выход продукта реакции. (88,2%.)

302. К раствору, содержащему 4,5 г хлорида кальция, прилили раствор, содержащий 4,1 г фосфата натрия. Определите массу полученного осадка, если выход продукта реакции составляет 88% . (3,41 г.)

303. При термическом разложении 34 г нитрата натрия образовалось 3,36 л газа (н.у.), поддерживающего горение. Вычислите его массу, количество вещества и выход. (4,8 г; 0,15 моль; 75% .)

304. При добавлении аммиачной воды к 50 г раствора хлорида железа(III) образовался гидроксид железа(III), при разложении которого получено 1,28 г оксида железа(III), что составляет 80% от теоретически возможного. Вычислите массовую долю (%) хлорида железа(III) в исходном растворе. (6,5% .)

305. Вычислите объём раствора с массовой долей гидроксида калия 26% ($\rho = 1,24$ г/мл), который необходим для получения 10,64 л (н.у.) водорода в результате реакции с алюминием, если выход водорода составляет 95% . (58 мл.)

306. Определите количество вещества и объём (н.у.) хлора, который потребуется для получения 150 г хлорида железа(III) при выходе соли 92,3% . (1,5 моль; 33,6 л.)

307. При пропускании смеси, состоящей из 5 л оксида серы(IV) и 15 л кислорода, через контактный аппарат объём изменился на 2 л. Определите выход продукта реакции. (80% .)

308. Вычислите массу гидроксида калия и объём хлора (н.у.), которые необходимы для получения 50 г бертолетовой соли, если выход продукта составляет 87% . (157,92 г КОН; 31,58 л Cl_2 .)

309. Хлороводород, полученный при действии избытка концентрированной серной кислоты на 11,7 г хлорида натрия, пропустили через избыток раствора нитрата серебра. Рассчитайте массу осадка, если выход продукта на каждой стадии равен 80% . (18,4 г.)

310. Через 100 г раствора с массовой долей гидроксида кальция 3,9% пропустили 0,56 л (н.у.) оксида углерода(IV). Выпавший осадок прокалили и получили 1,2 г твёрдого остатка. Определите выход карбоната кальция в первой реакции, если известно, что выход продукта второй реакции равен 100% . (86% .)

311. При термическом разложении 14 моль метана получен ацетилен, объём которого при н. у. составил 120,96 л. Вычислите выход продукта. (77%.)

312. Вычислите массу ацетата натрия, затраченного на получение 80 г метана при выходе продукта 70%. (586 г.)

313. Определите массу уксусной кислоты, которая расходуется для синтеза этилацетата, если получено 70,4 г эфира, что составляет 80% от теоретически возможного. (60 г.)

314. Рассчитайте массу тетрахлорида углерода, который можно получить при хлорировании 11,2 л метана хлором, объём которого равен 56 л (н. у.). Выход продукта составляет 70%. (53,9 г.)

315. При каталитическом гидрировании формальдегида получили метиловый спирт, при взаимодействии которого с натрием образовался водород объёмом 8,96 л (н. у.). Выход продукта на каждой стадии синтеза составил 80%. Определите исходную массу формальдегида. (37,5 г.)

316. При конверсии смеси равных объёмов оксида углерода(IV) и метана её объём увеличился в 1,8 раза. Определите степень конверсии. (90%.)

317. При пропускании избытка хлора через 100 мл бензола ($\rho = 0,879$ г/мл) в присутствии хлорида алюминия выделился газ, который пропустили через избыток раствора пропилена в бензоле. Какое вещество при этом образовалось? Определите его массу, если выход продуктов на обеих стадиях составил 70%. (2-Хлорпропан; 259,8 г.)

318. Из пропанола-2 массой 36 г получили 2-бромпропан, который использовали для синтеза 2,3-диметилбутана по реакции Вюрца. Рассчитайте массу полученного 2,3-диметилбутана, если выход продуктов на обеих стадиях синтеза составил 60%. (9,3 г.)

319. Из ацетилена объёмом 4,48 л (н. у.) получен ацетальдегид, выход которого составил 60%. Рассчитайте массу металла, который может быть получен при добавлении всего синтезированного альдегида к избытку аммиачного раствора оксида серебра. (25,92 г.)

320. При действии избытка раствора гидроксида натрия на 250 г раствора с массовой долей хлорида фениламмония 10% получен анилин, на бромирование которого затрачено 72 г брома. Определите выход анилина. (77,7%.)

6. Вычисление массы или объёма продукта реакции по известной массе или объёму исходного вещества, содержащего примеси

В процессе химического производства или для проведения химических реакций во многих случаях используют не чистые, а так называемые технические вещества или природное сырьё, которые кроме основного компонента содержат различные *примеси*. Эти примеси или не взаимодействуют с тем веществом, с которым реагирует основной компонент, или при их взаимодействии не образуются нужные продукты. Значит, для того чтобы определить массу или объём продукта, необходимо вначале рассчитать массу или объём *чистого исходного вещества*, которое содержится в смеси, а потом решать задачу, как обычно, по уравнению химической реакции. Содержание примесей, как правило, выражают в процентах. Массу чистого вещества (как и объём) можно вычислить двумя способами.

Способ 1

Сначала вычисляют массовую долю чистого вещества в смеси:

$$w(\text{чист. в-ва}) = 1 - w(\text{прим.})$$

или

$$w(\text{чист. в-ва}) = 100\% - w(\text{прим.}).$$

Затем находят его массу:

$$w(\text{чист. в-ва}) = \frac{m(\text{чист. в-ва})}{m(\text{смеси})}$$

$$\Rightarrow m(\text{чист. в-ва}) = m(\text{смеси}) \cdot w(\text{чист. в-ва}).$$

Способ 2

Вначале определяют массу примеси:

$$m(\text{прим.}) = m(\text{смеси}) \cdot w(\text{прим.}).$$

Затем вычитают её из массы смеси:

$$m(\text{чист. в-ва}) = m(\text{смеси}) - m(\text{прим.}).$$

Задача 1. На завод доставили 50 т фосфорита, содержащего 25% пустой породы. Определите массу фосфата кальция в природном фосфорите.

Дано:

$$m(\text{фосфорита}) = 50 \text{ т}$$

$$w(\text{прим.}) = 25\% (0,25)$$

Найти:

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)$$

Решение

Способ 1

1. Определяем массовую долю фосфата кальция в фосфорите:

$$w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 100\% - w(\text{прим.});$$

$$w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 100\% - 25\% = 75\% (0,75)^*.$$

2. Находим массу фосфата кальция:

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = m(\text{фосфорита}) \cdot w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2);$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 50 \text{ т} \cdot 0,75 = 37,5 \text{ т}.$$

Способ 2

1. Определяем массу пустой породы (примеси):

$$m(\text{прим.}) = m(\text{фосфорита}) \cdot w(\text{прим.});$$

$$m(\text{прим.}) = 50 \text{ т} \cdot 0,25 = 12,5 \text{ т}.$$

2. Находим массу фосфата кальция:

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = m(\text{фосфорита}) - m(\text{прим.});$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 50 \text{ т} - 12,5 \text{ т} = 37,5 \text{ т}.$$

Ответ: $m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 37,5 \text{ т}.$

Задача 2. Рассчитайте объём ацетиленa (н. у.), который можно получить из 10 кг карбида кальция, содержащего 15% примесей.

Дано:

$$m(\text{CaC}_{2\text{техн}}) = 10 \text{ кг}$$

$$w(\text{прим.}) = 0,15$$

Найти:

$$V(\text{C}_2\text{H}_2)$$

Решение

1. Находим массу примесей:

$$m(\text{прим.}) = m(\text{CaC}_{2\text{техн}}) \cdot w(\text{прим.});$$

$$m(\text{прим.}) = 10 \text{ кг} \cdot 0,15 = 1,5 \text{ кг}.$$

2. Вычисляем массу и количество вещества чистого карбида кальция:

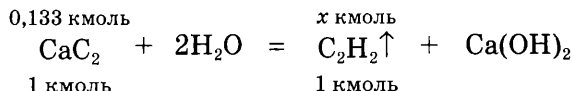
$$m(\text{CaC}_2) = m(\text{CaC}_{2\text{техн}}) - m(\text{прим.});$$

$$m(\text{CaC}_2) = 10 \text{ кг} - 1,5 \text{ кг} = 8,5 \text{ кг};$$

$$v(\text{CaC}_2) = \frac{m(\text{CaC}_2)}{M(\text{CaC}_2)}; \quad v(\text{CaC}_2) = \frac{8,5 \text{ кг}}{64 \text{ кг/кмоль}} = 0,133 \text{ кмоль}.$$

* В вычислениях удобнее использовать массовую долю, выраженную в долях единицы.

3. Составляем уравнение реакции:



4. Находим объём образовавшегося ацетилена:

$v(\text{C}_2\text{H}_2) = v(\text{CaC}_2) = 0,133 \text{ кмоль}$ (по уравнению реакции);

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = v(\text{C}_2\text{H}_2) \cdot V_m(\text{C}_2\text{H}_2);$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,133 \text{ кмоль} \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль} = 2,979 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 2,979 \text{ м}^3$.

Задача 3. Вычислите массу фосфорита с массовой долей примесей 12%, необходимого для получения 200 г фосфора.

Дано:

$$m(\text{P}) = 200 \text{ г}$$

$$m(\text{прим.}) = 0,12$$

Найти:

$$m(\text{фосфорита})$$

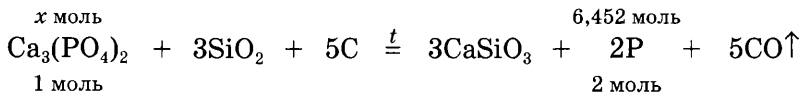
Решение

1. Определяем количество вещества фосфора:

$$v(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})};$$

$$v(\text{P}) = \frac{200 \text{ г}}{31 \text{ г/моль}} = 6,452 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Находим количество вещества фосфата кальция. Согласно уравнению реакции:

$$v(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) : v(\text{P}) = 1 : 2$$

$$\Rightarrow v(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{6,452 \text{ моль}}{2} = 3,226 \text{ моль}.$$

4. Находим массу чистого фосфата кальция, необходимого для получения 200 г фосфора:

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = v(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) \cdot M(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2);$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 3,226 \text{ моль} \cdot 310 \text{ г/моль} = 1000 \text{ г}.$$

5. Вычисляем массовую долю чистого фосфата кальция в фосфорите:

$$w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 1 - w(\text{прим.});$$

$$w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 1 - 0,12 = 0,88.$$

6. Определяем массу фосфорита, необходимого для получения 200 г фосфора:

$$w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)}{m(\text{фосфорита})} \Rightarrow m(\text{фосфорита}) = \frac{m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)}{w(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)};$$

$$m(\text{фосфорита}) = \frac{1000 \text{ г}}{0,88} = 1136,4 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{фосфорита}) = 1136,4 \text{ г.}$

Задача 4. При взаимодействии 10,8 г кальцинированной соды с избытком соляной кислоты получили 2,24 л (н. у.) оксида углерода(IV). Вычислите массовую долю (%) примесей в кальцинированной соде.

Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 2,24 \text{ л}$$

$$m(\text{соды}) = 10,8 \text{ г}$$

Найти:

$$w(\text{прим.})$$

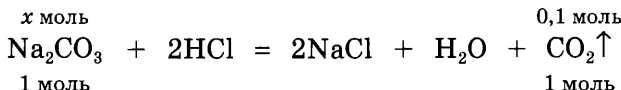
Решение

1. Находим количество вещества углекислого газа:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m(\text{CO}_2)};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{2,24 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции:



3. Вычисляем массу чистого карбоната натрия, необходимого для получения 0,1 моль углекислого газа:

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) : \nu(\text{CO}_2) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 106 \text{ г/моль} = 10,6 \text{ г.}$$

4. Находим массу примесей в кальцинированной соде:

$$m(\text{прим.}) = m(\text{соды}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$m(\text{прим.}) = 10,8 \text{ г} - 10,6 \text{ г} = 0,2 \text{ г.}$$

5. Вычисляем массовую долю примесей:

$$w(\text{прим.}) = \frac{m(\text{прим.})}{m(\text{соды})}; \quad w(\text{прим.}) = \frac{0,2 \text{ г}}{10,8 \text{ г}} = 0,018, \text{ или } 1,8\%.$$

Ответ: $w(\text{прим.}) = 0,018, \text{ или } 1,8\%.$

Задачи для самостоятельного решения

321. Рассчитайте объём углекислого газа (н.у.), который можно получить при взаимодействии 100 г известняка, содержащего 20% примесей, с избытком соляной кислоты. (17,92 л.)

322. При взаимодействии 4,2 г гидрида кальция с водой выделилось 4 л водорода (н.у.). Определите массовую долю примесей в образце гидрида кальция. (89,3%.)

323. Найдите массу едкого натра, который можно получить при взаимодействии соды с известковым молоком, полученным из 5 кг известняка, содержащего 80% карбоната кальция. (3,2 кг.)

324. Из 1 кг поваренной соли с массовой долей примесей 10% получили 1,25 л соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 30% ($\rho = 1,15$ г/мл). Определите выход хлороводорода. (76,8%.)

325. Вычислите объём (м^3) оксида углерода(IV) и массу жжёной извести CaO , полученных при обжиге 500 кг известняка, содержащего 92% карбоната кальция. (257,6 кг CaO ; $103 \text{ м}^3 \text{CO}_2$.)

326. Найдите массу 70%-ного раствора серной кислоты, который потребуется для получения фосфорной кислоты из 200 кг фосфорита, содержащего 70% фосфата кальция. (189,7 кг.)

327. При взаимодействии 5,0 г технического магния с избытком соляной кислоты выделилось 3,36 л водорода (н.у.). Вычислите массовую долю (%) чистого магния в техническом. (72,0%.)

328. Оксид углерода(IV), полученный из 50 г угля, пропустили через раствор гидроксида бария. Найдите массу осадка, если массовая доля углерода в угле составляет 96%. (788 г.)

329. Песок массой 2 кг сплавляли с избытком гидроксида калия, получив в результате реакции силикат калия массой 3,82 кг. Определите выход продукта реакции, если массовая доля оксида кремния(IV) в песке равна 90%. (82,7%.)

330. При сгорании 10 г технической серы выделился газ, который пропустили через избыток раствора гидроксида натрия. В реакцию вступил гидроксид натрия массой 24 г. Определите массовую долю серы в технической сере. (96%.)

331. Вычислите массу 30%-ной соляной кислоты, затраченной на растворение 200 г цинка, содержащего 35% примесей. (487 г.)

332. Для обжига 2 т сульфида цинка, содержащего 3% негорючих веществ, израсходовали 6000 м³ воздуха (н.у.). Определите объёмные доли газов в образовавшейся газовой смеси. (83,1% N₂; 7,76% SO₂; 9,14% O₂.)

333. Вычислите массу магнетита Fe₃O₄, содержащего 10% примесей, необходимого для получения 4 т железа. (6,138 т.)

334. При действии на 10,5 г мрамора соляной кислотой выделилось 2,24 л оксида углерода(IV) (н.у.). Определите массовую долю (%) карбоната кальция в мраморе. (95,24%.)

335. Прокалили 32,1 г хлорида аммония с 55,5 г гидроксида кальция, содержащего 20% примесей. Рассчитайте объём (н.у.) собранного газа. (13,44 л.)

336. При разложении 126 г магнезита (природного карбоната магния) образовалось 55 г оксида магния. Определите степень чистоты (%) магнезита. (91,7%.)

337. Определите массовую долю (%) железа в стали, если при сжигании 10 г стали в токе кислорода образовалось 0,28 л (н.у.) углекислого газа. (98,5%.)

338. При прокаливании на воздухе 5 кг пирита получено 5,12 кг оксида серы(IV). Найдите массовую долю дисульфида железа FeS₂ в пирите. (96%.)

339. Определите число атомов углерода и кислорода в 11 г карбоната кальция, в котором имеется 9,1% примесей, не содержащих углерода и кислорода. ($6 \cdot 10^{22}$ атомов углерода; $1,8 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода.)

340. Найдите число атомов цинка и хлора в 42,5 г хлорида цинка, в котором имеется 20% примесей, не содержащих цинка и хлора. ($1,5 \cdot 10^{23}$ атомов цинка; $3 \cdot 10^{23}$ атомов хлора.)

341. Массовая доля сульфида цинка ZnS в цинковой обманке составляет 97%. Определите объём сероводорода, образующегося из 500 кг цинковой обманки. (112 м³.)

342. Известняк массой 5 кг, содержащий 40% примесей, подвергли термическому разложению. Полученный при этом газ поглощён 10%-ным раствором аммиака ($\rho = 0,957$ г/мл) с образованием кислой соли. Найдите объём раствора аммиака. (5,33 л.)

343. Для окисления некоторого количества аммиака потребовался такой объём кислорода (н.у.), который образуется при разложении 245,6 г перманганата калия, содержащего 3,5% бескислородной примеси. Определите массу аммиака, вступившего в реакцию, и объём образовавшегося азотсодержащего продукта окисления (н.у.). (17 г NH_3 ; 11,2 л N_2 .)

344. Определите количество вещества бензола, который можно получить из ацетилена, выделившегося при обработке водой 42,8 г карбида кальция с массовой долей примесей 18,4%. Практический выход бензола составляет 30%. (0,054 моль.)

345. Из карбида кальция массой 7,5 г с массовой долей примесей 4% получили ацетилен, который был превращён в альдегид по реакции Кучерова. Определите массу серебра, выделившегося при взаимодействии всего полученного альдегида с аммиачным раствором оксида серебра. (24,3 г.)

346. Из природного газа объёмом 235,8 л, содержащего 95% метана, получили ацетилен. Определите объём ацетилена, если его выход составил 60%. (67,2 л.)

347. Вычислите массу раствора с массовой долей гидроксида натрия 10%, необходимого для полной нейтрализации продукта сгорания природного газа объёмом 23,33 л (н.у.). Объёмная доля метана в природном газе составляет 96%. (800 г.)

348. Какой объём природного газа (н.у.) потребуется для получения 69 г муравьиной кислоты путём каталитического окисления метана? Объёмная доля метана в природном газе составляет 98%. (34,28 л.)

349. Образец технического карбида алюминия массой 16 г обработали избытком воды. Определите объём полученного газа (н.у.), если массовая доля примесей в карбиде составляет 10%, а выход продукта реакции равен 75%. (5,04 л.)

ЗАДАЧИ НА ВЫЧИСЛЕНИЕ МАССЫ (ОБЪЁМА) КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ

IV

Среди расчётных задач по химии наиболее распространены задачи на определение состава смеси веществ. Для успешного решения задач этого типа особое значение имеют ваши знания о химических свойствах веществ, поэтому для уточнения возникших вопросов используйте имеющуюся у вас литературу по химии.

Задачи на смеси очень разнообразны; соответственно используется и много подходов к их решению. Мы рассмотрим лишь наиболее распространённые типы этих задач.

1. Определение состава смеси, все компоненты которой взаимодействуют с указанными реагентами

Если компоненты смеси взаимодействуют с каким-либо реагентом, то для каждого компонента следует записывать отдельное уравнение реакции.

В рассматриваемых задачах удобнее всего определять содержание компонента в смеси методом решения алгебраического уравнения.

Задача 1. При растворении в соляной кислоте 11 г смеси железа и алюминия выделилось 8,96 л водорода (н. у.). Определите массу каждого металла в исходной смеси.

Дано:

$m(\text{смеси}) = 11 \text{ г}$

$V(\text{H}_2) = 8,96 \text{ л}$

Найти:

$m(\text{Al}); m(\text{Fe})$

Решение

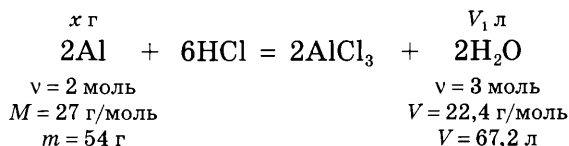
Способ 1. Составление алгебраического уравнения с одним неизвестным

Для этого массу (объём) одного вещества обозначают через x г (л), а массу (объём) второго вещества – через $(m - x)$ г (л).

1. Предположим, что $m(\text{Al})$ в смеси равна x г, тогда

$$m(\text{Fe}) = (11 - x) \text{ г}.$$

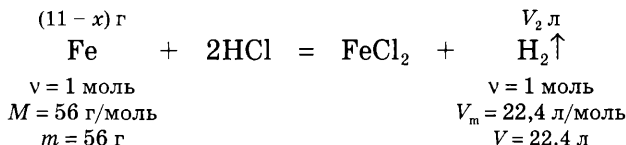
2. Вычисляем объём водорода V_1 , вытесненного из кислоты алюминием массой x г:



$$\begin{array}{l}
 54 \text{ г Al вытесняет } 67,2 \text{ л H}_2; \\
 x \text{ г Al вытесняет } V_1 \text{ л H}_2;
 \end{array}
 \Rightarrow \frac{54 \text{ г}}{x \text{ г}} = \frac{67,2 \text{ л}}{V_1};$$

$$V_1 = \frac{67,2 \text{ л} \cdot x \text{ г}}{54 \text{ г}} = \frac{67,2 x}{54} \text{ л.}$$

3. Определяем объём водорода V_2 , вытесненного из кислоты железом массой $(11 - x)$ г:



$$\begin{array}{l}
 56 \text{ г Fe вытесняет } 22,4 \text{ л H}_2; \\
 (11 - x) \text{ г Fe вытесняет } V_2 \text{ л H}_2;
 \end{array}
 \Rightarrow \frac{56 \text{ г}}{(11 - x) \text{ г}} = \frac{22,4 \text{ л}}{V_2};$$

$$V_2 = \frac{22,4 \text{ л} \cdot (11 - x) \text{ г}}{56 \text{ г}} = \frac{2(11 - x)}{5} \text{ л.}$$

4. Составляем алгебраическое уравнение с одним неизвестным и определяем значение x , т. е. $m(\text{Al})$:

$$V_1 + V_2 = 8,96 \text{ л, т.е. } \frac{67,2 x}{54} + \frac{2(11 - x)}{5} = 8,96;$$

$$336x + 1188 - 108x = 2419,2; \quad 228x = 1231,2;$$

$$x = 5,4 \text{ г.}$$

5. Определяем массу железа в смеси:

$$m(\text{Fe}) = 11 \text{ г} - 5,4 \text{ г} = 5,6 \text{ г.}$$

Способ 2. Составление системы двух алгебраических уравнений с двумя неизвестными

При использовании этого способа за неизвестное принимается количество вещества.

1. Пусть в смеси было x моль алюминия и y моль железа, тогда

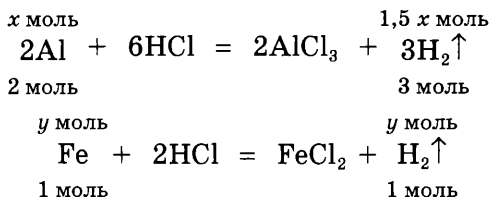
$$m(\text{Al}) = \nu(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}); \quad m(\text{Al}) = 27x \text{ (г)};$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); \quad m(\text{Fe}) = 56y \text{ (г)};$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Al}) + m(\text{Fe}) = 11 \text{ г, т. е. } 27x + 56y = 11.$$

Мы получили первое уравнение с двумя неизвестными.

2. Записываем уравнения реакций:



3. Вычисляем количество вещества водорода, который выделился в обеих реакциях (т. е. согласно условию задачи):

$$v_{\text{общ}}(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; \quad v_{\text{общ}}(\text{H}_2) = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

4. Находим количество вещества водорода, выделившегося в первой $v_1(\text{H}_2)$ и второй $v_2(\text{H}_2)$ реакциях.

Из уравнений реакций следует, что x моль алюминия вытесняет из кислоты $v_1(\text{H}_2) = \frac{3}{2}x$ моль = $1,5x$ моль водорода; а y моль железа вытесняет из кислоты $v_2(\text{H}_2) = y$ моль водорода.

$$v_{\text{общ}}(\text{H}_2) = v_1(\text{H}_2) + v_2(\text{H}_2) = 0,4 \text{ моль, т. е. } 1,5x + y = 0,4.$$

Таким образом, мы составили второе уравнение с двумя неизвестными.

5. Составляем систему из двух уравнений с двумя неизвестными, решаем любым способом и находим значения x и y :

$$\begin{cases} 27x + 56y = 11, \\ 1,5x + y = 0,4. \end{cases} \quad \text{Отсюда } x = 0,2 \text{ моль, } y = 0,1 \text{ моль.}$$

6. Находим массы металлов в смеси:

$$m(\text{Al}) = v(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}); \quad m(\text{Al}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 27 \text{ г/моль} = 5,4 \text{ г};$$

$$m(\text{Fe}) = v(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); \quad m(\text{Fe}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 5,6 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Al}) = 5,4 \text{ г}; m(\text{Fe}) = 5,6 \text{ г.}$

Возможны и другие варианты составления алгебраических уравнений и их решения.

Задача 2. При обработке 5,44 г смеси карбонатов кальция и магния соляной кислотой получили хлориды кальция и магния массой 6,1 г. Определите состав исходной и полученной смесей.

Дано:

$$m(\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3) = 5,44 \text{ г}$$

$$m(\text{CaCl}_2, \text{MgCl}_2) = 6,1 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{CaCO}_3); m(\text{MgCO}_3)$$

$$m(\text{CaCl}_2); m(\text{MgCl}_2)$$

Решение

Будем решать задачу способом составления системы уравнений.

1. Пусть в смеси было x моль карбоната кальция и y моль карбоната магния, тогда

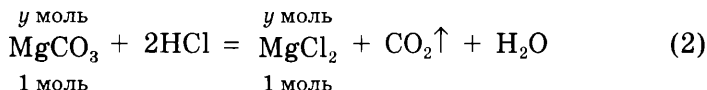
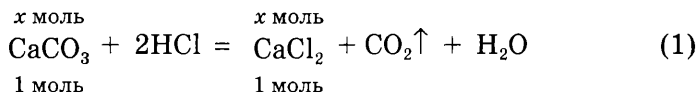
$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3); m(\text{CaCO}_3) = 100x \text{ (г)};$$

$$m(\text{MgCO}_3) = \nu(\text{MgCO}_3) \cdot M(\text{MgCO}_3); m(\text{MgCO}_3) = 84y \text{ (г)};$$

$$m(\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3) = m(\text{CaCO}_3) + m(\text{MgCO}_3) = 5,44 \text{ г},$$

$$\text{т. е. } 100x + 84y = 5,44.$$

2. Составляем уравнения реакций:



3. Находим количества веществ и массы хлоридов кальция и магния.

Из уравнения реакции (1) следует, что

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCl}_2) = x \text{ моль},$$

тогда

$$m(\text{CaCl}_2) = \nu(\text{CaCl}_2) \cdot M(\text{CaCl}_2); m(\text{CaCl}_2) = 111x \text{ (г)}.$$

Из уравнения реакции (2) следует, что

$$\nu(\text{MgCO}_3) = \nu(\text{MgCl}_2) = y \text{ моль},$$

тогда

$$m(\text{MgCl}_2) = \nu(\text{MgCl}_2) \cdot M(\text{MgCl}_2) = 95y \text{ (г)};$$

$$m(\text{CaCl}_2, \text{MgCl}_2) = m(\text{CaCl}_2) + m(\text{MgCl}_2) = 6,1 \text{ г},$$

$$\text{т. е. } 111x + 95y = 6,1.$$

4. Составляем систему из двух уравнений с двумя неизвестными и находим значения x и y :

$$\begin{cases} 100x + 84y = 5,44, \\ 111x + 95y = 6,1. \end{cases} \quad \text{Отсюда } x = 0,025 \text{ моль}; y = 0,035 \text{ моль}.$$

Следовательно, $\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCl}_2) = 0,025$ моль;

$$\nu(\text{MgCO}_3) = \nu(\text{MgCl}_2) = 0,035 \text{ моль.}$$

5. Находим $m(\text{CaCO}_3)$, $m(\text{CaCl}_2)$, $m(\text{MgCO}_3)$ и $m(\text{MgCl}_2)$:

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,025 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 2,5 \text{ г};$$

$$m(\text{CaCl}_2) = \nu(\text{CaCl}_2) \cdot M(\text{CaCl}_2);$$

$$m(\text{CaCl}_2) = 0,025 \text{ моль} \cdot 111 \text{ г/моль} = 2,775 \text{ г};$$

$$m(\text{MgCO}_3) = \nu(\text{MgCO}_3) \cdot M(\text{MgCO}_3);$$

$$m(\text{MgCO}_3) = 0,035 \text{ моль} \cdot 84 \text{ г/моль} = 2,94 \text{ г};$$

$$m(\text{MgCl}_2) = \nu(\text{MgCl}_2) \cdot M(\text{MgCl}_2);$$

$$m(\text{MgCl}_2) = 0,035 \text{ моль} \cdot 95 \text{ г/моль} = 3,325 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{CaCO}_3) = 2,5$ г; $m(\text{CaCl}_2) = 2,775$ г;

$m(\text{MgCO}_3) = 2,94$ г; $m(\text{MgCl}_2) = 3,325$ г.

Задачи для самостоятельного решения

350. При растворении в серной кислоте 10 г сплава цинка с магнием выделилось 5,75 л водорода (н. у.). Вычислите массовую долю (%) каждого металла в сплаве. (60% Zn; 40% Mg.)

351. При разложении 7,1 г смеси карбонатов кальция и магния выделилось 3,3 г оксида углерода(IV). Определите массу каждой соли в смеси. (5 г CaCO_3 ; 2,1 г MgCO_3 .)

352. При сжигании 68 г смеси водорода и оксида углерода(II) израсходован кислород объёмом 89,6 л (н. у.). Определите объёмную долю каждого газа в смеси. (75% H_2 ; 25% CO .)

353. На нейтрализацию 10,8 г смеси муравьиной и уксусной кислот израсходовали гидроксид натрия массой 8 г. Определите массы кислот в смеси. (3,94 г НСООН ; 6,86 г CH_3COOH .)

354. Для полного сжигания 17,92 л (н. у.) смеси метана и водорода потребовался 1 моль кислорода. Определите, в каком объёмном отношении взяты метан и водород. (1 : 1.)

355. При сжигании 2 г смеси серы и углерода (угля) образовалось 6 г смеси сернистого и углекислого газов. Вычис-

лите массы серы и угля в исходной смеси. (0,8 г серы; 1,2 г угля.)

356. При разложении 273,4 г смеси бертолетовой соли и перманганата калия образовался кислород объемом 49,28 л (н. у.). Определите массу каждой соли в смеси. (147 г KClO_3 ; 126,4 г KMnO_4 .)

357. При разложении 4,84 г смеси гидрокарбонатов натрия и калия образовался оксид углерода(IV) объемом 0,56 л (н. у.). Определите массы солей во взятой и полученной смесях. (4 г KHCO_3 ; 0,84 г NaHCO_3 ; 2,76 г K_2CO_3 ; 0,53 г Na_2CO_3 .)

358. При обработке 15,32 г смеси хлоридов калия и натрия избытком концентрированной серной кислоты получили хлороводород количеством вещества 0,24 моль. Определите содержание хлоридов калия и натрия в смеси. (9,36 г NaCl ; 5,96 г KCl .)

359. При растворении в воде 7,7 г сплава натрия с калием выделилось 3,36 л водорода (н. у.). Вычислите массовую долю (%) каждого металла в сплаве. (25,33% K; 74,67% Na.)

360. При растворении в серной кислоте 3 г сплава магния с алюминием получили 17,4 г смеси сульфатов магния и алюминия. Вычислите массовую долю (%) каждого металла в сплаве. (40% Mg; 60% Al.)

361. При растворении в азотной кислоте 6 г сплава меди с серебром получили 14,68 г смеси нитратов меди(II) и серебра. Вычислите массовую долю (%) каждого металла в сплаве. (64% Cu; 36% Ag.)

362. При обработке водой 29,8 г смеси супероксида калия и пероксида натрия образовался 1 л раствора гидроксидов калия и натрия и выделилось 5,6 л кислорода (н. у.). Вычислите массы супероксида калия и пероксида натрия в исходной смеси и молярные концентрации щелочей в образовавшемся растворе. (14,2 г K_2O_4 ; 15,6 г Na_2O_2 ; 0,2 М KOH; 0,4 М NaOH.)

363. При действии воды на 27,2 г смеси карбидов кальция и алюминия получили 11,2 л смеси ацетилена и метана (н. у.). Определите массы карбидов в смеси. (14,4 г Al_4C_3 ; 12,8 г CaC_2 .)

364. Какой объем кислорода необходим для полного сгорания 3 л смеси метана и этана, если плотность смеси по воздуху равна 0,6? (6,45 л.)

365. При каталитическом гидрировании 19,3 г смеси уксусного и пропионового альдегидов затрачен водород объемом 8,06 л (н. у.). Определите массовую долю (%) этанала в смеси. (28%.)

366. К смеси муравьиной и уксусной кислот массой 24,4 г прибавили 227,3 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 10% ($\rho = 1,1$ г/мл). Для поглощения избытка щёлочи с образованием кислой соли потребовалось 2,8 л (н. у.) оксида серы(IV). Определите массы кислот в исходной смеси. (18,4 г HCOOH ; 6 г CH_3COOH .)

367. Определите массы метилового и этилового спиртов в смеси, если известно, что при действии натрия на 11 г смеси выделился водород, который полностью прореагировал с этиленом объемом 3,36 л (н. у.). (6,4 г CH_3OH ; 4,6 г $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.)

368. Смесь этена и бутина-2 может присоединить максимум 96 г брома, а при полном сгорании в кислороде смеси углеводородов такого же количества вещества образуется 18 г воды. Определите объёмный состав смеси. (50% этена; 50% бутина-2.)

369. Смесь метанола с этанолом массой 14,2 г сожгли. Образовавшийся оксид углерода(IV) пропустили через раствор гидроксида кальция, получив 50 г осадка. Рассчитайте массовую долю (%) метанола в исходной смеси. (67,61%.)

370. При нагревании 28,75 мл этанола ($\rho = 0,80$ г/мл) со смесью муравьиной и уксусной кислот в присутствии серной кислоты образовалось 41,2 г смеси сложных эфиров. Определите массы образовавшихся эфиров, считая, что спирт прореагировал полностью. (14,8 г этилформиата; 26,4 г этилacetата.)

371. На нейтрализацию раствора, содержащего 41,8 г смеси уксусной, аминоксусной и 2-аминопропановой кислот, понадобилось 300 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 7,2%. При взаимодействии исходной смеси такой же массы с хлороводородом образовалось 51,86 г смеси солей. Определите массы кислот в исходной смеси. (6 г CH_3COOH ; 18 г $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$; 17,8 г $\text{NH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}$.)

372. Натрий массой 12 г поместили в этанол объемом 23 мл ($\rho = 0,8$ г/мл). Массовая доля воды в этаноле составляет 5%. Определите объём водорода (н. у.), выделившегося при этом. (4,84 л.)

2. Определение состава смеси, компоненты которой выборочно взаимодействуют с указанными реагентами

Задача 1. Вычислите массу меди, железа и алюминия в смеси, если при действии на смесь массой 13 г раствором гидроксид-да натрия выделился газ объёмом 6,72 л, а при действии соляной кислотой без доступа воздуха – газ объёмом 8,96 л (н. у.).

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 13 \text{ г}$$

$$V_1(\text{H}_2) = 6,72 \text{ л}$$

$$V(\text{H}_2) = 8,96 \text{ л}$$

Найти:

$$m(\text{Cu}); m(\text{Fe}); m(\text{Al})$$

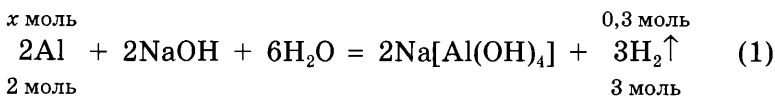
Решение

Из трёх данных металлов (Cu, Fe, Al) только алюминий взаимодействует с раствором щёлочи. Следовательно, по объёму газа (6,72 л) можно вычислить массу алюминия в смеси.

1. Определяем количество вещества водорода, выделившегося в реакции с алюминием:

$$v_1(\text{H}_2) = \frac{V_1(\text{H}_2)}{V_m}; \quad v_1(\text{H}_2) = \frac{6,72 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

2. Находим массу алюминия.



$$v(\text{Al}) : v_1(\text{H}_2) = 2 : 3 \text{ (по уравнению реакции (1))}$$

$$\Rightarrow v(\text{Al}) = \frac{2v_1(\text{H}_2)}{3_m}; \quad v(\text{Al}) = \frac{2 \cdot 0,3 \text{ моль}}{3} = 0,2 \text{ моль};$$

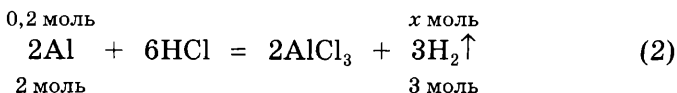
$$m(\text{Al}) = v(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}); \quad m(\text{Al}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 27 \text{ г/моль} = 5,4 \text{ г.}$$

3. Из данных металлов с соляной кислотой реагируют железо и алюминий, поэтому можно вычислить объём газа, который выделяется при взаимодействии с кислотой алюминия количеством вещества 0,2 моль, а затем – по оставшемуся объёму газа – массу железа в смеси.

Определяем суммарное количество вещества водорода, выделившегося при действии на смесь соляной кислотой:

$$v(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; \quad v(\text{H}_2) = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

Теперь вычислим количество вещества водорода, образовавшегося в результате реакции кислоты с алюминием:



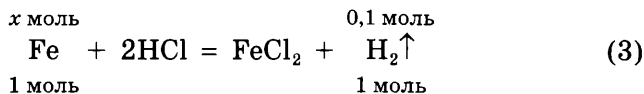
Из уравнения реакции (2) следует, что

$$\nu(\text{Al}) : \nu_2(\text{H}_2) = 2 : 3 \\ \Rightarrow \nu_2(\text{H}_2) = \frac{3\nu(\text{Al})}{2}; \quad \nu_2(\text{H}_2) = \frac{3 \cdot 0,2 \text{ моль}}{2} = 0,3 \text{ моль}.$$

4. Находим количество вещества оставшегося водорода:

$$\nu_3(\text{H}_2) = 0,4 \text{ моль} - 0,3 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

5. Определяем массу железа в смеси:



Из уравнения реакции (3) следует, что

$$\nu(\text{Fe}) : \nu_3(\text{H}_2) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{Fe}) = \nu_3(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); \quad m(\text{Fe}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 5,6 \text{ г}.$$

6. Вычисляем массу меди в смеси:

$$m(\text{Cu}) = m(\text{смеси}) - (m(\text{Al}) + m(\text{Fe}));$$

$$m(\text{Cu}) = 13 \text{ г} - (5,4 \text{ г} + 5,6 \text{ г}) = 2 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Cu}) = 2 \text{ г}; m(\text{Fe}) = 5,6 \text{ г}; m(\text{Al}) = 5,4 \text{ г}.$

Задача 2. При обработке натрием раствора фенола в этаноле выделился водород объёмом 8,96 л (н. у.). При действии на раствор такой же массы бромной водой выпал осадок массой 19,86 г. Вычислите массовую долю (%) этанола в растворе.

Дано:

$$V(\text{H}_2) = 8,96 \text{ л}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}_3\text{OH}) = 19,86 \text{ г}$$

Найти:

$$w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$$

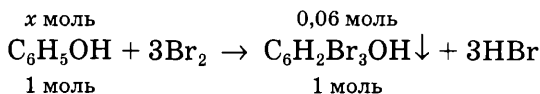
Решение

1. Определяем количество вещества трибромфенола $\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}$:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH})}{M(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH})};$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = \frac{19,86 \text{ г}}{331 \text{ г/моль}} = 0,06 \text{ моль}.$$

2. С бромной водой взаимодействует только фенол, поэтому можно определить массу фенола в смеси.



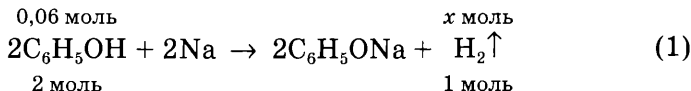
Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = 0,06 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH});$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,06 \text{ моль} \cdot 94 \text{ г/моль} = 5,64 \text{ г}.$$

3. Определяем объём водорода, выделившегося при действии натрия на фенол:



$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) : \nu_1(\text{H}_2) = 2 : 1 \text{ (по уравнению реакции (1))}$$

$$\Rightarrow \nu_1(\text{H}_2) = \frac{\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{2}; \quad \nu_1(\text{H}_2) = \frac{0,06 \text{ моль}}{2} = 0,03 \text{ моль};$$

$$V_1(\text{H}_2) = 0,03 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,67 \text{ л}.$$

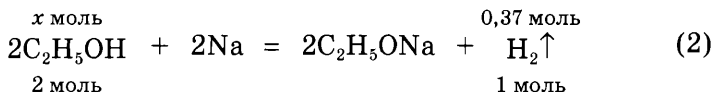
4. Находим количество вещества водорода, выделившегося при взаимодействии натрия с этанолом:

$$V_2(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) - V_1(\text{H}_2);$$

$$V_2(\text{H}_2) = 8,96 \text{ л} - 0,67 \text{ л} = 8,29 \text{ л};$$

$$\nu_2(\text{H}_2) = \frac{V_2(\text{H}_2)}{V_m}; \quad \nu_2(\text{H}_2) = \frac{8,29 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,37 \text{ моль}.$$

5. Вычисляем массу спирта.



$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : \nu_2(\text{H}_2) = 2 : 1 \text{ (по уравнению реакции (2))}$$

$$\Rightarrow \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2\nu_2(\text{H}_2); \quad \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2 \cdot 0,37 \text{ моль} = 0,74 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH});$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,74 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 34 \text{ г}.$$

6. Определяем массу смеси и массовую долю спирта:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) + m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH});$$

$$m(\text{смеси}) = 5,64 \text{ г} + 34 \text{ г} = 39,64 \text{ г};$$

$$w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{m(\text{смеси})}; \quad w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{34 \text{ г}}{39,64 \text{ г}} = 0,86, \text{ или } 86\%.$$

Ответ: $w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,86$, или 86%.

Задачи для самостоятельного решения

373. Смесь магниевых и медных опилок массой 1,5 г обработали избытком соляной кислоты. В результате реакции выделился водород объёмом 560 мл (н. у.). Определите массовую долю меди в смеси. (60%.)

374. Оксид бария, содержащий в качестве примеси 10,48% карбоната бария, обработали избытком раствора азотной кислоты. При этом выделилось 1,12 л газа (н. у.). Определите массу взятой смеси и массу азотной кислоты, прореагировавшей со смесью. (94 г смеси; 75,6 г HNO_3 .)

375. Смесь кремния и угля массой 20 г обработали избытком концентрированного раствора щёлочи. В результате реакции выделился водород объёмом 13,44 л (н. у.). Определите массовую долю кремния в исходной смеси. (42%.)

376. Для определения массовой доли оксида кальция в смеси его с карбонатом кальция образец смеси массой 0,8 г обработали избытком соляной кислоты. В результате выделился газ объёмом 112 мл (н. у.). Определите массовую долю оксида кальция в смеси. (37,5%.)

377. Смесь меди и оксида меди(II) массой 61,95 г обработали концентрированной серной кислотой. В результате реакции выделился газ объёмом 8,673 л (н. у.). Определите массовую долю оксида меди(II) в смеси. (60%.)

378. Смесь массой 46,10 г состоит из кремния, меди и железа. При её обработке гидроксидом натрия выделился газ объёмом 10,08 л (н. у.). При обработке смеси такой же массы избытком соляной кислоты выделился газ объёмом 6,72 л. Вычислите массовую долю меди в смеси. (50%.)

379. На сплав цинка с магнием массой 20 г действовали избытком раствора щёлочи. При этом выделилось 5,6 л водорода (н. у.). Определите массовую долю магния в сплаве. (18,75%.)

380. Смесь меди с оксидом меди(II), массовая доля меди в которой составляет 50%, обработали разбавленной азотной кислотой. При реакции выделился газ объёмом 4,48 л (н. у.). Определите массу взятой смеси. (38,4 г.)

381. Имеется смесь магния, алюминия и железа массой 8,9 г. После обработки смеси избытком концентрированного раствора азотной кислоты на холоде масса твёрдого остатка составила 4,1 г. Остаток обработали концентрированным

раствором щёлочи, в котором не растворилась часть смеси массой 1,4 г. Определите массовые доли металлов в смеси. (53,93% Mg; 30,34% Al; 15,73% Fe.)

382. Имеется смесь порошков металлов: никеля, цинка и серебра. Часть этой смеси массой 4,58 г обработали концентрированным раствором щёлочи, получив газ объёмом 224 мл (н. у.). Другую часть той же смеси массой 11,45 г обработали разбавленной серной кислотой. При этом выделился газ, занимающий объём 2,24 л (н. у.). Определите массовые доли металлов в смеси. (38,65% Ni; 14,19% Zn; 47,16% Ag.)

383. При растворении в разбавленной азотной кислоте сплава меди, железа и золота массой 2,5 г образовались оксид азота(II) объёмом 672 мл (н. у.) и 0,02 г нерастворившегося остатка. Определите массовые доли металлов в смеси. (22,4% Fe; 76,8% Cu; 0,8% Au.)

384. При хлорировании смеси меди, железа и алюминия израсходован хлор объёмом 8,96 л (н. у.). На взаимодействие с такой же навеской смеси затрачен раствор, содержащий 18,25 г хлороводорода, при действии на такую же навеску раствора щёлочи израсходован гидроксид натрия массой 2 г. Определите массовую долю (%) меди в смеси. (26,4%.)

385. Смесь сульфата, нитрата и хлорида натрия массой 34,4 г растворили в воде. При добавлении к раствору избытка нитрата бария выпал осадок массой 23,3 г. Осадок отделили и к фильтрату (оставшийся раствор) прилили раствор нитрата серебра. При этом выпал осадок массой 28,7 г. Определите массы солей в исходной смеси. (14,2 г Na_2SO_4 ; 11,7 г NaCl; 8,5 г NaNO_3 .)

386. При последовательном пропускании смеси азота, оксида углерода(II) и оксида углерода(IV) объёмом 10 л (н. у.) через избыток известковой воды и затем над нагретым оксидом меди(II) выпадает 10 г осадка и образуется 6,35 г меди. Определите объёмную долю каждого газа в смеси. (22,4% CO; 55,2% N_2 ; 22,4% CO_2 .)

387. Если прокалить смесь гидрокарбонатов аммония, натрия и кальция массой 48,8 г до постоянной массы, то образуется твёрдый остаток массой 16,2 г. При обработке последнего соляной кислотой выделяется газ объёмом 2,24 л (н. у.). Определите массы солей в исходной смеси. (15,8 г NH_4HCO_3 ; 16,2 г $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; 16,8 г NaHCO_3 .)

388. При сгорании смеси силана SiH_4 и метана CH_4 выделяется газ и образуется твёрдый продукт реакции массой 6 г. Полученный газ пропустили через избыток раствора гидроксида натрия, при этом образовалось соединение массой 31,8 г. Определите объёмы (н. у.) силана и метана в исходной смеси, а также кислорода, израсходованного при горении газов. (6,72 л CH_4 ; 2,24 л SiH_4 ; 17,92 л O_2 .)

389. В воде объёмом 46,52 мл растворили 3,48 г смеси нитрата меди(II) и сульфата меди(II). При добавлении к полученному раствору избытка раствора хлорида бария выпал белый осадок массой 2,33 г. Определите массовую долю (%) каждой из солей в первоначальном растворе. (3,2% CuSO_4 ; 3,76% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.)

390. На 16 г смеси меди и алюминия, в которой массовая доля меди равна 80%, подействовали избытком концентрированной азотной кислоты. Вычислите объём (н. у.) полученного при этом газа, если выход его составил 90%. (~ 8 л.)

391. Смесь кремния, цинка и железа массой 14,9 г обработали раствором гидроксида натрия, при этом выделилось 6,72 л газа (н. у.). При действии на смесь такой же массы избытка соляной кислоты выделяется 4,48 л газа (н. у.). Определите массы кремния, цинка и железа в исходной смеси. (2,8 г Si; 6,5 г Zn; 5,6 г Fe.)

392. Смесь магния и карбоната магния обработали соляной кислотой, при этом получили 22,4 л (н. у.) смеси газов. После сжигания её на воздухе и последующей осушки оставшийся объём газа равен 8,96 л (н. у.). Найдите массовую долю (%) металла в исходной смеси. (30%.)

393. При обработке 15,5 г смеси гидроксида, карбоната и сульфата кальция соляной кислотой выделилось 1,12 л газа (н. у.) и осталось 6,80 г нерастворившегося остатка. Рассчитайте массовую долю (%) гидроксида кальция в исходной смеси. (23,9%.)

394. Смесь хлоридов алюминия и хрома(III) массой 317 г обработали сначала избытком раствора гидроксида калия, а затем – избытком хлорной воды. К полученному раствору прилили раствор нитрата бария до полного осаждения 126,5 г жёлтого осадка. Определите массовую долю (%) хлорида алюминия в исходной смеси. (75%.)

395. Смесь метана и этилена объёмом 400 мл (н.у.) обесцветила бромную воду массой 40 г с массовой долей брома 3,2%. Определите объёмную долю этилена в смеси. (44,8%.)

396. При пропускании смеси этана и ацетиленов через склянку с бромной водой масса склянки увеличилась на 2,6 г, при полном сгорании смеси такой же массы выделился оксид углерода(IV) объёмом 28 л (н.у.). Вычислите объём взятой смеси. (14 л.)

397. На нейтрализацию смеси муравьиной и уксусной кислот затрачен раствор массой 200 г с массовой долей гидроксида калия 11,2%. При действии на смесь такой же массы аммиачным раствором оксида серебра выделилось серебро массой 21,6 г. Определите массовую долю (%) уксусной кислоты в смеси. (79,6%.)

398. Через смесь бензола, фенола и анилина массой 20 г пропустили хлороводород. При этом выпал осадок массой 2,59 г. При нейтрализации смеси такой же массы затрачен раствор массой 10 г с массовой долей гидроксида натрия 20%. Какова массовая доля (%) бензола в смеси? (67,2%.)

399. На смесь массой 10 г, содержащую анилин, аминокислоту и уксусную кислоты, действовали бромной водой. При этом выпал осадок массой 1,1 г. На реакцию со смесью такой же массы израсходован хлороводород объёмом 2,24 л (н.у.). Определите массовую долю (%) уксусной кислоты в смеси. (24,4%.)

400. Уксусная кислота содержит примеси уксусного альдегида и этанола. При обработке образца кислоты массой 8 г избытком аммиачного раствора оксида серебра образовался металлический осадок массой 5,4 г. На нейтрализацию такого же образца кислоты потребовался раствор объёмом 10,26 мл с массовой долей гидроксида натрия 30% и плотностью 1,3 г/мл. Определите массовые доли примесей в кислоте. (11,25% C_2H_5OH ; 13,75% CH_3CHO .)

401. При гидрогенизации бензола получена смесь циклогексана и циклогексена, которая обесцвечивает 32 г 10%-ного раствора брома в тетрахлорметане. Вычислите состав смеси (%), если известно, что равное исходному количество вещества бензола полностью реагирует при освещении с хлором, полученным при действии соляной кислоты на 26,1 г оксида марганца(IV). (80% C_6H_{12} ; 20% C_6H_{10} .)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СХЕМ

V

Встречаются задачи, в которых описаны процессы, протекающие в несколько стадий. В таких случаях для расчётов требуется записать несколько уравнений реакций. Использование закона стехиометрии позволяет при решении таких задач не производить расчёты для промежуточных стадий.

Задача 1. Вычислите массу серного колчедана, необходимого для получения 100%-ной серной кислоты массой 1 кг.

Дано:

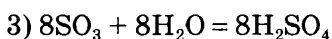
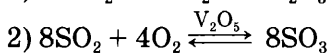
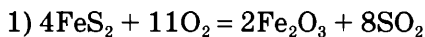
$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ кг}$$

Найти:

$$m(\text{FeS}_2)$$

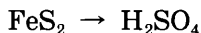
Решение

Получение серной кислоты из FeS_2 протекает в три стадии:

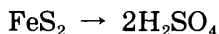


Для решения данной задачи достаточно знать отношение количества исходного вещества FeS_2 к количеству вещества конечного продукта H_2SO_4 . Следовательно, расчёты для промежуточных стадий не нужны, получение серной кислоты можно представить в виде *стехиометрической схемы*, и все расчёты проводить по этой схеме.

1. Записываем формулы исходного и конечного веществ:



2. Сравниваем количество вещества атомов серы: число атомов серы в молекуле серной кислоты в 2 раза меньше, чем в серном колчедане, поэтому:

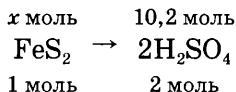


Следовательно, из 1 моль колчедана образуется 2 моль серной кислоты.

3. Находим количество вещества серной кислоты:

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}; \quad \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1000 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 10,2 \text{ моль.}$$

4. Определяем количество вещества серного колчедана:



Из стехиометрической схемы следует, что

$$\nu(\text{FeS}_2) : \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 : 2$$

$$\Rightarrow \nu(\text{FeS}_2) = \frac{\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)}{2}; \quad \nu(\text{FeS}_2) = \frac{10,2 \text{ моль}}{2} = 5,1 \text{ моль}.$$

5. Определяем массу серного колчедана:

$$m(\text{FeS}_2) = \nu(\text{FeS}_2) \cdot M(\text{FeS}_2);$$

$$m(\text{FeS}_2) = 5,1 \text{ моль} \cdot 120 \text{ г/моль} = 612 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{FeS}_2) = 612 \text{ г}$.

Задача 2. Рассчитайте массу ледяной уксусной кислоты, полученной из 100 г карбида кальция, в котором массовая доля примесей равна 4%.

Дано:

$$m(\text{CaC}_{2\text{техн}}) = 100 \text{ г}$$

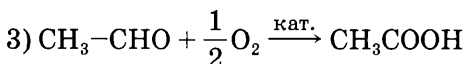
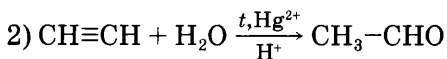
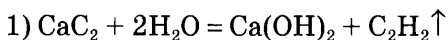
$$w(\text{прим.}) = 0,04$$

Найти:

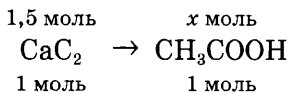
$$m(\text{CH}_3\text{COOH})$$

Решение

Получение уксусной кислоты из карбида кальция включает три стадии:



1. Составляем стехиометрическую схему получения уксусной кислоты:



2. Находим массовую долю и массу чистого карбида кальция:

$$w(\text{CaC}_2) = 1 - 0,04 = 0,96;$$

$$m(\text{CaC}_2) = m(\text{CaC}_{2\text{техн}}) \cdot w(\text{CaC}_2);$$

$$m(\text{CaC}_2) = 100 \text{ г} \cdot 0,96 = 96 \text{ г}.$$

3. Находим количество вещества карбида кальция:

$$\nu(\text{CaC}_2) = \frac{m(\text{CaC}_2)}{M(\text{CaC}_2)}; \quad \nu(\text{CaC}_2) = \frac{96 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 1,5 \text{ моль}.$$

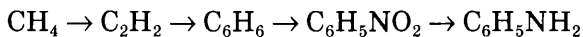
4. Определяем массу уксусной кислоты.

Из стехиометрической схемы следует, что

$$\begin{aligned} \nu(\text{CaC}_2) &= \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,5 \text{ моль} \\ \Rightarrow m(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 1,5 \text{ моль} \cdot 60 \text{ г/моль} = 90 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 90 \text{ г.}$

Задача 3. В результате превращений



получили 46,5 г анилина. Рассчитайте объём (н. у.) затраченного метана.

Дано:

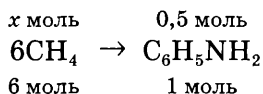
$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 46,5 \text{ г}$$

Найти:

$$V(\text{CH}_4)$$

Решение

1. Составляем стехиометрическую схему получения анилина:



2. Определяем количество вещества анилина:

$$\begin{aligned} \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) &= \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}; \\ \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) &= \frac{46,5 \text{ г}}{93 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль.} \end{aligned}$$

3. Находим количество вещества и объём затраченного метана.

Из стехиометрической схемы следует, что

$$\begin{aligned} \nu(\text{CH}_4) : \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) &= 6 : 1 \Rightarrow \nu(\text{CH}_4) = 6 \cdot 0,5 \text{ моль} = 3 \text{ моль}; \\ V(\text{CH}_4) &= \nu(\text{CH}_4) \cdot V_m; \end{aligned}$$

$$V(\text{CH}_4) = 3 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 67,2 \text{ л.}$$

Ответ: $V(\text{CH}_4) = 67,2 \text{ л.}$

Задачи для самостоятельного решения

402. Из 320 т серного колчедана, содержащего 45% серы, было получено 405 т серной кислоты. Вычислите выход кислоты. (92%.)

403. Вычислите массу серной кислоты, полученной при обжиге 15 кг пирита, в котором массовая доля примесей равна 20%. (19,6 кг.)

404. Цинковую обманку ZnS массой 97 г подвергли обжигу, получившийся газ окислили и продукт окисления растворили в 120 мл воды. Определите массовую долю вещества в полученном растворе. (49%.)

405. Определите массу 55%-ной азотной кислоты, которая получится из 1 т аммиака, если выход продукта окисления в контактном аппарате достигает 98%, а выход кислоты – 94%. (6,2 т.)

406. Определите массу аммиака, необходимого для получения 5 т 60%-ной азотной кислоты, считая, что потери аммиака в производстве составляют 2,8%. (0,832 т.)

407. Из азота объёмом 67,2 л и водорода объёмом 224 л образовался аммиак (н.у.). Используя этот аммиак, получили раствор объёмом 400 мл с массовой долей азотной кислоты 40% и плотностью 1,25 г/мл. Определите выход продукта реакции. (52,9%.)

408. Аммиак объёмом 7,84 л (н.у.) подвергли каталитическому окислению и дальнейшему превращению в азотную кислоту. В результате получили раствор массой 200 г. Считая выход кислоты равным 40%, определите её массовую долю в растворе. (4,41%.)

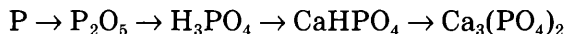
409. Вычислите массу раствора с массовой долей серной кислоты 70%, который можно получить из 200 кг пирита, содержащего FeS_2 и посторонние примеси. Массовая доля примесей в пирите составляет 10%, а выход серной кислоты – 80%. (336 кг.)

410. Вычислите массу ацетальдегида, который можно получить из 500 кг технического карбида кальция с массовой долей примесей 10,4%, если выход альдегида составляет 75%. (231 кг.)

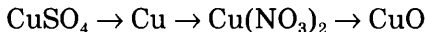
411. Найдите объём природного газа (массовая доля метана составляет 90%), необходимого для получения 14,88 г анилина, практический выход которого составляет 80%. (36 л.)

412. Определите объём раствора с массовой долей гидроксида натрия 10% ($\rho = 1,1$ г/мл), который потребуется для нейтрализации аминокислоты, полученной из 6,4 г карбида кальция. (36,36 мл.)

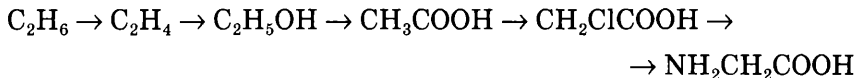
413. Из ацетиленов объёмом 49,28 л (н.у.) получили 104,5 г хлоруксусной кислоты. Вычислите выход продукта реакции. (50,3%.)

414. В результате превращений

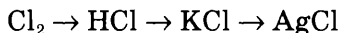
получили 62 г фосфата кальция. Рассчитайте объём кислорода (н. у.) и массу фосфора, вступивших в реакцию. (11,2 л O_2 ; 12,4 г P.)

415. В результате превращений

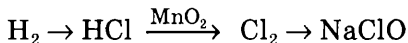
получили 20 г оксида меди(II). Рассчитайте массу израсходованного раствора с массовой долей сульфата меди(II) 20%. (200 г.)

416. На основе схемы превращений

рассчитайте массу аминокислоты, которую можно получить из 60 г этана, если выход конечного продукта составляет 90%. (135 г.)

417. В результате превращений

получили 37,31 г хлорида серебра, причём выход его составил 65%. Вычислите массу хлора, вступившего в реакцию. (14,2 г.)

418. На основе схемы превращений

рассчитайте массу и объём водорода, который необходимо затратить, чтобы получить 300 г раствора гипохлорита натрия с массовой долей 1,49%. (0,24 г; 2,7 л.)

VI

Молекулярную формулу вещества можно вывести несколькими способами:

- 1) по массовым долям элементов;
- 2) по молярной массе вещества и массовым долям элементов;
- 3) по молярной массе вещества и массе (объёму или количеству вещества) продуктов сгорания (этот способ применим для горючих веществ) или разложения;
- 4) на основе общей формулы гомологического ряда органических соединений.

1. Вывод простейшей формулы вещества по массовым долям элементов

Алгоритм решения задач этого типа

1. Массу вещества принять за 100 г и вычислить массы атомов элементов, входящих в его состав.
2. Рассчитать количество вещества атомов элементов.
3. Найти соотношение между количествами веществ атомов элементов.
Если это соотношение *дробное*, то для перехода к целочисленному соотношению надо разделить все полученные числа на наименьшее.
4. На основании целочисленного соотношения записать простейшую формулу вещества.

Задача 1. Массовые доли железа, кислорода и водорода в гидроксиде железа равны соответственно 62,22; 35,56 и 2,22%. Установите простейшую формулу этого гидроксида.

Дано:

$$w(\text{Fe}) = 0,6222$$

$$w(\text{O}) = 0,3556$$

$$w(\text{H}) = 0,0222$$

Найти:



Решение

1. Предположим, что имеем 100 г гидроксида железа, и вычислим массы железа, кислорода и водорода:

$$m(\text{Fe}) = m(\text{Fe}(\text{OH})_x) \cdot w(\text{Fe});$$

$$m(\text{Fe}) = 100 \text{ г} \cdot 0,6222 = 62,22 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Fe}(\text{OH})_x) \cdot w(\text{O});$$

$$m(\text{O}) = 100 \text{ г} \cdot 0,3556 = 35,56 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = m(\text{Fe}(\text{OH})_x) \cdot w(\text{H}); m(\text{H}) = 100 \text{ г} \cdot 0,0222 = 2,22 \text{ г}.$$

2. Рассчитываем количество вещества атомов железа, кислорода и водорода:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})}; \nu(\text{Fe}) = \frac{62,22 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 1,11 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \nu(\text{O}) = \frac{35,56 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 2,22 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; \nu(\text{H}) = \frac{2,22 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 2,22 \text{ моль}.$$

3. Находим соотношение между количествами веществ атомов железа, кислорода и водорода:

$$\nu(\text{Fe}) : \nu(\text{O}) : \nu(\text{H}) = 1,11 : 2,22 : 2,22.$$

Находим целочисленное соотношение:

$$\nu(\text{Fe}) : \nu(\text{O}) : \nu(\text{H}) = \frac{1,11}{1,11} : \frac{2,22}{1,11} : \frac{2,22}{1,11} = 1 : 2 : 2.$$

4. Записываем формулу гидроксида железа. На 1 атом железа приходится 2 атома кислорода и 2 атома водорода, формула гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

Ответ: $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

В задачах на определение простейшей формулы вещества по массовым долям (массам) элементов большое значение имеет приведение дробных соотношений между количествами веществ атомов к целочисленным. При этом, если отличия чисел не велики, округляют обычно с точностью до второго знака после запятой.

Задача 2. Массовые доли углерода, водорода и кислорода в некоторой двухосновной кислоте равны соответственно 34,6; 3,9; 61,5%. Определите простейшую и структурную формулы кислоты.

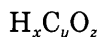
Дано:

$$w(\text{C}) = 0,346$$

$$w(\text{H}) = 0,039$$

$$w(\text{O}) = 0,615$$

Найти:



Решение

1. Для расчётов примем массу кислоты $\text{H}_x\text{C}_y\text{O}_z$ за 100 г и найдём массы углерода, водорода и кислорода:

$$m(\text{C}) = 100 \text{ г} \cdot 0,346 = 34,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = 100 \text{ г} \cdot 0,039 = 3,9 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = 100 \text{ г} \cdot 0,615 = 61,5 \text{ г}.$$

2. Находим количество вещества атомов углерода, водорода и кислорода:

$$\nu(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}; \quad \nu(\text{C}) = \frac{34,6 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 2,88 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; \quad \nu(\text{H}) = \frac{3,9 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 3,9 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad \nu(\text{O}) = \frac{61,5 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3,84 \text{ моль}.$$

3. Находим соотношение между количествами веществ атомов углерода, водорода и кислорода:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = 2,88 : 3,9 : 3,84.$$

Переходим к целочисленному соотношению:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = \frac{2,88}{2,88} : \frac{3,9}{2,88} : \frac{3,84}{2,88} = 1 : 1,35 : 1,33.$$

При этом округлять 1,35 или 1,33 до целочисленных значений нельзя.

Для перехода к целочисленному соотношению подбирают множитель, при умножении на который каждого числа в правой части равенства получаются числа, близкие к целым. В данном случае нужно умножить на 3:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = 3 : 4 : 4.$$

4. Составляем формулы: простейшая формула кислоты $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$, структурная формула $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.

Ответ: $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$, $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.

Иногда в задачах такого типа даны не массовые доли элементов, а их массы или массовые отношения. Метод решения этих задач принципиально не отличается от рассмотренного выше.

Задача 3. В оксиде серы массы серы и кислорода относятся как 2 : 3. Определите простейшую формулу оксида серы.

Дано:

$$m(\text{S}) : m(\text{O}) = 2 : 3$$

Найти:



Решение

Можно взять для расчётов любые массы серы и кислорода, отвечающие отношению 2 : 3 (2 г и 3 г; 4 г и 6 г; 20 г и 30 г и т. д.).

1. Предположим, что масса серы равна 20 г, а кислорода – 30 г.

2. Находим количество вещества атомов серы и кислорода:

$$\nu(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})}; \quad \nu(\text{S}) = \frac{20 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 0,625 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad \nu(\text{O}) = \frac{30 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 1,875 \text{ моль}.$$

3. Находим целочисленное соотношение между этими числами и записываем формулу оксида серы:

$$\nu(\text{S}) : \nu(\text{O}) = \frac{0,625}{0,625} : \frac{1,875}{0,625} = 1 : 3.$$

Следовательно, простейшая формула оксида серы SO_3 .

Ответ: SO_3 .

К подобным задачам можно отнести и такие, в которых требуется определить элемент, входящий в состав вещества.

Задача 4. Установите формулу соединения, содержащего 20,00% магния, 53,33% кислорода и 26,67% некоторого элемента.

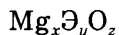
Дано:

$$w(\text{Mg}) = 0,20$$

$$w(\text{O}) = 0,5333$$

$$w(\text{Э}) = 0,2667$$

Найти:



Решение

1. Предположим, что имеем 100 г соединения, и найдём массы магния и кислорода:

$$m(\text{Mg}) = m(\text{Mg}_x\text{Э}_y\text{O}_z) \cdot w(\text{Mg});$$

$$m(\text{Mg}) = 100 \text{ г} \cdot 0,20 = 20 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Mg}_x\text{Э}_y\text{O}_z) \cdot w(\text{O});$$

$$m(\text{O}) = 100 \text{ г} \cdot 0,5333 = 53,33 \text{ г}.$$

2. Рассчитываем количество вещества атомов магния и кислорода:

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})}; \quad \nu(\text{Mg}) = \frac{20 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,83 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad \nu(\text{O}) = \frac{53,33 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3,33 \text{ моль}.$$

3. Находим целочисленное соотношение между количествами веществ атомов магния и кислорода и записываем формулу соединения в общем виде:

$$\nu(\text{Mg}) : \nu(\text{O}) = \frac{0,83}{0,83} : \frac{3,33}{0,83} = 1 : 4;$$

$\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4$ – общая формула соединения.

4. Вычисляем молярную массу соединения, исходя из значения массовой доли магния:

$$w(\text{Mg}) = \frac{M(\text{Mg})}{M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4)} \Rightarrow M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4) = \frac{M(\text{Mg})}{w(\text{Mg})};$$

$$M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4) = \frac{24 \text{ г/моль}}{0,20} = 120 \text{ г/моль}$$

или кислорода:

$$w(\text{O}) = \frac{4M(\text{O})}{M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4)} \Rightarrow M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4) = \frac{4M(\text{O})}{w(\text{O})};$$

$$M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4) = \frac{4 \cdot 16 \text{ г/моль}}{0,5333} = 120 \text{ г/моль}.$$

5. Определяем молярную массу неизвестного элемента и устанавливаем формулу соединения:

$$w(\text{Э}) = \frac{y \cdot M(\text{Э})}{M(\text{Mg}\text{Э}_y\text{O}_4)}; \quad 0,2667 = \frac{y \cdot M(\text{Э})}{120 \text{ г/моль}}$$

$$\Rightarrow y \cdot M(\text{Э}) = 0,2667 \cdot 120 \text{ г/моль} = 32 \text{ г/моль}.$$

При этом y может быть равен только 1. Искомый элемент — сера. Формула соединения MgSO_4 .

Ответ: MgSO_4 .

Используя массовые доли элементов, как правило, устанавливают **простейшую (эмпирическую)** формулу вещества, которая показывает только *простейшее целочисленное соотношение* между числами атомов каждого элемента в формуле вещества.

В отличие от простейшей **истинная** формула показывает *действительное соотношение* чисел атомов в формуле соединения. Истинная формула вещества может как совпадать, так и не совпадать с простейшей. Например, простейшая формула водородного соединения углерода CH_4 одновременно является истинной, поскольку соединения состава C_2H_8 , C_3H_{12} и т. д. не существуют. В то же время простейшей формуле CH_2 может отвечать целый ряд истинных (C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 и т. д.). Для нахождения истинной формулы вещества необходимо знать ещё и его молярную массу или иметь данные для её вычисления.

Задачи для самостоятельного решения

419. Массовые доли натрия, фосфора и кислорода в соединении равны соответственно 42,1; 18,9 и 39,0%. Определите простейшую формулу соединения. (Na_3PO_4 .)

420. Массовые доли водорода, иода и кислорода в некоторой кислоте равны соответственно 2,2; 55,7 и 42,1%. Определите простейшую формулу кислоты. (H_5IO_6 .)

421. Массовые доли калия, хлора и кислорода в соединении равны соответственно 31,8; 29,0 и 39,2%. Установите простейшую формулу этого соединения. (KClO_3 .)

422. Массовые доли кальция, серы и кислорода в соединении равны соответственно 29,4; 23,5 и 47,1%. Установите простейшую формулу этого соединения. (CaSO_4 .)

423. Массовые доли калия, хрома и кислорода в некотором соединении равны соответственно 26,5; 35,37 и 38,10%. Найдите его простейшую формулу. ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.)

424. Массовые доли железа и кислорода в оксиде железа равны соответственно 70 и 30%. Определите простейшую формулу этого оксида. (Fe_2O_3 .)

425. Массовые доли углерода, водорода и кислорода в соединении равны соответственно 68,85; 4,92; 26,23%. Определите его простейшую формулу. ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$.)

426. Отношение масс калия, хлора и кислорода в соединении равно 1,22 : 1,11 : 2,00. Установите простейшую формулу соединения. (KClO_4 .)

427. Отношение масс железа, серы и кислорода в соединении равно 7 : 4 : 8. Определите его простейшую формулу. (FeSO_4 .)

428. Водород и кремний соединяются в массовом отношении 1 : 7. Определите простейшую формулу этого соединения. (SiH_4 .)

429. Соединение фосфора и брома массой 81,3 г содержит 9,3 г фосфора. Определите простейшую формулу этого соединения. (PBr_3 .)

430. В соединении молибдена с кислородом масса молибдена в 2 раза больше массы кислорода. Определите простейшую формулу этого соединения. (MoO_3 .)

431. Образец оксида ванадия массой 2,73 г содержит 1,53 г ванадия. Определите формулу оксида. (V_2O_5 .)

432. Массовые доли углерода, кислорода и водорода в некоторой одноосновной карбоновой кислоте равны соответственно 40,0; 53,3 и 6,7%. Определите простейшую формулу этой кислоты. Рассчитайте объём раствора с массовой долей гидроксида натрия 15% ($\rho = 1,16$ г/мл), который потребуется для нейтрализации 12 г этой кислоты. (CH_3COOH ; 46 мл.)

433. Массовые доли углерода, азота и водорода в некотором амине равны соответственно 53,33; 31,11 и 15,56%. Определите молекулярную формулу амина. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.)

434. Массовые доли углерода, кислорода и водорода в некотором кислородсодержащем соединении равны соответственно 62,07; 27,59 и 10,34%. Определите его молекулярную формулу. ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$.)

435. Оксид элемента имеет состав ЭO_2 . Массовая доля кислорода в этом оксиде составляет 50%. Какой элемент образует оксид? (Сера.)

436. Элемент, проявляющий в соединениях степень окисления +5, образует оксид, в котором массовая доля кислорода равна 34,8%. Какой элемент образует оксид? (Мышьяк.)

437. Установите формулу соединения, содержащего 25,4% серы, 38,1% кислорода и 36,5% некоторого элемента. Укажите название этого соединения и класс, к которому оно относится. (Na_2SO_3 .)

438. Соединение содержит 6,33% водорода, 15,19% углерода, 60,76% кислорода и ещё один элемент, число атомов которого в молекуле равно числу атомов углерода. Установите формулу вещества, укажите его название и класс, к которому оно относится. (NH_4HCO_3 .)

439. Установите формулу соединения, содержащего 42,07% натрия, 39,03% кислорода и 18,90% некоторого элемента. (Na_3PO_4 .)

440. Массовая доля безводной соли в кристаллогидрате фосфата цинка равна 84,2%. Установите формулу кристаллогидрата. ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.)

441. В кристаллогидрате ацетата калия массовая доля воды равна 35,53%. Установите формулу кристаллогидрата. ($\text{CH}_3\text{COOK} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.)

442. В кристаллогидрате $\text{Me}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ массовая доля воды равна 22,31%. Определите металл. (Cu.)

2. Вывод формулы вещества по его молярной массе и массовым долям элементов

Алгоритм решения задач этого типа

1. Рассчитать молярную массу вещества*:

а) по относительной плотности по водороду

$$M(\text{в-ва}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{в-ва}),$$

по воздуху

$$M(\text{газа}) = 29D_{\text{возд}}(\text{газа})$$

или по другому указанному в условии задачи газу;

б) по плотности данного газообразного вещества при н. у.:

$$M(\text{газа}) = V_m \cdot \rho = 22,4 \text{ л/моль} \cdot \rho \text{ г/л};$$

в) по формуле $M(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{\nu(\text{в-ва})}$.

2. Вычислить массу 1 моль вещества:

$$m(\text{в-ва}) = 1 \text{ моль} \cdot M(\text{в-ва}).$$

3. Зная массовые доли элементов, вычислить массу атомов каждого элемента в 1 моль вещества:

$$m(\text{Э}) = w(\text{Э}) \cdot m(\text{в-ва}).$$

4. Определить количество вещества атомов элементов в 1 моль вещества:

$$\nu(\text{Э}) = \frac{m(\text{Э})}{M(\text{Э})}.$$

5. Записать молекулярную формулу вещества.

* Иногда молярная масса вещества указана в условии задачи.

Задача. Установите формулу вещества, массовые доли углерода и водорода в котором соответственно равны 85,71 и 14,29%. Относительная плотность паров вещества по воздуху 1,931.

Дано:

$$w(C) = 0,8571$$

$$w(H) = 0,1429$$

$$D_{\text{возд}}(C_xH_y) = 1,931$$

Найти:



Решение

1. Рассчитываем молярную массу вещества:

$$M(C_xH_y) = 29D_{\text{возд}}(C_xH_y);$$

$$M(C_xH_y) = 29 \text{ г/моль} \cdot 1,931 = 56 \text{ г/моль}.$$

2. Вычисляем массу 1 моль вещества:

$$m(C_xH_y) = M(C_xH_y) \cdot \nu(C_xH_y);$$

$$m(C_xH_y) = 56 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} = 56 \text{ г}.$$

3. Определяем массу углерода и водорода в 1 моль вещества:

$$m(C) = w(C) \cdot m(C_xH_y); m(C) = 0,8571 \cdot 56 \text{ г} = 48 \text{ г};$$

$$m(H) = w(H) \cdot m(C_xH_y); m(H) = 0,1429 \cdot 56 \text{ г} = 8 \text{ г}.$$

4. Находим количество вещества атомов водорода и углерода в 1 моль вещества:

$$\nu(C) = \frac{m(C)}{M(C)}; \nu(C) = \frac{48 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 4 \text{ моль};$$

$$\nu(H) = \frac{m(H)}{M(H)}; \nu(H) = \frac{8 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 8 \text{ моль}.$$

5. Записываем молекулярную формулу вещества. Для этого находим соотношение количеств веществ атомов углерода и водорода:

$\nu(C) : \nu(H) = 4 : 8 \Rightarrow$ формула вещества C_4H_8 – это бутен или циклобутан.

Ответ: C_4H_8 .

Задачи для самостоятельного решения

443. Массовые доли углерода и водорода в углеводороде соответственно равны 80 и 20%. Молярная масса углеводорода 30 г/моль. Выведите его молекулярную формулу. (C_2H_6 .)

444. Установите формулу вещества, массовые доли углерода, водорода и кислорода в котором соответственно равны

26,67; 2,22 и 71,11%. Молярная масса вещества 90 г/моль. ($C_2H_2O_4$.)

445. Выведите молекулярную формулу соединения, содержащего 80% углерода и 20% водорода. Относительная плотность его паров по водороду равна 15. (C_2H_6 .)

446. Выведите формулу масляной кислоты, содержащей 54,5% углерода, 36,4% кислорода и 9,1% водорода. Относительная плотность её паров по водороду равна 44. ($C_4H_8O_2$.)

447. Выведите формулу вещества, содержащего 93,75% углерода и 6,25% водорода. Относительная плотность паров этого вещества по воздуху равна 4,41. ($C_{10}H_8$.)

448. Плотность по водороду паров вещества, содержащего 54,55% углерода, 9,09% водорода и 3,36% кислорода, равна 22. Оно легко восстанавливает оксид серебра. Выведите формулу этого вещества. (CN_3CHO .)

449. Углеводород циклического строения не имеет ответвлений в цикле, плотность его по воздуху равна 1,931. Массовая доля углерода в этом веществе составляет 85,7%. Определите формулу углеводорода и напишите его структурную формулу. (C_4H_8 .)

450. Выведите молекулярную формулу вещества, содержащего 39,97% углерода, 6,73% водорода и 53,30% кислорода, если 300 мл его паров при н. у. имеют массу 2,41 г. ($C_6H_{12}O_6$.)

451. Выведите формулу соединения бора с водородом, если масса 1 л этого газа равна массе 1 л азота, а содержание бора в веществе составляет 78,2%. (B_2H_6 .)

452. Плотность паров углеводорода по воздуху равна 2,345, а массовая доля углерода составляет 88,235%. Определите молекулярную формулу углеводорода. (C_5H_8 .)

453. Выведите молекулярную формулу углеводорода, массовая доля углерода в котором равна 82,76%, а плотность его при н. у. составляет 2,59 г/л. (C_4H_{10} .)

454. Установите молекулярную формулу углеводорода, содержащего 84% углерода, если 500 мл его паров при н. у. имеют массу 2,232 г. (C_7H_{16} .)

455. При термическом разложении 49 г неизвестного вещества выделилось 13,44 л кислорода (н. у.) и осталось твёрдое вещество, содержащее 52,35% калия и 47,65% хлора. Определите формулу исходного вещества. ($KClO_4$.)

456. Определите формулу вещества, массовые доли углерода, водорода и кислорода в котором соответственно равны 52,18; 13,04 и 34,78%, а плотность его паров при н. у. составляет 2,05 г/л. Оно реагирует с карбоновыми кислотами, образуя сложные эфиры. (C_2H_5OH .)

3. Вывод формулы вещества по его молярной массе и массе (объёму или количеству вещества) продуктов сгорания (разложения)

В условиях задач рассматриваемого типа указаны масса сжигаемого вещества, данные для определения его молярной массы и сведения о продуктах сгорания или разложения (масса, объём или количество вещества). Чаще всего необходимо установить формулу сгоревшего органического вещества.

Алгоритм решения задач этого типа

1. Вычислить молярную массу вещества (истинную).
2. Определить количество вещества оксида углерода(IV) и атомов углерода:

$$\nu(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} \text{ или } \nu(CO_2) = \frac{V(CO_2)}{V_m}; \nu(C) = \nu(CO_2).$$

3. Вычислить количество вещества воды и атомов водорода:

$$\nu(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)}; \nu(H) = 2\nu(H_2O).$$

4. Найти массы углерода и водорода в продуктах горения, а следовательно, в исходном веществе:

$$m(C) = \nu(C) \cdot M(C); m(H) = \nu(H) \cdot M(H).$$

5. Определить сумму масс углерода и водорода.

Если она равна массе сгоревшего вещества, то вещество – углеводород. Если сумма масс углерода и водорода меньше массы вещества, то в его состав входит третий элемент – кислород. В этом случае надо вычислить его массу и количество вещества:

$$m(O) = m(\text{в-ва}) - (m(C) + m(H));$$

$$\nu(O) = \frac{m(O)}{M(O)}.$$

6. Найти целочисленное соотношение между количествами веществ атомов углерода, водорода и кислорода при его наличии в веществе.

7. Записать простейшую формулу вещества, вычислить по ней молярную массу и сравнить её с рассчитанной по условию задачи (пункт 1).

Если молярная масса, вычисленная по простейшей формуле, меньше, чем определённая по условию задачи, то для вывода молекулярной формулы вещества надо истинную молярную массу разделить на молярную массу, вычисленную по простейшей формуле. Затем индексы в простейшей формуле увеличить во столько раз, во сколько раз истинная молярная масса больше молярной массы, соответствующей простейшей формуле.

Задача 1. При сжигании 3,9 г органического вещества образовалось 13,2 г оксида углерода(IV) и 2,7 г воды. Выведите молекулярную формулу вещества, если относительная плотность его паров по водороду равна 39.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 3,9 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 13,2 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 2,7 \text{ г}$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{в-ва}) = 39$$

Найти:

формулу вещества

Решение

1. Вычисляем молярную массу вещества:

$$M(\text{в-ва}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{в-ва});$$

$$M(\text{в-ва}) = 2 \text{ г/моль} \cdot 39 = 78 \text{ г/моль}.$$

2. Вычисляем количество вещества оксида углерода(IV) и атомов углерода:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; \nu(\text{CO}_2) = \frac{13,2 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль}.$$

3. Вычисляем количество вещества воды и атомов водорода:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; \nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,7 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}) = 2 \cdot 0,15 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}.$$

4. Находим массы углерода и водорода в исходном веществе:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 3,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m(\text{H}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ г}.$$

5. Вычисляем сумму масс углерода и водорода:

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) = 3,6 \text{ г} + 0,3 \text{ г} = 3,9 \text{ г}.$$

Суммарная масса углерода и водорода соответствует исходной массе вещества, следовательно, в его составе кислород не содержится – это углеводород.

6. Находим соотношение количеств веществ атомов углерода и водорода:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = 0,3 : 0,3 = 1 : 1.$$

7. Записываем простейшую формулу вещества и рассчитываем по ней молярную массу:

простейшая формула вещества CH ; $M(\text{CH}) = 13 \text{ г/моль}$ (меньше истинной).

8. Определяем истинную формулу вещества. Для этого истинную молярную массу разделим на молярную массу, вычисленную по простейшей формуле:

$$\frac{M(\text{C}_x\text{H}_y)}{M(\text{CH})} = \frac{78 \text{ г/моль}}{13 \text{ г/моль}} = 6.$$

$$\Rightarrow (\text{CH})_6 \Rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 - \text{это бензол}.$$

Ответ: C_6H_6 .

Задача 2. При сгорании 2,4 г органического вещества получили 1,68 л оксида углерода(IV) и пары воды объёмом 3,36 л (н. у.). Плотность паров вещества по водороду равна 16. Выведите формулу вещества.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 2,4 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 1,68 \text{ л}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 3,36 \text{ л}$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{в-ва}) = 16$$

Найти:

формулу вещества

Решение

1. Находим молярную массу вещества:

$$M(\text{в-ва}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{в-ва});$$

$$M(\text{в-ва}) = 2 \text{ г/моль} \cdot 16 = 32 \text{ г/моль}.$$

2. Вычисляем количество вещества оксида углерода(IV) и атомов углерода:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; \quad \nu(\text{CO}_2) = \frac{1,68 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,075 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,075 \text{ моль}.$$

3. Вычисляем количество вещества воды и атомов водорода:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{V(\text{H}_2\text{O})}{V_m}; \quad \nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,36 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}); \quad \nu(\text{H}) = 2 \cdot 0,15 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}.$$

4. Находим массы углерода и водорода в исходном веществе:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}); \quad m(\text{C}) = 0,075 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,9 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}); \quad m(\text{H}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ г}.$$

5. Определяем сумму масс углерода и водорода:

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) = 0,9 \text{ г} + 0,3 \text{ г} = 1,2 \text{ г}.$$

Суммарная масса углерода и водорода меньше исходной массы вещества, следовательно, в его состав входит ещё и третий элемент – кислород.

6. Находим массу кислорода:

$$m(\text{O}) = m(\text{в-ва}) - (m(\text{C}) + m(\text{H}));$$

$$m(\text{O}) = 2,4 \text{ г} - 1,2 \text{ г} = 1,2 \text{ г}.$$

7. Находим количество вещества атомов кислорода:

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad \nu(\text{O}) = \frac{1,2 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,075 \text{ моль}.$$

8. Находим соотношение количеств веществ атомов углерода, водорода и кислорода:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = 0,075 : 0,3 : 0,075 = 1 : 4 : 1.$$

9. Записываем простейшую формулу вещества и рассчитываем по ней молярную массу.

Простейшая формула вещества CH_4O ;

$$M(\text{CH}_4\text{O}) = 32 \text{ г/моль},$$

что соответствует истинной (см. пункт 1).

Следовательно, формула вещества CH_4O , или CH_3OH .

Ответ: CH_3OH .

Иногда один химический элемент, входивший в состав исходного соединения, обнаруживается в нескольких продуктах реакции.

Задача 3. При сгорании бескислородного органического вещества выделилось 4,48 л углекислого газа (н. у.), 3,6 г воды и 3,65 г хлороводорода. Установите молекулярную формулу сгоревшего соединения, определите его объём и массу.

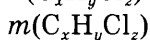
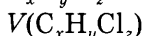
Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 4,48 \text{ л}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 \text{ г}$$

$$m(\text{HCl}) = 3,65 \text{ г}$$

Найти:



Решение

1. Определяем количество вещества атомов углерода:

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль}.$$

2. Находим количество вещества атомов водорода.

В составе воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; \quad \nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$\nu_1(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,4 \text{ моль}.$$

В составе хлороводорода:

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{3,65 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu_2(\text{H}) = \nu(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Суммарное количество вещества атомов водорода:

$$\nu_{\text{общ}}(\text{H}) = 0,4 \text{ моль} + 0,1 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

3. Определяем количество вещества атомов хлора:

$$\nu(\text{Cl}) = \nu(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль}.$$

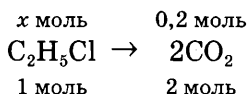
4. Находим соотношение количеств веществ атомов углерода, водорода и хлора:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{Cl}) = 0,2 : 0,5 : 0,1 = 2 : 5 : 1.$$

5. Записываем простейшую формулу вещества $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.

Простейшая формула является истинной молекулярной формулой, так как при удвоении (утроении и т. д.) получают формулы, содержащие атомов водорода и хлора больше, чем это отвечает предельным структурам.

6. Объём сгоревшего соединения определяем по стехиометрической схеме:



Отсюда $v(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = x = 0,1$ моль.

$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = v(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot V_m;$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2,24 \text{ л.}$$

7. Вычисляем массу сгоревшего соединения:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = v(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl});$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 0,1 \text{ моль} \cdot 64,5 \text{ г/моль} = 6,45 \text{ г.}$$

Ответ: $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$; $V(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 2,24$ л; $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 6,45$ г.

Задачи для самостоятельного решения

457. При сгорании 4,8 г органического соединения получено 6,6 г оксида углерода(IV) и 5,4 г воды. Плотность паров вещества по водороду равна 16. Выведите формулу вещества. (CH_3OH .)

458. При сгорании 12 г гидразина выделяется 13,5 г воды и 8,4 л азота (н.у.). Выведите формулу гидразина, если его плотность по водороду равна 16. Сколько атомов водорода приходится на один атом азота? (N_2H_4 ; два атома.)

459. При сгорании 5,6 л газа получено 16,8 л (н.у.) оксида углерода(IV) и 13,5 г воды; 1 л газа при н.у. имеет массу 1,875 г. Выведите формулу газа. (C_3H_6 .)

460. При сжигании 6,2 г соединения получено 12 г оксида кремния(IV) и 5,4 г воды. Плотность паров соединения по гелию равна 15,5. Выведите молекулярную формулу соединения. (Si_2H_6 .)

461. При сгорании 4,3 г углеводорода образовалось 13,2 г оксида углерода(IV). Плотность паров углеводорода по водороду равна 43. Выведите формулу углеводорода, изобразите структурные формулы его изомеров: а) нормального строения; б) с двумя третичными атомами углерода; в) с четвертичным атомом углерода. Назовите изомеры по систематической номенклатуре. (C_8H_{14} .)

462. При сжигании 3,9 г органического вещества получено 6,72 л оксида углерода(IV) (н. у.) и 2,7 г воды. Плотность паров вещества по воздуху равна 2,69. Какова формула вещества и что можно сказать о его химических свойствах? (C_6H_6 .)

463. При сжигании газа количеством вещества 1 моль образовалось 22,4 л оксида углерода(IV) (н. у.) и 36 г воды. Выведите формулу соединения и вычислите объём кислорода, затраченного на полное сгорание газа объёмом 1 л (н. у.). (CH_4 ; 2 л.)

464. При полном сгорании 1,88 г органического бромсодержащего вещества получено 0,88 г оксида углерода(IV) и 0,3 г воды. Из брома, содержащегося в навеске вещества, может быть получено 3,76 г бромида серебра. Плотность паров вещества по водороду равна 94. Определите формулу исследуемого вещества. ($C_2H_4Br_2$.)

465. При сжигании 0,7 г органического вещества получены оксид углерода(IV) и вода количеством вещества по 0,05 моль каждое. Исходное вещество массой 0,1 г занимает объём 32 мл (н. у.). Выведите формулу вещества, составьте структурные формулы двух изомеров, отличающихся положением двойной связи, и одного изомера, отличающегося строением углеродного скелета, назовите их. Укажите виды гибридизации атомов углерода в молекуле одного из изомеров. (C_5H_{10} .)

466. При сжигании углеводорода количеством вещества 0,1 моль образуется 5,4 г воды и выделяется диоксид углерода объёмом 8,96 л (н. у.). Определите молекулярную формулу вещества. Приведите возможные структурные формулы соединений. (C_4H_6 .)

467. Выведите формулу органического вещества, если при сгорании 13,8 г его получено 26,4 г оксида углерода(IV) и 16,2 г воды. Плотность паров вещества по воздуху равна 1,587. (C_2H_5OH .)

468. При сжигании 12 г органического вещества получили 14,4 г воды и углекислый газ, который с избытком известковой воды образует 60 г осадка. Установите формулу вещества, если известно, что плотность его паров по этану равна 2. (C_3H_8O .)

469. При сгорании вторичного амина симметричного строения выделилось 0,896 л углекислого газа (н. у.), 0,99 г воды и 0,112 л азота (н. у.). Установите молекулярную формулу этого амина. ($(C_2H_5)_2NH$.)

470. Установите формулу соединения, при сгорании 2,4 г которого в кислороде получено 1,44 г воды, 896 мл углекислого газа и 0,896 л азота (н. у.). (CH_4ON_2 , или $(NH_2)_2CO$ – карбамид.)

471. При сжигании 1,78 г органического вещества в избытке кислорода получили 0,28 г азота, 1,344 л углекислого газа (н. у.) и 1,26 г воды. Определите молекулярную формулу этого вещества, зная, что в навеске массой 17,8 г содержится $1,204 \cdot 10^{22}$ молекул. ($C_3H_7NO_2$.)

472. При окислении 10,2 г органического вещества получено 7,95 г карбоната натрия, 5,04 л углекислого газа (н. у.) и 6,75 г воды. Установите формулу соединения. (C_2H_5ONa .)

473. При термическом разложении вещества образовалось 22,3 г оксида свинца(II), 9,2 г оксида азота(IV) и 1,12 л кислорода (н. у.). Определите формулу соединения, если его молярная масса равна 331 г/моль. ($Pb(NO_3)_2$.)

474. При сгорании газообразного бескислородного органического вещества выделилось 13,2 г углекислого газа, 5,4 г воды и 2 г фтороводорода. Установите молекулярную формулу сгоревшего соединения, рассчитайте его массу и объём. (C_3H_7F ; 2,24 л; 6,2 г.)

475. В результате сгорания кислородсодержащего органического соединения получено 1,584 г оксида углерода(IV) и 0,972 мл воды. Плотность паров этого соединения по воздуху равна 1,5862. Выведите формулу вещества, если оно содержит два одинаковых радикала. (CH_3-O-CH_3 .)

476. При сгорании 0,45 г газообразного органического вещества выделилось 0,448 л оксида углерода(IV), 0,63 г воды и 0,112 л азота (н. у.). Плотность исходного вещества по азоту равна 1,607. Установите формулу этого вещества. (C_2H_7N .)

477. Азотсодержащее органическое соединение массой 11,8 г, плотность паров которого по воздуху равна 2,035, сожгли в избытке кислорода. При этом образовалось 13,44 л оксида углерода(IV), 2,24 л (н. у.) азота и 16,2 г воды. Выведите молекулярную формулу этого вещества, составьте структурные формулы трёх изомеров и назовите их. (C_3H_9N .)

4. Вывод формулы вещества на основании общей формулы гомологического ряда органических соединений

Алгоритм решения задач этого типа

1. Вычислить молярную массу вещества.

2. По общей формуле гомологического ряда определить число атомов каждого элемента в соединении.

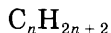
Задача 1. Плотность паров алкана по воздуху равна 4,414.

Определите молекулярную формулу алкана.

Дано:

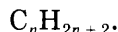
$$D_{\text{возд}}(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 4,414$$

Найти:



Решение

1. Общая формула алканов



2. Вычисляем молярную массу алкана:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 29D_{\text{возд}}(\text{C}_n\text{H}_{2n+2});$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 29 \text{ г/моль} \cdot 4,414 = 128 \text{ г/моль}.$$

3. Находим значение n .

Выражаем молярную массу алкана в общем виде:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 12n + 2n + 2 = 14n + 2 \text{ (г/моль)}.$$

Составляем уравнение:

$$14n + 2 = 128 \Rightarrow 14n = 126,$$

откуда $n = \frac{126}{14} = 9$; следовательно, формула алкана C_9H_{20} .

Ответ: C_9H_{20} .

Задача 2. На полное гидрирование 2,8 г этиленового углеводорода израсходовано 0,896 л (н. у.) водорода. Определите молярную массу и структурную формулу этого соединения, имеющего неразветвлённую цепь атомов углерода.

Дано:

$$m(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 2,8 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2) = 0,896 \text{ л}$$

Найти:



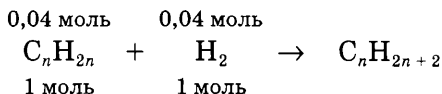
Решение

1. Находим количество вещества водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m};$$

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{0,896 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,04 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции в общем виде:



3. Находим молярную массу углеводорода:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \nu(\text{H}_2) = 0,04 \text{ моль (по уравнению реакции);}$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \frac{m(\text{C}_n\text{H}_{2n})}{\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n})}; \quad M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \frac{2,8 \text{ г}}{0,04 \text{ моль}} = 70 \text{ г/моль.}$$

4. Находим значение n .

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 12n + 2n = 14n.$$

Составляем уравнение:

$$14n = 70, \text{ отсюда } n = \frac{70}{14} = 5; \text{ следовательно, формула углеводорода } \text{C}_5\text{H}_{10} \text{ (пентен-1 или пентен-2).}$$

$$\text{Ответ: } \text{C}_5\text{H}_{10}; M(\text{C}_5\text{H}_{10}) = 70 \text{ г/моль.}$$

Задача 3. Определите формулу предельного одноатомного спирта, если при дегидратации его образца объёмом 37 мл и плотностью 1,4 г/мл получили алкен массой 39,2 г.

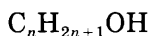
Дано:

$$V(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = 37 \text{ мл}$$

$$\rho = 1,4 \text{ г/мл}$$

$$m(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 39,2 \text{ г}$$

Найти:



Решение

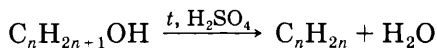
1. Определяем массу спирта:

$$m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = V(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) \cdot \rho;$$

$$m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) =$$

$$= 37 \text{ мл} \cdot 1,4 \text{ г/мл} = 51,8 \text{ г.}$$

2. Составляем уравнение реакции в общем виде:



3. Выражаем молярные массы спирта и алкена в общем виде:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = 12n + 2n + 1 + 16 + 1 = 14n + 18 \text{ (г/моль);}$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 12n + 2n = 14n \text{ (г/моль).}$$

4. Вычисляем количество вещества спирта и алкена:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH})}{M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH})};$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = \frac{51,8 \text{ г}}{(14n + 18) \text{ г/моль}};$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \frac{m(\text{C}_n\text{H}_{2n})}{M(\text{C}_n\text{H}_{2n})}; \quad \nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \frac{39,2 \text{ г}}{14n \text{ г/моль}}.$$

5. Находим значение n .

Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = \nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}), \text{ т. е. } \frac{51,8}{14n + 18} = \frac{39,2}{14n},$$

отсюда $n = 4$; следовательно, формула спирта $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.

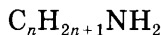
Ответ: $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.

Задача 4. При сгорании 18 г первичного амина выделилось 4,48 л азота (н. у.). Определите молекулярную формулу и название амина.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2) &= 18 \text{ г} \\ V(\text{N}_2) &= 4,48 \text{ л} \end{aligned}$$

Найти:



Решение

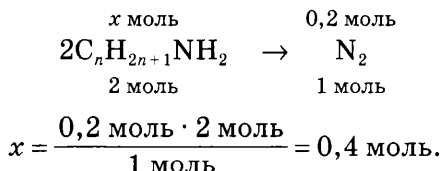
Способ 1

1. Находим количество вещества азота:

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m};$$

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,2 \text{ моль}.$$

2. Составляем стехиометрическую схему реакции горения амина и находим количество вещества амина:



3. Находим молярную массу амина:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2) = \frac{m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2)}{\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2)};$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2) = \frac{18 \text{ г}}{0,4 \text{ моль}} = 45 \text{ г/моль};$$

4. Устанавливаем значение n и записываем молекулярную формулу амина:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2) = 12n + 2n + 1 + 16 = 14n + 17;$$

$$14n + 17 = 45 \Rightarrow 14n = 28,$$

отсюда $n = 2$, следовательно, формула амина $C_2H_5NH_2$.

Способ 2

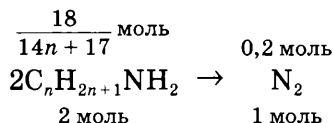
1. Находим количество вещества азота и амина:

$$v(N_2) = \frac{V(N_2)}{V_m}; \quad v(N_2) = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(C_nH_{2n+1}NH_2) = \frac{m(C_nH_{2n+1}NH_2)}{M(C_nH_{2n+1}NH_2)};$$

$$v(C_nH_{2n+1}NH_2) = \frac{18 \text{ г}}{(14n + 17) \text{ г/моль}}.$$

2. Составляем стехиометрическую схему реакции горения амина:



3. Находим значение n и записываем формулу амина:

2 моль $C_nH_{2n+1}NH_2$ образуют 1 моль N_2 ;

$$\frac{18}{14n + 17} \text{ моль } C_nH_{2n+1}NH_2 \text{ образуют } 0,2 \text{ моль } N_2.$$

$$\text{Отсюда } \frac{18}{14n + 17} = 0,4 \Rightarrow n = 2.$$

Следовательно, формула амина $C_2H_5NH_2$.

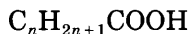
Ответ: $C_2H_5NH_2$; этиламин.

Задача 5. Установите молекулярную формулу предельной одноосновной карбоновой кислоты, массовая доля кислорода в которой равна 36,36%. Укажите название кислоты.

Дано:

$$w(O) = 0,3636$$

Найти:



Решение

Способ 1

1. Находим относительную молекулярную массу кислоты:

$$w(O) = \frac{2A_r(O)}{M_r(C_nH_{2n+1}COOH)}$$

$$\Rightarrow M_r(C_nH_{2n+1}COOH) = \frac{2 \cdot 16}{w(O)};$$

$$M_r(C_nH_{2n+1}COOH) = \frac{2 \cdot 16}{0,3636} = 88.$$

2. Определяем значение n и записываем формулу кислоты:

$$M_r(C_nH_{2n+1}COOH) = 12n + 2n + 1 + 45 = 14n + 46;$$

$$14n + 46 = 88 \Rightarrow 14n = 42,$$

отсюда $n = 3$; следовательно, формула кислоты C_3H_7COOH – это бутановая (масляная) кислота.

Способ 2

Находим значение n и записываем формулу кислоты:

$$w(O) = \frac{2A_r(O)}{M_r(C_nH_{2n+1}COOH)}; \quad 0,3636 = \frac{2 \cdot 16}{14n + 46};$$

отсюда $n = 3 \Rightarrow C_3H_7COOH$.

Ответ: C_3H_7COOH ; бутановая (масляная) кислота.

Второй способ решения короче, чем первый. Его применяют в случаях, когда из условия задачи неизвестно число атомов элемента, для которого указана массовая доля.

Задача 6. Установите молекулярную формулу предельного одноатомного спирта, массовая доля углерода в котором равна 60%. Укажите название спирта.

<i>Дано:</i>	<i>Решение</i>
$w(C) = 0,60$	Находим значение n и записываем формулу спирта:
<i>Найти:</i> $C_nH_{2n+1}OH$	
	$w(C) = \frac{nA_r(C)}{M_r(C_nH_{2n+1}OH)}; 0,60 = \frac{12n}{14n + 1 + 17},$

отсюда $n = 3 \Rightarrow C_3H_7OH$.

Ответ: C_3H_7OH ; пропанол (пропиловый спирт).

Задачи для самостоятельного решения

478. Плотность паров циклоалкана по водороду равна 42. Молекула циклоалкана не имеет боковых ответвлений от главной углеродной цепи. Определите формулу циклоалкана и назовите его. (C_6H_{12} .)

479. Алкен имеет плотность по водороду 21. Определите формулу алкена. (C_3H_6 .)

480. Определите число атомов углерода в молекуле этиленового углеводорода, если 0,7 г его реагирует с 2 г брома. (4.)

481. Определите формулу предельного углеводорода, если при полном хлорировании 7,2 г его масса увеличивается на 41,4 г. (C_5H_{12} .)

482. На полное сгорание предельного углеводорода количеством вещества 0,1 моль израсходовано 56 л (н. у.) воздуха. Определите формулу углеводорода. (C_3H_8 .)

483. Определите структурную формулу алкена, если 1,4 г его взаимодействует с 4 г брома, а при окислении его водным раствором перманганата калия образуется симметричный двухатомный спирт. (Бутен-2.)

484. При сгорании 5,3 г гомолога бензола получили 8,96 л (н. у.) оксида углерода(IV). Определите формулу углеводорода, составьте структурные формулы возможных изомеров и назовите их. (C_8H_{10} .)

485. Для полного сгорания 1,36 г алкадиена потребовалось 3,136 л кислорода (н. у.). Определите молекулярную формулу углеводорода, укажите тип гибридизации каждого атома углерода в молекуле. (C_5H_8 .)

486. Определите, какой газ находится в сосуде, если известно, что он является гомологом этилена и для полного сгорания 60 мл этого газа требуется 1800 мл воздуха. Выведите молекулярную формулу газа, приведите структурные формулы трёх изомеров и назовите их. (C_4H_8 .)

487. Определите молекулярную формулу предельного углеводорода, если известно, что при полном сгорании его массой 8,6 г образовался оксид углерода(IV) объёмом 13,44 л (н. у.). (C_6H_{14} .)

488. Газ, образующийся при полном сгорании предельного углеводорода количеством вещества 0,1 моль, пропустили через избыток известковой воды, при этом выпал осадок массой 61 г. Определите молекулярную формулу углеводорода. (C_6H_{14} .)

489. Определите число атомов углерода в молекуле этиленового углеводорода, если для окисления порции его массой 0,7 г до двухатомного спирта необходим перманганат калия массой 1,32 г. (4.)

490. Определите молярную массу и строение кислородсодержащего соединения, если известно, что при взаимодействии 7,4 г этого вещества с натрием выделяется водород объёмом 1,12 л (н. у.), а при его окислении оксидом меди(II) образуется соединение, которое вступает в реакцию «серебряного зеркала». (74 г/моль; *n*-бутиловый или изобутиловый спирт.)

491. При нагревании 60 г одноатомного спирта неизвестного состава с концентрированной серной кислотой образовался этиленовый углеводород объёмом 17,92 л (н. у.). Реакция протекала с 80% -ным выходом. Определите строение этого спирта, если известно, что при его окислении оксидом меди(II) образуется соединение, которое вступает в реакцию «серебряного зеркала». (Пропанол-1.)

492. При взаимодействии 35,55 мл раствора с массовой долей одноосновной органической кислоты 30% ($\rho = 1,04$ г/мл) с избытком гидрокарбоната натрия выделилось 3,36 л (н. у.) газа. Определите строение органической кислоты. ($\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—COOH}$.)

493. При сжигании 0,967 г альдегида получили диоксид углерода, который прореагировал с 16,4 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% ($\rho = 1,22$ г/мл) с образованием средней соли. Определите формулу исходного альдегида. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$.)

494. При нагревании предельного одноатомного спирта с концентрированной бромоводородной кислотой образуется соединение, массовая доля брома в котором составляет 73,4%. Определите формулу исходного спирта. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.)

495. На нейтрализацию 3,7 г предельной одноосновной карбоновой кислоты затратили 5 мл раствора с массовой долей гидроксида калия 40% ($\rho = 1,4$ г/мл). Определите формулу кислоты. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$.)

496. Предельный одноатомный спирт массой 30 г взаимодействует с избытком натрия, образуя водород, объём которого составляет 5,6 л (н. у.). Определите формулу спирта. ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$.)

497. Органическое соединение окислено гидроксидом меди(II). При взаимодействии продукта реакции с 2,24 л хлора (н. у.) образовалось 9,45 г хлорзамещённой однооснов-

ной органической кислоты. Определите исходное соединение и его массу. (CH_3CHO ; 4,4 г.)

498. К одноосновной карбоновой кислоте массой 42 г прилили 36,3 мл ($\rho = 1,102$ г/мл) раствора с массовой долей гидроксида натрия 20%, а затем избыток концентрированного раствора гидрокарбоната натрия. При этом выделился газ объёмом 11,2 л (н. у.). Определите формулу кислоты. (CH_3COOH .)

499. Определите формулу монохлоралкана, массовая доля хлора в котором составляет 55%. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.)

500. Определите формулу сложного эфира аминокислотной кислоты, массовая доля кислорода в котором составляет 36%. ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOCH}_3$.)

501. Для нейтрализации 1,8 г предельного алифатического амина потребовалось 18,52 мл раствора с массовой долей хлороводорода 7,3% ($\rho = 1,08$ г/мл). Определите молекулярную формулу амина, составьте структурные формулы двух изомеров и назовите их. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.)

502. При действии натрия на 13,8 г смеси этилового спирта и одноосновной карбоновой кислоты выделилось 3,36 л газа (н. у.), а при действии на ту же смесь насыщенного раствора гидрокарбоната натрия – газ объёмом 1,12 л (н. у.). Определите строение карбоновой кислоты и состав исходной смеси (в % по массе). (83,3% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$; 16,7% HCOOH .)

503. Установите молекулярную формулу предельного двухатомного спирта, массовая доля углерода в котором равна 47,37%. ($\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2$.)

504. Определите молекулярную формулу предельной одноосновной карбоновой кислоты, бариевая соль которой содержит 53,7% бария. ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ba}$.)

505. Выведите молекулярную и структурную формулы органического вещества, массовая доля водорода в котором составляет 9,091%. Известно, что водный раствор соединения реагирует с гидрокарбонатом калия с выделением газа. ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$.)

506. При сплавлении 28,8 г натриевой соли предельной монокарбоновой кислоты со щёлочью получено 4,704 л газа (н. у.) с выходом 70%. Определите, какой газ выделился. (Этан.)

507. К водному раствору массой 4 г с массовой долей альдегида 22% прилили избыток аммиачного раствора оксида серебра и при нагревании получили 4,32 г осадка. Назовите альдегид. (Этаналь.)

508. При взаимодействии одноатомного спирта, содержащего 37,5% углерода и 12,5% водорода, с органической кислотой образуется вещество, плотность паров которого по водороду равна 37. Определите его молекулярную и структурную формулы. ($\text{CH}_3\text{COOCH}_3$.)

509. При щелочном гидролизе 30 г некоторого сложного эфира получено 34 г натриевой соли предельной одноосновной карбоновой кислоты и 16 г спирта. Установите молекулярную и структурную формулы этого эфира. (HCOOCH_3 .)

510. Определите формулу вторичного амина, если продукт его взаимодействия с хлороводородом содержит 43,55% хлора по массе. ($(\text{CH}_3)_2\text{NH}$.)

511. Выведите формулу двухатомного спирта, при взаимодействии 18,6 г которого с кальцием получено 6,72 л газа (н. у.). ($\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$.)

512. Определите формулу первичного амина, если известно, что его средняя серноокислая соль содержит 17% серы. ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.)

513. При окислении 37 г первичного спирта получено 44 г одноосновной карбоновой кислоты алифатического ряда с тем же числом атомов углерода в молекуле, что и у исходного спирта. Определите молекулярную формулу кислоты, составьте структурные формулы трёх изомеров и назовите их. ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$.)

514. При гидролизе сложного эфира, молярная масса которого равна 130 г/моль, образуются кислота и спирт. Определите строение эфира, если известно, что серебряная соль кислоты содержит 59,66% серебра по массе. Спирт не окисляется дихроматом калия и легко реагирует с хлороводородной кислотой с образованием хлоралкана. (*трет*-Бутилпропионат; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}(\text{CH}_3)_3$.)

515. Одноосновная карбоновая кислота, содержащая 54,5% углерода, реагирует со спиртом с образованием вещества, плотность паров которого по воздуху равна 4. Установите формулу образовавшегося вещества. ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_2\text{H}_5$.)

VII

1. Расчёты по термохимическим уравнениям (экзотермические и эндотермические реакции, тепловой эффект)

Химические реакции сопровождаются выделением или поглощением теплоты.

Реакции, которые протекают *с выделением теплоты*, называют **экзотермическими**.

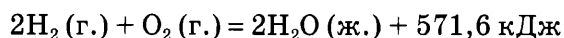
Реакции, которые протекают *с поглощением теплоты*, называют **эндотермическими**.

Количество теплоты, которое выделяется или поглощается при химической реакции, называют **тепловым эффектом реакции**. Его обозначают латинской буквой Q и выражают в килоджоулях (кДж).

Для экзотермических реакций $Q > 0 (+Q)$, для эндотермических $Q < 0 (-Q)$.

Уравнения реакций, в которых указаны тепловые эффекты реакций и агрегатное состояние веществ (г. – газообразное, ж. – жидкое, тв. – твёрдое), называют **термохимическими**.

Например, запись уравнения экзотермической реакции



означает, что при взаимодействии 2 моль водорода и 1 моль кислорода образуется 2 моль воды и выделяется 571,6 кДж теплоты.

А запись уравнения эндотермической реакции



означает, что при взаимодействии 1 моль азота и 1 моль кислорода образуется 2 моль оксида азота(II) и поглощается извне 180,8 кДж теплоты.

По термохимическим уравнениям реакций можно проводить различные расчёты. Для этого нужно записать само уравнение, затем на основании данных из условия задачи составить пропорцию и решить её.

Задача 1. Составьте термохимическое уравнение реакции горения магния, если известно, что при сгорании 12 г магния выделилось 307,2 кДж теплоты.

Дано:

$$m(\text{Mg}) = 12 \text{ г}$$

$$Q_1 = 307,2 \text{ кДж}$$

Найти:

термохимическое уравнение реакции

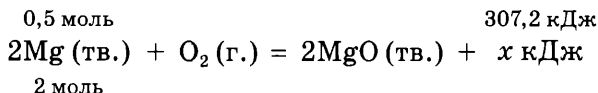
Решение

1. Вычисляем количество вещества магния:

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})};$$

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{12 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции горения магния и ставим данные. Поскольку тепловой эффект реакции неизвестен, обозначим его как x кДж:



3. Вычисляем количество теплоты, которая выделится при сгорании 2 моль магния:

при сгорании 0,5 моль магния выделяется 307,2 кДж;

при сгорании 2 моль магния выделяется x кДж;

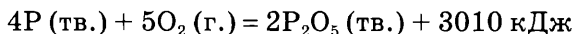
$$\frac{0,5 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = \frac{307,2 \text{ кДж}}{x \text{ кДж}}; \quad x = \frac{307,2 \text{ кДж} \cdot 2 \text{ моль}}{0,5 \text{ моль}} = 1228,8 \text{ кДж.}$$

4. Записываем термохимическое уравнение реакции:



Ответ: $2\text{Mg (тв.)} + \text{O}_2 \text{ (г.)} = 2\text{MgO (тв.)} + 1228,8 \text{ кДж.}$

Задача 2. По термохимическому уравнению



вычислите количество теплоты, выделившейся при сгорании 31 г фосфора.

Дано:

$$m(\text{P}) = 31 \text{ г}$$

$$Q = 3010 \text{ кДж}$$

Найти:

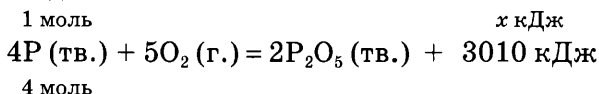
$$Q_1$$

Решение

1. Вычисляем количество вещества сгоревшего фосфора:

$$\nu(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})}; \quad \nu(\text{P}) = \frac{31 \text{ г}}{31 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль.}$$

2. В уравнении реакции горения фосфора расставляем имеющиеся данные:

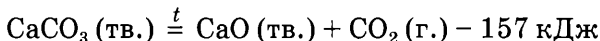


3. Вычисляем количество теплоты, которая выделится при сгорании 1 моль фосфора:

$$\frac{1 \text{ моль}}{4 \text{ моль}} = \frac{x \text{ кДж}}{3010 \text{ кДж}}; x = \frac{3010 \text{ кДж} \cdot 1 \text{ моль}}{4 \text{ моль}} = 752,5 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q_1 = 752,5 \text{ кДж.}$

Задача 3. По термохимическому уравнению



вычислите массу разложившегося известняка, если на его разложение затрачено 1570 кДж.

Дано:

$$Q = -157 \text{ кДж}$$

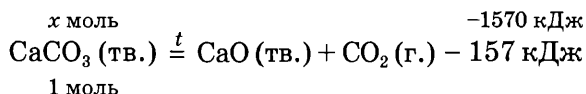
$$Q_1 = -1570 \text{ кДж}$$

Найти:

$$m(\text{CaCO}_3)$$

Решение

1. В уравнении реакции разложения известняка расставляем имеющиеся данные:



2. Вычисляем количество вещества разложившегося известняка:

$$\frac{-1570 \text{ кДж}}{-157 \text{ кДж}} = \frac{x \text{ моль}}{1 \text{ моль}}; \quad x = \frac{1 \text{ моль} \cdot (-1570 \text{ кДж})}{-157 \text{ кДж}} = 10 \text{ моль.}$$

3. Определяем массу разложившегося известняка:

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 10 \text{ моль} \cdot 100 \text{ г/моль} = 1000 \text{ г.}$$

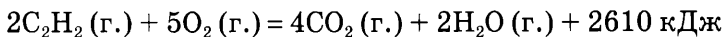
Ответ: $m(\text{CaCO}_3) = 1000 \text{ г.}$

Задачи для самостоятельного решения

516. При сгорании 8 г кальция выделилось 127 кДж теплоты. Составьте термохимическое уравнение реакции.

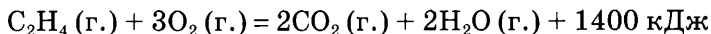
517. На разложение 8,68 г оксида ртути(II) затрачено 3,64 кДж теплоты. Составьте термохимическое уравнение реакции.

518. По термохимическому уравнению



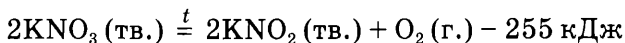
вычислите количество теплоты, выделившейся при сгорании: а) 13 г ацетилена; б) 1,12 л (н. у.) ацетилена; в) 1 моль ацетилена. (а) 652,5 кДж; б) 65,25 кДж; в) 1305 кДж.)

519. По термохимическому уравнению



определите объём этилена (н. у.), который нужно сжечь, чтобы получить 70 кДж теплоты. (1,12 л.)

520. По термохимическому уравнению



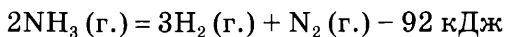
вычислите количество теплоты, которая поглотится при получении 6,72 л кислорода (н. у.). (76,5 кДж.)

521. По термохимическому уравнению



вычислите массу гидроксида натрия, вступившего в реакцию, если известно, что при его нейтрализации выделилось 725 кДж теплоты. (200 г.)

522. По термохимическому уравнению



вычислите количество теплоты, которая необходима для разложения 5 моль аммиака. Определите тепловой эффект реакции образования 1 моль аммиака из простых веществ. (230 кДж; 46 кДж.)

523. При действии воды на 40 г оксида серы(VI), содержащего 20% примесей, выделилось 272,8 кДж теплоты. Определите тепловой эффект и составьте термохимическое уравнение реакции. (682 кДж.)

524. В реакции между железом и хлором на 11,2 л (н. у.) окислителя выделяется 132 кДж теплоты. Вычислите количество теплоты, выделившейся при окислении 0,5 моль железа. (198 кДж.)

525. Тепловой эффект реакции разложения 1 моль хлората калия в присутствии катализатора равен +91 кДж. Вычис-

лите объём (н.у.) образовавшегося кислорода, если в реакции выделилось 136,5 кДж теплоты. (50,4 л.)

526. При взаимодействии водных растворов, содержащих 36,5 г хлороводорода и 40 г гидроксида натрия, выделилось 57 кДж теплоты. Определите количество теплоты, которая выделится при взаимодействии водных растворов, содержащих 63 г азотной кислоты и 56 г гидроксида калия. (57 кДж.)

527. Теплотворная способность этилена равна 50 000 кДж/кг. Вычислите тепловой эффект реакции сгорания этилена. (1400 кДж.)

2. Расчёты по термохимическим уравнениям (закон Гесса, стандартная энтальпия реакции)

Закон Гесса: тепловой эффект химической реакции при постоянном давлении или постоянном объёме зависит только от природы и физического состояния исходных веществ и продуктов, но не зависит от пути перехода из начального состояния в конечное.

Тепловой эффект химической реакции зависит от условий её протекания, поэтому его определяют при постоянном давлении (1 атм, или 101,3 кПа) и постоянной температуре (25 °С, или 298 К). Эти условия называют *стандартными*. Если тепловой эффект реакции определяют при стандартных условиях, то его выражают изменением энтальпии $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$.

Энтальпия H – это величина, которая характеризует энергию системы. Энергия продуктов экзотермических реакций *меньше*, чем исходных веществ, поэтому изменение энтальпии $\Delta H < 0$ ($-\Delta H$). Энергия продуктов эндотермических реакций *больше*, чем исходных веществ, поэтому изменение энтальпии $\Delta H > 0$ ($+\Delta H$).

Знак ΔH противоположен знаку Q :

экзотермическая реакция $+Q$ и $-\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$;

эндотермическая реакция $-Q$ и $+\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$.

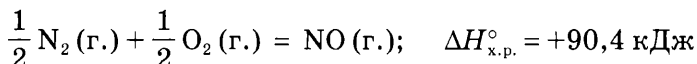
Для экзотермической реакции $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} < 0$, для эндотермической реакции $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} > 0$.

Значение $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$ записывают после уравнения и отделяют от него точкой с запятой:



Реакция протекает с поглощением теплоты ($\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} > 0$).

Чтобы показать тепловой эффект образования 1 моль соединения, в термохимических уравнениях можно применять и дробные коэффициенты. Например, термохимическое уравнение реакции образования 1 моль оксида азота(II) из азота и кислорода можно записать так:



В термохимических расчётах применяют следствие из закона Гесса: тепловой эффект химической реакции ($\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$) равен сумме теплот образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования исходных веществ с учётом стехиометрических коэффициентов в уравнении реакции.

Так, для реакции $aA + bB = dD + cC$

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} = (d\Delta H^{\circ}(\text{D}) + c\Delta H^{\circ}(\text{C})) - (a\Delta H^{\circ}(\text{A}) + b\Delta H^{\circ}(\text{B})),$$

где $\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}$ – тепловой эффект химической реакции;

a, b, c, d – стехиометрические коэффициенты;

$\Delta H^{\circ}(\text{A})$ и $\Delta H^{\circ}(\text{B})$ – теплоты (энтальпии) образования исходных веществ;

$\Delta H^{\circ}(\text{D})$ и $\Delta H^{\circ}(\text{C})$ – теплоты (энтальпии) образования продуктов реакции.

Стандартной теплотой (энтальпией) образования соединения (ΔH°) называют количество теплоты, которая выделяется или поглощается при образовании 1 моль химического соединения из простых веществ при стандартных условиях. Её выражают в кДж/моль (табл. 1).

Стандартную теплоту (энтальпию) образования простого вещества принимают равной нулю.

**Стандартные теплоты (энтальпии) образования
некоторых веществ**

Веще- ство	Состо- яние	ΔH° , кДж/моль	Веще- ство	Состо- яние	ΔH° , кДж/моль
C ₂ H ₂	г.	+226,75	SO ₂	г.	-296,90
CS ₂	г.	+115,28	NH ₄ Cl	тв.	-315,39
NO	г.	+90,37	Na ₂ S	тв.	-372,0
C ₆ H ₆	г.	+82,93	KClO ₃	тв.	-391,20
C ₂ H ₄	г.	+52,28	CO ₂	г.	-393,51
NO ₂	г.	+33,0	SO ₃	г.	-396,10
H ₂ S	г.	-20,15	NaCl	тв.	-411,10
HBr	г.	-34,12	KCl	тв.	-435,90
NH ₃	г.	-46,19	MgO	тв.	-602,1
CH ₄	г.	-74,85	CaO	тв.	-635,50
C ₂ H ₆	г.	-84,67	Fe ₂ O ₃	тв.	-822,10
HCl	г.	-92,31	Ca(OH) ₂	тв.	-986,50
CO	г.	-110,52	Na ₂ CO ₃	тв.	-1130,90
CH ₃ OH	г.	-201,17	Cr ₂ O ₃	тв.	-1141,0
HNO ₃	ж.	-173,00	CaCO ₃	тв.	-1206,90
C ₂ H ₅ OH	г.	-235,31	C ₆ H ₁₂ O ₆	тв.	-1273,0
H ₂ O	г.	-241,88	Na ₂ SO ₄	тв.	-1388,0
C ₂ H ₅ OH	ж.	-277,60	Al ₂ O ₃	тв.	-1669,80
H ₂ O	ж.	-285,84	Al ₂ (SO ₄) ₃	тв.	-3442,0

Задача 1. При взаимодействии газообразных сероводорода и оксида углерода(IV) образуются пары воды и сероуглерода CS_2 . Составьте термохимическое уравнение реакции, вычислив её тепловой эффект. Укажите, какая это реакция: экзотермическая или эндотермическая.

Дано:

$$\Delta H^\circ(\text{H}_2\text{S}) = -20,15 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^\circ(\text{CO}_2) = -393,51 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^\circ(\text{H}_2\text{O}) = -241,88 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^\circ(\text{CS}_2) = +115,28 \text{ кДж/моль}$$

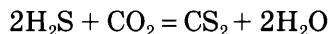
Найти:

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ$$

термохимическое уравнение

Решение

1. Составляем уравнение реакции:



2. Вычисляем тепловой эффект реакции. Согласно следствию из закона Гесса можно записать:

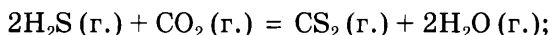
$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = (\Delta H^\circ(\text{CS}_2) + 2\Delta H^\circ(\text{H}_2\text{O})) - (2\Delta H^\circ(\text{H}_2\text{S}) + \Delta H^\circ(\text{CO}_2)).$$

Подставив в это уравнение значения величин, получаем:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{х.р.}}^\circ &= (115,28 + 2(-241,88)) - (2(-20,15) + (-393,51)) = \\ &= +65,33 \text{ (кДж)}. \end{aligned}$$

Тепловой эффект реакции равен +65,33 кДж, следовательно, реакция эндотермическая, протекает с поглощением теплоты.

3. Записываем термохимическое уравнение реакции:



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = +65,33 \text{ кДж.}$$

Ответ: $\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = +65,33 \text{ кДж.}$

Задача 2. Определите количество теплоты, выделяющейся при гашении водой 100 кг извести.

Дано:

$$m(\text{CaO}) = 100 \text{ кг}$$

Найти:

$$Q_1$$

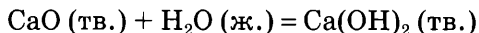
Решение

1. Вычисляем количество вещества оксида кальция:

$$v(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})};$$

$$v(\text{CaO}) = \frac{100\,000 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 1785,7 \text{ моль.}$$

2. Составляем уравнение реакции гашения извести:



3. Определяем тепловой эффект реакции (теплоты образования веществ находим в табл. 1 на с. 156):

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = \Delta H^\circ(\text{Ca(OH)}_2) - (\Delta H^\circ(\text{CaO}) + \Delta H^\circ(\text{H}_2\text{O}));$$

$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -986,5 - ((-635,5) + (-285,84)) = -65,16 \text{ (кДж)}.$$

Тепловой эффект реакции определили в расчёте на 1 моль оксида кальция.

4. Находим количество теплоты, которая выделяется при гашении 1785,7 моль оксида кальция:

при гашении 1 моль CaO выделяется 65,16 кДж;

при гашении 1785,7 моль CaO выделяется x кДж;

$$\frac{1 \text{ моль}}{1785,7 \text{ г/моль}} = \frac{65,16 \text{ кДж}}{x \text{ кДж}};$$
$$x = \frac{1785,7 \text{ моль} \cdot 65,16 \text{ кДж}}{1 \text{ моль}} = \frac{65,16 \text{ кДж}}{x \text{ кДж}}.$$

Ответ: $Q_1 = 1,16 \cdot 10^5$ кДж.

Задача 3. При сгорании 11,5 г этилового спирта выделилось 308,71 кДж теплоты. Составьте термохимическое уравнение реакции, в результате которой образуются пары воды и оксид углерода(IV). Вычислите теплоту образования спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (ж.).

Дано:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 11,5 \text{ г}$$

$$Q_1 = 308,71 \text{ кДж}$$

Найти:

$$\Delta H^\circ(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.})$$

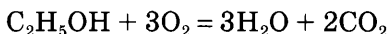
Решение

1. Находим количество вещества этилового спирта:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})};$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{11,5 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}.$$

2. Составляем уравнение реакции горения этилового спирта:



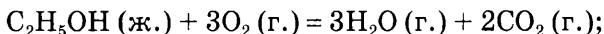
3. Вычисляем тепловой эффект реакции:

при сгорании 0,25 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ выделяется 308,71 кДж;

при сгорании 1 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ выделяется x кДж;

$$x = \frac{308,7 \text{ моль} \cdot 1 \text{ моль}}{0,25 \text{ моль}} = 1234,8 \text{ кДж.}$$

4. Записываем термохимическое уравнение реакции:



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} = -1234,8 \text{ кДж.}$$

5. Определяем теплоту образования $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH (ж.)}$.

На основании следствия из закона Гесса записываем:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ} &= (3\Delta H^{\circ}(\text{H}_2\text{O, г.}) + 2\Delta H^{\circ}(\text{CO}_2)) - \\ &- (\Delta H^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.}) + 3\Delta H^{\circ}(\text{O}_2)). \end{aligned}$$

Учитывая, что теплота образования простого вещества равна нулю ($\Delta H^{\circ}(\text{O}_2) = 0$), получаем:

$$\Delta H^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.}) = (3\Delta H^{\circ}(\text{H}_2\text{O, г.}) + 2\Delta H^{\circ}(\text{CO}_2)) - \Delta H_{\text{х.р.}}^{\circ}.$$

Подставляем в это уравнение теплоты образования веществ и тепловой эффект реакции:

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.}) &= (3(-241,88) + 2(-393,51)) + 1234,8 = \\ &= -277,86 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

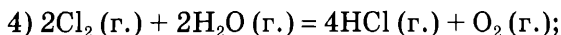
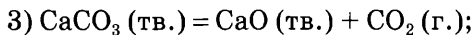
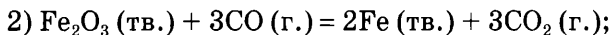
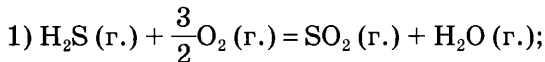
Поскольку в уравнении реакции перед формулой $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ стоит коэффициент 1, можем записать:

$$\Delta H^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.}) = -277,86 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: $\Delta H^{\circ}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH, ж.}) = -277,86 \text{ кДж/моль.}$

Задачи для самостоятельного решения

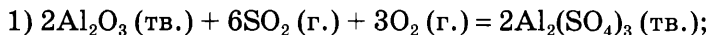
528. На основании значений стандартных теплот образования веществ (см. табл. 1 на с. 156) вычислите тепловые эффекты следующих реакций:



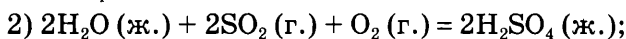
- 5) $\text{SO}_2 (\text{г.}) + 1/2\text{O}_2 (\text{г.}) = \text{SO}_3 (\text{г.});$
- 6) $\text{H}_2\text{O} (\text{г.}) + \text{C} (\text{тв.}) = \text{CO} (\text{г.}) + \text{H}_2 (\text{г.});$
- 7) $\text{Al}_2\text{O}_3 (\text{тв.}) + 3\text{SO}_3 (\text{г.}) = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{тв.});$
- 8) $\text{C}_2\text{H}_6 (\text{г.}) + 7/2\text{O}_2 (\text{г.}) = 2\text{CO}_2 (\text{г.}) + 3\text{H}_2\text{O} (\text{г.});$
- 9) $\text{CH}_4 (\text{г.}) + \text{CO}_2 (\text{г.}) = 2\text{CO} (\text{г.}) + 2\text{H}_2 (\text{г.});$
- 10) $2\text{NH}_3 (\text{г.}) + 3/2\text{O}_2 (\text{г.}) = \text{N}_2 (\text{г.}) + 3\text{H}_2\text{O} (\text{ж.});$
- 11) $2\text{KClO}_3 (\text{тв.}) = 2\text{KCl} (\text{тв.}) + 3\text{O}_2 (\text{г.}).$

Укажите, какие из этих реакций экзотермические, какие эндотермические.

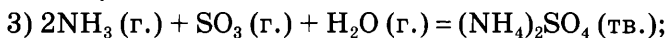
529. По термохимическим уравнениям рассчитайте теплоты образования продуктов реакции:



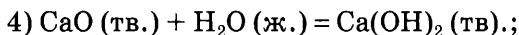
$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -1762 \text{ кДж};$$



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -462 \text{ кДж};$$

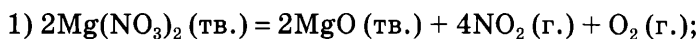


$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -451 \text{ кДж};$$



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -65,16 \text{ кДж}.$$

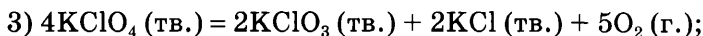
530. По термохимическим уравнениям рассчитайте теплоты образования исходных веществ:



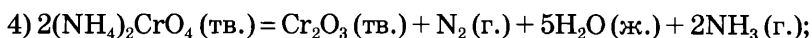
$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = +510 \text{ кДж};$$



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -176 \text{ кДж};$$

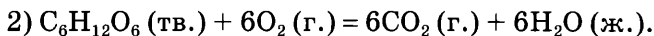
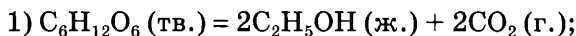


$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = +60 \text{ кДж};$$



$$\Delta H_{\text{х.р.}}^\circ = -89 \text{ кДж}.$$

531. На основании значений теплот образования веществ вычислите тепловые эффекты протекающих в организме реакций превращения глюкозы:

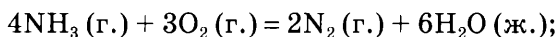


Укажите, какая из этих реакций поставляет организму больше энергии. (Вторая реакция.)

532. Газообразный этиловый спирт можно получить при взаимодействии этилена и водяных паров. Составьте термохимическое уравнение этой реакции, вычислите её тепловой эффект. ($-45,76$ кДж.)

533. Составьте термохимическое уравнение реакции между оксидом углерода(II) и водородом, в результате которой образуются метан и водяной пар. Вычислите количество теплоты, выделяющейся при этой реакции, если был получен метан объёмом $67,2$ л (н. у.). ($618,63$ кДж.)

534. Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением:



$$\Delta H_{\text{x.p.}}^{\circ} = -1530,28 \text{ кДж.}$$

Вычислите теплоту образования $\text{NH}_3(\text{г.})$. ($-46,19$ кДж/моль.)

535. Тепловой эффект реакции горения жидкого бензола с образованием паров воды и оксида углерода(IV) равен $-6271,16$ кДж. Составьте термохимическое уравнение этой реакции, вычислите теплоту образования $\text{C}_6\text{H}_6(\text{ж.})$. ($+49,03$ кДж/моль.)

536. Сожжены с образованием паров воды равные объёмы водорода и ацетилен, взятых при одинаковых условиях. Определите, в каком случае выделится больше теплоты и во сколько раз. (При сжигании C_2H_2 в 5,2 раза больше.)

537. При восстановлении 80 г оксида железа(III) алюминием выделяется $423,22$ кДж теплоты. Определите теплоту образования оксида железа(III). ($-822,10$ кДж/моль.)

538. Вычислите массу этанола, при сгорании которого выделяется столько же энергии, как и при сгорании 100 г метанола. При вычислениях используйте теплоты образования спиртов в газообразном состоянии, а воды – в жидком. (78 г.)

539. Вычислите количество теплоты, которая выделится при сгорании 500 л оксида углерода(II) (н. у.). (6317 кДж.)

540. Рассчитайте количество теплоты, которая выделится при сгорании 1 м^3 смеси газов (н. у.), состоящей из водорода (мольная доля $0,6$) и метана (мольная доля $0,4$). При вычислениях используйте теплоту образования воды в жидком состоянии. ($23\,550$ кДж.)

541. При сжигании смеси паров этанола и кислорода с образованием паров воды выделилось 494,2 кДж теплоты и остался непрореагировавший кислород объёмом 19,7 л (н.у.). Определите массовые доли этанола и кислорода в исходной смеси. (21,5% C_2H_5OH ; 78,5% O_2 .)

542. При поджигании 20,8 г смеси оксида углерода(II) и кислорода выделилось 113,6 кДж теплоты. А при поджигании смеси этой же массы, в которую добавлено ещё некоторое количество водорода, выделилось 150 кДж теплоты. Определите массовые доли оксида углерода(II) и кислорода в исходной смеси. (54,04% CO ; 45,96% O_2 .)

3. Скорость химической реакции

Средняя скорость химической реакции v – это изменение молярной концентрации $\Delta c = c_2 - c_1$ исходных веществ или продуктов реакции в единицу времени:

$$v = \pm \frac{c_2 - c_1}{\tau_2 - \tau_1} = \pm \frac{\Delta c}{\Delta \tau}.$$

Молярную концентрацию c выражают в молях на литр (моль/л), а время τ – в секундах или минутах, поэтому скорость реакции будет выражена в моль/(л · с) или моль/(л · мин).

Скорость химической реакции – величина *положительная*. Концентрация исходных веществ при протекании химической реакции уменьшается ($\Delta c < 0$), поэтому в правой части равенства ставят знак «минус». Если скорость реакции определяют по изменению концентрации продуктов реакции, то в правой части уравнения ставят знак «плюс», так как концентрация продуктов реакции увеличивается ($\Delta c > 0$).

Молярную концентрацию вещества можно рассчитать по формуле:

$$c = \frac{v}{V}, \text{ тогда } \Delta c = \frac{\Delta v}{V}.$$

Следовательно,

$$v = \pm \frac{\Delta v}{V \cdot \Delta \tau},$$

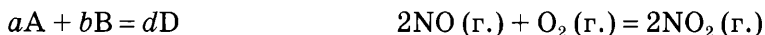
где Δv – изменение количества вещества, участвующего в реакции, моль;

V – объём реакционной системы, л.

Закон действующих масс: скорость элементарной химической реакции при данной температуре прямо пропорцио-

нальна произведению молярных концентраций реагирующих веществ в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам.

Так, для элементарной гомогенной реакции



этот закон выражается кинетическим уравнением:

$$v = kc^a (A) \cdot c^b (B) \qquad v = kc^2(NO) \cdot c(O_2),$$

где v – скорость реакции;

$c(A)$ и $c(B)$ – молярные концентрации реагирующих веществ;

a и b – стехиометрические коэффициенты;

k – *константа скорости реакции*. Она зависит от природы реагирующих веществ, температуры, катализатора, но не зависит от концентрации реагирующих веществ. Значение k численно равно скорости реакции при концентрации реагирующих веществ, равных 1 моль/л ($c(A) = c(B) = 1$ моль/л).

Для *гетерогенной реакции* концентрация твёрдого вещества не входит в кинетическое уравнение:



$$v = kc^b(B) \qquad v = kc(O_2).$$

Правило Вант-Гоффа: при повышении температуры на каждые 10 градусов скорость большинства химических реакций увеличивается в 2–4 раза:

$$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

где v_1 и v_2 – скорости реакций при начальной t_1 и конечной t_2 температурах;

γ – *температурный коэффициент скорости реакции*, который показывает, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на 10 градусов ($\gamma = 2 - 4$).

Задача 1. В сосуде объёмом 2 л смешали 4,5 моль хлора и 3 моль водорода. Сосуд оставили на рассеянном свете при постоянной температуре. Через 2 с в реакционной системе образовался 1 моль хлороводорода. Определите среднюю скорость реакции и количество вещества хлора и водорода, которые не прореагировали.

Дано:

$$V = 2 \text{ л}$$

$$\nu_1(\text{Cl}_2) = 4,5 \text{ моль}$$

$$\nu_1(\text{H}_2) = 3 \text{ моль}$$

$$\tau = 2 \text{ с}$$

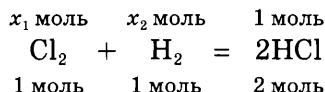
$$\Delta\nu(\text{HCl}) = 1 \text{ моль}$$

Найти:

$$\nu; \nu_2(\text{Cl}_2); \nu_2(\text{H}_2)$$

Решение

1. Составляем уравнение реакции:



2. Определяем количество вещества хлора, вступившего в реакцию. Из уравнения реакции следует, что:

$$\Delta\nu(\text{Cl}_2) = -\frac{1}{2} \Delta\nu(\text{HCl}); \Delta\nu(\text{Cl}_2) = -0,5 \text{ моль}.$$

3. Аналогично получаем для водорода:

$$\Delta\nu(\text{H}_2) = -\frac{1}{2} \Delta\nu(\text{HCl}); \Delta\nu(\text{H}_2) = -0,5 \text{ моль}.$$

4. Вычисляем среднюю скорость реакции за данный промежуток времени:

$$\nu = -\frac{\Delta\nu(\text{Cl}_2)}{V \cdot \Delta\tau}; \quad \nu = -\frac{-0,5 \text{ моль}}{2 \text{ л} \cdot 2 \text{ с}} = 0,125 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}.$$

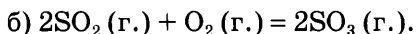
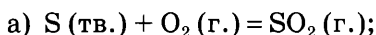
5. Определяем количество вещества хлора и водорода, которые не вступили в реакцию:

$$\nu_2(\text{Cl}_2) = 4,5 \text{ моль} - 0,5 \text{ моль} = 4 \text{ моль};$$

$$\nu_2(\text{H}_2) = 3 \text{ моль} - 0,5 \text{ моль} = 2,5 \text{ моль}.$$

$$\text{Ответ: } \nu = 0,125 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}; \quad \nu_2(\text{Cl}_2) = 4 \text{ моль}; \quad \nu_2(\text{H}_2) = 2,5 \text{ моль}.$$

Задача 2. Окисление серы и оксида серы(IV) протекает по уравнениям:



Как изменятся скорости этих реакций, если объёмы каждой из систем уменьшить в четыре раза?

Дано:

$$V_1/V_2 = 4$$

Найти:

$$\nu_2/\nu_1$$

Решение

а) $\text{S (тв.)} + \text{O}_2 (\text{г.}) = \text{SO}_2 (\text{г.})$ (гетерогенная реакция).

Обозначим концентрацию кислорода в системе: $c(\text{O}_2) = a$.

1. Согласно закону действующих масс определим скорость реакции до изменения объёма: $v_1 = kc(\text{O}_2) = ka$.

2. Скорость реакции после уменьшения объёма (вследствие уменьшения объёма концентрация кислорода увеличится в четыре раза): $v_2 = k(4a) = 4ka$.

3. Определяем, во сколько раз возрастёт скорость реакции:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{4ka}{ka} = 4.$$

Следовательно, скорость реакции увеличится в 4 раза.

б) $2\text{SO}_2 (\text{г.}) + \text{O}_2 (\text{г.}) = 2\text{SO}_3 (\text{г.})$ (гомогенная реакция).

Обозначаем концентрации реагирующих веществ:

$$c(\text{O}_2) = a; \quad c(\text{SO}_2) = b.$$

1. Скорость реакции до изменения объёма:

$$v_1 = kc(\text{O}_2) \cdot c^2(\text{SO}_2) = kab^2.$$

2. Скорость реакции после уменьшения объёма:

$$v_2 = k(4a) \cdot (4b)^2 = k \cdot 4a \cdot 16b^2 = 64 kab^2.$$

3. Определяем, во сколько раз возрастёт скорость реакции:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{64kab^2}{kab^2} = 64.$$

Следовательно, скорость реакции увеличится в 64 раза.

Ответ: а) увеличится в 4 раза;

б) увеличится в 64 раза.

Задача 3. Вычислите, во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры от 30 до 70 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

Дано:

$$t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 70^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 2$$

Найти:

$$v_2/v_1$$

Решение

По правилу Вант-Гоффа

$$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

$$\Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; \quad \frac{v_2}{v_1} = 2^{\frac{70 - 30}{10}} = 16 \text{ (раз)}.$$

Следовательно, скорость реакции увеличится в 16 раз.

Ответ: скорость реакции увеличится в 16 раз.

Задача 4. При температуре 30 °С некоторая реакция заканчивается за 2 мин 15 с. Вычислите, через какое время закончится эта реакция при 60 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

Дано:

$$t_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\tau_1 = 135\text{ с}$$

$$\gamma = 3$$

Найти:

$$\Delta\tau_2$$

Решение

1. Вычисляем, во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры от 30 до 60 °С:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; \quad \frac{v_2}{v_1} = 3^{\frac{60 - 30}{10}} = 3^3 = 27,$$

т. е. скорость реакции увеличится в 27 раз.

2. Находим время, за которое закончится эта реакция при температуре 60 °С:

$$\Delta\tau_2 = 135\text{ с} : 27 = 5\text{ с}.$$

Ответ: при температуре 60 °С реакция заканчивается за 5 с.

Задачи для самостоятельного решения

543. При взаимодействии водорода с хлором, бромом и иодом в сосудах равного объёма через 60 с после начала реакций образуется 18,25 г хлороводорода, 40,5 г бромоводорода и 64 г иодоводорода. С одинаковой ли скоростью протекают эти реакции? (С одинаковой.)

544. Определите, во сколько раз увеличится скорость реакции $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$, если увеличить количества веществ азота и кислорода в реакционной системе в два раза при постоянном объёме. (Возрастёт в 4 раза.)

545. Как изменится скорость реакции $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$, если уменьшить объём реакционного сосуда в 3 раза. (Возрастёт в 27 раз.)

546. В ходе гомогенной реакции, протекающей в сосуде объёмом 3 л, количество вещества реагента за 5 с изменилось с 5 моль до 2 моль. Определите скорость реакции. (0,2 моль/(л · с).)

547. Определите, во сколько раз увеличится скорость реакции $\text{C (тв.)} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ при увеличении количеств веществ реагентов в 4 раза. (В 4 раза.)

548. Химическая реакция протекает в растворе согласно уравнению $\text{A} + \text{B} = \text{C}$. Исходные концентрации веществ:

$c(\text{A}) = 0,80$ моль/л; $c(\text{B}) = 1,00$ моль/л. Спустя 20 мин концентрация А снизилась до 0,78 моль/л. Определите среднюю скорость реакции и концентрацию оставшегося вещества В. (0,001 моль/(л · мин); 0,98 моль/л.)

549. Реакция протекает по уравнению $\text{A} + \text{B} = 2\text{C}$. Начальная концентрация вещества А равна 0,22 моль/л, а через 10 с – 0,215 моль/л. Вычислите среднюю скорость реакции. Как изменилась за это время концентрация вещества В? ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/(л · с); уменьшилась на $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л.)

550. В сосуде объёмом 10 л находится 2 моль оксида углерода(II) и 2 моль кислорода. Через 4 с образовался оксид углерода(IV), количество вещества которого составило 0,8 моль. Определите среднюю скорость реакции по кислороду и количества веществ оставшихся в сосуде газов CO и O₂. (0,01 моль/(л · с); 1,6 моль O₂; 1,2 моль CO.)

551. Определите, во сколько раз изменится скорость реакции $2\text{A} + \text{B} = \text{A}_2\text{B}$, если концентрацию вещества А увеличить в 2 раза, а концентрацию вещества В уменьшить в 2 раза. (Увеличится в 2 раза.)

552. Через некоторое время после начала реакции $3\text{A} + \text{B} = 2\text{C} + \text{D}$ концентрации веществ составляли: $c(\text{A}) = 3$ моль/л; $c(\text{B}) = 1$ моль/л; $c(\text{C}) = 0,8$ моль/л. Определите исходные концентрации веществ А и В. ($c_{\text{исх}}(\text{A}) = 4,2$ моль/л; $c_{\text{исх}}(\text{B}) = 1,4$ моль/л.)

553. В системе $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$ концентрацию монооксида углерода увеличили от 0,3 до 1,2 моль/л, а концентрацию хлора – от 0,2 до 0,6 моль/л. Определите, во сколько раз возрастёт скорость реакции. (В 12 раз.)

554. Найдите значение константы скорости реакции $\text{A} + \text{B} = \text{AB}$, если при концентрациях веществ А и В, равных соответственно 0,5 и 0,1 моль/л, скорость реакции составляет 0,005 моль/(л · с). (0,1 л/(моль · с).)

555. Реакция идёт по уравнению $\text{H}_2 (\text{г.}) + \text{I}_2 (\text{г.}) = 2\text{HI} (\text{г.})$. Константа скорости этой реакции равна 0,16 л/(моль · с). Исходные концентрации реагирующих веществ: $c(\text{H}_2) = 0,4$ моль/л; $c(\text{I}_2) = 0,5$ моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и её скорость в момент, когда $c(\text{H}_2) = 0,3$ моль/л. (0,032 моль/(л · с); 0,0192 моль/(л · с).)

556. Реакция идёт по уравнению $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$. Концентрации участвующих в ней веществ были: $c(\text{N}_2) = 0,80$ моль/л;

$c(\text{H}_2) = 1,5$ моль/л; $c(\text{NH}_3) = 0,10$ моль/л. Вычислите концентрации водорода и аммиака, когда $c(\text{N}_2) = 0,5$ моль/л. ($c(\text{NH}_3) = 0,7$ моль/л; $c(\text{H}_2) = 0,60$ моль/л.)

557. Вычислите, как изменится скорость реакции: а) при повышении температуры на 30°C ; б) при понижении температуры на 20°C . Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. (а) Увеличится в 27 раз; б) уменьшится в 9 раз.)

558. Определите, на сколько градусов следует повысить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 8 раз, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2. ($\Delta t = 30^\circ\text{C}$.)

559. При 20°C скорость реакции равна $0,04$ моль/(л · с). Определите скорость этой реакции при: а) 40°C ; б) 10°C ; в) 0°C . Температурный коэффициент скорости этой реакции равен 2. (а) $0,16$ моль/(л · с); б) $0,02$ моль/(л · с); в) $0,01$ моль/(л · с).)

560. При температуре 150°C реакция протекает за 16 мин. Вычислите, за сколько времени закончится эта реакция при: а) 200°C ; б) 80°C . Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5. (а) 9,8 с; б) 162 ч 46 мин.)

561. При температуре 30°C реакция протекает за 25 мин, при 50°C – за 4 мин. Рассчитайте температурный коэффициент скорости этой реакции. (2,5.)

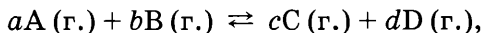
562. При повышении температуры от 20 до 60°C скорость реакции увеличилась в 81 раз. Рассчитайте температурный коэффициент скорости этой реакции. (3.)

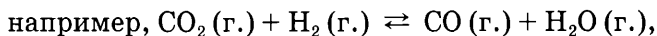
4. Химическое равновесие

Химическое равновесие – это такое состояние обратимой системы, при котором концентрации реагирующих веществ и продуктов реакции не изменяются во времени, так как скорости прямой и обратной реакций равны и отличны от нуля:

$$v_{\text{пр}} = v_{\text{обр}} \neq 0.$$

Состояние химического равновесия количественно характеризует **константа равновесия** $K_{\text{равн}}$. Для любой равновесной гомогенной реакции





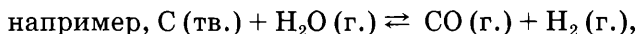
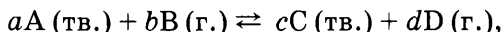
константа равновесия связана с равновесными концентрациями общей формулой:

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\text{C}]^c \cdot [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a \cdot [\text{B}]^b} \quad \left(K_{\text{равн}} = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]} \right),$$

где $[\text{A}]$, $[\text{B}]$, $[\text{C}]$, $[\text{D}]$ – равновесные концентрации;

a , b , c , d – стехиометрические коэффициенты.

В выражение константы равновесия для обратимых гетерогенных реакций не входят концентрации твёрдых веществ. Для гетерогенной реакции



константа равновесия определяется только концентрациями газов (задача 1):

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\text{D}]^d}{[\text{B}]^b} \quad \left(K_{\text{равн}} = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{H}_2\text{O}]} \right).$$

Смещение химического равновесия (принцип Ле Шателье): если изменить одно из условий, при которых система находится в состоянии химического равновесия (концентрация, температура или давление), то равновесие сместится в направлении той реакции, которая противодействует этому изменению.

Из принципа Ле Шателье следует:

1) увеличение концентрации исходных веществ или одного из исходных веществ смещает химическое равновесие в сторону прямой реакции, а увеличение концентрации продуктов – в направлении обратного процесса;

2) повышение температуры смещает химическое равновесие в сторону эндотермической реакции, а понижение температуры – в направлении экзотермического процесса;

3) повышение давления смещает равновесие в сторону реакции, протекающей с образованием меньшего числа молекул газообразных веществ, а понижение давления – в сторону реакции, протекающей с образованием большего числа молекул газообразных веществ.

Если реакция протекает без изменения числа молекул газообразных веществ, то изменение давления не влияет на состояние равновесия этой реакции.

Введение в систему катализатора не влияет на состояние химического равновесия, так как он в одинаковой степени изменяет скорость как прямой, так и обратной реакции. Катализатор только ускоряет достижение химического равновесия.

Задача 1. Исходные концентрации сернистого газа и кислорода равны соответственно 5 и 7 моль/л. Вычислите константу равновесия реакции $2\text{SO}_2 (\text{г.}) + \text{O}_2 (\text{г.}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3 (\text{г.})$, если концентрация оксида серы(VI) в момент равновесия равна 4 моль/л.

Дано:

$$c_{\text{исх}}(\text{SO}_2) = 5 \text{ моль/л}$$

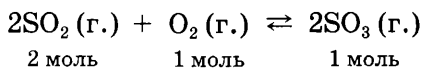
$$c_{\text{исх}}(\text{O}_2) = 7 \text{ моль/л}$$

$$[\text{SO}_3] = 4 \text{ моль/л}$$

Найти: $K_{\text{равн}}$

Решение

1. Вычисляем равновесные концентрации SO_2 и O_2 :



В начальный момент концентрация оксида серы(VI) равна нулю. По уравнению реакции 1 моль SO_3 образуется из 1 моль SO_2 и 0,5 моль O_2 , поэтому для образования 4 моль/л SO_3 необходимо 4 моль/л SO_2 и 2 моль/л O_2 . Следовательно,

$$[\text{SO}_2] = c_{\text{исх}}(\text{SO}_2) - c_{\text{израсх}}(\text{SO}_2); [\text{SO}_2] = 5 - 4 = 1 \text{ (моль/л)};$$

$$[\text{O}_2] = c_{\text{исх}}(\text{O}_2) - c_{\text{израсх}}(\text{O}_2); [\text{O}_2] = 7 - 2 = 5 \text{ (моль/л)}.$$

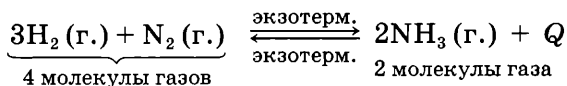
2. Рассчитываем константу равновесия:

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]}; K_{\text{равн}} = \frac{4^2}{1^2 \cdot 5} = 3,2.$$

Ответ: $K_{\text{равн}} = 3,2$.

Задача 2. Реакция между азотом и водородом протекает с выделением теплоты. Укажите, какое влияние на равновесие системы окажет: а) увеличение давления; б) повышение температуры; в) увеличение концентрации азота; г) введение катализатора.

Решение



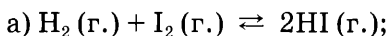
а) В соответствии с принципом Ле Шателье повышение давления приводит к смещению равновесия в сторону реакции, протекающей с образованием меньшего числа молекул газов, т. е. в сторону образования NH_3 .

б) В соответствии с принципом Ле Шателье повышение температуры будет способствовать протеканию эндотермической реакции, т. е. равновесие сместится в сторону разложения NH_3 .

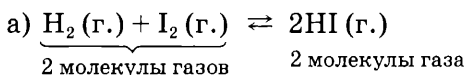
в) Увеличение концентрации азота вызовет смещение равновесия в сторону прямой реакции, т. е. в сторону образования NH_3 .

г) Катализатор в одинаковой степени изменяет скорость прямой и обратной реакций, поэтому введение катализатора не приведёт к смещению равновесия.

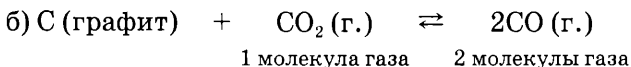
Задача 3. Укажите, как повлияет увеличение давления на равновесие в реакциях:



Решение



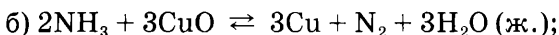
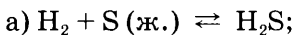
В данной реакции число молекул газообразных веществ, образующихся при протекании прямой и обратной реакций, одинаково, поэтому изменение давления не приведёт к смещению равновесия.

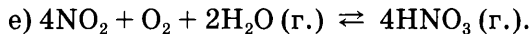
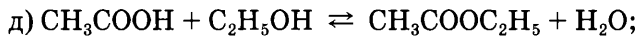
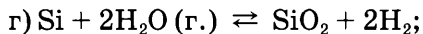
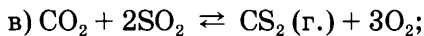


Эта реакция гетерогенная. Повышение давления приводит к смещению равновесия в сторону реакции, протекающей с образованием меньшего числа молекул газа, т. е. в сторону обратной реакции (в сторону образования CO_2).

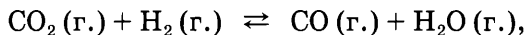
Задачи для самостоятельного решения

563. Напишите выражения для констант химического равновесия обратимых реакций, протекающих по уравнениям:



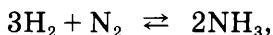


564. Вычислите константу равновесия обратимой реакции:



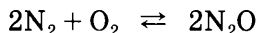
если известны равновесные концентрации реагирующих веществ: $[\text{CO}_2] = 0,004$ моль/л; $[\text{H}_2] = 0,001$ моль/л; $[\text{CO}] = 0,02$ моль/л; $[\text{H}_2\text{O}] = 0,02$ моль/л. Найдите исходные концентрации углекислого газа и водорода. ($K_{\text{равн}} = 100$; $c_{\text{исх}}(\text{CO}_2) = 0,024$ моль/л; $c_{\text{исх}}(\text{H}_2) = 0,021$ моль/л.)

565. Вычислите исходные концентрации азота и водорода в обратимой реакции:



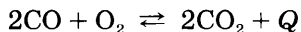
если при наступлении равновесия концентрации водорода, азота и аммиака равны соответственно 0,3; 0,5; 2 моль/л. ($c_{\text{исх}}(\text{H}_2) = 3,3$ моль/л; $c_{\text{исх}}(\text{N}_2) = 1,5$ моль/л.)

566. Константа равновесия обратимой реакции



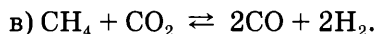
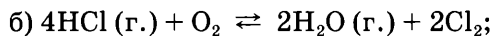
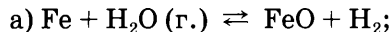
при некоторой температуре равна 1,21. Равновесные концентрации азота и оксида азота(I) равны соответственно 0,72 и 0,84 моль/л. Рассчитайте равновесную и исходную концентрации кислорода. ($[\text{O}_2] = 1,125$ моль/л; $c_{\text{исх}}(\text{O}_2) = 1,545$ моль/л.)

567. Укажите, как повлияет на равновесие системы



а) повышение давления; б) повышение температуры; в) увеличение концентрации кислорода. (а) Сместится в сторону образования CO_2 ; б) сместится в сторону образования CO ; в) сместится в сторону образования CO_2 .)

568. Укажите, как повлияет понижение давления на равновесие в системах:



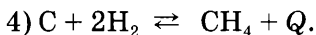
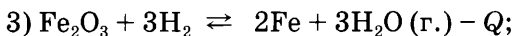
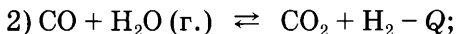
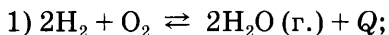
(а) Не повлияет; б) сместится в сторону образования HCl ; в) сместится в сторону образования CO .)

569. Реакция протекает по уравнению

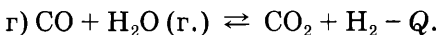
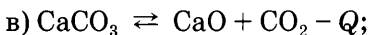
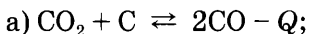


Укажите, изменением каких параметров можно сместить равновесие в сторону образования оксида углерода(IV). (Повышением температуры, уменьшением давления, уменьшением концентрации CO_2 , т. е. удалением CO_2 из реакционной системы.)

570. Укажите, как повлияет: а) повышение давления; б) понижение температуры; в) увеличение концентрации водорода; г) введение катализатора на равновесие в реакциях:



571. Определите, для каких из реакций, уравнения которых приведены ниже, повышение температуры приведёт к смещению равновесия в том же направлении, что и повышение давления:



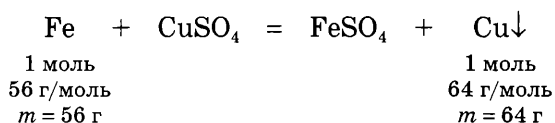
572. Определите, в каком направлении сместится химическое равновесие в системе $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3 (\text{г.})$, если концентрации всех веществ уменьшить в два раза. (Влево.)

573. Если через смесь азота с водородом пропускать искровой разряд, то образуется лишь немного аммиака. Но если при этом газовая смесь находится над серной кислотой, то синтез идёт практически до конца. Укажите, что является причиной такого изменения в ходе процесса. Ответ подтвердите соответствующими уравнениями реакций.

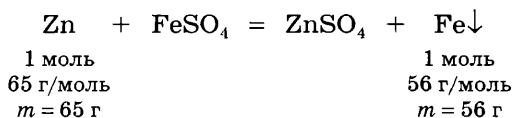
VIII

Известно, что более активный металл вытесняет из водных растворов солей менее активные. Так, при погружении пластинки некоторого металла, например железа, в раствор соли менее активного металла, например сульфата меди(II), протекает реакция замещения. Железо как более активный металл растворяется, а медь как менее активный металл восстанавливается и осаждается на пластинке. В результате реакции массы пластинки и раствора соли изменяются. При этом возможны два варианта.

1. Если на пластинке осаждается металл более тяжёлый, чем тот, из которого сделана пластинка, то масса пластинки увеличивается, а масса раствора уменьшается на такую же величину:



2. Если металл, который осаждается на пластинке, легче, чем растворяющийся, то масса пластинки уменьшается, а масса раствора увеличивается на такую же величину:



Изменения масс пластинки и раствора равны по величине, но противоположны по знаку.

Исходная соль может вступить в реакцию замещения полностью или прореагировать частично. В первом случае в конечном растворе будет только одна соль, во втором – две.

Задача 1. Цинковую пластинку массой 22,5 г погрузили в раствор нитрата свинца(II). Через некоторое время масса

пластинки стала равной 25,34 г. Определите массу цинка, который перешёл в раствор в виде ионов, и массу свинца, который осадился на пластинке.

Дано:

$$m_0(\text{Zn}) = 22,5 \text{ г}$$

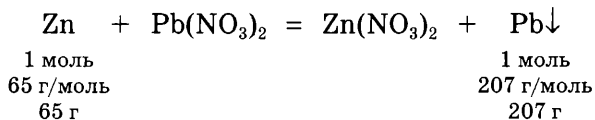
$$m(\text{Zn, Pb}) = 25,34 \text{ г}$$

Найти:

$$m(\text{Zn}); m(\text{Pb})$$

Решение

1. Цинк находится в электрохимическом ряду напряжений металлов левее свинца и вытесняет свинец из раствора его соли:



2. Находим изменение массы цинковой пластинки (Δm_1), вытекающее из уравнения реакции.

Из уравнения реакции следует, что при переходе в раствор (при растворении) 1 моль цинка на пластинке осаждается 1 моль свинца ($\nu(\text{Zn}) = \nu(\text{Pb})$). Это приводит к увеличению массы (Δm_1) цинковой пластинки:

$$\Delta m_1 = m_1(\text{Pb}) - m_1(\text{Zn}); \Delta m_1 = 207 \text{ г} - 65 \text{ г} = 142 \text{ г}.$$

3. Находим изменение массы цинковой пластинки (Δm_2), исходя из условия задачи:

$$\Delta m_2 = m(\text{Zn, Pb}) - m_0(\text{Zn}); \Delta m_2 = 25,34 \text{ г} - 22,5 \text{ г} = 2,84 \text{ г}.$$

Способ 1

4. Вычисляем массу цинка, который перешёл в раствор, и массу свинца, который осадился на пластинке.

Определяем, во сколько раз практическое изменение массы пластинки отличается от вычисленного по уравнению реакции:

$$\frac{\Delta m_2}{\Delta m_1} = \frac{2,84}{142} = 0,02.$$

Во столько же раз будут отличаться и массы растворившегося цинка, и осадённого свинца от масс одного моля этих веществ (согласно уравнению):

$$\frac{m(\text{Zn})}{65 \text{ г}} = 0,02 \Rightarrow m(\text{Zn}) = 0,02 \cdot 65 \text{ г} = 1,3 \text{ г};$$

$$\frac{m(\text{Pb})}{207 \text{ г}} = 0,02 \Rightarrow m(\text{Pb}) = 0,02 \cdot 207 \text{ г} = 4,14 \text{ г}.$$

Способ 2

4. Находим массу цинка, который перешёл в раствор:
при растворении 65 г Zn Δm_1 пластинки составляет 142 г;
при растворении x г Zn Δm_2 пластинки составляет 2,84 г;

$$\frac{65 \text{ г}}{x \text{ г}} = \frac{142 \text{ г}}{2,84 \text{ г}}; \quad x = \frac{65 \text{ г} \cdot 2,84 \text{ г}}{142 \text{ г}} = 1,3 \text{ г}.$$

5. Находим массу свинца, который осадился на пластинке:
при осаждении 207 г Pb Δm_1 пластинки составляет 142 г;
при осаждении x г Pb Δm_2 пластинки составляет 2,84 г;

$$\frac{207 \text{ г}}{x \text{ г}} = \frac{142 \text{ г}}{2,84 \text{ г}}; \quad x = \frac{207 \text{ г} \cdot 2,84 \text{ г}}{142 \text{ г}} = 4,14 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Zn}) = 1,3 \text{ г}$; $m(\text{Pb}) = 4,14 \text{ г}$.

Задача 2. Цинковую пластинку массой 40 г погрузили в раствор массой 680 г с массовой долей нитрата серебра 4%. Вычислите массу пластинки после окончания реакции.

Дано:

$$m_0(\text{Zn}) = 40 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 680 \text{ г}$$

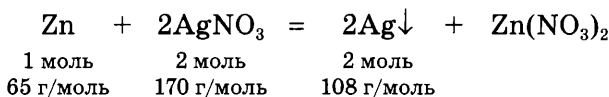
$$w(\text{AgNO}_3) = 0,04$$

Найти:

$$m(\text{Zn}, \text{Ag})$$

Решение

1. Как следует из электрохимического ряда напряжений металлов, цинк вытесняет серебро из раствора его соли:



2. Определяем массу нитрата серебра в растворе:

$$m(\text{AgNO}_3) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{AgNO}_3);$$

$$m(\text{AgNO}_3) = 680 \text{ г} \cdot 0,04 = 27,2 \text{ г}.$$

3. Определяем количество вещества AgNO_3 :

$$\nu(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)}; \quad \nu(\text{AgNO}_3) = \frac{27,2 \text{ г}}{170 \text{ г/моль}} = 0,16 \text{ моль}.$$

4. Рассчитываем массу цинка, вступившего в реакцию. По уравнению реакции

$$\nu(\text{Zn}) : \nu(\text{AgNO}_3) = 1 : 2;$$

$$\nu(\text{Zn}) = \frac{1}{2} \nu(\text{AgNO}_3) \Rightarrow \nu(\text{Zn}) = 0,08 \text{ моль};$$

$$m(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m(\text{Zn}) = 0,08 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 5,2 \text{ г},$$

т. е. из цинковой пластинки массой 40 г в раствор перейдёт в виде ионов 5,2 г, поэтому масса пластинки уменьшится:

$$m_0(\text{Zn}) - m(\text{Zn}) = 40 \text{ г} - 5,2 \text{ г}.$$

5. Вычисляем массу серебра, которое осадилось на пластинке. По уравнению реакции

$$\nu(\text{AgNO}_3) : \nu(\text{Ag}) = 1 : 1; \nu(\text{Ag}) = \nu(\text{AgNO}_3) = 0,16 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ag}) = \nu(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag});$$

$$m(\text{Ag}) = 0,16 \text{ моль} \cdot 108 \text{ г/моль} = 17,28 \text{ г}.$$

6. Находим массу пластинки после окончания реакции:

$$m(\text{Zn, Ag}) = m_0(\text{Zn}) - m(\text{Zn}) + m(\text{Ag});$$

$$m(\text{Zn, Ag}) = 40 \text{ г} - 5,2 \text{ г} + 17,28 \text{ г} = 52,08 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Zn, Ag}) = 52,08 \text{ г}.$

Задача 3. Железную пластинку массой 10,04 г некоторое время выдержали в 250 г раствора с массовой долей сульфата меди(II) 15%, после чего масса пластинки составила 10,81 г. Вычислите массовую долю сульфата меди(II) в растворе после реакции.

Дано:

$$m_0(\text{Fe}) = 10,04 \text{ г}$$

$$m(\text{Fe, Cu}) = 10,81 \text{ г}$$

$$m_1(\text{р-ра}) = 250 \text{ г}$$

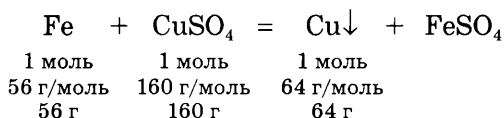
$$w_1(\text{CuSO}_4) = 0,15$$

Найти:

$$w_2(\text{CuSO}_4)$$

Решение

1. Составляем уравнение реакции:



2. Определяем массу и количество вещества сульфата меди(II) в растворе до реакции:

$$m_1(\text{CuSO}_4) = w_1(\text{CuSO}_4) \cdot m_1(\text{р-ра});$$

$$m_1(\text{CuSO}_4) = 0,15 \cdot 250 \text{ г} = 37,5 \text{ г};$$

$$\nu_1(\text{CuSO}_4) = \frac{m_1(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)}; \nu_1(\text{CuSO}_4) = \frac{37,5 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,234 \text{ моль}.$$

3. Находим изменение (*увеличение*) массы пластинки (Δm_1), вытекающее из уравнения реакции.

Если реагирует 1 моль CuSO_4 , то масса пластинки увеличивается на 8 г:

$$\Delta m_1 = m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}); \Delta m_1 = 64 \text{ г} - 56 \text{ г} = 8 \text{ г}.$$

4. Находим изменение (*увеличение*) массы пластинки (Δm_2), исходя из условия задачи:

$$\Delta m_2 = m(\text{Fe, Cu}) - m_0(\text{Fe}); \Delta m_2 = 10,81 \text{ г} - 10,04 \text{ г} = 0,77 \text{ г}.$$

5. Вычисляем количество вещества и массу сульфата меди(II), вступившего в реакцию:

если реагирует 1 моль CuSO_4 , то Δm_1 пластинки равно 8 г;

если реагирует x моль CuSO_4 , то Δm_2 пластинки равно 0,77 г;

$$\frac{1 \text{ моль}}{x \text{ моль}} = \frac{8 \text{ г}}{0,77 \text{ г}}; x = \frac{1 \text{ моль} \cdot 0,77 \text{ г}}{8 \text{ г}} = 0,0962 \text{ моль};$$

$$m(\text{CuSO}_4) = \nu(\text{CuSO}_4) \cdot M(\text{CuSO}_4);$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 0,0962 \text{ моль} \cdot 160 \text{ г/моль} = 15,4 \text{ г}.$$

6. Определяем массу сульфата меди(II) после реакции:

$$m_2(\text{CuSO}_4) = 37,5 \text{ г} - 15,4 \text{ г} = 22,1 \text{ г}.$$

7. Находим массу раствора после реакции.

Если масса пластинки увеличилась на 0,77 г, то масса раствора *на столько же* уменьшилась:

$$m_2(\text{р-ра}) = 250 \text{ г} - 0,77 \text{ г} = 249,2 \text{ г}.$$

8. Определяем массовую долю сульфата меди(II) в растворе после реакции:

$$w_2(\text{CuSO}_4) = \frac{m_2(\text{CuSO}_4)}{m_2(\text{р-ра})};$$

$$w_2(\text{CuSO}_4) = \frac{22,1 \text{ г}}{249,2 \text{ г}} = 0,0887, \text{ или } 8,87\%.$$

Ответ: $w_2(\text{CuSO}_4) = 8,87\%$.

Задачи для самостоятельного решения

574. Железную пластинку массой 61,26 г погрузили в раствор сульфата меди(II). Через некоторое время масса пластинки стала равной 62,8 г. Определите массу меди, которая осадилась на пластинке. (12,32 г.)

575. Железную пластинку погрузили вначале в разбавленную серную кислоту, а затем – в раствор сульфата меди(II). В результате этих реакций выделился газ объёмом 1,12 л (н. у.), а масса пластинки увеличилась на 2,4 г. Определите массу прореагировавшего железа. (19,6 г.)

576. Никелевая пластинка массой 15 г опущена в раствор хлорида золота(III). Через некоторое время её масса стала равной 15,651 г. Определите массу прореагировавшего хлорида золота(III). (1,82 г.)

577. В раствор сульфата меди(II) массой 248 г поместили 20 г порошка магния. Через некоторое время металлический осадок собрали и высушили. Его масса составила 28 г. Определите массовую долю сульфата магния в полученном растворе. (10%.)

578. Железную пластинку массой 20,4 г опустили в раствор сульфата меди(II). Определите массу железа, которое перешло в раствор к моменту, когда масса пластинки стала равной 22 г. (11,2 г.)

579. Цинковую пластинку массой 10 г опустили в раствор сульфата меди(II). После окончания реакции, когда вся медь выделилась на пластинке, её масса стала равной 9,9 г. Определите массу сульфата меди(II) в исходном растворе. (16 г.)

580. Медную пластинку массой 40 г выдержали некоторое время в растворе нитрата ртути(II). Масса пластинки возросла до 45,48 г. После этого пластинку нагрели до постоянной массы без доступа воздуха. Определите окончательную массу пластинки. (37,46 г.)

581. Цинковую пластинку поместили в раствор сульфата некоторого двухвалентного металла. Масса раствора равна 49,457 г. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 0,537 г. Массовая доля сульфата цинка в этом растворе стала равной 3,29%. Определите, какой металл выделился на пластинке. (Олово.)

582. Железную пластинку массой 5 г опустили в раствор объёмом 50 мл ($\rho = 1,2$ г/мл) с массовой долей сульфата меди(II) 15%. Когда пластинку вынули из раствора, то масса её составила 5,16 г. Вычислите массу меди, которая осадилась на пластинке, и определите массовую долю (%) сульфата меди(II) в оставшемся растворе. (1,28 г; 9,67%.)

583. Чтобы посеребрить медное изделие массой 10 г, его опустили в раствор массой 250 г с массовой долей нитрата серебра 46%. Когда изделие вынули из раствора, содержание нитрата серебра в растворе уменьшилось на 17%. Определите массу изделия. (18,74 г.)

584. Никелевую пластинку массой 30 г опустили в раствор нитрата свинца(II) объёмом 300 мл ($\rho = 1,24$ г/мл). После выделения всего свинца на никелевой пластинке её масса стала равной 66,96 г. Рассчитайте массовую долю нитрата свинца(II) в растворе. (22,24%.)

585. В раствор сульфата меди(II) объёмом 500 мл опустили железную пластинку массой 50 г. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 4%. Определите массу выделившейся меди и молярную концентрацию сульфата железа(II) в растворе. (16 г; 0,5 М.)

586. В раствор хлорида олова(II) массой 131,79 г опустили алюминиевую пластинку. Через некоторое время масса пластинки изменилась на 9,09 г. Найдите массовую долю хлорида алюминия в растворе после реакции. (6,52%.)

587. В раствор массой 188 г с массовой долей нитрата меди(II) 10% опустили кадмиевую пластинку массой 50 г. Определите массу пластинки после реакции и массовую долю нитрата кадмия в растворе. (45,2 г; 12,2%.)

588. Смешали 300 г раствора с массовой долей сульфата меди(II) 16% и 100 г раствора с массовой долей сульфида натрия 7,8%. В полученный раствор опустили железную пластинку. Через некоторое время пластинку вынули, её масса увеличилась на 0,8 г. Определите массовые доли растворённых веществ в полученном растворе. (3,6% Na_2SO_4 ; 4,1% CuSO_4 ; 3,9% FeSO_4 .)

589. В раствор массой 250 г с массовой долей нитрата серебра 20% опустили медную пластинку массой 10 г. Когда пластинку вынули, оказалось, что масса нитрата серебра в растворе уменьшилась на 20% по сравнению с исходной. Вычислите массу пластинки после реакции и массовую долю нитрата серебра в оставшемся растворе. (14,47 г; 16,29%.)

IX

Электролиз – это совокупность окислительно-восстановительных процессов, протекающих при прохождении постоянного электрического тока через раствор или расплав электролита с опущенными в него электродами.

В данном пособии рассматривается электролиз с использованием инертных электродов (угольных, платиновых, графитовых).

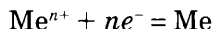
Электролиз расплава электролита. В расплаве электролита присутствуют только ионы, образующиеся при его диссоциации, они и участвуют в окислительно-восстановительном процессе.

Электролиз водного раствора электролита. В отличие от расплава в растворе электролита кроме ионов, образующихся при его диссоциации, присутствуют молекулы воды, а также ионы H^+ , OH^- – продукты диссоциации воды. Поэтому при электролизе раствора электролита около катода и анода скапливаются конкурирующие друг с другом, а также с молекулами воды ионы.

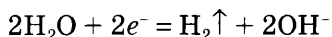
Рассмотрим порядок восстановления катионов на катоде и окисления анионов на аноде.

Последовательность разрядки катионов на катоде (К) зависит от положения металла в электрохимическом ряду напряжений (табл. 2).

1. Если у катода накапливаются катионы металла, который находится в ряду напряжений после водорода, и молекулы воды, то восстанавливаются ионы металла:

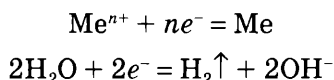


2. Если у катода накапливаются катионы металла, стоящего в начале ряда напряжений, от лития до алюминия (включительно), и молекулы воды, то восстанавливаются ионы водорода из молекул воды:



Катионы этих металлов не восстанавливаются, остаются в растворе.

3. Если у катода накапливаются катионы металла, который расположен в ряду напряжений между алюминием и водородом, и молекулы воды, то восстанавливаются и ионы металла, и частично ионы водорода из молекул воды:



4. Если в растворе находится смесь катионов разных металлов, то сначала восстанавливаются катионы менее активного металла.

5. При электролизе раствора кислоты на катоде восстанавливаются катионы водорода:

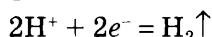


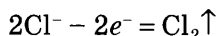
Таблица 2

Катодные процессы в водных растворах солей

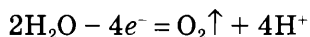
Li, Rb, K, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Al	Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb	H_2	Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^{-} = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^{-}$	$\text{Me}^{n+} + ne^{-} = \text{Me}$ $2\text{H}_2\text{O} + 2e^{-} = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^{-}$		$\text{Me}^{n+} + ne^{-} = \text{Me}$

Последовательность разрядки анионов на аноде (А) зависит от природы аниона (табл. 3).

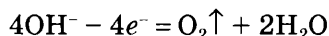
1. При электролизе растворов солей бескислородных кислот (кроме фторидов) на аноде окисляются анионы кислотных остатков:



2. При электролизе растворов солей кислородсодержащих кислот и фторидов на аноде идёт процесс окисления гидроксид-ионов из молекул воды:



3. При электролизе растворов щелочей окисляются гидроксид-ионы:



Анодные процессы в водных растворах солей

Кислотный остаток (анион) A^{n-}	
бескислородной кислоты (Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} и др.)	кислородсодержащей кислоты (SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} и др.) и F^-
Окисление аниона (кроме фторид-иона) $A^{n-} - ne^- = A$	В кислотной, нейтральной средах: $2H_2O - 4e^- = O_2 \uparrow + 4H^+$ В щелочной среде: $4OH^- - 4e^- = O_2 \uparrow + 2H_2O$

Закон Фарадея: масса вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна количеству электричества, прошедшего через электролит, и молярной массе электрохимического эквивалента вещества:

$$m = \frac{M_{\text{экр}}}{F} \cdot I \cdot \tau = \frac{M}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau,$$

где m – масса образовавшегося при электролизе вещества (г);

$M_{\text{экр}}$ – молярная масса электрохимического эквивалента вещества (г/моль), $M_{\text{экр}} = \frac{M}{n}$;

M – молярная масса вещества (г/моль);

n – количество отдаваемых или принимаемых электронов;

I – сила тока (А);

τ – продолжительность процесса (с или ч);

F – постоянная Фарадея (число Фарадея) ($F = 96\,500 \text{ Кл/моль} = 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль} = 26,8 \text{ А} \cdot \text{ч/моль}$).

Для вычисления объёма выделившегося газа эту формулу можно представить в следующем виде:

$$V = \frac{V_{\text{экр}}}{F} \cdot I \cdot \tau = \frac{V_m}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau,$$

где V – объём выделившегося газа (л);

$V_{\text{экр}}$ – молярный объём электрохимического эквивалента вещества (л/моль), $V_{\text{экр}} = \frac{V_m}{n}$.

Выход по току – это отношение массы практически выделившегося вещества к массе вещества, рассчитанной по закону Фарадея:

$$\eta = \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\%.$$

Задача 1. При электролизе расплава хлорида кальция на аноде выделилось 8,96 л (н. у.) хлора. Составьте схему электролиза расплава соли. Определите массу кальция, который выделится на катоде.

Дано:

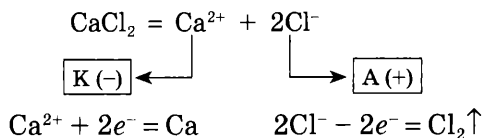
$$V(\text{Cl}_2) = 8,96 \text{ л}$$

Найти:

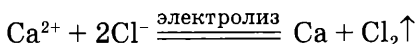
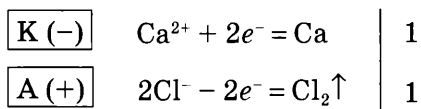
$$m(\text{Ca})$$

Решение

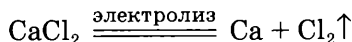
1. Составляем схему электролиза расплава хлорида кальция:



Складываем уравнения полуреакций, протекающих на катоде и на аноде, и получаем ионно-молекулярное уравнение электролиза:



Молекулярное уравнение электролиза:



2. Определяем количество вещества выделившегося хлора:

$$\nu(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m}; \quad \nu(\text{Cl}_2) = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

3. Находим массу полученного кальция.

Из уравнения электролиза следует, что

$$\nu(\text{Ca}) : \nu(\text{Cl}_2) = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{Ca}) = 0,4 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ca}) = \nu(\text{Ca}) \cdot M(\text{Ca}); \quad m(\text{Ca}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 16 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Ca}) = 16 \text{ г}.$

Задача 2. При электролизе раствора хлорида кальция на катоде выделилось 5,6 г водорода. Составьте схему электролиза раствора хлорида кальция, определите массу газа, выделившегося на аноде, и массу гидроксида кальция, образовавшегося около катода.

Дано:

$$m(\text{H}_2) = 5,6 \text{ г}$$

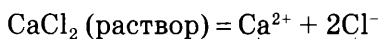
Найти:

$$m(\text{газа})$$

$$m(\text{Ca(OH)}_2)$$

Решение

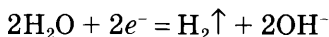
1. Составляем схему электролиза раствора хлорида кальция:



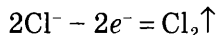
К (-)

А (+)

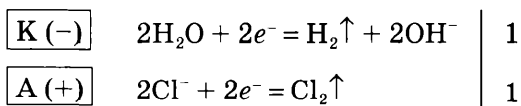
H_2O (H^+) и Ca^{2+} – конкурирующие частицы. Кальций в ряду напряжений стоит левее алюминия, поэтому на катоде восстанавливаются ионы водорода из молекул воды:



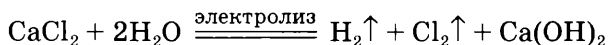
H_2O (OH^-) и Cl^- – конкурирующие частицы. Хлорид-ион – остаток бескислородной кислоты, поэтому на аноде окисляются ионы хлора:



Складываем уравнения полуреакций, протекающих на катоде и на аноде, и получаем ионно-молекулярное уравнение электролиза:



Молекулярное уравнение электролиза:



2. Определяем количество вещества выделившегося водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)}; \quad \nu(\text{H}_2) = \frac{5,6 \text{ г}}{2 \text{ г/моль}} = 2,8 \text{ моль.}$$

3. Рассчитываем массу выделившегося хлора.

Из уравнения электролиза следует, что

$$v(\text{H}_2) : v(\text{Cl}_2) = 1 : 1 \Rightarrow v(\text{Cl}_2) = 2,8 \text{ моль};$$

$$m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); m(\text{Cl}_2) = 2,8 \text{ моль} \cdot 71 \text{ г/моль} = 198,8 \text{ г}.$$

4. Находим массу образовавшегося гидроксида кальция.

Из уравнения электролиза следует, что

$$v(\text{Cl}_2) : v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1 : 1 \Rightarrow v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,8 \text{ моль}$$

или

$$v(\text{H}_2) : v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1 : 1 \Rightarrow v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,8 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = v(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Ca}(\text{OH})_2);$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,8 \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 207,2 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Cl}_2) = 198,8 \text{ г}$; $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 207,2 \text{ г}$.

Задача 3. При электролизе раствора нитрата серебра на катоде получили 162 г серебра. Составьте схему электролиза, определите объём (н. у.) выделившегося на аноде газа и массу образовавшейся около анода азотной кислоты.

Дано:

$$m(\text{Ag}) = 162 \text{ г}$$

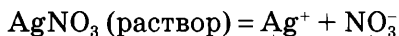
Найти:

$V(\text{газа})$

$m(\text{HNO}_3)$

Решение

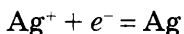
1. Составляем схему электролиза раствора нитрата серебра:



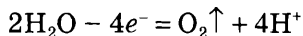
K (-)

A (+)

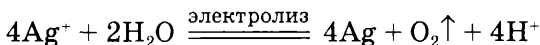
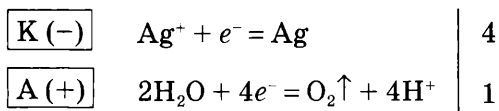
Ag^+ и H_2O (H^+) – конкурирующие частицы. Серебро в ряду напряжений стоит после водорода, поэтому на катоде восстанавливаются ионы серебра:



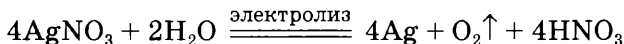
H_2O (OH^-) и NO_3^- – конкурирующие частицы. Нитрат-ион – кислотный остаток кислородсодержащей кислоты, поэтому на аноде окисляются гидроксид-ионы из молекул воды:



Для уравнивания числа электронов уравнение полуреакции, протекающей на катоде, умножим на 4, затем сложим с уравнением полуреакции, протекающей на аноде, и получим ионно-молекулярное уравнение электролиза:



Молекулярное уравнение электролиза:



2. Находим количество вещества полученного серебра:

$$\nu(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}; \quad \nu(\text{Ag}) = \frac{162 \text{ г}}{108 \text{ г/моль}} = 1,5 \text{ моль.}$$

3. Определяем объём выделившегося кислорода.

Из уравнения электролиза следует, что

$$\nu(\text{Ag}) : \nu(\text{O}_2) = 4 : 1 \Rightarrow \nu(\text{O}_2) = \frac{1,5 \text{ моль} \cdot 1}{4} = 0,375 \text{ моль};$$

$$V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot V_m; \quad V(\text{O}_2) = 0,375 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 8,4 \text{ л.}$$

4. Рассчитываем массу образовавшейся азотной кислоты.

Из уравнения электролиза следует, что

$$\nu(\text{Ag}) : \nu(\text{HNO}_3) = 4 : 4 = 1 : 1 \Rightarrow \nu(\text{HNO}_3) = 1,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{HNO}_3) = \nu(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3);$$

$$m(\text{HNO}_3) = 1,5 \text{ моль} \cdot 63 \text{ г/моль} = 94,5 \text{ г.}$$

Ответ: $V(\text{O}_2) = 8,4 \text{ л}; m(\text{HNO}_3) = 94,5 \text{ г.}$

Задача 4. Определите массу меди, которая выделится на катоде при электролизе раствора сульфата меди(II) в течение 1 ч при силе тока 4 А.

Дано:

$$\tau = 1 \text{ ч}$$

$$I = 4 \text{ А}$$

Найти:

$$m(\text{Cu})$$

Решение

В условии задачи указано вещество, которое выделяется на катоде, поэтому схему электролиза можно не составлять.

Находим массу меди.

Время (τ) переводим в секунды: $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с.}$

Согласно закону Фарадея

$$m(\text{Cu}) = \frac{M(\text{Cu})}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau; \quad m(\text{Cu}) = \frac{64 \text{ г/моль} \cdot 4 \text{ А} \cdot 3600 \text{ с}}{2 \cdot 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}} = 4,775 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Cu}) = 4,775 \text{ г.}$

Задача 5. При пропускании постоянного тока силой 6,4 А через расплав хлорида трёхвалентного металла в течение 30 мин на катоде выделилось 1,075 г металла. Определите состав соли, которую подвергли электролизу.

Дано:

$$I = 6,4 \text{ А}$$

$$\tau = 30 \text{ мин}$$

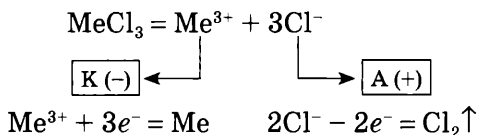
$$m(\text{Me}) = 1,075 \text{ г}$$

Найти:

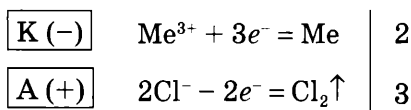


Решение

1. Составим схему электролиза расплава хлорида MeCl_3 :



Суммарное ионно-молекулярное уравнение процесса:



Молекулярное уравнение электролиза:



2. Находим молярную массу металла, для этого время переводим в секунды: 30 мин = 1800 с.

Согласно закону Фарадея

$$m(\text{Me}) = \frac{M(\text{Me})}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau,$$

откуда

$$M(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me}) \cdot n \cdot F}{I \cdot \tau};$$

$$M(\text{Me}) = \frac{1,075 \text{ г} \cdot 3 \cdot 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}}{6,4 \text{ А} \cdot 1800 \text{ с}} = 27 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, искомый металл – алюминий, а соль – AlCl_3 .

Ответ: AlCl_3 .

Задача 6. Электролиз раствора сульфата калия проводили при силе тока 5 А в течение 3 ч. Составьте схему электролиза этого раствора. Определите массу разложившейся воды и объём газов (н. у.), выделившихся на катоде и аноде.

Дано:

$$I = 5 \text{ А}$$

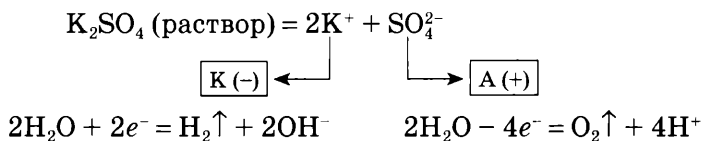
$$\tau = 3 \text{ ч}$$

Найти: $m(\text{H}_2\text{O})$;

$V(\text{H}_2)$; $V(\text{O}_2)$

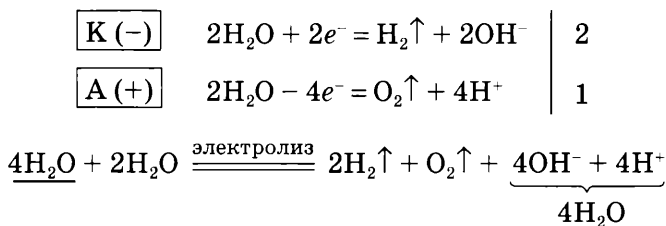
Решение

1. Составляем схему электролиза раствора сульфата калия:

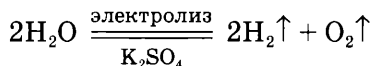


Из схемы следует, что при электролизе водного раствора K_2SO_4 происходит *электролитическое разложение воды*, масса самой соли в растворе *не изменяется*.

Суммарное уравнение процесса:



Исключая из правой и левой частей уравнения одинаковые количества вещества воды (подчёркнуто), получаем молекулярное уравнение:



2. Находим объём выделившегося водорода. Время переводим в секунды: 3 ч = 10 800 с.

Согласно закону Фарадея

$$V(\text{H}_2) = \frac{V_m}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau; \quad V(\text{H}_2) = \frac{22,4 \text{ л/моль} \cdot 5 \text{ А} \cdot 10\,800 \text{ с}}{2 \cdot 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}} = 6,267 \text{ л.}$$

3. Находим объём выделившегося кислорода

$$V(\text{O}_2) = \frac{V_m}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau; \quad V(\text{O}_2) = \frac{22,4 \text{ л/моль} \cdot 5 \text{ А} \cdot 10\,800 \text{ с}}{4 \cdot 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}} = 3,133 \text{ л.}$$

4. Определяем массу разложившейся воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau; \quad m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18 \text{ г/моль} \cdot 5 \text{ А} \cdot 10\,800 \text{ с}}{2 \cdot 96\,500 \text{ А} \cdot \text{с/моль}} = 5,036 \text{ г.}$$

Ответ: $V(\text{H}_2) = 6,267 \text{ л}$; $V(\text{O}_2) = 3,133 \text{ л}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 5,036 \text{ г}$.

Задача 7. Электролиз водного раствора едкого натра проводили при силе тока 10 А в течение 268 ч. После окончания электролиза остался раствор массой 100 г с массовой долей гидроксида натрия 24%. Найдите массовую долю щёлочи в первоначальном растворе.

Дано:

$$I = 10 \text{ А}$$

$$\tau = 268 \text{ ч}$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 100 \text{ г}$$

$$w_2(\text{NaOH}) = 0,24$$

Найти:

$$w_1(\text{NaOH})$$

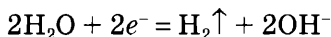
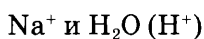
Решение

1. Составляем схему электролиза водного раствора гидроксида натрия:

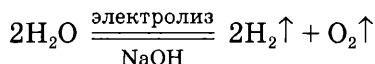


K (-)

A (+)



При электролизе водного раствора гидроксида натрия происходит *электролитическое разложение воды* (см. задачу 6), поэтому масса гидроксида натрия в растворе *не изменяется*:



2. Определяем массу разложившейся воды.

В условии задачи время дано в часах, поэтому можно взять иное значение константы Фарадея – 26,8 А · ч/моль.

Согласно закону Фарадея

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{n \cdot F} \cdot I \cdot \tau; \quad m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18 \text{ г/моль} \cdot 10 \text{ А} \cdot 268 \text{ ч}}{2 \cdot 26,8 \text{ А} \cdot \text{ч/моль}} = 900 \text{ г}.$$

3. Находим первоначальную массу раствора:

$$m_1(\text{р-ра}) = 100 \text{ г} + 900 \text{ г} = 1000 \text{ г}.$$

4. Вычисляем массу гидроксида натрия в исходном растворе:

$$m_1(\text{NaOH}) = m_2(\text{NaOH}) = w_2(\text{NaOH}) \cdot m_2(\text{р-ра});$$

$$m_1(\text{NaOH}) = 0,24 \cdot 100 \text{ г} = 24 \text{ г}.$$

5. Определяем массовую долю гидроксида натрия в первоначальном растворе:

$$w_1(\text{NaOH}) = \frac{m_1(\text{NaOH})}{m_1(\text{р-ра})}; \quad w_1(\text{NaOH}) = \frac{24 \text{ г}}{1000 \text{ г}} = 0,024, \text{ или } 2,4\%.$$

Ответ: $w_1(\text{NaOH}) = 0,024$, или 2,4%.

Задачи для самостоятельного решения

590. Составьте схемы электролиза расплавов хлорида бария, гидроксида калия.

591. Составьте схему электролитического получения гидроксида калия из соли калия.

592. Электролизу подвергается раствор, содержащий хлорид натрия, сульфат меди(II) и нитрат цинка. Укажите, какие процессы будут протекать на катоде и аноде, последовательность их протекания, какие ионы останутся в растворе после электролиза.

593. При электролизе расплава хлорида калия на аноде выделилось 44,8 л газа (н.у.). Составьте схему электролиза расплава соли. Определите количество вещества соли, подвергшейся электролизу. (4 моль.)

594. Укажите, какие вещества и в каких количествах (моль) образуются при электролизе 234 г расплава хлорида натрия. Определите массу железа, которое может вступить в реакцию с веществом, выделяющимся на аноде. (4 моль Na; 2 моль Cl_2 ; 74,66 г Fe.)

595. Смесь магниевых и железных опилок массой 54,4 г полностью прореагировала с газом, выделившимся при электролизе 625 мл раствора ($\rho = 1,28 \text{ г/мл}$) с массовой долей хлорида меди(II) 27%. Определите массовую долю магния в смеси. (17,6%.)

596. При электролизе 100 г раствора с массовой долей нитрата натрия 5% выделилось 33,6 л смеси газов (н.у.). Вычислите массу раствора после электролиза и массовую долю соли в нём. (82 г; 6,1%.)

597. При электролизе 1 л раствора нитрата меди(II) ($\rho = 1 \text{ г/мл}$) на аноде выделилось 3,36 л газа (н.у.). Составьте схему электролиза раствора соли, определите массу вещества, которое выделилось на катоде, и массовую долю нитрата

меди(II) в исходном растворе (электролиз соли прошёл полностью). (19,2 г Cu; 5,64%.)

598. При электролизе раствора хлорида двухвалентного металла на аноде выделилось 560 мл газа (н.у.), а на катоде за это же время – металл массой 1,6 г. Определите, какой это металл. (Медь.)

599. При электролизе раствора сульфата меди(II) на катоде выделилось 16 г меди. Составьте схему электролиза этого раствора, вычислите объём образующегося газа (н.у.). (2,8 л.)

600. Через раствор хлорида калия пропустили постоянный электрический ток. В результате образовалось 300 г раствора с массовой долей гидроксида калия 5,6%. Вычислите объём хлора (н.у.), который выделился при этом. (3,36 л.)

601. При электролизе 16 г расплава некоторого соединения водорода с одновалентным элементом на аноде получили 1 моль водорода. Определите вещество, которое было взято для электролиза. (LiH – гидрид лития.)

602. Ток одинаковой силы пропущен через растворы нитрата ртути(II) и нитрата серебра. В процессе электролиза на одном из катодов выделилось 0,4 г ртути. Определите количество вещества серебра, которое выделилось на другом катоде. (0,004 моль.)

603. Ток одинаковой силы пропущен через растворы сульфата меди(II) и хлорида цинка. На одном из катодов выделилось 0,25 г водорода. Определите массы веществ, выделившихся на другом катоде, на анодах. (8 г; 2,0 г; 8,875 г.)

604. При электролизе раствора сульфата калия на катоде выделилось 6,266 л водорода (н.у.). Составьте схему электролиза раствора соли. Определите объём выделившегося на аноде газа и массу воды, которая разложилась при этом. (3,133 л; 5,03 г.)

605. Составьте схему электролиза раствора сульфата натрия. Вычислите массу вещества, выделившегося на катоде, если на аноде выделилось 1,12 л газа (н.у.). Найдите массу серной кислоты, которая образовалась при этом около анода. (0,2 г; 9,8 г.)

606. При электролизе раствора сульфата меди(II) в растворе образовалась кислота (около анода), на нейтрализацию которой затрачено 16 мл раствора с массовой долей гидроксида калия 6% ($\rho = 1,05$ г/мл). Составьте схему электролиза рас-

твора соли и определите массу меди, которая выделилась на катоде. (0,576 г.)

607. При электролизе раствора сульфата марганца(II) на аноде выделилось 16,8 л кислорода (н.у.). Составьте схему электролиза раствора соли и определите массу марганца, который выделился на катоде, если выход металла составляет 84%. (69,3 г.)

608. При электролизе 350 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 9% ($\rho = 1,10$ г/мл) на аноде выделилось 28 л газа (н.у.). Составьте схему электролиза раствора, вычислите массовую долю вещества в растворе после электролиза. (10,2%.)

609. Электролиз раствора объёмом 200 мл ($\rho = 1,02$ г/мл) с массовой долей сульфата меди(II) 6% проводили до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 5 г. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе и массы продуктов, выделившихся на электродах. ($w(\text{CuSO}_4) = 1,13\%$; $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3,08\%$; $m(\text{Cu}) = 4$ г; $m(\text{O}_2) = 1$ г.)

610. При электролизе раствора с массовой долей хлорида калия 20% получили 5,6 л хлора (н.у.), а массовая доля соли изменилась на 9,5%. Найдите исходную массу раствора хлорида калия и массу разложившейся соли. (372 г; 37,25 г.)

611. При электролизе растворов сульфата магния и хлорида цинка, соединённых последовательно с источником тока, на одном из катодов выделилось 0,25 г водорода. Определите массы веществ, выделившихся на другом катоде, на анодах. (8,125 г; 2,0 г; 8,875 г.)

612. После электролиза раствора хлорида натрия получили раствор, содержащий 20 г гидроксида натрия. Газ, выделившийся на аноде в ходе электролиза, пропустили через 66 мл раствора с массовой долей иодида калия 10% ($\rho = 1,1$ г/мл). Определите массу образовавшегося при этом осадка. (55,88 г.)

613. Электролиз раствора нитрата натрия проводили в течение 5 ч при силе тока 7 А. Составьте схему электролиза этого раствора. Определите массу разложившейся воды и объёмы газов (н.у.), выделившихся на катоде и аноде. (11,75 г; 14,62 л; 7,31 л.)

614. Электролиз раствора сульфата меди(II) проводили в течение 15 мин при силе тока 2,5 А. Выделилось 0,72 г

меди. Составьте схему электролиза раствора. Вычислите выход меди по току. (97,3%.)

615. Составьте схему электролиза раствора гидроксида калия. Определите силу тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 г газа. Найдите объём газа (н. у.), выделившегося при этом на катоде. (17,08 А; 8,96 л.)

616. Вычислите время, необходимое для получения 1 кг натрия, если электролиз расплава едкого натра проводили при силе тока 2500 А. Выход натрия по току равен 35%. Составьте схему электролиза расплава гидроксида натрия и найдите объём полученного кислорода (н. у.). (1 ч 20 мин; 243,5 л.)

617. При пропускании постоянного тока силой 6 А в течение 1 ч 14 мин 24 с через расплав хлорида двухвалентного металла на катоде выделилось 8,14 г металла. Определите состав соли, которую подвергли электролизу. (NiCl_2 .)

618. Через раствор, содержащий 160 г сульфата меди(II), пропускали постоянный ток силой 10 А в течение 2,68 ч. Составьте схему электролиза раствора и определите количество вещества ионов меди, оставшихся в растворе. (0,5 моль.)

619. Через раствор хлорида железа(II) пропускали ток силой 3 А в течение 10 мин, через раствор хлорида железа(III) – ток силой 5 А в течение 6 мин. Определите, из какого раствора выделится больше железа: а) при одинаковых массовых долях солей в растворах; б) при одинаковых молярных концентрациях солей в растворах. В обоих случаях были взяты одинаковые объёмы растворов. (При электролизе хлорида железа(II) в обоих случаях.)

620. Через раствор, содержащий 129,7 г хлорида никеля(II), пропускали постоянный ток силой 5 А в течение 5,36 ч. Определите массу хлорида никеля(II), оставшегося в растворе, и объём выделившегося газа (н. у.). (64,85 г; 11,2 л.)

621. Электролиз раствора сульфата никеля(II) проводили в течение 1 ч при силе постоянного тока 15 А. Вычислите массу никеля, выделившегося на катоде, если выход металла по току составляет 60%. (9,9 г.)

X

Карбонатная (временная) жёсткость воды обусловлена наличием в воде гидрокарбонатов кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

Некарбонатная (постоянная) жёсткость воды обусловлена наличием в воде сульфатов, хлоридов кальция и магния (CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2).

Расчёты, связанные с жёсткостью воды, проводят по уравнениям химических реакций.

Задача. Жёсткая вода содержит 100 мг/л гидрокарбоната кальция и 30 мг/л сульфата кальция. Определите массу карбоната натрия, который надо добавить к 500 л воды для устранения жёсткости.

Дано:

$c(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 100 \text{ мг/л}$

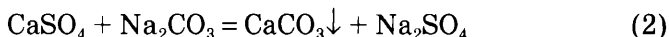
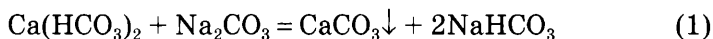
$c(\text{CaSO}_4) = 30 \text{ мг/л}$

$V(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ л}$

Найти: $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$

Решение

1. Записываем уравнения реакций гидрокарбоната и сульфата кальция с карбонатом натрия:



2. Определяем массы гидрокарбоната и сульфата кальция в 500 л воды:

$$m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 100 \text{ мг/л} \cdot 500 \text{ л} = 50\,000 \text{ мг, или } 50 \text{ г};$$

$$m(\text{CaSO}_4) = 30 \text{ мг/л} \cdot 500 \text{ л} = 15\,000 \text{ мг, или } 15 \text{ г}.$$

3. Находим количества веществ гидрокарбоната и сульфата кальция:

$$\nu(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)};$$

$$\nu(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{50 \text{ г}}{162 \text{ г/моль}} = 0,3086 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CaSO}_4) = \frac{m(\text{CaSO}_4)}{M(\text{CaSO}_4)}; \nu(\text{CaSO}_4) = \frac{15 \text{ г}}{136 \text{ г/моль}} = 0,1103 \text{ моль}.$$

4. Вычисляем количество вещества карбоната натрия, который необходим для взаимодействия с гидрокарбонатом и сульфатом кальция.

Из уравнения реакции (1) следует, что

$$\nu(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \nu_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) \Rightarrow \nu_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,3086 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (2) следует, что

$$\nu(\text{CaSO}_4) = \nu_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) \Rightarrow \nu_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1103 \text{ моль}.$$

5. Находим общее количество вещества карбоната натрия, который потребуется для устранения жёсткости воды:

$$\nu_{\text{общ}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \nu_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) + \nu_2(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$\nu_{\text{общ}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,3086 \text{ моль} + 0,1103 \text{ моль} = 0,4189 \text{ моль}.$$

6. Вычисляем массу необходимого карбоната натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \nu_{\text{общ}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,4189 \text{ моль} \cdot 106 \text{ г/моль} = 44,40 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 44,40 \text{ г}.$

Задачи для самостоятельного решения

622. Жёсткая вода содержит 237 мг/л хлорида магния. Определите массу соды, которую надо добавить к 500 л воды для устранения жёсткости. (132,2 г.)

623. Жёсткая вода содержит 200 мг/л гидрокарбоната кальция. Определите массу осадка, который образуется при кипячении 250 мл воды. (30,86 мг.)

624. Жёсткая вода содержит 445,5 мг/л гидрокарбоната кальция. Определите массу гидроксида кальция, который надо добавить к 275 л воды для устранения жёсткости. (55,96 г.)

625. Жёсткая вода содержит 100 мг/л сульфата магния. Определите объём раствора с массовой долей карбоната на-

трия 10% ($\rho = 1,09$ г/мл), который надо добавить к 50 л воды для устранения жёсткости. (40,52 мл.)

626. Рассчитайте массу хлорида кальция в 1 л жёсткой воды, если для устранения жёсткости воды объёмом 200 л требуется 200 мл раствора с массовой долей карбоната натрия 20% ($\rho = 1,1$ г/мл). (230 мг.)

627. Определите массу карбоната натрия, который необходим для устранения жёсткости воды, если в 100 мл воды содержится 4 мг ионов Ca^{2+} и 3,65 мг ионов Mg^{2+} . (26,52 мг.)

XI

Задачи для самостоятельного решения

628. При взаимодействии газа, полученного растворением 19,05 г меди в разбавленной азотной кислоте, с некоторым газом, выделившимся при разложении бертолетовой соли, суммарный объём газов стал равным 8,96 л (н. у.). Определите массу бертолетовой соли, взятой для разложения, считая, что она разлагается с выделением этого газа на 70%. (35 г.)

629. Фосфор, количественно выделенный из 31 г ортофосфата кальция, окислен при нагревании раствором объёмом 27,9 мл ($\rho = 1,4$ г/мл) с массовой долей азотной кислоты 70%. По окончании реакции к образовавшемуся раствору был прилит раствор объёмом 65,3 мл ($\rho = 1,225$ г/мл) с массовой долей гидроксида натрия 20%. Определите, какие вещества и какой массы содержатся в растворе. (8,5 г NaNO_3 ; 12 г NaH_2PO_4 ; 14,2 г Na_2HPO_4 .)

630. Смесь веществ, образующихся после реакции алюминия с двойным (смешанным) оксидом железа, обработали раствором щёлочи, в результате чего выделился газ объёмом 1,344 л (н. у.). При обработке этой смеси такой же массы избытком хлороводородной кислоты выделился газ объёмом 5,376 л (н. у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси. (72,5% Fe_3O_4 ; 27,5% Al .)

631. Оксид углерода(IV) объёмом 836 мл (н. у.) пропустили над раскалённым углём массой 0,105 г, а полученную смесь – над 1,4 г оксида меди(II) при нагревании. Вычислите объём раствора ($\rho = 1,12$ г/мл) с массовой долей азотной кислоты 20%, который потребуется для растворения продуктов реакции с оксидом меди(II). (13,2 мл.)

632. При действии избытка раствора щёлочи на 11,75 г смеси двух металлов, катионы которых трёх- и двухзарядны, выделилось 6,72 л газа (н. у.). Нерастворившийся остаток массой 6,35 г полностью растворился в горячей концентрированной серной кислоте, при этом выделилось 2,24 л газа

(н.у.). Определите, из каких металлов состояла смесь. (Al и Cu.)

633. Определите количественный и качественный состав газовой смеси. Известно, что при последовательном пропускании 1 л этой смеси (н.у.) над безводным сульфатом меди(II) и через раствор гидроксида кальция цвет сульфата меди(II) стал синим и масса увеличилась на 0,18 г, а из раствора гидроксида кальция выпал осадок массой 1 г. После сжигания в оставшейся газовой смеси кремния образовалось 0,6 г твёрдого вещества и её объём уменьшился до 328 мл. Оставшийся газ при комнатной температуре инертен, горение не поддерживает и не взаимодействует с известковой водой. (22,4% H_2O ; 22,4% CO_2 ; 32,8% N_2 ; 22,4% O_2 .)

634. При пропускании 11,2 л смеси метана, оксида углерода(IV) и оксида углерода(II) через раствор гидроксида натрия, взятый в избытке, объём исходной смеси уменьшился на 4,48 л. Для полного сгорания оставшейся смеси потребовалось 6,72 л кислорода. Определите состав исходной смеси (в % по объёму). Объёмы газов измерены при одинаковых условиях. (40% CO_2 ; 40% CO ; 20% CH_4 .)

635. Газы, выделившиеся при нагревании 27,25 г смеси нитратов натрия и меди(II), пропустили через 115,2 мл воды. При этом не поглотилось 1,12 л газа (н.у.). Определите массовые доли солей в исходной смеси и массовую долю веществ в растворе, полученном после поглощения газов. (31,2% NaNO_3 ; 68,8% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$; 10% HNO_3 .)

636. Смесь хлора, водорода и хлороводорода объёмом 1 л (н.у.) пропустили через раствор иодида калия, при этом выделилось 2,54 г иода, а объём оставшегося газа составил 500 мл (н.у.). Определите объёмные доли (%) газов в исходной смеси. (50% H_2 ; 27,6% HCl ; 22,4% Cl_2 .)

637. При сжигании углерода количеством вещества 1 моль выделяется 402 кДж теплоты. Вычислите массу угля с массовой долей углерода 80%, необходимого для получения энергии, за счёт которой можно разложить 1 т известняка, содержащего 20% примесей, если для разложения 1 моль карбоната кальция требуется 180 кДж. (53,73 кг.)

638. Сульфид железа(II) массой 9,5 г обработали 70 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 12% ($\rho = 1,06$ г/мл). Рассчитайте массу и объём выделившегося

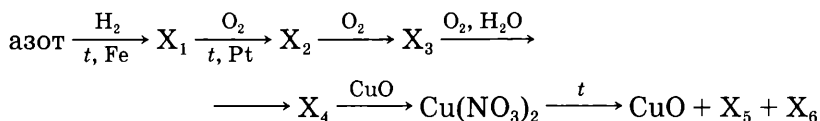
газа (н. у.). Определите, какая соль образуется при пропускании этого газа через раствор, содержащий 4 г гидроксида калия. Рассчитайте количество вещества и массу этой соли. (3,67 г H_2S ; 2,42 л H_2S ; 0,071 моль KHS ; 5,112 г KHS .)

639. Смесь мела и гашёной извести, в которой массовая доля карбоната кальция равна 0,3, обработали раствором с массовой долей азотной кислоты 40% ($\rho = 1,25$ г/мл), при этом выделилось 1,12 л газа (н. у.). Определите массу исходной смеси и объём израсходованного раствора азотной кислоты. (16,67 г; 52 мл.)

640. К смеси метана, водорода и азота объёмом 165 л прибавили 270 л кислорода. Смесь подожгли. После реакции объём смеси стал равен 156 л (н. у.). При пропускании продуктов реакции через избыток раствора гидроксида натрия объём уменьшился до 48 л. Определите массовые доли (%) газов в исходной смеси. (77,4% CH_4 ; 3,8% H_2 ; 18,8% N_2 .)

641. Некоторое количество вещества фосфора сожгли в избытке кислорода. Продукт реакции растворили в воде, раствор полностью нейтрализовали аммиаком, а затем добавили к нему избыток ацетата кальция. Масса выпавшего осадка составила 15,5 г. Определите количество вещества фосфора. (0,1 моль.)

642. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой превращений:



Вычислите по вышеуказанной схеме объёмный состав газовой смеси (X_5 и X_6) после реакции, если в реакцию вступило 3,36 л азота. (1,68 л O_2 , 6,72 л NO_2 .)

643. Железную окалину Fe_3O_4 массой 7,73 г обработали концентрированным раствором объёмом 30,4 мл с массовой долей азотной кислоты 70% ($\rho = 1,41$ г/мл). Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе. (18,34% HNO_3 ; 49,33% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.)

644. Газ, выделившийся при действии 160 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 5% на 10,8 г алюминия, пропустили при нагревании над порошком оксида меди(II) массой 40 г. Рассчитайте минимальный объём раствора

с массовой долей серной кислоты 19,6% ($\rho = 1,1$ г/мл), которым надо обработать полученную смесь, чтобы выделить из неё чистую медь. Вычислите массу полученной меди. (90,9 мл; 19,2 г.)

645. При обработке 40 г смеси меди, цинка, оксида кремния(IV) и оксида цинка избытком разбавленной серной кислоты выделилось 4,48 л газа (н.у.). Нерастворившийся осадок был сплавлен со стехиометрическим количеством кальцинированной соды; при этом выделилось 3,36 л газа (н.у.). Плав обработали водой, после чего не растворившийся в воде твёрдый остаток растворили в концентрированной серной кислоте и получили 2,24 л газа (н.у.). Определите массовую долю оксида цинка в смеси. (29%.)

646. Метан, выделившийся при нагревании 20,5 г ацетата натрия с избытком гидроксида натрия, прореагировал при освещении с хлором, полученным с использованием 130,35 г оксида марганца(IV). По окончании полного хлорирования избыток хлора растворили в воде. Рассчитайте объём раствора ($\rho = 1,4$ г/мл) с массовой долей гидроксида калия 40%, который потребуется для нейтрализации полученного водного раствора. (100 мл.)

647. При сжигании 2,2 г органического вещества образовалось 6,6 г оксида углерода(IV) и 3,6 г воды. Плотность вещества по водороду равна 22. Продукты реакции пропустили через 300 г известковой воды с массовой долей гидроксида кальция 2,22%. Определите формулу исходного вещества, массу осадка и массовую долю соли в полученном растворе. (C_3H_8 ; 3 г; 26,13%.)

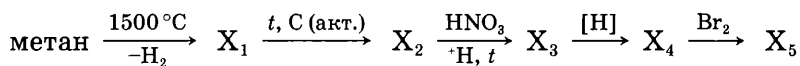
648. Смешали 40 мл газообразного углеводорода с 200 мл кислорода, который взят в избытке, и подожгли. После приведения полученной смеси газов к первоначальным условиям объём её составил 140 мл, из которых 80 мл поглощено щёлочью при пропускании через неё газов. Установите формулу углеводорода. (C_2H_6 .)

649. Пронитровали 36,8 г ароматического углеводорода, при этом образовалось мононитропроизводное. Его восстановили атомарным водородом и получили с выходом 60% вещество, которое полностью поглощает газ, выделяющийся при действии избытка концентрированной серной кислоты

на 14,04 г хлорида натрия. Определите формулу исходного углеводорода. (C_7H_8 .)

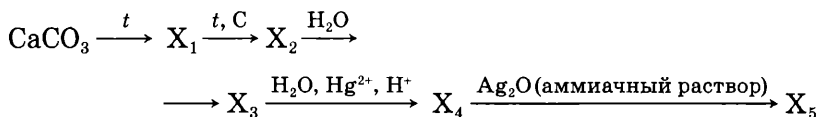
650. Органическое вещество массой 11 г содержит 54,55% углерода, 9,09% водорода, 36,36% кислорода, его пары имеют плотность по водороду 22. Оно легко восстанавливает аммиачный раствор оксида серебра. При восстановлении его водородом в присутствии платинового катализатора при 30 °С и последующей дегидратации продукта реакции образуется углеводород, который обесцвечивает раствор брома. При этом образуется дибромпроизводное массой 37,6 г. Определите формулы исходного соединения, полученного дибромиды и выход дибромиды. (CH_3CHO ; $C_2H_4Br_2$; 80%.)

651. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой превращений:



Определите объём природного газа, который необходим для получения по вышеуказанной схеме 52,8 г конечного продукта X_5 , если его выход составляет 80%. Объёмная доля метана в природном газе равна 95%. (28,29 л.)

652. Напишите уравнения реакций в соответствии со схемой превращений:



Вычислите массу карбоната кальция с массовой долей примесей 10%, который необходим для получения по вышеуказанной схеме 5,4 г конечного продукта X_5 , если его выход составляет 90%. (11,11 г.)

653. Смесь метиловых эфиров уксусной и пропионовой кислот массой 47,2 г обработали раствором объёмом 83,4 мл с массовой долей гидроксида натрия 40% ($\rho = 1,2$ г/мл). Определите массы эфиров в исходной смеси, если известно, что гидроксид натрия, оставшийся после гидролиза эфиров, может поглотить максимально 8,96 л оксида углерода(IV) (н. у.). (29,6 г CH_3COOCH_3 ; 17,6 г $C_2H_5COOCH_3$.)

654. Одноатомный спирт, содержащий 52,17% углерода, прореагировал с неизвестной органической кислотой (в присутствии серной кислоты). В результате образовался слож-

ный эфир, плотность паров которого по водороду равна 58. Определите строение исходных спирта и кислоты. (Этанол C_2H_5OH ; масляная кислота $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$ или изомасляная кислота $(CH_3)_2CH-COOH$.)

655. Для полной нейтрализации смеси массой 27,7 г, содержащей уксусную кислоту и гидросульфат предельного первичного амина, потребовалось 146 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 10% ($\rho = 1,1$ г/мл). При обработке исходной смеси такой же массы избытком хлорида бария выделилось 23,3 г осадка. Гидросульфат какого амина находился в смеси? (Пропиламина $C_3H_7NH_2$.)

656. Через 50 г безводной смеси бензола, анилина и фенола пропустили хлороводород. Выпавший при этом осадок массой 26 г отфильтровали. Фильтрат, обработанный водным раствором гидроксида натрия, разделился на два слоя. Найдите массовые доли соединений в исходной смеси, если объём верхнего слоя 17,7 мл, а плотность 0,88 г/мл. (37,2% $C_6H_5NH_2$; 31,15% C_6H_6 ; 31,65% C_6H_5OH .)

657. При сгорании 2,24 л (н.у.) газообразного органического вещества получили 8,96 л углекислого газа и 5,4 г воды. Плотность этого вещества по углекислому газу равна 1,227. Это вещество реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, а также с бромной водой. Установите молекулярную формулу исходного соединения, составьте его структурную формулу и напишите уравнения описанных реакций. (C_4H_6 .)

658. Органическое вещество, содержащее 60% углерода и 26,7% кислорода, реагирует с этаналем и окисляется оксидом меди(II) с образованием кетона. Определите молекулярную формулу вещества, составьте его структурную формулу и напишите уравнения описанных реакций. (C_3H_6O .)

659. При сжигании образца дипептида природного происхождения массой 3,2 г образовалось 2,69 л углекислого газа, 2,16 г воды и 0,444 л (н.у.) азота. При гидролизе данного дипептида в присутствии соляной кислоты образуется только одна соль. Установите молекулярную формулу дипептида, составьте его структурную формулу и напишите уравнение гидролиза дипептида в присутствии соляной кислоты. ($C_6H_{12}N_2O_3$.)

Литература

Врублевский А.И. Задачи по химии с примерами решений. Минск: Юнипресс, 2003.

Гольдфарб Я.Л., Ходаков Ю.В., Додонов Ю.Б. Сборник задач и упражнений по химии: учебное пособие для учащихся 7–10 кл. средних школ. М.: Дрофа, 2005.

Егоров А.С. Самоучитель по решению химических задач. Ростов н/Д: Феникс, 2000.

Ерыгин Д.П., Грабовый А.К. Задачи и примеры по химии с межпредметным содержанием. М.: Высшая школа, 1989.

Ерыгин Д.П., Шишкин Е.А. Методика решения задач по химии. М.: Просвещение, 1989.

Кузьменко Н.Е., Ерёмин В.В., Попков В.А. Начала химии. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017.

Кузьменко Н.Е., Магдесиева Н.Н., Ерёмин В.В. Задачи по химии для абитуриентов. М.: Просвещение, 1992.

Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химия для школьников старших классов и поступающих в вузы. М.: Дрофа, 2004.

Хомченко И.Г. Сборник задач и упражнений по химии для средней школы. М.: Новая Волна, 2011.

Штремплер Г.И., Хохлова А.И. Методика решения расчётных задач по химии. М.: Просвещение, 1998.

Содержание

<i>Предисловие</i>	3
I. РАСЧЁТЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ	4
1. Основные формулы для решения задач	4
2. Вычисления с использованием физических величин (количество вещества, молярная масса, молярный объём газа, относительная плотность газа, массовая доля) и постоянной Авогадро	6
3. Определение состава газовых смесей	17
II. РАСТВОРЫ	21
1. Массовая доля растворённого вещества	21
2. Кристаллогидраты	30
3. Олеум	36
4. Молярная концентрация и молярная концентрация эквивалента растворённого вещества	42
5. Растворимость веществ	49
III. ВЫЧИСЛЕНИЯ ПО УРАВНЕНИЯМ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ	56
1. Вычисление массы вещества или объёма газа по известной массе, количеству вещества, вступающего в реакцию или полученного в результате реакции	57
2. Вычисление объёмных отношений газов в реакциях	64
3. Определение массы раствора	71
4. Вычисление массы (объёма, количества вещества) продукта реакции, если одно из реагирующих веществ дано в избытке	77
5. Выход продукта реакции	90
6. Вычисление массы или объёма продукта реакции по известной массе или объёму исходного вещества, содержащего примеси	97

IV. ЗАДАЧИ НА ВЫЧИСЛЕНИЕ МАССЫ (ОБЪЁМА) КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ	104
1. Определение состава смеси, все компоненты которой взаимодействуют с указанными реагентами	104
2. Определение состава смеси, компоненты которой выборочно взаимодействуют с указанными реагентами	111
V. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ СХЕМ	118
VI. ЗАДАЧИ НА ВЫВОД ХИМИЧЕСКИХ ФОРМУЛ	123
1. Вывод простейшей формулы вещества по массовым долям элементов	123
2. Вывод формулы вещества по его молярной массе и массовым долям элементов	130
3. Вывод формулы вещества по его молярной массе и массе (объёму или количеству вещества) продуктов сгорания (разложения)	133
4. Вывод формулы вещества на основании общей формулы гомологического ряда органических соединений	141
VII. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ	150
1. Расчёты по термохимическим уравнениям (экзотермические и эндотермические реакции, тепловой эффект)	150
2. Расчёты по термохимическим уравнениям (закон Гесса, стандартная энтальпия реакции)	154
3. Скорость химической реакции	162
4. Химическое равновесие	168
VIII. МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНКА, ПОГРУЖЁННАЯ В РАСТВОР СОЛИ	174
IX. ЭЛЕКТРОЛИЗ. ЗАКОН ФАРАДЕЯ	181
X. РАСЧЁТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЖЁСТКОСТЬЮ ВОДЫ...	195
XI. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ	198
<i>Литература</i>	204

Учебное издание

**Новошинский Иван Иванович
Новошинская Нина Степановна**

**ГОТОВИМСЯ К ЕДИНОМУ
ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ
ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Учебное пособие для 8–11 классов
общеобразовательных организаций**

Ответственный редактор *И. А. Костенчук*
Художественный редактор *А. С. Побезинский*
Корректор *О. И. Ощепкова*
Вёрстка *Л. Х. Матвеевой, И. Е. Колгарёва*

Подписано в печать 07.10.19. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,0.
Тираж 2500 экз. Изд. № 08150. Заказ 7953

ООО «Русское слово — учебник».
115035, Москва, Овчинниковская наб., д. 20, стр. 2.
Тел.: (495) 969-24-54, (499) 689-02-65
(отдел реализации и интернет-магазин).

Вы можете приобрести книги в интернет-магазине:
www.russkoe-slovo.ru
e-mail: zakaz@russlo.ru

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»
Филиал «Чеховский Печатный Двор»
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел. 8(499)270-73-59

ISBN 978-5-533-01188-4



9 785533 011884