

В. К. РОМАНОВСКАЯ

ХИМИЯ
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Пособие для старшеклассников и абитуриентов

*Рекомендовано к изданию Комитетом по образованию
Санкт-Петербурга*



Санкт-Петербург
«Специальная Литература»
1998

Рецензент: Е. Д. Крутецкая

Р 58 **Химия. Решение задач:** Пособие для абитуриентов и старшеклассников.— СПб: «Специальная Литература», 1998.— 156 с.

ISBN 5-86457-061-3

В данное пособие вошли задачи всех типов, предусмотренные программой за курс средней школы. Имеется раздел с задачами повышенной сложности, предлагавшимися на химических олимпиадах и вступительных экзаменах в вузы. Все задачи в пособии расположены по возрастанию сложности и дополнены подробными решениями. Также в пособии представлены все необходимые для решения задач справочные материалы и краткие теоретические сведения по основным вопросам.

ISBN 5-86457-061-3

© Романовская В. К., 1998
© «Специальная Литература», 1998

ОТ АВТОРА

Дорогой друг!

Вы открыли эту книгу из интереса или по необходимости. Может быть, вы интересуетесь химией и решением химических задач, а может, предстоит экзамен в вуз, хочется иметь хорошую оценку в аттестате. В том и другом случае это пособие вам поможет.

На экзаменах в вузе главный критерий при оценке знаний — умение решать задачи и применять свои знания в незнакомой ситуации, мыслить творчески.

В данное пособие вошли задачи всех типов, предусмотренных программой за курс средней школы. Все они решены, причем некоторые разными способами. Имеется раздел с задачами повышенной сложности, предлагавшимися на химических олимпиадах и вступительных экзаменах в вузы.

При решении расчетных задач надо свободно оперировать физическими величинами. Поэтому прежде всего уделите внимание части I «Некоторые физические величины, используемые при решении расчетных химических задач». Вы, конечно же, все это изучали, но сведения эти разбросаны по разным учебникам, вводились они в начале изучения химии, а с понятиями «масса», «объем», «плотность» вы знакомились в начальном курсе физики.

Постарайтесь самостоятельно решить все задачи части I, предложенные для проверки усвоения материала. При затруднениях найдите здесь решение, внимательно его разберите, вникните в суть, чтобы следующую задачу уже наверняка решить самостоятельно. Если и она не получится сразу — не беда, опять тщательно рассмотрите ее решение, сравните с предыдущей задачей, найдите общее между ними и то, чем они различаются, и приступайте к решению третьей задачи. Проработав таким образом задачи первой части, вы подготовитесь к решению расчетных задач.

Особенность задач, предлагаемых на экзаменах в вузах, — их многоступенчатость, но базируются они на основном школьном курсе.

Итак, приступая к работе над каждым разделом пособия:

1) прочитайте и усвойте те краткие теоретические сведения, которые приведены вначале;

2) внимательно прочитайте условие очередной задачи, чтобы правильно понять сущность химических процессов;

3) если задача сложная, перечитайте ее еще раз, исключив цифры, чтобы правильно понять сущность химических процессов;

4) выпишите формулы веществ, о которых говорится в задаче, составьте уравнения реакций, расставьте все коэффициенты;

5) сделайте анализ условия задачи, ответив на вопросы:

— что известно из условия задачи?

— что нужно найти?

— какую информацию дают формула, уравнение реакции?

— какие предварительные вычисления необходимо сделать, прежде чем ответить на вопрос задачи?

— каких величин недостает?

— по формулам, уравнениям или стехиометрическим схемам целесообразнее производить вычисления?

6) кратко запишите условие задачи; выпишите формулы, которые понадобятся для вычислений; задачу решайте поэтапно;

7) проанализируйте ответ: точность результата не должна превышать точности данных задачи, т. е. нельзя записывать ответ с четырьмя значащими цифрами, если в условии задачи их было только две.

Все задачи в пособии расположены по возрастанию сложности, каждая последующая чем-то отличается от предыдущей. Старайтесь мыслить, а не решать по трафарету.

Успехов вам!

Часть I

Некоторые физические величины, используемые при решении расчетных химических задач

1. Краткие теоретические сведения

Химия изучает вещество. Для описания порции вещества используются физические величины: масса, количество вещества, объем.

1.1. Масса

Масса — это мера инертности тела. Чем инертнее тело, тем больше его масса, т. е. тем больше в нем вещества, из которого оно состоит.

Обозначение — *m*.

Измеряется взвешиванием.

Единицы измерения, наиболее часто применяемые в химии, — килограмм (кг), грамм (г), а в промышленных расчетах — тонна (т):

$$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г} = 10^3 \text{ г},$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ кг},$$

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^3 \text{ кг}.$$

Массу порции вещества можно определить и без взвешивания, вычислить по формулам, связывающим эту физическую величину с другими, например:

$$m = \rho \cdot V \text{ или } m = M \cdot \nu,$$

где ρ — плотность; V — объем; M — молярная масса, ν — количество вещества.

Вещества бывают молекулярного строения (во всех агрегатных состояниях — твердом, жидком и газообразном — состоят из молекул) и немолекулярного (состоят из атомов и ионов). Частицы, образующие вещество (молекулы, атомы, ионы) и называемые структурными частицами вещества, также имеют массу.

1.2. Масса атома

Обозначение — m_a .

Массы атомов очень малы. Например, масса атома кислорода в известных нам единицах

$$m_a(\text{O}) = 2,66 \cdot 10^{-26} \text{ кг} = 2,66 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

Производить расчеты с такими громоздкими числами неудобно, поэтому для измерения масс атомов введена *атомная единица массы* (а. е. м.), равная $\frac{1}{12}$ массы атома изотопа углерода с массовым числом 12 (^{12}C):

$$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

1.3. Масса молекулы

Обозначение — m_M .

Масса молекулы складывается из масс составляющих ее атомов. Например, масса молекулы серной кислоты H_2SO_4

$$m_M(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_a(\text{H}) \cdot 2 + m_a(\text{S}) + m_a(\text{O}) \cdot 4.$$

Зная массу структурной частицы и число частиц в системе, можно вычислить массу порции вещества:

$$m = m_{Mn}, \text{ где } n \text{ — число частиц в системе.}$$

1.4. Относительная атомная масса

Отношение массы атома к атомной единице массы, т. е. к $\frac{1}{12}$ массы атома углерода 12, называется *относительной атомной массой*

$$A_r = m_a/1 \text{ а. е. м.}$$

Это безразмерная величина, она показывает, во сколько раз масса атома данного элемента больше атомной единицы массы.

Например, относительная атомная масса кислорода

$$A_r(\text{O}) = \frac{2,66 \cdot 10^{-26} \text{ кг}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 16,$$

отсюда масса атома кислорода:

$$m_a(\text{O}) = A_r \cdot 1 \text{ а. е. м.} = 16 \text{ а. е. м.}$$

Значения относительных атомных масс указаны в специальных таблицах и в таблице Д. И. Менделеева.

1.5. Относительная молекулярная масса

Относительная молекулярная масса — это отношение массы молекулы к 1 а. е. м., т. е. к $\frac{1}{12}$ массы атома углерода 12.

$$M_r = m_M/1 \text{ а. е. м.}$$

Зная относительную атомную массу элементов, входящих в состав вещества, можно вычислить:

а) относительную молекулярную массу, например:

$$M_r(\text{CH}_3\text{OH}) = A_r(\text{C}) + A_r(\text{H}) \cdot 4 + A_r(\text{O}),$$

$$M_r(\text{CH}_3\text{OH}) = 12 + 1 \cdot 4 + 16 = 32;$$

б) массы атомов и молекул.

ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. Вычислить массу атома железа в килограммах.

Дано:	$A_r(\text{Fe}) = 56$
Fe	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
$m_a(\text{Fe}) = ?$	

Решение

$$m_a = A_r \cdot 1 \text{ а. е. м.},$$

$$m_a(\text{Fe}) = 56 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 92,96 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Ответ: масса атома железа составляет $92,96 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

2. Вычислить массу молекулы серной кислоты в килограммах.

Дано:	$A_r(\text{H}) = 1$
H_2SO_4	$A_r(\text{S}) = 32$
	$A_r(\text{O}) = 16$
$m_M(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Решение

$$m_M = M_r \cdot 1 \text{ а. е. м.},$$

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = A_r(\text{H}) \cdot 2 + A_r(\text{S}) + A_r(\text{O}) \cdot 4,$$

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 98,$$

$$m_M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 162,68 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Ответ: масса молекулы серной кислоты составляет $162,68 \times 10^{-27} \text{ кг}$.

1.6. Количество вещества

Эта физическая величина характеризует порцию вещества числом структурных частиц.

Обозначение — ν (можно встретить и n).

Единица измерения — моль. *Моль* — это количество вещества системы, содержащей $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных частиц. Иными словами: в порции любого вещества количеством вещества 1 моль содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных частиц. Эта постоянная называется *числом Авогадро*:

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

Например:

1 моль воды содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул H_2O ;

1 моль молекулярного кислорода содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул O_2 ;

1 моль атомарного кислорода содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов O ;

1 моль поваренной соли (хлорид натрия NaCl) содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ ионов Na^+ и $6,02 \cdot 10^{23}$ ионов Cl^- .

Количество вещества вычисляется по формуле

$$\nu = n/N_A,$$

где n — число частиц, составляющих порцию вещества, N_A — число Авогадро.

1.7. Молярная масса

Отношение массы вещества к количеству вещества называется *молярной массой*. Иными словами: молярная масса — это масса 1 моль вещества.

Обозначение — M .

Единицы измерения — грамм на моль (г/моль), килограмм на моль (кг/моль).

Вычисление:

а) по формуле $M = m/\nu$ — если известны масса и количество вещества системы (порции вещества);

б) по формуле $M = m_M \cdot N_A$ — если известна масса одной структурной частицы (здесь m_M — масса молекулы, N_A — число Авогадро).

Например, $m_M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 162,68 \cdot 10^{-24}$ г,

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

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 162,68 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 98 \text{ г/моль};$$

в) легко заметить, что молярная масса вещества, выраженная в граммах на моль, численно равна его относительной молекулярной массе (для серной кислоты $M_r = 98$): $M = \{M_r\}$.

Благодаря этому молярную массу вещества можно вычислить по его химической формуле, например:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = \{M_r(\text{H}_2\text{O})\},$$

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = A_r(\text{H}) \cdot 2 + A_r(\text{O}),$$

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18,$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. Вычислить молярную массу одного из оксидов углерода, если 5,6 г этого оксида составляют 0,2 моль.

Дано:

$$m = 5,6 \text{ г}$$

$$\nu = 0,2 \text{ моль}$$

$$M = ?$$

Решение

$$M = m/\nu,$$

$$M = \frac{5,6 \text{ г}}{0,2 \text{ моль}} = 28 \text{ г/моль}.$$

Ответ: молярная масса оксида углерода составляет 28 г/моль, это оксид углерода (II) — CO .

2. Вычислить молярную массу оксида серы, если масса одной молекулы $10,64 \cdot 10^{-23}$ г.

Дано:

$$m_M(\text{SO}_n) = 10,64 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

$$M = ?$$

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

Решение

$$M = m_M N_A,$$

$$M = 10,64 \cdot 10^{-23} \text{ г} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 64 \text{ г/моль}.$$

Ответ: молярная масса оксида серы 64 г/моль.

3. По формуле серной кислоты вычислить ее молярную массу.

Дано:
H₂SO₄

$$\begin{aligned} A_r(\text{H}) &= 1 \\ A_r(\text{S}) &= 32 \\ A_r(\text{O}) &= 16 \\ M &= \{M_r\} \end{aligned}$$

M = ?

Решение

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = A_r(\text{H}) \cdot 2 + A_r(\text{S}) + A_r(\text{O}) \cdot 4,$$

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4,$$

$$M = 98 \text{ г/моль.}$$

Ответ: молярная масса серной кислоты равна 98 г/моль.

Зная молярную массу вещества, можно вычислить массу любого количества вещества по формуле $m = M \cdot \nu$.

1.8. Объем

Обозначение — V .

Измеряется разными способами в зависимости от агрегатного состояния, а для твердых тел — еще и от их формы, вычисляется по формуле $V = \frac{m}{\rho}$.

Единицы измерения — кубический метр (м³), кубический дециметр (дм³), кубический сантиметр (см³), литр (л), миллилитр (мл):

$$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ дм}^3 = 10^3 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ л},$$

$$1 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ см}^3 = 10^3 \text{ см}^3 = 1 \text{ л},$$

$$1 \text{ см}^3 = 1 \text{ мл.}$$

1.9. Молярный объем

Газообразное состояние вещества характеризуется:

- высокими скоростями движения частиц;
- меньшими силами взаимного притяжения между частицами, чем в твердом или жидком состоянии;
- большими, чем размеры самих частиц, промежутками между ними.

Поэтому объем, занимаемый газом, зависит не от размеров его молекул, а от размеров промежутков между ними, которые

для различных газов при одинаковых температуре и давлении примерно одинаковы.

1 моль любого газа содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ структурных частиц, поэтому при одинаковых температуре и давлении занимает один и тот же объем.

Объем, занимаемый 1 моль любого газа, при нормальных условиях (н. у.), называется *молярным объемом* и равен 22,4 л/моль.

Обозначение — V_m .

Нормальные условия: температура 273,0 К или 0 °С, давление 1 атм = 101,325 кПа = 760 мм рт. ст.

Если объем газа для расчетов дан при условиях, отличающихся от нормальных, его надо привести к нормальным, используя объединенный газовый закон:

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

где P_0 , T_0 , V_0 — давление, температура по шкале Кельвина и объем при н. у.; P , T , V — то же при данных условиях.

$$\text{Отсюда } V_0 = \frac{P \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot T}; \quad V_0 = \frac{273,0 \cdot V \cdot P}{101,325 \cdot (273,0 + t)},$$

где t — данная температура, °С.

ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ

При температуре 25 °С и давлении 99,3 кПа некоторое количество газа занимает объем 152 мл. Вычислить, какой объем займет это же количество газа при н. у.

Дано:

$$t = 25 \text{ °С}$$

$$P = 99,3 \text{ кПа}$$

$$V = 152 \text{ мл}$$

$V_0 = ?$

$$P_0 = 101,325 \text{ кПа}$$

$$T_0 = 273 \text{ К}$$

Решение

$$T = 273 + 25 = 298 \text{ К},$$

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

$$V_0 = \frac{99,3 \text{ кПа} \cdot 152 \text{ мл} \cdot 273 \text{ К}}{101,325 \text{ кПа} \cdot 298 \text{ К}} = 136,5 \text{ мл.}$$

Ответ: при нормальных условиях газ займет объем 136,5 мл.

1.10. Плотность

Плотность — это масса единицы объема вещества.
Обозначение — ρ .

Вычисляется по формуле

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

где m — масса вещества, V — его объем.

Для газов плотность вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{M}{V_m},$$

где M — молярная масса газа, V_m — молярный объем.

Единицы измерения — килограмм на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$), килограмм на кубический дециметр ($\text{кг}/\text{дм}^3$), грамм на кубический сантиметр ($\text{г}/\text{см}^3$), грамм на литр ($\text{г}/\text{л}$), грамм на миллилитр ($\text{г}/\text{мл}$).

1.11. Относительная плотность газов

Согласно закону Авогадро, в равных объемах различных газов при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул, а массы этих газов отличаются во столько раз, во сколько отличаются их относительные молекулярные массы.

Таким образом, в одном литре любого газа при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул. Масса единицы объема вещества (в нашем случае 1 л газа при н. у.) — это его плотность. Значит, абсолютные плотности газов ρ отличаются, как их относительные молекулярные массы M_r :

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_{r1}}{M_{r2}}.$$

Например: $\frac{\rho(\text{O}_2)}{\rho(\text{H}_2)} = \frac{M_r(\text{O}_2)}{M_r(\text{H}_2)} = \frac{32}{2} = 16.$

Не вычисляя плотности кислорода и водорода, не затрудняясь поисками их значений в справочнике, мы можем сказать, что $\rho(\text{O}_2)$ в 16 раз больше $\rho(\text{H}_2)$, т. е. кислород в 16 раз тяжелее водорода. Эта цифра показывает относительную плотность кислорода по водороду.

Относительная плотность газа — это безразмерная величина, показывающая соотношение плотности данного газа с плотностью водорода (обозначается D_{H_2}) или воздуха (обозначается $D_{\text{возд.}}$).

Вычисляется делением относительной молекулярной массы данного газа на относительную молекулярную массу другого, например, водорода [$M_r(\text{H}_2) = 2$] или воздуха [средняя $M_r(\text{возд.}) = 29$].

$$D_{\text{возд.}} = \frac{M_r(\text{газа})}{M_r(\text{возд.})} = \frac{M_r(\text{газа})}{29}.$$

ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. Вычислить плотность сероводорода по воздуху.

<i>Дано:</i> H_2S	$M_r(\text{H}_2\text{S}) = 34$ $M_r(\text{возд.}) = 29$
$D_{\text{возд.}}(\text{H}_2\text{S}) = ?$	

Решение

$$D_{\text{возд.}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{M_r(\text{H}_2\text{S})}{M_r(\text{возд.})}, \quad D_{\text{возд.}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{34}{29} = 1,17.$$

Ответ: плотность сероводорода по воздуху равна 1,17. Сероводород тяжелее воздуха.

2. Вычислить относительную молекулярную массу оксида серы, если его плотность по воздуху равна 2,21.

<i>Дано:</i> SO_n	
$D_{\text{возд.}}(\text{SO}_n) = 2,21$	
$M_r(\text{SO}_n) = ?$	

Решение

$$D_{\text{возд.}}(\text{SO}_n) = \frac{M_r(\text{SO}_n)}{M_r(\text{возд.})},$$

отсюда $M_r(\text{SO}_n) = D_{\text{возд.}}(\text{SO}_n) \cdot M_r(\text{возд.})$,

т. е. $M_r(\text{SO}_n) = 2,21 \cdot 29 \approx 64.$

Ответ: относительная молекулярная масса оксида серы равна 64, следовательно, это SO_2 .

1.12. Вычисление молярной массы газов

Для газов молярную массу, а значит, и относительную молекулярную вычисляют по плотности при н. у.

$M = \rho \cdot V_m$, где V_m — молярный объем,
 ρ — плотность в г/л.

Для газов в условиях, отличных от нормальных:
 по уравнению Менделеева — Клапейрона

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot RT, \text{ откуда } M = \frac{m \cdot RT}{P \cdot V}.$$

Здесь m — масса порции вещества; V — объем данной массы вещества; P — давление; T — абсолютная температура (по шкале Кельвина); R — универсальная газовая постоянная:

$$[R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \text{ — в единицах СИ}].$$

ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ

1. Газ массой 1,56 г занимает объем 624 мл при температуре 17 °С и давлении 104 кПа. Вычислить молярную массу газа.

Дано:
 $m = 1,56 \text{ г}$
 $V = 624 \text{ мл}$
 $t = 17 \text{ °С}$
 $P = 104 \text{ кПа}$

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$

$M = ?$

Решение

Из уравнения Менделеева — Клапейрона $M = \frac{m \cdot RT}{P \cdot V}$.

Все физические величины выразим в единицах СИ (поскольку в них выражена универсальная газовая постоянная R):

$$m = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ кг}; V = 624 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3 = 624 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$T = 273 + 17 = 290 \text{ К}; P = 104 \cdot 10^3 \text{ Па. Тогда}$$

$$M = \frac{1,56 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Па} \cdot \text{м}^3/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 290 \text{ К}}{104 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 624 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} =$$

$$= 0,058 \text{ кг}/\text{моль} = 58 \text{ г}/\text{моль}.$$

Ответ: молярная масса газа 58 г/моль.

1.13. Сводная таблица физических величин

Обозначение	Наименование	Единицы измерения	Формулы, связывающие данную величину с другими
m	масса	г, кг, т	$m = \rho \cdot V$, $m = m_M \cdot n$, $m = M \cdot \nu$
m_a	масса атома	а. е. м., г, кг	$m_a = A_r \cdot 1 \text{ а. е. м.}$ (1 а. е. м. = $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ = $1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}$)
m_M	масса молекулы	а. е. м., г, кг	$m_M = M_r \cdot 1 \text{ а. е. м.}$, $m_M = M/N_A$ ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$)
A_r	относительная атомная масса	—	$A_r = \frac{m_a}{1 \text{ а. е. м.}}$
M_r	относительная молекулярная масса	—	$M_r = m_M/1 \text{ а. е. м.}$, $M_r = \{M\}$; для газов M (газа) = $= D_{\text{возд.}} \cdot M_r$ (газа)
M	молярная масса	г/моль, кг/моль	$M = \{M_r\}$, $M = m_M \cdot N_A$, $M = m/\nu$; для газов $M = \frac{m \cdot RT}{P \cdot V}$
ρ	плотность вещества	кг/м ³ , г/см ³ , для газов г/л	$\rho = \frac{m}{V}$; для газов $\rho = \frac{M}{V_m}$ (при н. у.)
V	объем	м ³ , дм ³ , см ³ , л, мл	$V = m/\rho$; для газов при н. у. $V = V_m \cdot \nu$
V_m	молярный объем	л/моль	$V_m = 22,4 \text{ л}/\text{моль}$ (при н. у.)
ν	количество вещества	моль	$\nu = n/N_A$, $\nu = m/M$, для газов $\nu = \frac{V}{V_m}$ (при н. у.)
$D_{\text{возд.}}$	относительная плотность газа по воздуху	—	$D_{\text{возд.}} = \frac{M_r \text{ (газа)}}{M_r \text{ (возд.)}}$ $M_r \text{ (возд.)} = 29$
D_{H_2}	относительная плотность газа по водороду	—	$D_{\text{H}_2} = \frac{M_r \text{ (газа)}}{M_r \text{ (H}_2\text{)}}$, $M_r \text{ (H}_2\text{)} = 2$

Примечание: число структурных частиц обозначено буквой n .

2. Задачи и упражнения

Теперь вам предстоит проверить, как вы усвоили материал о физических величинах. Ниже помещена таблица с незаполненными графами. Решив шесть приведенных ниже задач (попытайтесь не заглядывать в приведенные здесь решения), полученными ответами заполните последовательно шесть строк этой таблицы, а затем сравните ее с таблицей на стр. 20. Если будут расхождения — ищите ошибку.

Вещество	M_r	M	ν	n	V (н. у.)	m	ρ	$D_{\text{возд.}}$
O ₂ (г)				$3,01 \cdot 10^{23}$ молекул				
SO ₂ (г)			0,1 моль					
H ₂ S (г)						6,8 г		
H ₂ (г)					4,48 л			
H ₂ O (ж)						36 г		
NaCl (т)			0,5 моль					

Задача 1. Для молекулярного кислорода числом молекул $3,01 \cdot 10^{23}$ найти количество вещества ν , объем, занимаемый этой порцией кислорода при н. у., V ; массу этой порции кислорода m ; плотность вещества кислорода ρ (при н. у.) и относительную плотность кислорода по воздуху $D_{\text{возд.}}$.

Дано:

$$O_2$$

$$n = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ молекул}$$

$$\nu, V, m, \rho, D_{\text{возд.}} = ?$$

Решение

$$M_r(O_2) = A_r(O_2) \cdot 2, \quad M_r(O_2) = 16 \cdot 2 = 32;$$

$$M = \{M_r\}, \quad M(O_2) = 32 \text{ г/моль} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$\nu = \frac{n}{N_A}; \quad \nu = \frac{3,01 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,5 \text{ моль};$$

$$V = V_m \cdot \nu, \quad V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 11,2 \text{ л};$$

$$m = M \cdot \nu, \quad m = 32 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 16 \text{ г};$$

$$\rho = \frac{m}{V_m}, \quad \rho = \frac{32 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,43 \text{ г/л};$$

$$D_{\text{возд.}} = \frac{M_r}{29}, \quad D_{\text{возд.}}(O_2) = \frac{32}{29} = 1,1.$$

Задача 2. Для 0,1 моль оксида серы (IV) найти число молекул, объем, занимаемый этой порцией SO₂ при н. у., массу этой порции SO₂, плотность вещества (при н. у.) и относительную плотность SO₂ по воздуху.

Дано:

SO₂

$$\nu = 0,1 \text{ моль}$$

$$n, V, m, \rho, D_{\text{возд.}} = ?$$

Решение

Здесь, используя формулы, приведенные в задаче 1, сразу производим вычисления.

$$M_r(SO_2) = 32 + 16 \cdot 2 = 64;$$

$$M = 64 \text{ г/моль} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,602 \cdot 10^{23} \text{ (молекул)};$$

$$V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 2,24 \text{ л};$$

$$m = 64 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 6,4 \text{ г};$$

$$\rho = \frac{64 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 2,86 \text{ г/л};$$

$$D_{\text{возд.}} = \frac{64}{29} = 2,2.$$

Задача 3. Для 6,8 г сероводорода найти количество вещества, объем, занимаемый этой порцией H₂S при н. у., число молекул в этой порции вещества, плотность вещества (при н. у.) и относительную плотность H₂S по воздуху.

Дано:

$$m(H_2S) = 6,8 \text{ г}$$

$$\nu, V, n, \rho, D_{\text{возд.}} = ?$$

Ход решения можно записать и по-другому: сначала справа от данных и вопроса задачи выписать все формулы:

$$1. M = A_r(H) \cdot 2 + A_r(S); \quad 3. \nu = \frac{m}{M};$$

$$2. M = \{M_r\}; \quad 4. V = V_m \cdot \nu;$$

$$5. n = N_A \cdot v;$$

$$6. \rho = \frac{M}{V_n};$$

$$7. D_{\text{возд.}} = \frac{M_r}{29}, \text{ а затем вести вычисления:}$$

$$1. M_r(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 2 + 32 = 34;$$

$$2. M = 34 \text{ г/моль};$$

$$3. v = \frac{6,8 \text{ г}}{34 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$4. V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,2 \text{ моль} = 4,48 \text{ л (при н. у.);}$$

$$5. n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \text{ моль} = 1,204 \cdot 10^{23} \text{ (молекул);}$$

$$6. \rho = \frac{34 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,52 \text{ г/л};$$

$$7. D_{\text{возд.}} = \frac{34}{29} = 1,17.$$

Задача 4. Для молекулярного водорода объемом 4,48 л (при н. у.) вычислить количество вещества, число молекул, массу, плотность и относительную плотность по воздуху.

Дано:

$$V(\text{H}_2) = 4,48 \text{ л при н. у.}$$

$$v, n, m, \rho, D_{\text{возд.}} = ?$$

Решение

Здесь, как и в задаче 2, используя известные формулы, сразу произведем вычисления.

$$M_r(\text{H}_2) = 1 \cdot 2 = 2;$$

$$M = 2 \text{ г/моль};$$

$$v = \frac{4,48 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \text{ моль} = 1,2 \cdot 10^{23} \text{ (молекул);}$$

$$m = 2 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ моль} = 0,4 \text{ г};$$

$$\rho = \frac{2 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,089 \text{ г/л};$$

$$D_{\text{возд.}} = \frac{2}{29} = 0,069.$$

Задача 5. Для воды массой 36 г вычислить количество вещества, число молекул, объем.

Пояснение

Плотность воды, так как она в жидком состоянии, не может

быть вычислена по тем же формулам, что плотность газов. Ее значение берем из таблиц: $\rho = 1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ г/мл}$.

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 36 \text{ г}$$

$$v, n, V = ?$$

Решение

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18;$$

$$M = 18 \text{ г/моль};$$

$$v = \frac{36 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль};$$

$$n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2 \text{ моль} = 12,04 \cdot 10^{23} \text{ (молекул);}$$

$$V = \frac{36 \text{ г}}{1 \text{ г/см}^3} = 36 \text{ см}^3 = 36 \text{ мл}.$$

Относительная плотность по воздуху для жидкостей также не вычисляется — последняя графа в пятой строке таблицы остается незаполненной.

Задача 6. Для 0,5 моль хлорида натрия определить: число частиц; массу; объем.

Пояснение

Хлорид натрия — твердое кристаллическое вещество, значение плотности для него находим в справочнике: $\rho = 2,165 \text{ г/см}^3$.

Дано:

$$v(\text{NaCl}) = 0,5 \text{ моль}$$

$$A_r(\text{Na}) = 23$$

$$A_r(\text{Cl}) = 35,5$$

$$n, m, V = ?$$

Решение

$$M_r(\text{NaCl}) = 23 + 35,5 = 58,5; M = 58,5 \text{ г/моль};$$

$$n = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,5 \text{ моль} = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ фрагмента кристалла или } 3,01 \cdot 10^{23} \text{ ионов Na}^+ \text{ и } 3,01 \cdot 10^{23} \text{ ионов Cl}^-;$$

$$m = 58,5 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 29,25 \text{ г};$$

$$V = \frac{29,25 \text{ г}}{2,165 \text{ г/см}^3} = 13,51 \text{ см}^3.$$

Плотность по воздуху для твердых веществ также не вычисляется — еще один прочерк в таблице.

Заполненная таблица имеет вид:

Вещество	M_r	M	ν	n	V	m	ρ	$D_{\text{вод.}}$
O ₂ (г)	32	32 г/моль	0,5 моль	$3,01 \cdot 10^{23}$ молекул	11,2 л	16 г	1,43 г/л	1,103
SO ₂ (г)	64	64 г/моль	0,1 моль	$0,602 \cdot 10^{23}$ молекул	2,24 л	6,4 г	2,85 г/л	2,207
H ₂ S (г)	34	34 г/моль	0,2 моль	$1,204 \cdot 10^{23}$ молекул	4,48 л	6,8 г	1,52 г/л	1,17
H ₂ (г)	2	2 г/моль	0,2 моль	$1,204 \cdot 10^{23}$ молекул	4,48 л	0,4 г	0,089 г/л	0,069
H ₂ O (ж)	18	18 г/моль	2 моль	$12,04 \cdot 10^{23}$ молекул	36 см ³	36 г	1 г/см ³	—
NaCl (т)	58,5	58,5 г/моль	0,5 моль	$3,01 \cdot 10^{23}$ фрагмента кристалла	13,51 см ³	29,25 г	2,165 г/см ³	—

Задача 7. Молекулярный кислород массой 2 г занимает объем 2 л при температуре 10 °С. Вычислить давление кислорода при этой температуре.

Дано:
 $m(\text{O}_2) = 2 \text{ г}$
 $V = 2 \text{ л}$
 $t = 10 \text{ °С}$

$M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$
 $R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$

$P = ?$

Решение

1. Из уравнения Менделеева — Клапейрона: $P = \frac{mRT}{MV}$.

2. Выразим данные задачи в единицах СИ:

$$T = 273 + 10 = 283 \text{ К}; V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

3. Вычислим давление кислорода:

$$P = \frac{2 \text{ г} \cdot 8,31 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / (\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 283 \text{ К}}{32 \text{ г/моль} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 73 \, 491,6 \text{ Па} \approx 73,491 \text{ кПа}.$$

Ответ: давление кислорода 73,491 кПа.

Задача 8. Вычислить относительную молекулярную массу ацетона, если 0,93 г его паров при температуре 87 °С и давлении 96 кПа занимают объем 500 мл.

Дано:
 $m = 0,93 \text{ г}$
 $V = 500 \text{ мл}$
 $t = 87 \text{ °С}$
 $P = 96 \text{ кПа}$

$R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$

$M_r = ?$

Решение

1. Из уравнения Менделеева — Клапейрона: $M = \frac{mRT}{PV}$.

2. Выразим данные задачи в единицах СИ:

$$T = 273 + 87 = 360 \text{ К}; V = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$P = 96 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

3. Вычислим молярную массу ацетона:

$$M = \frac{0,93 \text{ г} \cdot 8,31 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / (\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 360 \text{ К}}{96 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \approx 58 \text{ г/моль}.$$

4. Так как $M = \{M_r\}$, $M_r(\text{ац.}) = 58$.

5. Проверим, вычислив M_r ацетона по его формуле CH_3COCH_3 :

$$M_r = A_r(\text{C}) \cdot 3 + A_r(\text{H}) \cdot 6 + A_r(\text{O}),$$

$$M_r = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 6 + 16 = 58.$$

Ответ: относительная молекулярная масса ацетона равна 58.

Задача 9. Вычислить объем, занимаемый молекулярным азотом массой 0,07 кг при температуре 21 °С и давлении 142 кПа.

Дано:
 $m(\text{N}_2) = 0,07 \text{ кг}$
 $t = 21 \text{ °С}$
 $P = 142 \text{ кПа}$

$T_0 = 273 \text{ К}$
 $M(\text{N}_2) = 28 \text{ г/моль}$
 $P_0 = 101,325 \text{ кПа}$
 $R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$

$V = ?$

Решение

1 способ

1. Выражение для объема выведем из объединенного газового закона: $\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0}$, $V = \frac{P_0V_0T}{PT_0}$.

2. $T = T_0 + t$, $T = 273 + 21 = 294$ К.

3. Вычислим V_0 :

1 моль, т. е. 28 г азота занимает объем 22,4 л,
70 г азота занимает объем x л

$$\frac{28}{70} = \frac{22,4}{x}, \quad x = \frac{70 \cdot 22,4}{28} = 56 \text{ л.}$$

4. Вычислим объем азота:

$$V = \frac{101,325 \text{ кПа} \cdot 56 \text{ л} \cdot 294 \text{ К}}{142 \text{ кПа} \cdot 273 \text{ К}} = 43 \text{ л.}$$

II способ

1. Из уравнения Менделеева — Клапейрона: $V = \frac{mRT}{MP}$.

2. Выразим данные задачи в единицах СИ:

$$T = 273 + 21 = 294 \text{ К}; \quad P = 142 \cdot 10^3 \text{ Па};$$

$$M (\text{N}_2) = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

3. Вычислим объем азота:

$$V = \frac{0,07 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / (\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 294 \text{ К}}{28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 142 \cdot 10^3 \text{ Па}} = 0,043 \text{ м}^3 = 43 \text{ л.}$$

Ответ: объем, занимаемый азотом при данных условиях, равен 43 л.

Часть II

Вычисления по формулам

Химическая формула — это условная запись состава вещества посредством химических знаков и индексов.

1. Что показывает химическая формула?

Химическая формула позволяет судить о качественном и количественном составе вещества.

Например, формула H_2O показывает ее качественный состав: сложное вещество, состоящее из двух химических элементов — водорода и кислорода, и количественный: в каждой молекуле воды содержатся два атома водорода и один атом кислорода. В 1 моль воды содержится 2 моль элемента водорода и 1 моль элемента кислорода.

Хлорид меди (II) CuCl_2 — кристаллическое вещество немолекулярного строения, ионный кристалл. В таких случаях формула показывает простейшее соотношение между ионами в кристалле, т. е. элементарный фрагмент кристалла. В каждом фрагменте кристалла CuCl_2 на один ион меди приходится два иона хлора. 1 моль хлорида меди (II) содержит 1 моль элемента меди и 2 моль элемента хлора.

2. Что можно вычислить по химической формуле?

- 1) Относительную молекулярную массу вещества M_r (см. часть I);
- 2) массу молекулы m_M (см. часть I);
- 3) молярную массу M (см. часть I);
- 4) отношения масс элементов в веществе. Например, по формуле CO_2 (оксид углерода (IV), углекислый газ), зная относительные атомные массы $A_r(\text{C}) = 12$ и $A_r(\text{O}) = 16$, можно вычислить отношения масс элементов в этом веществе:

$$m(\text{C}) : m(\text{O}) = 12 : 32 = 3 : 8;$$

- 5) массовые доли элементов в веществе;
- 6) количество химического элемента в известном количестве сложного вещества и наоборот;
- 7) массу элемента по известному количеству сложного вещества;
- 8) массу сложного вещества по известному количеству химического элемента;
- 9) массу элемента по известной массе сложного вещества и наоборот.

3. Вычисление массовых долей элементов в веществе

Массовую долю элемента $\omega(\text{э})$ в веществе вычисляют по формуле:

$$\omega(\text{э}) = \frac{n \cdot A_r(\text{э})}{M_r(\text{в-ва})}$$

где $A_r(\text{э})$ — относительная атомная масса элемента, n — число атомов данного элемента, $M_r(\text{в-ва})$ — относительная молекулярная масса вещества.

Массовая доля — безразмерная величина; ее выражают в долях единицы или в процентах.

С понятием «массовая доля» вам еще не раз придется столкнуться, в частности, при вычислении выхода продукта реакции и при определении содержания компонентов в смесях (в том числе примесей), а также при решении задач на растворы.

Задача 1. Вычислить массовые доли элементов в углекислом газе (оксиде углерода (IV)).

Дано: CO ₂	A _r (C) = 12 A _r (O) = 16
ω(C), ω(O) = ?	

Решение

$$\omega(\text{C}) = \frac{A_r(\text{C})}{M_r(\text{CO}_2)}, \quad \omega(\text{O}) = \frac{A_r(\text{O}) \cdot 2}{M_r(\text{CO}_2)}$$

1. Вычислим относительную молекулярную массу CO₂:
 $M_r(\text{CO}_2) = A_r(\text{C}) + A_r(\text{O}) \cdot 2$, $M_r(\text{CO}_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44$.

2. Вычислим массовую долю каждого элемента:

$$\omega(\text{C}) = \frac{12}{44} = 0,27 \text{ или } \omega(\text{C}) = 27\%$$

$$\omega(\text{O}) = \frac{32}{44} = 0,73 \text{ или } \omega(\text{O}) = 73\%$$

Можно, вычислив массовую долю одного элемента, массовую долю другого найти вычитанием:

$$\omega(\text{O}) = 1 - 0,27 = 0,73 \text{ или } \omega(\text{O}) = 100\% - 27\% = 73\%$$

Ответ: в углекислом газе массовая доля углерода составляет 0,27 или 27%, кислорода — 0,73 или 73%.

Задача 2. Какое из двух соединений богаче железом — FeO или Fe₂O₃?

Дано: FeO Fe ₂ O ₃	A _r (Fe) = 56 A _r (O) = 16
ω(Fe) = ?	

Решение

1. Вычислим массовую долю железа в FeO:

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{FeO})}$$

$$M_r(\text{FeO}) = 56 + 16 = 72;$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{56}{72} = 0,78 \text{ или } 78\%$$

2. Вычислим массовую долю железа в Fe₂O₃:

$$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{A_r(\text{Fe}) \cdot 2}{M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

$$M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 56 \cdot 2 + 16 \cdot 3 = 160;$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{112}{160} = 0,7 \text{ или } 70\%$$

Ответ: оксид железа (II) FeO богаче железом, чем оксид железа (III) Fe₂O₃.

**4. Вычисление количества элемента
в известном количестве сложного вещества и наоборот**

Задача 1. Вычислить количество кислорода в 1,5 моль бертолетовой соли.

Дано: $v(\text{KClO}_3) = 1,5$ моль
$v(\text{O}) = ?$

Решение

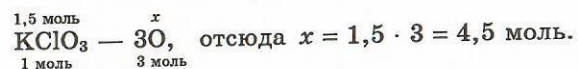
Из формулы: 1 моль KClO_3 содержит 3 моль элемента O.
По условию: 1,5 моль KClO_3 содержат x моль элемента O.

Очевидно, что во сколько раз увеличивается количество сложного вещества, во столько же раз возрастает и количество химического элемента. Составляем и решаем пропорцию:

$$\frac{1}{1,5} = \frac{3}{x}; \quad x = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ моль.}$$

Удобнее другой вариант записи.

Составим схему:



Ответ: 1,5 моль бертолетовой соли содержит 4,5 моль кислорода.

Задача 2. В каком количестве воды содержится 5 моль элемента водорода?

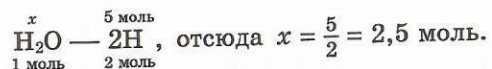
Дано: $v(\text{H}) = 5$ моль
$v(\text{H}_2\text{O}) = ?$

Решение

Из формулы: 1 моль H_2O содержит 2 моль элемента H.
По условию: x моль H_2O содержит 5 моль элемента H.

Составляем и решаем пропорцию:

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{5}, \quad x = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ моль, или составляем схему:}$$



Ответ: 5 моль элемента водорода содержится в 2,5 моль воды.

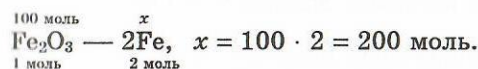
**5. Вычисление массы элемента
по известному количеству сложного вещества
и массы вещества по известному количеству элемента**

Задача 1. Вычислить массу железа, которое можно выплавить из 100 моль оксида железа (III).

Дано: $v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 100$ моль	$M(\text{Fe}) = 56$ г/моль
$m(\text{Fe}) = ?$	

Решение

1. Вычислим количество элемента железа в 100 моль Fe_2O_3 :



2. Вычислим массу 200 моль железа:

$$m = M \cdot v, \quad m = 56 \text{ г/моль} \cdot 200 \text{ моль} = 11\,200 \text{ г} = 11,2 \text{ кг.}$$

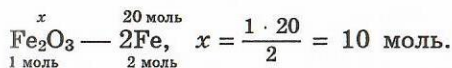
Ответ: из 100 моль оксида железа (III) можно выплавить железо массой 11,2 кг.

Задача 2. Вычислить массу оксида железа (III), из которой выплавляли 20 моль железа.

Дано: $v(\text{Fe}) = 20$ моль	$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160$ г/моль
$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = ?$	

Решение

1. Вычислим количество оксида железа (III), в котором содержится 20 моль Fe:



2. Вычислим массу 10 моль Fe_2O_3 :

$$m = M \cdot v, \quad m = 160 \text{ г/моль} \cdot 10 \text{ моль} = 1600 \text{ г} = 1,6 \text{ кг.}$$

Ответ: 20 моль железа можно получить из оксида железа (III) массой 1,6 кг.

Задача 3.¹ Вычислите массу красного железняка, содержащего 78% оксида железа (III), необходимого для получения 2 т сплава с массовой долей железа 0,96.

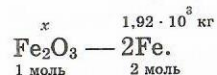
<p>Дано:</p> <p>m (спл.) = 2 т</p> <p>ω (Fe) = 0,96</p> <p>ω (Fe₂O₃) = 78%</p> <hr/> <p>m (руды) = ?</p>	<p>M (Fe) = $56 \cdot 10^{-3}$ кг/моль</p> <p>M (Fe₂O₃) = $160 \cdot 10^{-3}$ кг/моль</p>
--	---

Решение

1. Вычислим массу железа в составе сплава:

$$m(\text{Fe}) = 2 \text{ т} \cdot 0,96 = 1,92 \text{ т} = 1,92 \cdot 10^3 \text{ кг.}$$

2. Составим схему:



3. Выразим количества веществ в единицах массы, подставим в схему и, решив пропорцию, узнаем массу оксида железа (III), содержащего вычисленную массу железа:

$$\begin{array}{ccc} x & 1,92 \cdot 10^3 \text{ кг} & \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 & \text{---} & 2\text{Fe.} \\ 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг} & 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг} & \end{array} \quad x = \frac{160 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 1,92 \cdot 10^3 \text{ кг}}{112 \cdot 10^{-3} \text{ кг}} = 2740 \text{ кг} = 2,74 \text{ т.}$$

4. Вычислим массу руды, в которой вычисленная масса оксида железа составляет 78% или 0,78:

$$m(\text{руды}) = \frac{2,74 \text{ т}}{0,78} = 3,52 \text{ т.}$$

Ответ: для получения 2 т сплава с массовой долей железа 0,96 потребуется 3,52 т красного железняка, содержащего 78% оксида железа (III).

¹ Из учебника Фельдман Ф. Г., Рудзитис Г. Е. Основы общей химии: Пробное учебное пособие для 11 класса средней школы. М.: Просвещение, 1989. С. 96.

6. Вычисление массы элемента по известной массе сложного вещества и наоборот

Задача 1. Вычислить массу железа, которое можно получить из оксида железа (III) массой 32 кг.

<p>Дано:</p> <p>m (Fe₂O₃) = 32 кг</p> <hr/> <p>m (Fe) = ?</p>	<p>M (Fe) = $56 \cdot 10^{-3}$ кг/моль</p> <p>M (Fe₂O₃) = $160 \cdot 10^{-3}$ кг/моль</p>
---	---

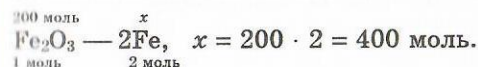
Решение

I способ

1. Вычислим количество оксида железа (III) массой 32 кг: $\nu = \frac{m}{M}$,

$$\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{32 \text{ кг}}{160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = 0,2 \cdot 10^3 = 200 \text{ моль.}$$

2. Вычислим количество элемента железа в 200 моль Fe₂O₃:

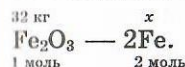


3. Вычислим массу 400 моль железа.

$$m = M \cdot \nu, \quad m = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 400 \text{ моль} = 22,4 \text{ кг.}$$

II способ

1. Составим схему:

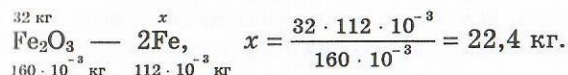


2. Вычислим массу 1 моль Fe₂O₃ и 2 моль Fe:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 1 \text{ моль} = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг,}$$

$$m(\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

3. Подставим значения масс в схему:



Ответ: из оксида железа (III) массой 32 кг можно получить железо массой 22,4 кг.

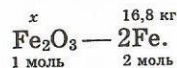
Примечание: для этой задачи II способ решения рациональнее, так как все расчеты осуществляются с заданной и искомой величиной — массой.

Задача 2. Вычислить массу оксида железа (III), в которой содержится железо массой 16,8 кг.

Дано: $m(\text{Fe}) = 16,8 \text{ кг}$	$M(\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = ?$	

Решение

1. Составим схему:



2. Выразим количества веществ в единицах массы, подставим в схему и решим пропорцию:

$$\begin{array}{c} x \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ — } 2\text{Fe} \\ 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \end{array} \quad x = \frac{160 \cdot 10^{-3} \cdot 16,8}{112 \cdot 10^{-3}} = 24 \text{ кг.}$$

Ответ: элемент железо массой 16,8 кг содержится в оксиде железа (III) массой 24 кг.

7. Вычисления по формулам с применением понятия «массовая доля выхода продукта»

В ходе реакции или в процессе производства происходят потери веществ, и масса вещества, практически полученная, всегда меньше вычисленной теоретически, т. е. по формуле.

Отношение массы вещества, практически полученной, к массе, вычисленной по формуле, называется *массовой долей выхода* продукта от теоретически возможного. Выход вычисляется в процентах от теоретически возможного согласно формуле

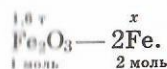
$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%.$$

Задача 1. Вычислить массовую долю выхода железа в процентах от теоретически возможного, если из оксида железа (III) массой 1,6 т выплавляли железо массой 1 т.

Дано: $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,6 \text{ т}$ $m_{\text{пр.}}(\text{Fe}) = 1 \text{ т}$	$M(\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
$\omega_{\text{вых.}}(\text{Fe}) = ?$	

Решение

1. Составим схему:



2. Выразим количества веществ в единицах массы (кг), подставим в схему и решим пропорцию, т. е. найдем теоретический выход:

$$\begin{array}{c} 1600 \text{ кг} \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ — } 2\text{Fe} \\ 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \end{array} \quad x = \frac{1600 \cdot 112 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} = 1120 \text{ кг} = 1,12 \text{ т.}$$

3. Вычислим массовую долю выхода:

$$\omega_{\text{вых.}}(\text{Fe}) = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%,$$

$$\omega_{\text{вых.}}(\text{Fe}) = \frac{1 \text{ т}}{1,12 \text{ т}} \cdot 100\% = 89,2\%.$$

Ответ: практический выход железа составляет 89,2% от теоретического.

Задача 2. Вычислить массу железа, которую можно выплавить из 3,2 т оксида железа (III) при выходе 90%.

Дано: $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3,2 \text{ т}$ $\omega_{\text{вых.}} = 90\%$	$M(\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
$m_{\text{пр.}}(\text{Fe}) = ?$	

Решение

1. Вычислим массу железа, которую теоретически можно получить из 3,2 т Fe_2O_3 (см. предыдущую задачу):

$$\begin{array}{c} 3200 \text{ кг} \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ — } 2\text{Fe} \\ 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \end{array} \quad x = \frac{3200 \cdot 112 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} = 2240 \text{ кг} = 2,24 \text{ т.}$$

2. Вычислим практическую массу:

$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%, \quad m_{\text{пр.}} = \frac{\omega_{\text{вых.}} \cdot m_{\text{теор.}}}{100\%},$$

$$m_{\text{пр.}} = 2,24 \text{ т} \cdot 0,9 = 2,0 \text{ т.}$$

Ответ: при выходе 90% из 3,2 т оксида железа (III) получается железо массой 2,0 т.

Задача 3.¹ Какую массу чистого железа можно получить из 250 т руды, содержащей в массовых долях 0,7 пирита FeS_2 , если выход составляет 82%?

Дано:
 m (руды) = 250 т
 ω (FeS_2) = 0,7
 $\omega_{\text{вых.}}$ (Fe) = 82%

M (Fe) = $56 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
 M (FeS_2) = $120 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

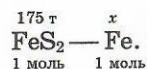
$m_{\text{пр.}}$ (Fe) = ?

Решение

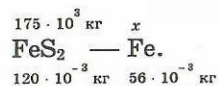
1. Найдем массу пирита, содержащегося в руде:

$$m(\text{FeS}_2) = 250 \text{ т} \cdot 0,7 = 175 \text{ т} = 175 \cdot 10^3 \text{ кг.}$$

2. Составим схему:



3. Выразим количества веществ в единицах массы, подставим в схему и решим пропорцию:



$$x = \frac{175 \cdot 10^3 \cdot 56 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} = 81,7 \cdot 10^3 \text{ кг} = 81,7 \text{ т.}$$

4. Вычислим практическую массу железа:

$$m_{\text{пр.}}(\text{Fe}) = 81,7 \cdot 0,82 = 66,97 \text{ т.}$$

Ответ: из 250 т руды, содержащей 0,7 массовых долей пирита, при выходе 82% можно получить 66,97 т железа.

Задача 4. Вычислить массу оксида железа (III), необходимого для получения 3 т железа, если практический выход составляет 89% от теоретического.

Дано:
 m (Fe) = 3 т
 $\omega_{\text{вых.}}$ (Fe) = 89%

M (Fe) = $56 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
 M (Fe_2O_3) = $160 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

m (Fe_2O_3) = ?

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

Решение

1. Теоретическую массу железа (которая должна была бы получиться при выходе 100%) можно вычислить двумя способами:

I способ

3 т составляют 89%,
 x т составляют 100%,

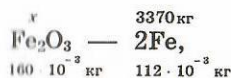
$$x = \frac{3 \text{ т} \cdot 100\%}{89\%} = 3,37 \text{ т.}$$

II способ

1. Из формулы $\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%$

$$m_{\text{теор.}} = \frac{m_{\text{пр.}} \cdot 100\%}{\omega_{\text{вых.}}}, \quad m_{\text{теор.}} = \frac{3 \text{ т}}{0,89} = 3,37 \text{ т} = 3370 \text{ кг.}$$

2. Составим схему и, решив пропорцию, получим массу оксида железа (III):



$$x = \frac{160 \cdot 10^3 \cdot 3370}{112 \cdot 10^3} = 4800 \text{ кг} = 4,8 \text{ т.}$$

Ответ: для получения 3 т железа при выходе 89% потребуется 4,8 т оксида железа (III).

8. Вычисление массовых долей компонентов в смеси, в том числе примесей

Задача усложняется, если вещество, по формуле которого делаем расчет, содержит примеси или составляет какую-то массовую долю в смеси.

Задача 1.¹ После сильного прокаливания 80 г смеси, состоящей из карбоната натрия и его кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$,

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

масса ее составила 66,5 г. Определите массовую долю кристаллогидрата в смеси.

Дано:
 m (смеси) = 80 г
 m (Na_2CO_3) = 66,5 г

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

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286 \text{ г/моль}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Анализ условия задачи

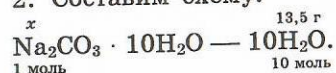
Масса смеси уменьшилась за счет выделения воды из кристаллогидрата. Так как нагревание было сильным, вода выделилась полностью. Разложения карбоната натрия при прокаливании не происходит, следовательно, по массе выделившейся воды можно вычислить массу кристаллогидрата в смеси.

Решение

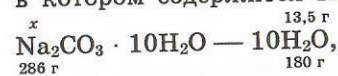
1. Вычислим массу выделившейся воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 80 \text{ г} - 66,5 \text{ г} = 13,5 \text{ г.}$$

2. Составим схему:



3. Выразим количества веществ в единицах массы, подставим в схему и, решив пропорцию, получим массу кристаллогидрата, в котором содержится вычисленная масса воды:



$$x = \frac{286 \cdot 13,5}{180} = 21,45 \text{ г.}$$

4. Вычислим массовую долю кристаллогидрата в смеси:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{21,45 \text{ г}}{80 \text{ г}} = 0,268 \text{ или } 26,8\%.$$

Ответ: массовая доля кристаллогидрата в смеси составляет 0,268 или 26,8%.

Задача 2. Вычислить массу меди, которую можно получить из 2 т руды, содержащей 10% минерала халькозина (Cu_2S) при выходе 90%.

Дано:
 m (руды) = 2 т
 ω (Cu_2S) = 10%
 $\omega_{\text{вых.}}$ (Cu) = 90%

$$M(\text{Cu}_2\text{S}) = 160 \text{ г/моль} = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M(\text{Cu}) = 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

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

Анализ условия задачи

Медь содержится в руде в составе халькозина Cu_2S . Значит, сначала нужно вычислить массу этого вещества, а затем по массе вещества — массу меди в нем.

Решение

1. Вычисление массы Cu_2S в руде можно записать двумя способами:

I способ

Cu_2S в руде составляет 10% или 0,1 части от 2 т:

$$m(\text{Cu}_2\text{S}) = 2 \text{ т} \cdot 0,1 = 200 \text{ кг.}$$

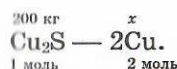
II способ

1. 2 т Cu_2S составляют 100%,

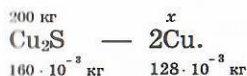
x т Cu_2S составляют 10%,

$$x = \frac{2 \cdot 10\%}{100\%} = 0,2 \text{ т} = 200 \text{ кг.}$$

2. Составим схему:



3. Заменяем количества веществ единицами массы, подставим в схему и, решив пропорцию, узнаем массу меди:



$$x = \frac{128 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{160 \cdot 10^{-3}} = 160 \text{ кг.}$$

Ответ: из 2 т руды, содержащей 10% Cu_2S , можно выплавить 160 кг меди.

Задача 3. В качестве микроудобрения в почву вносят медный купорос, содержащий 5% примесей. Вычислить массу меди, внесенной в почву с 10 кг этой соли.

Дано:
 m (купороса) = 10 кг
 ω (прим.) = 5%

$$M(\text{Cu}) = 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

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

Решение

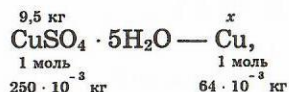
1. Вычислим массу примесей:

$$m(\text{прим.}) = \frac{10 \text{ кг} \cdot 5\%}{100\%} = 0,5 \text{ кг}, \quad m_{\text{пр.}} = 10 \text{ кг} \cdot 0,05 = 0,5 \text{ кг}.$$

2. Вычислим массу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в соли:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 10 \text{ кг} - 0,5 \text{ кг} = 9,5 \text{ кг}.$$

3. По массе вещества вычислим массу элемента меди в нем:



$$x = \frac{9,5 \cdot 64 \cdot 10^{-3}}{250 \cdot 10^{-3}} = 2,43 \text{ кг}.$$

Ответ: с медным купоросом массой 10 кг, содержащим 5% примесей, в почву вносят 2,43 кг меди.

Задача 4. В железной руде содержание оксида железа (III) равно 80%. Вычислить массу железа, которое можно получить из 500 кг руды, если практический выход составляет 90% от теоретически ожидаемого.

Анализ условия задачи

Железо содержится в руде в составе оксида железа (III). Значит, сначала нужно вычислить массу этого вещества, а затем по массе вещества — массу железа в нем, т. е. теоретически ожидаемый выход.

Дано:

$$m(\text{руды}) = 500 \text{ кг}$$

$$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 80\%$$

$$\omega_{\text{вых.}} = 90\%$$

$$m_{\text{пр.}} = ?$$

$$M(\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

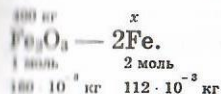
$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Решение

1. Вычислим массу Fe_2O_3 :

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 500 \text{ кг} \cdot 0,8 = 400 \text{ кг}.$$

2. По массе вещества вычислим массу элемента железа в нем:



$$x = \frac{400 \cdot 112 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} = 280 \text{ кг}.$$

3. Вычислим массу железа, которую можно получить практически:

$$m_{\text{пр.}}(\text{Fe}) = 280 \text{ кг} \cdot 0,9 = 252 \text{ кг}.$$

Ответ: из руды массой 500 кг, содержащей 80% Fe_2O_3 , при выходе 90% можно практически получить 252 кг железа.

Задача 5.¹ Сколько оксида алюминия в граммах можно получить из 100 г кристаллогидрата хлорида алюминия $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$?

Дано:

$$m(\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г}$$

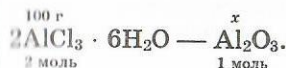
$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = ?$$

$$M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ г/моль}$$

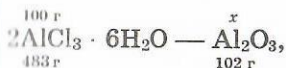
$$M(\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 241,5 \text{ г/моль}$$

Решение

1. В схеме уравнием содержание алюминия, поэтому перед формулой кристаллогидрата поставим коэффициент 2:



2. Заменяем количества веществ единицами массы, подставим в схему полученные значения и решим пропорцию:



$$x = \frac{100 \cdot 102}{483} = 21,12 \text{ г}.$$

Ответ: из кристаллогидрата хлорида алюминия массой 100 г можно получить оксид алюминия массой 21,12 г.

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 71.

Часть III

Вывод химической формулы вещества

Химические формулы бывают простейшие и истинные.

Простейшая формула показывает простейшее соотношение чисел атомов элементов в веществе или наиболее простой атомный состав вещества.

Истинная формула показывает действительное число атомов каждого элемента в молекуле (для веществ молекулярного строения и называется для них молекулярной) или в элементарном фрагменте кристалла (для веществ кристаллических, немолекулярного строения).

Для вывода простейшей формулы вещества достаточно знать его качественный и количественный состав.

Для вывода истинной формулы, кроме качественного и количественного состава, необходимо вычислить любым из известных способов молярную или относительную молекулярную массу или иметь данные о массе, объеме или количестве вещества, формулу которого выводим.

ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. Вывести простейшую формулу углеводорода, массовая доля углерода в котором 85,7%, водорода — 14,3%.

<i>Дано:</i> $\omega(\text{C}) = 85,7\%$ $\omega(\text{H}) = 14,3\%$	$M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$ $M(\text{H}) = 1 \text{ г/моль}$
$\text{ХФВ}^1 - ?$	

Решение

- Качественный состав: углерод и водород.
- Количественный состав:
в 100 г в-ва С составляет 85,7 г и
Н составляет 14,3 г.

¹ ХФВ — химическая формула вещества.

$$v(\text{C}) : v(\text{H}) = \frac{85,7}{12} : \frac{14,3}{1} = 7,15 : 14,3 = 1 : 2.$$

Следовательно, в этом углеводороде на один атом углерода приходится два атома водорода, т. е. его простейшая формула CH_2 . Истинную формулу установить невозможно: в условии задачи недостает данных для вычисления молярной массы.

2. Дополним условие предыдущей задачи: вывести молекулярную формулу углеводорода по следующим данным:

массовая доля углерода в нем 85,7%, водорода — 14,3%, плотность 1,25 г/л (при н. у.).

<i>Дано:</i> $\omega(\text{C}) = 85,7\%$ $\omega(\text{H}) = 14,3\%$ $\rho = 1,25 \text{ г/л}$	$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н. у.)}$
$\text{МФВ}^1 = ?$	

Решение

1 и 2. Вывод простейшей формулы см. в предыдущем примере.

3. Для нахождения истинной молекулярной формулы вычислим относительную молекулярную массу:

$$M = \rho \cdot V_m, M = 1,25 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 28 \text{ г/моль},$$

$$M = \{M_r\}, M_r = 28.$$

4. Найдем истинную формулу $(\text{CH}_2)_n$:

$$M_r(\text{CH}_2) = 12 + 1 \cdot 2 = 14,$$

$$n = \frac{28}{14} = 2.$$

Ответ: молекулярная формула углеводорода C_2H_4 — этилен.

3. При некоторой температуре плотность паров серы по азоту равна 9,14. Каков количественный состав молекулы серы при данной температуре?

<i>Дано:</i> $D_{\text{N}_2} = 9,14$	$A_r(\text{S}) = 32$ $M_r(\text{N}_2) = 28$
$n = ?$	

¹ МФВ — молекулярная формула вещества.

Решение

1. Обозначим состав молекулы серы S_n .
2. Вычислим относительную молекулярную массу серы:

$$M_r(S_n) = D_{N_2} M_r(N_2),$$

$$M_r(S_n) = 9,14 \cdot 28 = 255,92 \approx 256.$$

3. Вычислим n — число атомов серы в молекуле:

$$n = \frac{M_r(S_n)}{A_r(S)}, \quad n = \frac{256}{32} = 8.$$

Ответ: состав молекулы серы при данных условиях S_8 .

Задача 1. При механической уборке хлопчатника его предварительно обрабатывают дефолиантом — препаратом, вызывающим опадение листьев. Вывести химическую формулу этого соединения, если экспериментально установлено, что его качественный состав: кальций, углерод, азот, а количественный: $\omega(\text{Ca}) = 50\%$; $\omega(\text{C}) = 15\%$, $\omega(\text{N}) = 35\%$.

Дано:

$$\begin{aligned} \omega(\text{Ca}) &= 50\% \\ \omega(\text{C}) &= 15\% \\ \omega(\text{N}) &= 35\% \end{aligned}$$

$$M(\text{Ca}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{N}) = 14 \text{ г/моль}$$

ХФВ = ?

Решение

Найдем простейшие соотношения между элементами в веществе. Количество вещества ν найдем по формуле $\nu = \frac{m}{M}$. Нам известны массовые доли каждого элемента в веществе и их молярные массы. Следовательно, количество элемента можно выразить как отношение его массовой доли к молярной массе:

$$\nu(\text{Ca}) : \nu(\text{C}) : \nu(\text{N}) = \frac{50}{40} : \frac{15}{12} : \frac{35}{14} = \frac{5}{4} : \frac{5}{4} : \frac{5}{2} = 1 : 1 : 2.$$

Значит, на 1 моль элемента кальция приходится 1 моль элемента углерода и 2 моль элемента азота. Такое же соотношение между числами атомов в молекуле этого соединения.

Ответ: химическая формула вещества CaCN_2 — цианамид кальция.

Задача 2. При сжигании горючего газа объемом 10 л израсходовали кислород объемом 15 л и получили оксид серы (IV) объемом 10 л и водяные пары объемом 10 л. Найти молекулярную формулу горючего газа.

Дано:

$$V(\text{газа}) = 10 \text{ л}$$

$$V(\text{O}_2) = 15 \text{ л}$$

$$V(\text{SO}_2) = 10 \text{ л}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 10 \text{ л}$$

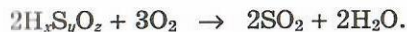
МФВ = ?

Решение

1. Качественный состав вещества: сера, водород и, возможно, кислород (делаем вывод по продуктам сгорания).

2. Так как объемные отношения газов при химических реакциях пропорциональны количествам веществ (следствие закона Авогадро), $V(\text{газа}) : V(\text{O}_2) : V(\text{SO}_2) : V(\text{H}_2\text{O}) = 10 : 15 : 10 : 10 = 2 : 3 : 2 : 2$, то $\nu(\text{газа}) : \nu(\text{O}_2) : \nu(\text{SO}_2) : \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2 : 3 : 2 : 2$.

3. Составим уравнение реакции, где искомое вещество обозначим формулой $\text{H}_x\text{S}_y\text{O}_z$, а цифры 2, 3, 2, 2 будут коэффициентами перед соответствующими формулами:



Отсюда $x = 2$, $y = 1$, $z = 0$ (кислорода в веществе нет), молекулярная формула H_2S .

Ответ: молекулярная формула вещества H_2S — сероводород.

Задача 3. Вывести химическую формулу соединения, если его качественный (элементарный) состав: медь, сера, кислород, а отношение масс этих элементов в веществе 2 : 1 : 2.

Дано:

$$m(\text{Cu}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) = 2 : 1 : 2$$

$$m_a(\text{Cu}) = 64 \text{ а. е. м.}$$

$$m_a(\text{S}) = 32 \text{ а. е. м.}$$

$$m_a(\text{O}) = 16 \text{ а. е. м.}$$

ХФВ = ?

Решение

Химическая формула выражает простейшее соотношение между числами атомов n в молекуле вещества или соотношение количеств веществ элементов. Поэтому заменим отношение масс отношением количеств веществ.

Число 64, означающее $m_a(\text{Cu})$, в 32 раза больше показателя массовой доли меди. Увеличим в 32 раза показатели массовых долей всех элементов:

$$m(\text{Cu}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) = 64 : 32 : 64,$$

$$v(\text{Cu}) : v(\text{S}) : v(\text{O}) = \frac{64}{64} : \frac{32}{32} : \frac{64}{16} = 1 : 1 : 4.$$

Значит, на один атом меди приходится один атом серы и четыре атома кислорода.

Ответ: искомая формула CuSO_4 — сульфат меди (II).

Задача 4. При нагревании твердого вещества массой 2,45 г выделился кислород объемом 672 мл (при н. у.). В оставшемся твердом веществе содержатся элементы: калий массовой долей 52,35% и хлор массовой долей 47,65%. Вывести химическую формулу исходного вещества.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 2,45 \text{ г}$$

$$V(\text{O}_2) = 672 \text{ мл}$$

$$\omega(\text{K}) = 52,35\%$$

$$\omega(\text{Cl}) = 47,65\%$$

$$A_r(\text{K}) = 39$$

$$A_r(\text{Cl}) = 35,5$$

$$A_r(\text{O}) = 16$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}$$

$$\text{ХФВ} = ?$$

Решение

1. Качественный состав вещества: калий, хлор, кислород.

2. Определим массы элементов в общей массе вещества:

а) масса выделившегося кислорода:

$$m = Mv, \quad v = \frac{V}{V_m},$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{32 \text{ г/моль} \cdot 0,672 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,96 \text{ г};$$

б) сумма масс калия и хлора:

$$2,45 \text{ г} - 0,96 \text{ г} = 1,49 \text{ г};$$

в) масса хлора:

$$m(\text{Cl}) = 1,49 \cdot 0,4765 = 0,71 \text{ г};$$

г) масса калия:

$$m(\text{K}) = 1,49 \text{ г} - 0,71 \text{ г} = 0,78 \text{ г}.$$

3. Найдем отношение числа атомов элементов:

$$v(\text{K}) : v(\text{Cl}) : v(\text{O}) = \frac{0,78}{39} : \frac{0,71}{35,5} : \frac{0,96}{16} =$$

$$= 0,02 : 0,02 : 0,06 = 1 : 1 : 3.$$

Ответ: химическая формула вещества KClO_3 . Это истинная формула, так как была известна масса вещества.

Задача 5. Вывести молекулярную формулу газообразного углеводорода по следующим экспериментальным данным: массовая доля углерода — 92,3%, водорода — 7,7%, масса 1 л при н. у. равна 1,16 г.

Дано:

$$\omega(\text{C}) = 92,3\%$$

$$\omega(\text{H}) = 7,7\%$$

$$\rho = 1,16 \text{ г/л}$$

$$A_r(\text{C}) = 12$$

$$A_r(\text{H}) = 1$$

$$\text{МФВ} = ?$$

Решение

I способ

1. Качественный состав: углерод и водород.

2. Найдем простейшую формулу (см. задачу 1):

$$v(\text{C}) : v(\text{H}) = \frac{92,3}{12} : \frac{7,7}{1} = 7,7 : 7,7 = 1 : 1.$$

Простейшая формула вещества CH .

3. Найдем истинную формулу $(\text{CH})_n$:

а) вычислим относительную молекулярную массу углеводорода:

$$M = \rho \cdot V_m, \quad M = 1,16 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 26 \text{ г/моль};$$

$$M = \{M_r\}, \quad M_r = 26,$$

б) определим n :

$$M_r(\text{CH}) = 12 + 1 = 13;$$

$$n = \frac{M_r[(\text{CH})_n]}{M_r(\text{CH})}, \quad n = \frac{26}{13} = 2.$$

Истинная формула вещества $(\text{CH})_2$ или C_2H_2 .

II способ

Определим число атомов углерода и водорода:

$$\text{а) } M = 1,16 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 26 \text{ г/моль};$$

$$б) m(C) = 26 \cdot 0,923 = 24 \text{ г,}$$

$$m(H) = 26 \text{ г} - 24 \text{ г} = 2 \text{ г;}$$

$$в) n(C) = \frac{24}{12} = 2, \quad n(H) = \frac{2}{1} = 2.$$

Ответ: истинная формула углеводорода C_2H_2 — ацетилен.

Задача 6. Плотность паров углеводорода предельного ряда 1,96 г/л (при н. у.). Вывести молекулярную формулу.

Дано:	$A_r(C) = 12$
$\rho(C_nH_{2n+2}) = 1,96 \text{ г/л}$	$A_r(H) = 1$
МФВ = ?	

Решение

Так как общая формула предельных углеводородов C_nH_{2n+2} , то его относительная молекулярная масса соответствует уравнению $M_r = 12n + 2n + 2$.

Зная плотность газообразного вещества, легко определить его относительную молекулярную массу:

$$M = \rho \cdot V_m, \quad M = 1,96 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 44 \text{ г/моль;}$$

$$M_r = \{M\}, \quad M_r = 44.$$

Следовательно,

$$12n + 2n + 2 = 44, \quad 14n = 42, \quad n = 3.$$

Ответ: истинная формула углеводорода C_3H_8 — пропан.

Задача 7. При сжигании углеводорода объемом 5,6 л (н. у.) получили оксид углерода (IV) объемом 16,8 л и воду массой 13,5 г. Вывести молекулярную формулу вещества.

Дано:	$M(H_2O) = 18 \text{ г/моль}$
$V(\text{газа}) = 5,6 \text{ л}$	$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н. у.)}$
$V(CO_2) = 16,8 \text{ л}$	
$m(H_2O) = 13,5 \text{ г}$	
МФВ = ?	

Решение

1. Качественный состав: углерод, водород.

2. Количественный состав:

а) количества газообразных веществ определим по формуле

$$v = \frac{V}{V_m};$$

$$v(\text{газа}) = \frac{5,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,25 \text{ моль,}$$

$$v(CO_2) = \frac{16,8 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,75 \text{ моль;}$$

б) количество вещества воды определим по формуле $v = \frac{m}{M}$:

$$v(H_2O) = \frac{13,5 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,75 \text{ моль.}$$

в. Найдем химическую формулу:

$$v(\text{газа}) : v(CO_2) : v(H_2O) = 0,25 : 0,75 : 0,75 = 1 : 3 : 3.$$

В значит, 1 моль углеводорода соответствует 3 моль CO_2 и 3 моль H_2O , т. е. 1 моль углеводорода содержит 3 моль атомов углерода и 6 моль атомов водорода.

Ответ: искомая молекулярная формула C_3H_6 — пропилен или циклопропан.

Задача 8. Определить молекулярную формулу вещества по следующим данным: сожгли газ массой 0,29 г и получили оксид углерода (IV) объемом 0,448 л и воду массой 0,45 г. Относительная плотность горючего газа по воздуху 2.

Дано:	$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$
$m(\text{газа}) = 0,29 \text{ г}$	$M(H_2O) = 18 \text{ г/моль}$
$V(CO_2) = 0,448 \text{ л}$	$M(CO_2) = 44 \text{ г/моль}$
$m(H_2O) = 0,45 \text{ г}$	$M_r(\text{возд.}) = 29$
$D_{\text{возд.}} = 2$	

МФВ = ?

Решение

1. Качественный состав: углерод, водород и, возможно, кислород (так как при сжигании образовались H_2O и CO_2). Чтобы проверить это, вычислим:

а) массу углерода в CO_2 :

$$CO_2 \xrightarrow{x} C, \quad x = \frac{0,448 \text{ л} \cdot 12 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,24 \text{ г;}$$

б) массу водорода в H_2O :

$$\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{18 \text{ г}} 2\text{H} \xrightarrow{2 \text{ г}} \quad x = \frac{0,45 \cdot 2}{18} = 0,05 \text{ г.}$$

Суммарная масса углерода и водорода составляет $0,24 \text{ г} + 0,05 \text{ г} = 0,29 \text{ г}$, следовательно, кислорода в составе вещества нет — это углеводород.

2. Количественный состав. Определим:

а) молярную массу углеводорода:

$$M = \{M_r\},$$

$$M_r = D_{\text{возд.}} \cdot M_r (\text{возд.}), \quad M_r = 2 \cdot 29 = 58,$$

$$M_{\text{газа}} = 58 \text{ г/моль};$$

б) количества веществ горючего газа:

$$v (\text{газа}) = \frac{m}{M}, \quad v (\text{газа}) = \frac{0,29 \text{ г}}{58 \text{ г/моль}} = 0,005 \text{ моль}$$

и продуктов сгорания:

$$v (\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m}, \quad v (\text{CO}_2) = \frac{0,448 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,02 \text{ моль},$$

$$v (\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M}, \quad v (\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,45 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,025 \text{ моль}.$$

3. Найдем истинную формулу углеводорода:

$$v (\text{газа}) : v (\text{CO}_2) : v (\text{H}_2\text{O}) = 0,005 : 0,02 : 0,025 = 1 : 4 : 5.$$

Значит, 1 моль углеводорода содержит 4 моль атомов углерода и 10 моль атомов водорода.

О т в е т: молекулярная формула углеводорода C_4H_{10} — бутан.

Задача 9. При сгорании вещества массой 2,3 г образуется оксид углерода (IV) массой 4,4 г, вода массой 2,7 г. Плотность паров этого вещества по воздуху 1,59. Вывести молекулярную формулу вещества.

Дано:

$$m (\text{в-ва}) = 2,3 \text{ г}$$

$$m (\text{CO}_2) = 4,4 \text{ г}$$

$$m (\text{H}_2\text{O}) = 2,7 \text{ г}$$

$$D_{\text{возд.}} (\text{в-ва}) = 1,59$$

$$M_{\text{ФВ}} = ?$$

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

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

$$M_r (\text{возд.}) = 29$$

Решение

I способ

1. Принадлежность сгоревшего вещества к определенному классу не указана, но по продуктам сгорания (CO_2 и H_2O) заключаем: его качественный состав — углерод, водород и, возможно, кислород.

2. Для определения количественного состава необходимо знать количества исходного вещества и продуктов сгорания. Молярные массы CO_2 и H_2O известны.

а) Вычислим молярную массу исходного вещества:

$$M_r = D_{\text{возд.}} \cdot M_r (\text{возд.}),$$

$$M_r (\text{в-ва}) = 1,59 \cdot 29 = 46;$$

$$M_r = \{M\}, \quad M (\text{в-ва}) = 46 \text{ г/моль}.$$

б) Определим количества веществ по формуле $v = \frac{m}{M}$:

$$v (\text{в-ва}) = \frac{2,3 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль},$$

$$v (\text{CO}_2) = \frac{4,4 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,10 \text{ моль},$$

$$v (\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,7 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$

в) Найдем число атомов углерода и водорода:

$$v (\text{в-ва}) : v (\text{CO}_2) : v (\text{H}_2\text{O}) = 0,05 : 0,10 : 0,15 = 1 : 2 : 3.$$

Это означает, что 1 моль сгоревшего вещества образует 2 моль CO_2 и 3 моль H_2O . 2 моль оксида углерода (IV) содержит 2 моль атомов углерода, 3 моль воды содержит 6 моль атомов водорода. Следовательно, в формуле вещества $n (\text{C}) = 2$, $n (\text{H}) = 6$.

Проверим предположение относительно кислорода:

$$M_r (\text{C}_2\text{H}_6) = 30, \quad M_r (\text{в-ва}) = 46, \quad 46 - 30 = 16.$$

Следовательно, в состав вещества входит один атом кислорода [$A_r (\text{O}) = 16$].

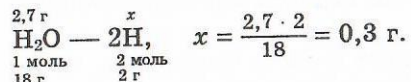
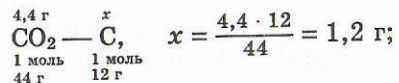
Истинная формула $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

II способ

1. Рассуждаем так же, как при решении задачи первым способом.

$$2. \quad M_r (\text{в-ва}) = 1,59 \cdot 29 = 46.$$

3. Вычислим массы элементов углерода и водорода в веществе по схемам:



4. Сумма масс углерода и водорода $1,2 \text{ г} + 0,3 \text{ г} = 1,5 \text{ г}$, а масса сгоревшего вещества — $2,3 \text{ г}$. Следовательно, в его составе, как и предполагалось, есть кислород, и его масса равна $2,3 \text{ г} - 1,5 \text{ г} = 0,8 \text{ г}$.

5. Найдем отношение числа атомов:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = \frac{1,2}{12} : \frac{0,3}{1} : \frac{0,8}{16} = 0,1 : 0,3 : 0,5 = 2 : 6 : 1.$$

Формула $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ совпадает с вычисленной по первому способу $M_r = 46$.

О т в е т: молекулярная формула вещества $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Это может быть либо этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, либо диметиловый эфир $\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$.

Задача 10. При сжигании вещества массой $2,5 \text{ г}$, содержащего 23% азота, образовались вода массой $3,42 \text{ г}$ и оксид углерода (IV) массой $5,57 \text{ г}$. Вывести молекулярную формулу вещества.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 2,5 \text{ г}$$

$$\omega(\text{N}) = 23\%$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 3,42 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 5,57 \text{ г}$$

МФВ = ?

$$A_r(\text{N}) = 14$$

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

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

Решение

1. Качественный состав: углерод, азот, водород и, возможно, кислород.

2. Количественный состав определим, исходя из соотношения количеств веществ, определяемых по формуле $\nu = \frac{m}{M}$.

а) Количество элемента азота:

$$m(\text{N}) = 2,5 \text{ г} \cdot 0,23 = 0,575 \text{ г},$$

$$\nu(\text{N}) = \frac{0,575 \text{ г}}{14 \text{ г/моль}} = 0,041 \text{ моль}.$$

б) Количество воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,42 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,19 \text{ моль}.$$

в) Количество оксида углерода (IV):

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{5,57 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,126 \text{ моль}.$$

3. Найдем истинную формулу. Отношение количеств веществ: $\nu(\text{CO}_2) : \nu(\text{H}_2\text{O}) : \nu(\text{N}) = 0,126 : 0,19 : 0,041 \approx 3 : 4,5 : 1$.

Соотношение показывает действительное число атомов в молекуле вещества: С — 3, Н — 9, N — 1.

О т в е т: молекулярная формула вещества $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ или $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ — пропиламин, или $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ — триметиламин.

Часть IV

Задачи на растворы

1. Массовая доля растворенного вещества (процентная концентрация)

Обозначение — ω .

Определяется как отношение массы растворенного вещества m (в-ва) к массе раствора m (р-ра).

Вычисляется по формулам

$$\omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{m \text{ (р-ра)}}$$

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

Выражается в долях единицы или в процентах.

Массовая доля растворенного вещества, выраженная в процентах, называется также процентной концентрацией данного вещества в растворе и может быть обозначена буквой C .

Массовая доля растворенного вещества, выраженная в процентах, показывает массу вещества, содержащегося в 100 массовых частях раствора.

Например, дан раствор поваренной соли с массовой долей соли в нем 5%. Это означает, что в каждом 100 массовых частях такого раствора (г, кг, т) содержится 5 массовых частей поваренной соли (г, кг, т).

Наоборот, если в 100 г раствора содержится 10 г соли, то массовая доля растворенного вещества — 10%.

Если 200 г раствора содержат 10 г соли, то 100 г такого раствора содержат 5 г соли, следовательно, массовая доля соли в растворе составляет 5% или 0,05, т. е. процентная концентрация раствора — 5%.

Следовательно, чтобы вычислить массовую долю растворенного вещества (или процентную концентрацию), надо обязательно вычислить массу растворенного вещества и массу раствора (или массу вещества, содержащегося в каждом 100 г раствора).

1.1. Вычисление массовой доли и массы растворенного вещества, массы и объема раствора и растворителя

Задача 1. При выпаривании раствора массой 25 г получили соль массой 0,25 г. Вычислить, какова массовая доля соли в выпаренном растворе (или какова процентная концентрация выпаренного раствора).

Дано:

$$m \text{ (р-ра)} = 25 \text{ г}$$

$$m \text{ (в-ва)} = 0,25 \text{ г}$$

$$\omega = ?$$

Решение

I способ

$$\omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{m \text{ (р-ра)}}, \quad \omega = \frac{0,25 \text{ г}}{25 \text{ г}} = 0,01 \text{ или}$$

$$\omega = \frac{0,25 \text{ г}}{25 \text{ г}} \cdot 100\% = 1\%$$

II способ

25 г раствора содержат 0,25 г соли,

100 г раствора содержат x г соли.

Составим пропорцию:

$$\frac{25}{100} = \frac{0,25}{x}, \quad x = \frac{0,25 \cdot 100}{25} = 1 \text{ г.}$$

В 100 г раствора содержится 1 г растворенного вещества, следовательно, массовая доля вещества в растворе — 1%.

Ответ: массовая доля соли в выпаренном растворе составляет 0,01 или 1%.

Задача 2. В дистиллированной воде массой 513 г растворили 27 г соли. Вычислить содержание растворенного вещества в массовых долях и в процентах.

Дано:

$$m \text{ (H}_2\text{O)} = 513 \text{ г}$$

$$m \text{ (в-ва)} = 27 \text{ г}$$

$$\omega = ?$$

Решение

I способ

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})}, \quad m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{в-ва}),$$

$$\omega = \frac{27 \text{ г}}{513 \text{ г} + 27 \text{ г}} = \frac{27 \text{ г}}{540 \text{ г}} = 0,05 \text{ или } 5\%.$$

II способ

1. Масса раствора $513 \text{ г} + 27 \text{ г} = 540 \text{ г}$.

2. 540 г р-ра содержат 27 г соли,

100 г р-ра содержат $x \text{ г}$ соли.

Составим пропорцию:

$$\frac{540}{100} = \frac{27}{x}, \quad x = \frac{27 \cdot 100}{540} = 5 \text{ г, т. е. } 5\%.$$

Ответ: массовая доля растворенного вещества составляет $0,05$ или 5% .

Задача 3. Содержание солей в морской воде достигает $3,5\%$. Вычислить массу солей, полученных выпариванием морской воды массой 2 кг , и объем испарившейся воды.

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ m(\text{р-ра}) = 2 \text{ кг} \\ \omega = 3,5\% \end{array}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ кг/л}$$

$$\begin{array}{l} m(\text{в-ва}) = ? \\ V(\text{H}_2\text{O}) = ? \end{array}$$

Решение

I способ

1. Если $\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%$, то $m(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega}{100\%}$,

$$m(\text{в-ва}) = \frac{2000 \text{ г} \cdot 3,5\%}{100\%} = 70 \text{ г}.$$

2. $m(\text{H}_2\text{O}) = 2000 \text{ г} - 70 \text{ г} = 1930 \text{ г} = 1,93 \text{ кг}$.

$$3. V = \frac{m}{\rho}, \quad V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1,93 \text{ кг}}{1 \text{ кг/л}} = 1,93 \text{ л}.$$

II способ

100 г морской воды содержат $3,5 \text{ г}$ солей,

2000 г морской воды содержат $x \text{ г}$ солей.

$$\text{Составим пропорцию: } \frac{100}{2000} = \frac{3,5}{x}, \quad x = \frac{2000 \cdot 3,5}{100} = 70 \text{ г}.$$

Далее действуем, как в п. 2 и 3 способа I.

Ответ: при выпаривании морской воды массой 2 кг получается осадок солей массой 70 г и испаряется вода объемом $1,93 \text{ л}$.

Задача 4. В воде массой 450 г растворили кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (медный купорос) массой 50 г . Вычислить массовую долю сульфата меди (II) в растворе.

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 450 \text{ г}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 50 \text{ г}$$

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

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = ?$$

Решение

1. Вычислим массу безводного сульфата меди (II) по схеме:

$$\begin{array}{l} 50 \text{ г} \\ \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ — } \end{array} \begin{array}{l} x \\ \text{CuSO}_4, \end{array} \quad x = \frac{50 \cdot 160}{250} = 32 \text{ г}.$$

2. Массовую долю растворенного сульфата меди (II) можно вычислить двумя способами:

а) по формуле $\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})}$, где $m(\text{р-ра}) = m(\text{в-ва}) + m(\text{р-рителя})$;

$$\omega(\text{CuSO}_4) = \frac{32 \text{ г}}{50 \text{ г} + 450 \text{ г}} \cdot 100\% = 6,4\%.$$

б) Из рассуждения

500 г р-ра содержат 32 г CuSO_4 ,

100 г р-ра содержат $x \text{ г}$ CuSO_4

составим пропорцию: $\frac{500}{100} = \frac{32}{x}$, $x = \frac{100 \cdot 32}{500} = 6,4 \text{ г}$ в 100 г раствора, т. е. $6,4\%$.

Ответ: при растворении 50 г медного купороса в 450 г воды получается раствор с массовой долей безводного сульфата меди (II) $6,4\%$.

Задача 5. Вычислить массу медного купороса и объем воды, необходимых для приготовления 200 г 8%-ного раствора сульфата меди (II).

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 8\%$$

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль}$$

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

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

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

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

Решение

1. Вычислим массу безводного сульфата меди (II) в растворе по формуле

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega;$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 200 \text{ г} \cdot 0,08 = 16 \text{ г, или, составив пропорцию:}$$

100 г р-ра содержат 8 г CuSO_4 ,

200 г р-ра содержат x г CuSO_4 .

$$\frac{100}{200} = \frac{8}{x}, \quad x = \frac{8 \cdot 200}{100} = 16 \text{ г.}$$

2. Массу кристаллогидрата, в котором содержится 16 г безводного сульфата меди (II), вычислим по схеме:

$$\begin{array}{l} 16 \text{ г} \\ \text{CuSO}_4 \text{ — } \end{array} \begin{array}{l} x \\ \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}, \end{array} \quad x = \frac{16 \cdot 250}{160} = 25 \text{ г.}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ моль} \\ 160 \text{ г} \end{array} \quad \begin{array}{l} 1 \text{ моль} \\ 250 \text{ г} \end{array}$$

3. Вычислим массу и объем воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ г} - 25 \text{ г} = 175 \text{ г};$$

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{175 \text{ г}}{1 \text{ г/мл}} = 175 \text{ мл.}$$

Ответ: для приготовления 200 г 8%-ного раствора сульфата меди (II) потребуется 25 г медного купороса и 175 мл воды.

Задача 6. Вычислить процентную концентрацию соли в растворе, образующемся при смешивании 200 г 40%-ного раствора соли и 800 мл воды.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г}$$

$$\omega_1 = 40\%$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 800 \text{ мл}$$

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

$$\omega_2 = ?$$

Решение

1. Массу вещества в растворе вычислим по формуле

$$\omega_1 = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%, \quad \text{откуда } m(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega_1}{100\%},$$

$$m(\text{в-ва}) = \frac{200 \text{ г} \cdot 40\%}{100\%} \quad \text{или } m(\text{в-ва}) = 200 \text{ г} \cdot 0,4 = 80 \text{ г, или, составив пропорцию:}$$

100 г р-ра содержат 40 г соли,

200 г р-ра содержат x г соли.

$$\frac{100}{200} = \frac{40}{x}, \quad x = \frac{200 \cdot 40}{100} = 80 \text{ г.}$$

2. Вычислим массу нового раствора. Так как плотность воды 1 г/мл, масса добавленной воды — 800 г.

Изначит, $m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г} + 800 \text{ г} = 1000 \text{ г}$.

3. Процентную концентрацию вещества в образовавшемся растворе вычислим по формуле $\omega_2 = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%$:

$$\omega_2 = \frac{80 \text{ г}}{1000 \text{ г}} \cdot 100\% = 8\% \quad \text{или, составив пропорцию:}$$

1000 г р-ра содержат 80 г соли,

100 г р-ра содержат x г соли.

$$\frac{1000}{100} = \frac{80}{x}, \quad x = \frac{100 \cdot 80}{1000} = 8 \text{ г, т. е. } 8\%.$$

Ответ: при смешивании 200 г 40%-ного раствора соли и 800 мл воды образуется 8%-ный раствор.

Задача 7. В раствор поваренной соли массой 200 г и массовой долей 5% добавили 10 г соли. Вычислить массовую долю соли в образовавшемся растворе.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г}$$

$$\omega_1 = 5\%$$

$$m(\text{соли}) = 10 \text{ г}$$

$$\omega_2 = ?$$

Решение

1. Сколько было соли в первоначальном растворе?

$$m(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega_1}{100\%}, \quad m = \frac{200 \text{ г} \cdot 5\%}{100\%} = 10 \text{ г или}$$

100 г р-ра содержат 5 г соли,

200 г р-ра содержат x г соли.

$$\frac{100}{200} = \frac{5}{x}, \quad x = \frac{200 \cdot 5}{100} = 10 \text{ г.}$$

2. Сколько соли содержится в новом растворе?

$$10 \text{ г} + 10 \text{ г} = 20 \text{ г.}$$

3. Какова масса нового раствора?

$$200 \text{ г} + 10 \text{ г} = 210 \text{ г.}$$

4. Какова массовая доля соли в новом растворе?

$$\omega_2 = \frac{20 \text{ г}}{210 \text{ г}} \cdot 100\% = 9,5\% \text{ или}$$

210 г нового р-ра содержат 20 г соли,

100 г нового р-ра содержат x г соли.

$$\frac{210}{100} = \frac{20}{x}, \quad x = \frac{100 \cdot 20}{210} = 9,5 \text{ г.}$$

Ответ: массовая доля соли в растворе составляет 9,5%.

Задача 8. Вычислить массовую долю азотной кислоты в растворе, образующемся при смешивании 400 мл воды и 300 мл азотной кислоты плотностью 1,4 г/мл и массовой долей 63%.

Анализ условия задачи

- | | |
|---|--|
| 1. Что дано? | 1. Объем воды и объем концентрированной HNO_3 . |
| 2. Что найти? | 2. Массовую долю кислоты в растворе после смешивания. |
| 3. Что надо знать для вычисления массовой доли? | 3. Массу азотной кислоты и массу раствора. |

План решения задачи

Вычислим:

- 1) массу раствора азотной кислоты до разбавления;
- 2) массу азотной кислоты в этом растворе;
- 3) массу воды;
- 4) массу раствора после смешивания;

5) массовую долю азотной кислоты в растворе после смешивания.

Запись решения

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ мл}$$

$$V(\text{р-ра } \text{HNO}_3) = 300 \text{ мл}$$

$$\rho = 1,4 \text{ г/мл}$$

$$\omega_1 = 63\%$$

$$\omega_2 = ?$$

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

Формулы, используемые при решении:

$$\omega_2 = \frac{m(\text{HNO}_3)}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%;$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{р-ра } \text{HNO}_3),$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V; \quad m(\text{р-ра } \text{HNO}_3) = \rho \cdot V(\text{р-ра } \text{HNO}_3);$$

$$\omega_1 = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра } \text{HNO}_3)} \cdot 100\%;$$

$$m(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{р-ра } \text{HNO}_3) \cdot \omega_1}{100\%}.$$

Решение

1 способ

$$1. \quad m(\text{р-ра } \text{HNO}_3) = 1,4 \text{ г/мл} \cdot 300 \text{ мл} = 420 \text{ г.}$$

$$2. \quad m(\text{HNO}_3) = \frac{420 \text{ г} \cdot 63\%}{100\%} = 264,6 \text{ г.}$$

$$3. \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл} \cdot 400 \text{ мл} = 400 \text{ г.}$$

$$4. \quad m(\text{р-ра}) = 400 \text{ г} + 420 \text{ г} = 820 \text{ г.}$$

$$5. \quad \omega_2 = \frac{264,6}{820} \cdot 100\% = 32,3\%.$$

2 способ

Пункт 2 (сравни с п. 2 I способа). Массу азотной кислоты в растворе до разбавления можно вычислить так:

$$100 \text{ г р-ра содержат } 63 \text{ г } \text{HNO}_3,$$

$$400 \text{ г р-ра содержат } x \text{ г } \text{HNO}_3.$$

$$\frac{100}{400} = \frac{63}{x}, \quad x = \frac{420 \cdot 63}{100} = 264,6 \text{ г}$$

или найти 63% от числа 420; 63% — это 0,63 части от числа 420, т. е. $420 \cdot 0,63 = 264,6$ г.

Пункт 5 (сравни с п. 5 I способа).

820 г р-ра содержат 264,6 г HNO_3 ,

100 г р-ра содержат x г HNO_3 .

$$\frac{820}{100} = \frac{264,6}{x}, \quad x = \frac{264,6 \cdot 100}{820} = 32,3 \text{ г.}$$

Если 100 г раствора содержат 32,3 г HNO_3 , то концентрация его — 32,3%.

Ответ: при смешивании воды объемом 400 мл с концентрированной азотной кислотой объемом 300 мл $\rho = 1,4$ г/мл, $\omega = 63\%$ образуется раствор с массовой долей азотной кислоты 32,3%.

Задача 9. В каком объеме воды надо растворить соль массой 20 г, чтобы получить раствор с массовой долей соли 5%?

Дано: m (в-ва) = 20 г $\omega = 5\%$	ρ (H_2O) = 1 г/мл
<hr/>	
V (H_2O) = ?	

Формулы:

$$\omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{m \text{ (р-ра)}} \cdot 100\%, \text{ отсюда}$$

$$m \text{ (р-ра)} = \frac{m \text{ (в-ва)} \cdot 100\%}{\omega};$$

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

$$m \text{ (H}_2\text{O)} = m \text{ (р-ра)} - m \text{ (в-ва)}; \quad V \text{ (H}_2\text{O)} = \frac{m}{\rho}.$$

Решение

I способ

$$1. \quad m \text{ (р-ра)} = \frac{20 \text{ г} \cdot 100\%}{5\%} = 400 \text{ г.}$$

$$2. \quad m \text{ (H}_2\text{O)} = 400 \text{ г} - 20 \text{ г} = 380 \text{ г.}$$

$$3. \quad V \text{ (H}_2\text{O)} = \frac{380 \text{ г}}{1 \text{ г/мл}} = 380 \text{ мл.}$$

II способ

100 г р-ра содержат 5 г соли,

x г р-ра содержат 20 г соли.

$$\frac{100}{x} = \frac{5}{20}, \quad x = \frac{100 \cdot 20}{5} = 400 \text{ г.}$$

Действия 2 и 3 те же, что и в способе I.

III способ

Каждые 100 г 5%-ного раствора содержат 5 г соли и 95 г H_2O .

Следовательно, 5 г соли надо растворить в 95 г H_2O ,

20 г соли надо растворить в x г H_2O .

$$\frac{5}{20} = \frac{95}{x}, \quad x = \frac{20 \cdot 95}{5} = 380 \text{ г.}$$

$$V \text{ (H}_2\text{O)} = 380 \text{ мл.}$$

Ответ: для получения 5%-ного раствора 20 г соли надо растворить в воде объемом 380 мл.

Задача 10. Вычислить массу соли, которую надо растворить в 276 мл воды, чтобы получить 8%-ный раствор этой соли.

Дано: V (H_2O) = 276 мл $\omega = 8\%$	ρ (H_2O) = 1 г/мл
<hr/>	
m (в-ва) = ?	

Решение

I способ

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

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

$$\omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{m \text{ (H}_2\text{O)} + m \text{ (в-ва)}} \cdot 100\%$$

$$\text{или } \omega \cdot [m \text{ (H}_2\text{O)} + m \text{ (в-ва)}] = m \text{ (в-ва)} \cdot 100\%.$$

Решим это уравнение относительно m (в-ва), зная, что

$$m \text{ (H}_2\text{O)} = 276 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 276 \text{ г:}$$

$$m \text{ (в-ва)} = \frac{\omega \cdot m \text{ (H}_2\text{O)}}{100\% - \omega},$$

$$m \text{ (в-ва)} = \frac{8 \cdot 276}{100 - 8} = 24 \text{ г.}$$

II способ (в данном случае он значительно проще)

В каждом 100 г 8%-ного раствора содержится 8 г соли, а воды 100 г - 8 г = 92 г. Чтобы приготовить такой раствор,

на 92 г воды требуется 8 г соли,
на 276 г воды требуется x г соли.

$$\frac{92}{276} = \frac{8}{x}, \quad x = \frac{276 \cdot 8}{92} = 24 \text{ г.}$$

Ответ: для приготовления 8%-ного раствора в 276 мл воды надо растворить соль массой 24 г.

Задача 11. Вычислить массу 98%-ной серной кислоты, необходимой для приготовления 500 г раствора серной кислоты с массовой долей 0,3.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 500 \text{ г}$$

$$\omega_1 = 0,3$$

$$\omega_2 = 98\%$$

$$m(\text{р-ра 2}) = ?$$

Решение

I способ

1. Вычислим массу серной кислоты в растворе по формуле $m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega$:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 500 \text{ г} \cdot 0,3 = 150 \text{ г.}$$

2. Вычислим массу 98%-ного раствора серной кислоты, в которой содержится 150 г H_2SO_4 :

$$m(\text{р-ра 2}) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 100\%}{\omega_2},$$

$$m(\text{р-ра 2}) = \frac{150 \text{ г} \cdot 100\%}{98\%} = 153 \text{ г.}$$

II способ

1. Массовая доля 0,3 соответствует 30%, а это значит, что

100 г р-ра содержат 30 г H_2SO_4 ,

500 г р-ра содержат x г H_2SO_4 .

$$\frac{100}{500} = \frac{30}{x}, \quad x = \frac{500 \cdot 30}{100} = 150 \text{ г.}$$

2. Для приготовления раствора дана 98%-ная кислота, а это означает, что

100 г р-ра содержат 98 г H_2SO_4 ,

x г р-ра содержат 150 г H_2SO_4 .

$$\frac{100}{x} = \frac{98}{150}, \quad x = \frac{100 \cdot 150}{98} = 153 \text{ г.}$$

Или же можно рассуждать так:

150 г H_2SO_4 составляют 98%,

x г H_2SO_4 составляют 100%.

$$\frac{150}{x} = \frac{98}{100}, \quad x = \frac{100 \cdot 150}{98} = 153 \text{ г.}$$

Можно вычислить массу и объем воды:

$$m = 500 \text{ г} - 153 \text{ г} = 347, \quad V = \frac{347 \text{ г}}{1 \text{ г/мл}} = 347 \text{ мл.}$$

Ответ: для приготовления 500 г раствора серной кислоты с массовой долей 0,3 потребуется 153 г 98%-ной серной кислоты и 347 мл воды.

Задача 12. Вычислить процентную концентрацию раствора соляной кислоты, полученного растворением хлороводорода объемом 179,2 л (при н. у.) в воде объемом 708 мл.

Анализ условия задачи

- | | |
|---|---|
| 1. Что дано? | 1. Объем хлороводорода и объем воды. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Процентную концентрацию полученного раствора соляной кислоты или массовую долю хлороводорода в растворе. |
| 3. Что надо знать для вычисления массовой доли? | 3. Массу хлороводорода (растворенного вещества) и массу раствора. |

План решения

Вычислить:

- 1) массу хлороводорода;
- 2) массу воды;
- 3) массу раствора;

4) массовую долю вещества в растворе или процентную концентрацию.

Запись решения

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 708 \text{ мл}$$

$$V(\text{HCl}) = 179,2 \text{ л (при н. у.)}$$

$$\omega(\text{HCl}) = ?$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (при н. у.)}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Решение

$$1. m(\text{HCl}) = v \cdot M, v = \frac{V}{V_m},$$

$$v = \frac{179,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 8 \text{ моль},$$

$$m(\text{HCl}) = 36,5 \text{ моль} \cdot 8 \text{ моль} = 292 \text{ г.}$$

$$2. m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл} \cdot 708 \text{ мл} = 708 \text{ г.}$$

$$3. m(\text{р-ра}) = 292 \text{ г} + 708 \text{ г} = 1000 \text{ г.}$$

$$4. \omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})}, \omega(\text{HCl}) = \frac{292 \text{ г}}{1000 \text{ г}} = 0,292 \cdot 100\% = 29,2\%.$$

Ответ: при растворении хлороводорода объемом 179,2 мл в воде объемом 708 мл образуется раствор соляной кислоты с массовой долей 0,292 или 29,2%.

1.2. Задачи на смешение растворов с различным содержанием растворенного вещества

Задача 13. Вычислить массовую долю соли в растворе, образовавшемся при сливании 200 г 10%-ного раствора с 400 г 40%-ного раствора этой же соли.

Дано:

$$m(\text{р-ра 1}) = 200 \text{ г}$$

$$\omega_1 = 10\%$$

$$m(\text{р-ра 2}) = 400 \text{ г}$$

$$\omega_2 = 40\%$$

$$\omega_3 = ?$$

Решение

I способ

1. Вычислим массу конечного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г} + 400 \text{ г} = 600 \text{ г.}$$

62

2. Вычислим массу соли в первом растворе по формуле

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

$m(\text{в-ва}) = 200 \text{ г} \cdot 0,1 = 20 \text{ г}$ или же, рассуждая следующим образом:

100 г р-ра содержат 10 г соли,

200 г р-ра содержат x г соли.

$$x = \frac{200 \cdot 10}{100} = 20 \text{ г.}$$

3. Аналогичным образом вычислим массу вещества во втором растворе:

$$m(\text{в-ва}) = 400 \text{ г} \cdot 0,4 = 160 \text{ г,}$$

или же

100 г р-ра содержат 40 г соли,

400 г р-ра содержат x г соли.

$$x = \frac{400 \cdot 40}{100} = 160 \text{ г.}$$

4. Масса вещества в растворе после смешивания:

$$m(\text{в-ва}) = 20 \text{ г} + 160 \text{ г} = 180 \text{ г.}$$

5. Массовая доля растворенного вещества в растворе после смешивания: $\omega_3 = \frac{180 \text{ г} \cdot 100\%}{600 \text{ г}} = 30\%.$

II способ

$$\omega_3 = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{в-ва 1}) + m(\text{в-ва 2}),$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра 1}) + m(\text{р-ра 2}).$$

Так как

$$m(\text{в-ва 1}) = \frac{m(\text{р-ра 1}) \cdot \omega_1}{100\%}, \quad m(\text{в-ва 2}) = \frac{m(\text{р-ра 2}) \cdot \omega_2}{100\%},$$

$$\omega_3 = \frac{\frac{m(\text{р-ра 1}) \cdot \omega_1}{100\%} + \frac{m(\text{р-ра 2}) \cdot \omega_2}{100\%}}{m(\text{р-ра 1}) + m(\text{р-ра 2})} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{m(\text{р-ра 1}) \cdot \omega_1 + m(\text{р-ра 2}) \cdot \omega_2}{m},$$

$$\omega_3 = \frac{200 \text{ г} \cdot 10\% + 400 \text{ г} \cdot 40\%}{600 \text{ г}} = 30\%.$$

Ответ: массовая доля соли в образовавшемся после смешивания растворе составляет 30%.

63

Чтобы не выполнять в дальнейшем таких громоздких расчетов, можно пользоваться выведенной здесь формулой:

$$\omega = \frac{\omega_1 \cdot m_1 + \omega_2 \cdot m_2}{m} \text{ или } C = \frac{C_1 \cdot m_1 + C_2 \cdot m_2}{m};$$

C — процентная концентрация раствора, полученного при смешивании растворов с массовыми долями ω_1 и ω_2 или процентными концентрациями C_1 и C_2 ;

m — масса раствора, полученного при сливании растворов; $m = m_1 + m_2$;

m_1 и m_2 — массы взятых для смешивания растворов.

Задача 14. Вычислить процентную концентрацию раствора, полученного смешиванием 125 г 20%-ного раствора с 75 г 30%-ного раствора той же соли.

Дано:

$$m_1 = 125 \text{ г}$$

$$C_1 = 20\%$$

$$m_2 = 75 \text{ г}$$

$$C_2 = 30\%$$

$$C = ?$$

Решение

Процентную концентрацию смешанного раствора определим по формуле

$$C = \frac{C_1 \cdot m_1 + C_2 \cdot m_2}{m}, \text{ где } m = m_1 + m_2,$$

$$C = \frac{125 \text{ г} \cdot 0,2 + 75 \text{ г} \cdot 0,3}{125 \text{ г} + 75 \text{ г}} = 0,2375 \cdot 100\% = 23,75\%.$$

Ответ: процентная концентрация раствора после смешивания равна 23,75%.

1.3. Расчеты, связанные с вычислением массовой доли вещества, получившегося в результате реакции растворяемого вещества с растворителем

Растворенное вещество может взаимодействовать с растворителем, и это надо учитывать при вычислении процентной концентрации или массовой доли вещества, образовавшегося в растворе.

Задача 15. Вычислить процентную концентрацию раствора, образующегося при растворении 80 г триоксида серы в 920 г воды.

Дано:

$$m(\text{SO}_3) = 80 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 920 \text{ г}$$

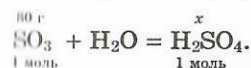
$$M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}$$

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

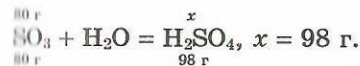
$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

Решение

1. Оксид серы (IV), или триоксид серы, вступает в реакцию с водой, образуя серную кислоту:



2. Вычислим массу серной кислоты по уравнению:



3. Масса раствора

$$m(\text{р-ра}) = 80 \text{ г} + 920 \text{ г} = 1000 \text{ г}.$$

4. Массовую долю серной кислоты вычислим по формуле:

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

$$\omega = \frac{98 \text{ г}}{1000 \text{ г}} = 0,098 \cdot 100\% = 9,8\% \text{ или рассуждаем следующим образом:}$$

1000 г р-ра содержат 98 г H_2SO_4 ,

100 г р-ра содержат x г H_2SO_4 .

$$\frac{1000}{100} = \frac{98}{x}, \quad x = \frac{98 \cdot 100}{1000} = 9,8 \text{ г, т. е. } 9,8\%.$$

Ответ: при растворении 80 г триоксида серы в 920 г воды образуется раствор серной кислоты с массовой долей 0,098 или процентной концентрацией 9,8%.

Задача 16. Вычислить массовую долю растворенного вещества в растворе, полученном после растворения (осторожного!) металлического натрия массой 6,9 г в воде объемом 500 мл.

Пояснение

При растворении натрия в воде происходит реакция с обра-

зованием растворенного вещества — гидроксида натрия, массу которого надо вычислить по уравнению. Масса раствора складывается из масс воды и натрия за вычетом массы выделившегося водорода:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Na}) - m(\text{H}_2).$$

План решения задачи

- По уравнению реакции вычислить:
 - массу образовавшегося гидроксида натрия;
 - массу выделившегося водорода.
- Вычислить массу воды.
- Вычислить массу раствора.
- Вычислить массовую долю NaOH в растворе.

Запись решения

Дано:

$$m(\text{Na}) = 6,9 \text{ г}$$

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

$$\omega_{\text{NaOH}} = ?$$

$$M(\text{Na}) = 23 \text{ г/моль}$$

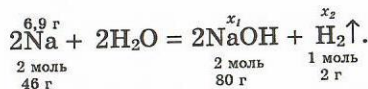
$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

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

Решение

- Уравнение реакции:



$$\text{а) } \frac{6,9}{46} = \frac{x_1}{80}, \quad x_1 = \frac{6,9 \cdot 80}{46} = 12 \text{ г (NaOH)};$$

$$\text{б) } \frac{6,9}{46} = \frac{x_2}{2}, \quad x_2 = \frac{6,9 \cdot 2}{46} = 0,3 \text{ г (H}_2\uparrow\text{)}.$$

$$2. \quad m(\text{H}_2\text{O}) = \rho \cdot V, \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл} \cdot 500 \text{ мл} = 500 \text{ г}.$$

$$3. \quad m(\text{р-ра}) = 500 \text{ г} + 6,9 \text{ г} - 0,3 \text{ г} = 506,6 \text{ г}.$$

$$4. \quad \omega(\text{NaOH}) = \frac{12 \text{ г} \cdot 100\%}{506,6 \text{ г}} = 2,4\%.$$

Ответ: при растворении 6,9 г металлического натрия в 500 мл воды образуется раствор гидроксида натрия с массовой долей 2,4%.

2. Молярная концентрация (молярность раствора)

Молярная концентрация определяется количеством вещества в одном литре раствора.

Например, если в 1 л раствора содержится 2 моль вещества, то такой раствор называют двумолярным и обозначают его концентрацию 2 М. Запись «молярность раствора 5 М» означает, что в 1 л раствора содержится 5 моль растворенного вещества.

Обозначение — C_m или M .

$$\text{Вычисляется по формуле } C_m = \frac{v}{V(\text{р-ра})}.$$

Единица измерения — моль на литр (моль/л).

2.1. Примеры решения задач

Задача 1. Вычислить массу нитрата бария для приготовления 500 мл 0,5 М раствора.

Анализ условия задачи

- Что дано? 1. Объем раствора и его молярность.
- Что надо знать для приготовления раствора? т. е. массу. 2. Навеску нитрата бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

Запись решения

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 500 \text{ мл} = 0,5 \text{ л}$$

$$C_m = 0,5 \text{ моль/л}$$

$$m[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] = ?$$

$$M[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] = 261 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Вычислим количество нитрата бария в указанном объеме раствора. Можно рассуждать так: по определению

1 л 0,5 М р-ра содержит 0,5 моль $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$,

0,5 л 0,5 М р-ра содержит x моль $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

$$x = \frac{0,5 \cdot 0,5}{1} = 0,25 \text{ моль}.$$

Можно определить количество вещества и по формуле

$$C_m = \frac{v}{V}, \quad \text{т. е. } v = C_m \cdot V, \quad v = 0,5 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 0,25 \text{ моль}.$$

2. Вычислим массу нитрата бария по формуле $m = M \cdot v$;

$$m[\text{Ba}(\text{NO}_3)_2] = 261 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 65,25 \text{ г}.$$

Для приготовления раствора надо взвесить нитрат бария массой 65,25 г, всыпать в мерную колбу на 500 мл, полностью растворить в небольшом количестве воды и долить водой до метки.

Задача 2. Вычислить молярность раствора азотной кислоты ($\rho = 1,31 \text{ г/см}^3$) с массовой долей кислоты в нем 49%.

Пояснение

Вычислить молярность — значит найти количество азотной кислоты в 1 л раствора.

Дано:

$$\rho = 1,31 \text{ г/мл (кг/л)}$$

$$\omega = 49\%$$

$$C_M = ?$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$C_M = \frac{v}{V}, \quad m(\text{р-ра}) = \rho \cdot V, \quad m(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega}{100\%}, \quad v = \frac{m}{M}$$

Решение

1. Масса 1 л раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 1,31 \text{ кг/л} \cdot 1 \text{ л} = 1,31 \text{ кг.}$$

2. Масса азотной кислоты в 1 л раствора:

$$m(\text{HNO}_3) = 1,31 \text{ кг} \cdot 0,49 = 0,6419 \text{ кг} = 641,9 \text{ г.}$$

3. Количество азотной кислоты:

$$v(\text{HNO}_3) = \frac{641,9 \text{ г}}{63 \text{ г/моль}} \approx 10,19 \text{ моль.}$$

4. Молярность раствора:

$$C_M = \frac{10,19 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 10,19 \text{ моль/л.}$$

Ответ: раствор азотной кислоты 10,19 M концентрации.

2.2. Проверка усвоения понятия «молярность»

Перед вами таблица с пустыми графами.

Растворенное вещество	M, г/моль	v, моль	V (р-ра), л	C _M , моль/л	m (в-ва), г
KNO ₃		0,5	2		
CaCl ₂			0,5	0,5	
Na ₂ CO ₃			2		10,6

Порядок работы

1. Для каждого из приведенных в ней веществ сформулируйте задачу.

2. Запишите ее условие (кратко, по принятой нами форме).

3. Решите задачу и запишите решение.

4. Сформулируйте ответ и заполните полученными значениями соответствующие строки таблицы.

5. Заполненную вами таблицу сравните с таблицей на стр. 70. Обнаружив расхождения, ищите ошибку. В этом вам помогут приведенные ниже решения задач 3—5.

Задача 3. Раствор объемом 2 л содержит 0,5 моль нитрата калия. Вычислить молярную концентрацию раствора (молярность) и массу нитрата калия в растворе.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 2 \text{ л}$$

$$v = 0,5 \text{ моль}$$

$$C_M = ?$$

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

$$M(\text{KNO}_3) = 101 \text{ г/моль}$$

Решение

$$C_M = \frac{v}{V}, \quad m = M \cdot v.$$

1. $C_M = 0,5 \text{ моль/2 л} = 0,25 \text{ моль/л}$, т. е. 0,25 M раствор KNO₃.

2. $m(\text{KNO}_3) = 101 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 50,5 \text{ г}$.

Ответ: раствор 0,25 M, или молярная концентрация раствора 0,25 моль/л; масса нитрата калия в 2 л раствора составляет 50,5 г.

Задача 4. Вычислить количество вещества и массу хлорида кальция в 0,5 M растворе объемом 0,5 л.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 0,5 \text{ л}$$

$$C_M = 0,5 \text{ моль/л}$$

$$v(\text{CaCl}_2) = ?$$

$$m(\text{CaCl}_2) = ?$$

$$M(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ г/моль}$$

Решение

$$C_M = \frac{v}{V}, \quad v = C_M \cdot V, \quad m = M \cdot v,$$

1. $v = 0,5 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 0,25 \text{ моль}$, или

1 л раствора содержит 0,5 моль CaCl_2 ,
 0,5 л раствора содержит x моль CaCl_2 .
 $x = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25$ моль.

2. $m(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 27,75 \text{ г}$.

Ответ: в 0,5 М растворе хлорида кальция объемом 0,5 л содержится 0,25 моль или 27,75 г хлорида кальция.

Задача 5. В растворе объемом 2 л содержится карбонат натрия массой 10,6 г. Вычислить молярность раствора.

Дано:

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 10,6 \text{ г}$
 $V(\text{р-ра}) = 2 \text{ л}$

$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$

$C_M = ?$

Решение

$$C_M = \frac{\nu}{V}, \quad \nu = \frac{m}{M}$$

1. $\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10,6 \text{ г}}{106 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}$.

2. $C_M = \frac{0,1 \text{ моль}}{2 \text{ л}} = 0,05 \text{ моль/л}$,

или 2 л р-ра содержат 0,1 моль Na_2CO_3 ,
 1 л р-ра содержит x моль Na_2CO_3 .

$$x = \frac{1 \cdot 0,1}{2} = 0,05 \text{ моль}.$$

Ответ: молярность раствора карбоната натрия 0,05 М или молярная концентрация $C_M = 0,05 \text{ моль/л}$.

Заполненная таблица имеет вид:

Растворенное вещество	M , г/моль	ν , моль	$V(\text{р-ра})$, л	C_M , моль/л	$m(\text{в-ва})$, г
KNO_3	101	0,5	2	0,25	50,5
CaCl_2	111	0,25	0,5	0,5	27,75
Na_2CO_3	106	0,1	2	0,05	10,6

3. Растворимость

Растворимость веществ различна, она зависит от нескольких факторов:

- 1) природы растворенного вещества,
- 2) природы растворителя,
- 3) температуры и др.

Для количественной характеристики процесса растворения вводится специальная физическая величина, называемая растворимостью (иногда коэффициентом растворимости).

Растворимость — это масса вещества, способного раствориться в 1000 мл растворителя.

Обозначение — S^t (в верхнем индексе записывается температура). Единица измерения — грамм на литр (г/л). Вычисляется по формуле $S^t = \frac{m(\text{в-ва})}{V(\text{р-рителя})}$.

Например, $S_{\text{KNO}_3}^{30} = 460 \text{ г/л}$, т. е. растворимость калийной селитры при 30 °С равна 460 г/л. Это означает, что в 1000 мл воды при 30 °С может быть растворено только 460 г калийной селитры, при этом получится насыщенный раствор, т. е. такой, в котором данное вещество больше уже не растворяется. Растворимость для веществ указывается в справочниках, их находят экспериментально или вычисляют.

3.1. Проверка усвоения понятия «растворимость»

Снова вам предлагается незаполненная таблица.

Вещество	t , °С	$V(\text{H}_2\text{O})$, л	S^t , г/л	$m(\text{в-ва})$, г	Характер раствора
KNO_3	60	2		2200	
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	40			286	Насыщенный
K_2SO_4	30	1,5			Насыщенный
NaCl	20	1		330	

Порядок работы

1. Для каждого из перечисленных веществ сформулируйте задачу.

2. Запишите (кратко) условие.
3. Решите задачу и запишите решение.
4. Сформулируйте ответ и заполните полученными значениями соответствующие строки таблицы.
5. Свою заполненную таблицу сравните с таблицей на стр. 73. Обнаружив расхождения, ищите ошибку. В этом вам помогут приведенные ниже решения задач 1—4.

Задача 1. В воде объемом 2 л при $t = 60^\circ\text{C}$ растворили нитрат калия массой 2200 г. Насыщенный или ненасыщенный получился раствор?

Решение

В справочнике находим растворимость KNO_3 при $t = 60^\circ\text{C}$ $S^{60} = 1100$ г/л. Это означает, что в 1 л воды при 60°C можно растворить максимум 1100 г KNO_3 и получить насыщенный раствор. У нас 2 л воды, но и масса вещества в 2 раза больше, т. е. раствор насыщенный.

Задача 2. Вычислить, в каком объеме воды надо растворить 286 г нитрата бария при $t = 40^\circ\text{C}$, чтобы получить насыщенный раствор.

Решение

Из справочника $S_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2}^{40} = 143$ г/л, т. е. чтобы получить насыщенный раствор нитрата бария, нужно в 1 л воды при $t = 40^\circ\text{C}$ растворить 143 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; 286 г надо растворить в 2 л воды.

Задача 3. Вычислить массу сульфата калия, которую надо растворить в воде объемом 1,5 л для получения насыщенного при 30°C раствора.

Решение

Из справочника $S_{\text{K}_2\text{SO}_4}^{30} = 130$ г/л.

Задачу решаем, рассуждая следующим образом:

в 1 л воды необходимо растворить 130 г K_2SO_4 ,

в 1,5 л воды необходимо растворить x г K_2SO_4 .

$x = 1,5 \cdot 130 = 195$ г, или по формуле

$S = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-рителя})}$, откуда $m(\text{в-ва}) = SV(\text{р-рителя})$,

$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 130 \text{ г/л} \cdot 1,5 \text{ л} = 195 \text{ г}$.

72

Задача 4. В 1 л воды при $t = 20^\circ\text{C}$ растворили 330 г поваренной соли. Насыщенный или ненасыщенный получился раствор?

Решение

$S_{\text{NaCl}}^{20} = 359$ г/л, следовательно, чтобы получить насыщенный раствор, надо в 1 л воды при 20°C растворить 359 г поваренной соли, а в задаче дано на 29 г меньше, значит, раствор ненасыщенный.

Заполненная таблица имеет вид:

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	$V(\text{H}_2\text{O}), \text{ л}$	$S^t, \text{ г/л}$	$m(\text{в-ва}), \text{ г}$	Характер раствора
KNO_3	60	2	1100	2200	Насыщенный
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	40	2	143	286	Насыщенный
K_2SO_4	30	1,5	130	195	Насыщенный
NaCl	20	1	359	330	Ненасыщенный

3.2. Задачи с применением растворимости

Сведения о физических величинах, применяемых при решении задач с растворами, можно представить в виде таблицы.

Название величины	Обозначение в формуле	Единицы измерения	Формулы связи с другими величинами
1. Массовая доля растворенного вещества или процентная концентрация	ω C	часть от числа, доля %	$\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}}$; $C = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\%$
2. Молярная концентрация или молярность	C_M M	моль/л	$C_M = \frac{v_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}}$
3. Растворимость	S^t	г/л	$S^t = \frac{m_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-рителя}}}$

73

Задача 1. Массовая доля нитрата калия в насыщенном при 60 °С растворе равна 52,4%. Вычислить растворимость нитрата калия при этой температуре.

Дано: $\omega = 52,4\%$ $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$	$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{ г/мл}$
$S_{\text{KNO}_3}^{60} = ?$	

Решение

I способ

$$S = \frac{m(\text{в-ва})}{V(\text{р-рителя})}$$

1. 100 г раствора содержат 52,4 г соли и 100 г – 52,4 г = 47,6 г воды.

2. Объем воды: $V = \frac{m}{\rho}$;

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{47,6\text{ г}}{1\text{ г/мл}} = 47,6\text{ мл} = 0,0476\text{ л.}$$

3. $S = \frac{52,4\text{ г}}{0,0476\text{ л}} = 1100\text{ г/л.}$

II способ

Рассуждаем следующим образом:

в 47,6 мл воды растворяется 52,4 г соли,

в 1000 мл воды растворяется x г соли.

$$\frac{47,6}{100} = \frac{52,4}{x}, \quad x = \frac{52,4 \cdot 1000}{47,6} = 1100\text{ г,}$$

т. е. $S_{\text{KNO}_3}^{60} = 1100\text{ г/л.}$

Ответ: растворимость нитрата калия (калийной селитры) при 60 °С равна 1100 г/л.

Задача 2. Вычислить массу нашатыря NH_4Cl , необходимого для приготовления насыщенного при 60 °С раствора, если используется 200 мл воды.

Дано: $V(\text{H}_2\text{O}) = 200\text{ мл} = 0,2\text{ л}$ $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$	$S_{\text{NH}_4\text{Cl}}^{60} = 552\text{ г/л}$
$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = ?$	

Решение

Вспользуемся формулами $S = \frac{m}{V}$, $m = SV$;

$$m = 552\text{ г/л} \cdot 0,2\text{ л} = 110,4\text{ г}$$

или составим пропорцию:

в 1000 мл воды растворяется 552 г NH_4Cl ,

в 200 мл воды растворяется x г NH_4Cl .

$$\frac{1000}{200} = \frac{552}{x}, \quad x = \frac{200 \cdot 552}{1000} = 110,4\text{ г.}$$

Ответ: для приготовления насыщенного раствора нашатыря при 60 °С из 200 мл воды потребуется 110,4 г соли.

Задача 3. Вычислить массу хлорида калия, который выкристаллизуется при охлаждении насыщенного при 80 °С раствора массой 604,4 г до 20 °С.

Дано: $m(\text{р-ра}) = 604,4\text{ г}$ $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$ $t_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ $S_{\text{KCl}}^{80} = 511\text{ г/л}$ $S_{\text{KCl}}^{20} = 344\text{ г/л}$	$\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{ г/мл}$
$m(\text{KCl}) = ?$	

Решение

I способ

1. При 80 °С 511 г KCl растворилось в 1000 мл воды;

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{ г/мл} \cdot 1000\text{ мл} = 1000\text{ г;}$$

$$m(\text{р-ра}) = 1000\text{ г} + 511\text{ г} = 1511\text{ г.}$$

2. Составим пропорцию:

1511 г р-ра содержат 511 г соли,

604,4 г р-ра содержат x г соли.

$$\frac{1511}{604,4} = \frac{511}{x}, \quad x = \frac{604,4 \cdot 511}{1511} = 204,4\text{ г.}$$

3. Масса воды в данном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 604,4\text{ г} - 204,4\text{ г} = 400\text{ г, а ее объем:}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{400\text{ г}}{1\text{ г/мл}} = 400\text{ мл.}$$

4. При 20 °С в 1000 мл воды растворяется 344 г KCl, в 400 мл воды растворяется x г KCl.

$$x = \frac{400 \cdot 344}{1000} = 137,6 \text{ г.}$$

5. Масса хлорида калия, выкристаллизовавшегося из раствора:
 $m(\text{KCl}) = 204,4 \text{ г} - 137,6 \text{ г} = 66,8 \text{ г.}$

II способ

1. Решим задачу в общем виде:

$$S^{80} = \frac{m^{80}(\text{в-ва})}{V(\text{H}_2\text{O})}, \quad m^{80}(\text{в-ва}) = S^{80} \cdot V(\text{H}_2\text{O});$$

$$S^{20} = \frac{m^{20}(\text{в-ва})}{V(\text{H}_2\text{O})}, \quad m^{20}(\text{в-ва}) = S^{20} \cdot V(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{KCl}_{\text{выкр.}}) = m^{80}(\text{в-ва}) - m^{20}(\text{в-ва}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot [S^{80} - S^{20}].$$

2. Вычислим объем воды либо как в первом способе, либо составив пропорцию:

1511 г р-ра содержат 1000 г H₂O,

604,4 г р-ра содержат x г H₂O.

$$x = \frac{604,4 \cdot 1000}{1511} = 400 \text{ г, т. е. } V(\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ мл.}$$

3. $m(\text{KCl}_{\text{выкр.}}) = 0,4 \text{ л} \cdot (511 \text{ г/л} - 344 \text{ г/л}) = 0,4 \text{ л} \cdot 167 \text{ г/л} = 66,8 \text{ г.}$

Ответ: при охлаждении насыщенного при 80 °С раствора хлорида калия массой 604,4 г до 20 °С выкристаллизуется 66,8 г этой соли.

Задача 4. Вычислить массовую долю (процентную концентрацию) и молярность насыщенного при 20 °С раствора хлорида калия.

Дано:

р-р KCl_{насыщ.}

$t = 20 \text{ °С}$

$\rho(\text{р-ра}) = 1,18 \text{ г/мл}$

$M(\text{KCl}) = 74,5 \text{ г/моль}$

$S_{\text{KCl}}^{20} = 344 \text{ г/л}$

ω (или C) = ?

C_M = ?

Формулы, используемые при решении:

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%;$$

$$C_M = \frac{\nu(\text{в-ва})}{V(\text{р-ра})}; \quad \nu = \frac{m}{M}; \quad V = \frac{m}{\rho}.$$

Решение

1. В 1000 мл воды при 20 °С растворяется 344 г KCl.

Если $m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ г}$, то

$m(\text{р-ра}) = 1000 \text{ г} + 344 \text{ г} = 1344 \text{ г.}$

2. Массовая доля растворенного вещества:

$$\omega = \frac{344 \text{ г}}{1344 \text{ г}} \cdot 100\% = 25,6\%,$$

или составим пропорцию:

1344 г р-ра содержат 344 г KCl,

100 г р-ра содержат x г KCl.

$$x = \frac{100 \cdot 344}{1344} = 25,6 \text{ г в } 100 \text{ г раствора, т. е. } \omega = 25,6\%.$$

3. Для вычисления молярности надо знать объем раствора, а для этого в справочнике находим плотность насыщенного при 20 °С раствора KCl или раствора KCl с массовой долей соли 25,6% (см. дополнительные данные к задаче):

$$V(\text{р-ра}) = \frac{1344 \text{ г}}{1,18 \text{ г/мл}} = 1138,98 \text{ мл} = 1,139 \text{ л.}$$

4. Вычислим молярность раствора одним из двух способов:

$$\nu(\text{KCl}) = \frac{344 \text{ г}}{74,5 \text{ г/моль}} = 4,62 \text{ моль.}$$

$$a) \quad C_M = \frac{4,62 \text{ моль}}{1,139 \text{ л}} = 4,05 \text{ моль/л;}$$

b) в 1,139 л раствора содержится 4,62 моль KCl,

в 1 л раствора содержится x моль KCl.

$$x = \frac{1 \text{ л} \cdot 4,62 \text{ моль}}{1,139 \text{ л}} = 4,05 \text{ моль.}$$

Ответ: насыщенный при 20 °С раствор хлорида калия имеет молярную концентрацию 4,05 моль/л и массовая доля соли в нем составляет 25,6%.

Часть V

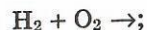
Вычисления по уравнениям реакций

1. Что показывает химическое уравнение?

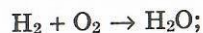
Химическое уравнение — это условная запись химической реакции с помощью химических формул.

Чтобы составить уравнение, надо:

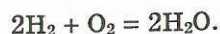
а) в левой части записать формулы веществ, вступивших в реакцию, через знак +:



б) в правой части — формулы веществ, образующихся в результате реакции:



в) так как масса веществ, вступивших в реакцию (исходных веществ), равна массе образовавшихся веществ (продуктов реакции) согласно закону сохранения массы, то число атомов каждого элемента в левой части уравнения должно быть равно числу атомов в правой части. Для этого расставляем коэффициенты:



Если химическое уравнение известно, то оно дает следующую информацию о химической реакции:

1. Какие вещества вступают в реакцию и какие получаются в ее результате?

В рассматриваемом нами примере в реакцию вступают простые вещества — водород и кислород, а образуется сложное вещество — вода.

2. Количество веществ, вступивших в реакцию и получившихся в результате реакции.

При взаимодействии 2 моль водорода и 1 моль кислорода образуется 2 моль воды.

3. Для веществ молекулярного строения — число молекул, вступивших в реакцию и образовавшихся в результате ее.

Каждые 2 молекулы водорода вступают в реакцию с 1 молекулой кислорода, и образуется 2 молекулы воды.

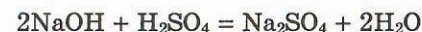
4. Для веществ в газообразном состоянии уравнение показывает объемные отношения реагирующих и образующихся веществ, например:



Один объем азота реагирует с тремя объемами водорода, и образуется два объема аммиака.

По уравнениям реакций можно осуществлять различные вычисления.

Например, уравнение реакции нейтрализации гидроксида натрия серной кислотой



показывает, что при полной нейтрализации 2 моль гидроксида натрия реагирует с 1 моль серной кислоты, образуется при этом 1 моль сульфата натрия и 2 моль воды. Если в условиях эксперимента или по условию задачи требуется нейтрализовать 4 моль гидроксида натрия, т. е. в 2 раза больше, во столько же раз больше потребуется серной кислоты, т. е. 2 моль, и во столько же раз больше будут количества образовавшихся веществ, т. е. сульфата натрия — 2 моль, воды — 4 моль.

Значит, если известно количество одного вещества, по уравнению реакции можно вычислить количества всех остальных веществ.

ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

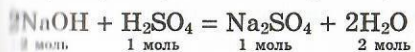
1. Вычислить количество гидроксида натрия, необходимого для нейтрализации 0,5 моль серной кислоты и количества продуктов реакции.

Последовательность действий:

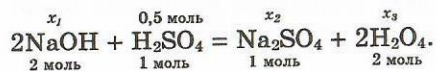
1. Составим уравнение реакции:



2. Под формулами веществ запишем соотношение количеств веществ, вступивших в реакцию и получившихся в результате:



3. Над формулами запишем, что дано по условию задачи и что неизвестно:



4. Вычислим количества веществ:

а) гидроксида натрия.

Рассуждаем следующим образом:
по уравнению реакции:

2 моль NaOH реагируют с 1 моль H₂SO₄,
по условию: x моль NaOH реагируют с 0,5 моль H₂SO₄.

Составляем и решаем пропорцию:

$$\frac{2}{x} = \frac{1}{0,5}, \quad x = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ (моль)};$$

б) сульфата натрия.

Рассуждаем аналогично и видим:

1 моль H₂SO₄ образует 1 моль Na₂SO₄,
0,5 моль H₂SO₄ образует x моль Na₂SO₄.

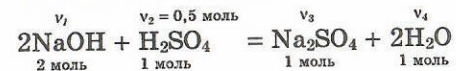
$x = 0,5$ (моль);

в) воды.

При взаимодействии 1 моль H₂SO₄ образуется 2 моль H₂O,
при взаимодействии 0,5 моль H₂SO₄ образуется x моль H₂O.

Пропорция: $\frac{1}{0,5} = \frac{2}{x}$, $x = 0,5 \cdot 2 = 1$ моль.

Когда ход рассуждения понятен, запись можно упростить:



I пропорция v_1 (NaOH):

$$\frac{v_1}{2} = \frac{0,5}{1}, \quad v_1 = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль};$$

II пропорция v_3 (Na₂SO₄):

$$\frac{0,5}{1} = \frac{v_3}{1}, \quad v_3 = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ моль};$$

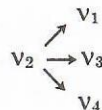
III пропорция v_4 (H₂O):

$$\frac{0,5}{1} = \frac{v_4}{2}, \quad v_4 = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ моль}.$$

Ответ: для полной нейтрализации 0,5 моль серной кислоты требуется 1 моль гидроксида натрия; в результате реакции образуются 0,5 моль сульфата натрия и 1 моль воды.

Итак, по известному количеству одного из веществ мы нашли количества исходных веществ данной реакции и ее продуктов.

Схема решения:



2. В эвдиометре взорвали водород массой 0,3 г с достаточным количеством кислорода. Вычислить количество воды, образовавшейся при этом.

В отличие от первой задачи, здесь дана масса исходного вещества, а вычислить надо количество продукта реакции. Уравнение реакции показывает зависимость между количествами веществ, поэтому массу водорода надо выразить в единицах количества вещества — молях.

План решения

1. По известной m (H₂) найдем v (H₂).

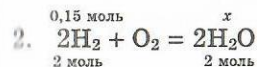
2. По уравнению реакции вычислим количество продукта реакции, т. е. по v (H₂) вычислим v (H₂O).

3. Схема решения: m (H₂) $\xrightarrow{1}$ v (H₂) $\xrightarrow{2}$ v (H₂O).

Дано:	M (H ₂) = 2 г/моль
m (H ₂) = 0,3 г	
v (H ₂ O) = ?	

Решение

$$1. \quad v = \frac{m}{M}; \quad v \text{ (H}_2\text{)} = \frac{0,3 \text{ г}}{2 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$



$$\frac{0,15}{2} = \frac{x}{2}, \quad x = \frac{0,15 \cdot 2}{2} = 0,15 \text{ моль}.$$

Ответ: при взрыве водорода массой 0,3 г в эвдиометре образовалось 0,15 моль воды.

2а. Изменим задание: в эвдиометре взорвали водород массой 0,3 г с достаточным количеством кислорода. Вычислить объем вступившего в реакцию кислорода.

Чтобы вычислить объем кислорода, надо знать его количество. Количество вещества вычисляется по уравнению реакции, а для этого, как в задаче 2, надо вычислить количество водорода.

План решения

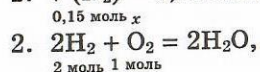
1. Вычислим количество водорода, вступившего в реакцию.
2. По уравнению реакции вычислим количество кислорода, вступившего в реакцию с данным количеством водорода.
3. Вычислим объем кислорода.

Схема решения: $m(\text{H}_2) \xrightarrow{1} \nu(\text{H}_2) \xrightarrow{2} \nu(\text{O}_2) \xrightarrow{3} V(\text{O}_2)$.

Дано:	$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$
$m(\text{H}_2) = 0,3 \text{ г}$	$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н. у.)}$
$V(\text{O}_2) = ?$	

Решение

1. $\nu(\text{H}_2) = 0,15 \text{ моль}$ (см. задачу 2, п. 1).



$$\frac{0,15}{2} = \frac{x}{1}, \quad x = \frac{0,15 \cdot 1}{2} = 0,075 \text{ моль}.$$

3. $V = V_m \cdot \nu, \quad V(\text{O}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,075 \text{ моль} = 1,68 \text{ л}.$

Ответ: при взрыве водорода массой 0,3 г в реакцию вступает кислород объемом 1,68 л (при н. у.).

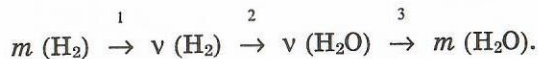
26. Еще раз изменим задание: в эвдиометре взорвали водород массой 0,3 г с достаточным количеством кислорода. Вычислить массу воды.

Анализ условия задачи и план решения

Известна масса исходного вещества $m(\text{H}_2)$.

Вычислить массу продукта реакции $m(\text{H}_2\text{O})$.

К схеме решения задачи 2 присоединим еще один, третий этап:



Решение

1 способ

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,15 \text{ моль}; \quad m(\text{H}_2\text{O}) = M \cdot \nu,$$

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

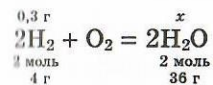
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль} \cdot 0,15 \text{ моль} = 2,7 \text{ г}.$$

2 способ

Можно сразу по уравнению вычислить массу, но для этого количества H_2 и H_2O заменим единицами массы:

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}, \quad m(2\text{H}_2) = 4 \text{ г},$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; \quad m(2\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 36 \text{ г}.$$



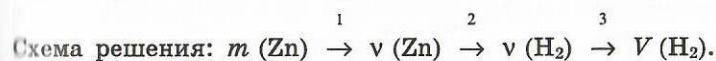
$$\frac{0,3}{4} = \frac{x}{36}, \quad x = \frac{0,3 \cdot 36}{4} = 2,7 \text{ г}.$$

Ответ: при взрыве водорода массой 0,3 г образуется вода массой 2,7 г.

3. Цинк массой 1,3 г растворили в соляной кислоте. Вычислить объем выделившегося водорода, измеренный при н. у.

Анализ условия задачи и план решения

Дана масса исходного вещества, а вычислить надо объем продукта, т. е. вещества даны в разных единицах, следовательно, задачу лучше решать в единицах количества вещества.

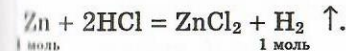


Вычислим количество цинка $\nu(\text{Zn})$, по уравнению реакции составим пропорцию и найдем $\nu(\text{H}_2)$, вычислим объем водорода $V(\text{H}_2)$.

Дано:	$M(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль}$
$m(\text{Zn}) = 1,3 \text{ г}$	
$V(\text{H}_2) = ?$	

Решение

1. Составим уравнение реакции:

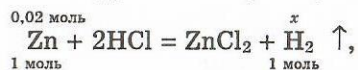


Уравнение показывает, что при взаимодействии 1 моль цинка выделяется 1 моль водорода.

2. Вычислим количество цинка:

$$\nu = \frac{m}{M}, \quad \nu(\text{Zn}) = \frac{1,3 \text{ г}}{65 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}.$$

3. По уравнению реакции вычислим количество водорода:



$$x = 0,02 \text{ моль.}$$

4. Вычислим объем водорода:

$$V = V_m \cdot \nu, \quad V(\text{H}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,02 \text{ моль} = 0,448 \text{ л.}$$

Ответ: при растворении цинка массой 1,3 г в соляной кислоте выделяется водород объемом 0,448 л, измеренный при н. у.

В условии задачи вещество может быть задано числом структурных частиц или результат требуется выразить числом частиц. Для этого тоже надо знать количество вещества. Например, в предыдущей задаче количество водорода 0,02 моль, а число молекул вычислим по формуле $n = N_A \cdot \nu$, где N_A — число Авогадро:

$$n = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 0,02 \text{ моль} = 12,04 \cdot 10^{21} \text{ молекул.}$$

Итак, по одному известному веществу можно вычислить количество вещества, массу, объем и число структурных частиц участвующих в реакции веществ. Ниже приводится обобщенная схема решения задач этого типа:

Данные задачи	Вычисления по уравнению	Результат
<p>В условии задачи исходное вещество может быть задано в единицах:</p> <p style="text-align: center;"> массы m объема V числом частиц n </p> <p style="text-align: center;"> \swarrow $\rightarrow \nu \rightarrow \nu_x$ \searrow </p> <p style="text-align: center;"> $v = \frac{m}{M}; \quad v = \frac{V}{V_m};$ $v = \frac{n}{N_A}$ </p>	<p>По известному количеству вещества вычисляем неизвестное количество вещества</p>	<p>Может быть выражен в единицах</p> <p style="text-align: center;"> m — массы V — объема n — числом частиц </p> <p style="text-align: center;"> $m = M \cdot \nu; \quad V = \nu \cdot V_m;$ $n = N_A \cdot \nu$ </p>

Если исходные вещества и продукты реакции газообразные, то вычисления по уравнению такой реакции значительно облегчаются.

4. Вычислить объем аммиака, образовавшегося при взаимодействии 12 л водорода с избытком азота, и объем вступившего в реакцию азота (н. у.).

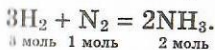
Дано:

$$V(\text{H}_2) = 12$$

$$V(\text{NH}_3) = ? \quad V(\text{N}_2) = ?$$

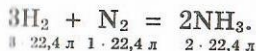
Решение

1. Составим уравнение реакции:

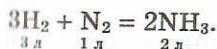


2. Согласно уравнению реакции 3 моль водорода реагирует с 1 моль азота и образуется 2 моль аммиака.

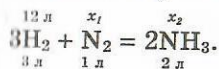
Известно, что при нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л. Количества веществ в уравнении реакции заменим их объемами, вычислив последние по формуле $V = V_m \cdot \nu$:



Сократив на 22,4, получим:



Следовательно, коэффициенты показывают соотношение объемов исходных веществ и продуктов реакции (л, м³ и т. п. — в зависимости от условия задачи).



$$1. \quad \frac{12}{3} = \frac{x_1}{1}, \quad x_1 = \frac{12 \cdot 1}{3} = 4; \quad V(\text{N}_2) = 4 \text{ л};$$

$$2. \quad \frac{12}{3} = \frac{x_2}{2}, \quad x_2 = \frac{12 \cdot 2}{3} = 8, \quad V(\text{NH}_3) = 8 \text{ л.}$$

Ответ: с водородом объемом 12 л реагирует азот объемом 4 л и образуется аммиак объемом 8 л.

5. В эвдиометре взорвали смесь 12 мл водорода и 5 мл кислорода. Какой газ не полностью прореагировал (был в избытке)?

Дано:

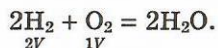
$$V(\text{H}_2) = 12 \text{ мл}$$

$$V(\text{O}_2) = 5 \text{ мл}$$

Определить: какой газ в избытке?

Решение

1. Составим уравнение реакции:



2. Согласно уравнению реакции 2 объема водорода реагируют с 1 объемом кислорода, следовательно:

2 мл H_2 реагируют с 1 мл O_2 ,

12 мл H_2 реагируют с x мл O_2 .

$$\frac{2}{12} = \frac{1}{x}, \quad x = \frac{12 \cdot 1}{2} = 6 \text{ мл.}$$

Для реакции с 12 мл водорода требуется 6 мл кислорода, но по условию задачи его 5 мл, следовательно, водород в избытке. Считаем по кислороду:

1 мл O_2 реагирует с 2 мл H_2 ,

5 мл O_2 реагирует с x мл H_2 .

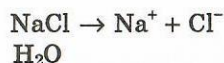
$$\frac{1}{5} = \frac{2}{x}; \quad x = 5 \cdot 2 = 10 \text{ мл.}$$

Ответ: в избытке водород объемом 12 мл – 10 мл = 2 мл.

6.¹ При электролизе раствора хлорида натрия выделилось 7,2 л водорода (н. у.). Вычислите массу и количество гидроксида натрия в растворе.

Пояснение

В растворе хлорида натрия находятся ионы



Процесс электролиза:

Катод (-)	Анод (+)
$\text{Na}^+, \text{H}_2\text{O}$	$\text{Cl}^-, \text{H}_2\text{O}$
$2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow$	$\text{Cl}^- - \bar{e} = \text{Cl}^0$
$\rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$	$2\text{Cl} = \text{Cl}_2\uparrow$
Выделяется $\text{H}_2\uparrow$	Выделяется $\text{Cl}_2\uparrow$

В растворе остается NaOH .

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

Дано:

$$V(\text{H}_2) = 7,2 \text{ л (н. у.)}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

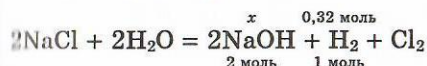
$$v(\text{NaOH}) = ?$$

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

Решение

$$1. \quad v = \frac{V}{V_m}, \quad v(\text{H}_2) = \frac{7,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,32 \text{ моль.}$$

2. Суммарное уравнение:



3. По уравнению количество гидроксида натрия в растворе $x = 2 \cdot 0,32 = 0,64$ моль.

$$4. \quad m = M \cdot v, \quad m(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль} \cdot 0,64 \text{ моль} = 25,6 \text{ г.}$$

Ответ: при электролизе раствора хлорида натрия в растворе образуется 0,64 моль гидроксида натрия, что составляет 25,6 г.

2. Задачи с применением массовой и объемной доли

С понятием *массовая доля* (обозначение — ω) вы уже встречались выше. Это (в общем виде) отношение массы данного вещества к массе всей системы:

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{системы})}$$

Если массовая доля выражается в процентах, формула имеет вид

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{системы})} \cdot 100\%$$

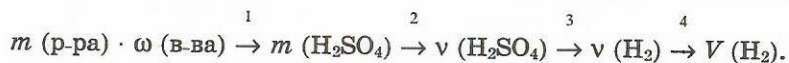
Для смесей газообразных веществ вводится физическая величина *объемная доля* (обозначение — φ). Это отношение объема данного компонента газовой смеси к объему всей системы, $\varphi = \frac{V(\text{комп.})}{V(\text{смеси})}$. Выражается в долях или процентах.

Задача 1. В растворе серной кислоты массой 200 г и массовой долей кислоты в нем 4,9% растворили цинк до прекращения реакции. Вычислить объем выделившегося водорода при н. у.

Анализ условия задачи

Закройте правую половину страницы и отвечайте на вопросы самостоятельно.

- | | |
|--|--|
| 1. Что дано? | 1. Масса раствора и массовая доля вещества в нем. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Объем выделившегося газа. |
| 3. По формуле или по уравнению реакции ведем расчет? | 3. По уравнению:
$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 \uparrow$ |
| 4. Схема решения: | |



Запись решения

Дано:

$$m \text{ (р-ра)} = 200 \text{ г}$$

$$\omega \text{ (H}_2\text{SO}_4) = 4,9\%$$

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

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

Решение

1. Массу серной кислоты в растворе можно вычислить двумя способами:

$$a) \omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{m \text{ (р-ра)}} \cdot 100\%, \text{ отсюда}$$

$$m \text{ (в-ва)} = \frac{m \text{ (р-ра)} \cdot \omega}{100\%}, \text{ т. е.}$$

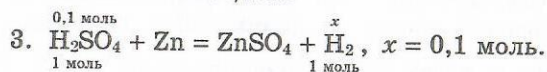
$$m \text{ (H}_2\text{SO}_4) = \frac{200 \text{ г} \cdot 4,9\%}{100\%} = 9,8 \text{ г.}$$

б) 100 г р-ра содержат 4,9 г H₂SO₄,

200 г р-ра содержат x г H₂SO₄.

$$x = \frac{200 \text{ г} \cdot 4,9 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 9,8 \text{ г.}$$

$$2. \nu = \frac{m}{M}; \nu = \frac{9,8 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$



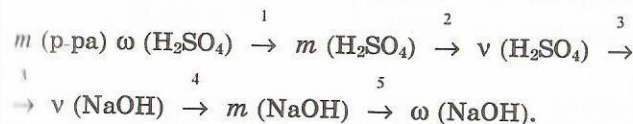
$$4. V = V_m \cdot \nu, \quad V \text{ (H}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 2,24 \text{ л при н. у.}$$

Ответ: при растворении цинка в 200 г 4,9%-ного раствора серной кислоты выделяется водород объемом 2,24 л при н. у.

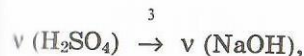
Задача 2. Для нейтрализации 150 г раствора серной кислоты массовой долей 9,8% потребовалось 200 г раствора гидроксида натрия. Вычислить массовую долю гидроксида натрия в растворе.

Анализ условия задачи

- | | |
|---|--|
| 1. Что дано? | 1. Масса раствора H ₂ SO ₄ и массовая доля ее в растворе. Масса раствора NaOH. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Массовую долю NaOH в растворе. |
| 3. По формуле или уравнению будем вести расчет? | 3. По уравнению реакции нейтрализации:
$2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O.$ |
| 4. Схема решения: | |



В этой задаче по уравнению реакции можно сразу вычислить массу NaOH, минуя действие 3:



$$\text{т. е. } m \text{ (H}_2\text{SO}_4) \rightarrow m \text{ (NaOH).}$$

Запись решения

Дано:

$$m \text{ (р-ра H}_2\text{SO}_4) = 150 \text{ г}$$

$$\omega \text{ (H}_2\text{SO}_4) = 9,8\%$$

$$m \text{ (р-ра NaOH)} = 200 \text{ г}$$

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

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

$$M \text{ (NaOH)} = 40 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Вычислим массу серной кислоты в растворе:

а) 100 г р-ра содержат 9,8 г H₂SO₄,

150 г р-ра содержат x г H₂SO₄.

$$x = \frac{150 \cdot 9,8}{100} = 14,7 \text{ (г);}$$

$$б) m \text{ (в-ва)} = \frac{m \text{ (р-ра)} \cdot \omega}{100\%};$$

$$m \text{ (H}_2\text{SO}_4) = \frac{150 \text{ г} \cdot 9,8\%}{100\%} = 14,7 \text{ г.}$$

4. На реакцию с какими веществами расходуется кислород?
 5. По каким уравнениям делаем расчет?
 6. Что надо вычислить, прежде чем делать расчет объема кислорода по уравнениям?
4. С метаном и этаном.
 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$,
 $2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$.
 6. Объемы компонентов (метана и этана) в природном газе, используя формулу: φ (комп.) = $\frac{V(\text{комп.})}{V(\text{газа})} \cdot 100\%$, откуда
 $V(\text{комп.}) = \frac{V(\text{газа}) \cdot \varphi(\text{комп.})}{100\%}$.

Запись решения

Дано:

$$V(\text{газа}) = 2 \text{ м}^3$$

$$\varphi(CH_4) = 90\%$$

$$\varphi(C_2H_6) = 5\%$$

$$\varphi(CO_2) = 3\%$$

$$\varphi(N_2) = 2\%$$

$$V(\text{возд.}) = ?$$

$$\varphi(O_2) = 21\%$$

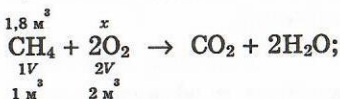
Решение

1. Вычислим объемы компонентов смеси, вступающих в реакцию горения:

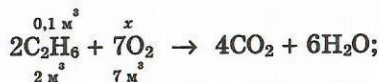
$$V(CH_4) = \frac{2 \text{ м}^3 \cdot 90\%}{100\%} = 1,8 \text{ м}^3,$$

$$V(C_2H_6) = 2 \text{ м}^3 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ м}^3.$$

2. По уравнениям реакций вычислим объемы кислорода, учитывая, что при реакциях с газообразными веществами коэффициенты показывают соотношения объемов:



$$x = 1,8 \cdot 2 = 3,6 \text{ м}^3;$$



$$\frac{0,1}{2} = \frac{x}{7}, \quad x = \frac{0,1 \cdot 7}{2} = 0,35 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем кислорода:

$$V(O_2) = 3,6 \text{ м}^3 + 0,35 \text{ м}^3 = 3,95 \text{ м}^3.$$

3. Вычислим объем воздуха:

3,95 м³ составляют в воздухе 21%,
 x м³ воздуха примем за 100%,

$$\frac{3,95}{x} = \frac{21}{100}, \quad x = \frac{3,95 \cdot 100}{21} = 18,8 \text{ м}^3 \text{ или}$$

$$V(\text{возд.}) = \frac{3,95 \text{ м}^3}{0,21} = 18,8 \text{ м}^3.$$

Ответ: для сжигания природного газа объемом 2 м³ требуется воздух объемом 18,8 м³.

Задача 6.¹ При действии на 9 г смеси, состоящей из металлического алюминия и его оксида, 40%-ным раствором гидроксида натрия ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$) выделилось 3,36 л газа (н. у.). Определите процентный состав исходной смеси и объем раствора гидроксида натрия, вступившего в реакцию.

Анализ условия задачи

1. Что дано? 1. Масса смеси, объем выделившегося газа, плотность и массовая доля раствора NaOH.
2. Что нужно найти? 2. Процентное содержание Al и Al₂O₃. Объем раствора NaOH.
3. Что надо знать, чтобы вычислить процентное содержание смеси? 3. Массы компонентов смеси: Al и Al₂O₃.
4. Что надо знать для вычисления объема раствора, гидроксида натрия? 4. Массу раствора NaOH, вступившего в реакцию с Al и Al₂O₃.
5. По каким уравнениям реакций ведем расчет? 5. $2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2$, (1)
 $Al_2O_3 + 2NaOH = 2NaAlO_2 + H_2O$. (2)

План решения

1. Вычислим количество водорода.
2. По уравнению реакции (1) вычислим количество и массу алюминия, количество и массу гидроксида натрия.

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

3. Вычислим массу оксида алюминия в смеси.
4. По уравнению реакции (2) вычислим массу NaOH.

5. Вычислим:

- а) общую массу NaOH;
б) массу раствора NaOH;
в) объем раствора NaOH.

6. Вычислим массовые доли алюминия и оксида алюминия в смеси.

7. Сформулируем ответ.

Запись решения

Дано:

m (смеси) = 9 г

V (H_2) = 3,36 л

ω (NaOH) = 40%

ρ (р-ра) = 1,4 г/мл

ω (Al) = ?

ω (Al_2O_3) = ?

V (р-ра) NaOH = ?

M (Al) = 27 г/моль

M (Al_2O_3) = 102 г/моль

M (NaOH) = 40 г/моль

Формулы, используемые при решении:

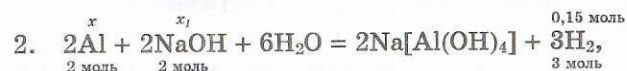
$$v = \frac{V}{V_m}; m = M \cdot v;$$

$$\omega (\text{в-ва}) = \frac{m (\text{в-ва})}{m (\text{р-ра})} \cdot 100\%,$$

$$\omega (\text{комп.}) = \frac{m (\text{комп.})}{m (\text{смеси})} \cdot 100\%, V = \frac{m}{\rho}$$

Решение

$$1. v (H_2) = \frac{3,36 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$



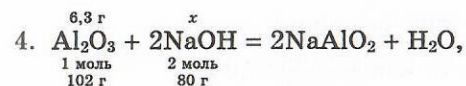
$$\frac{x}{2} = \frac{0,15}{3}, x = \frac{2 \cdot 0,15}{3} = 0,1 \text{ моль,}$$

$$m (Al) = 27 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 2,7 \text{ г;}$$

$$x_1 = v (NaOH) = 0,1 \text{ моль,}$$

$$m (NaOH) = 40 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 4 \text{ г.}$$

$$3. m (Al_2O_3) = 9 \text{ г} - 2,7 \text{ г} = 6,3 \text{ г.}$$



$$\frac{6,3 \text{ г}}{102 \text{ г}} = \frac{x}{80 \text{ г}}, x = \frac{6,3 \cdot 80}{102} = 4,94 \text{ г.}$$

$$5. \text{ а) } m (NaOH) = 4 \text{ г} + 4,94 \text{ г} = 8,94 \text{ г;}$$

б) 8,94 г NaOH составляет в растворе 40%,
 x г — весь раствор — принимаем за 100%.

$$x = \frac{8,94 \text{ г} \cdot 100\%}{40\%} = 22,35 \text{ г;}$$

$$\text{в) } V (\text{р-ра}) NaOH = \frac{22,35 \text{ г}}{1,4 \text{ г/мл}} = 15,96 \text{ мл.}$$

$$6. \omega (Al) = \frac{2,7 \text{ г} \cdot 100\%}{9 \text{ г}} = 30\%;$$

$$\omega (Al_2O_3) = 100\% - 30\% = 70\% \text{ или}$$

$$\omega (Al_2O_3) = \frac{6,3 \text{ г}}{9 \text{ г}} \cdot 100\% = 70\%.$$

Ответ: состав исходной смеси: алюминий — 30%, оксид алюминия — 70%, для растворения смеси потребуется 15,96 мл 40%-ного раствора гидроксида натрия.

Задача 7.¹ Вещество, полученное при прокаливании 1,28 г меди в струе кислорода, превратили в хлорид меди (II). Вычислите, какой объем в мл 4%-ной соляной кислоты $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ израсходовали и какова масса выделившегося хлорида меди (II).

Пояснения

1. При прокаливании меди в кислороде образуется оксид меди (II).

2. Оксид меди (II) реагирует с соляной кислотой.

3. Так как расчет ведем по двум уравнениям, то его рациональнее провести в единицах количества вещества — в молях.

Дано:

m (Cu) = 1,28 г

ω (HCl) = 4%

ρ (р-ра) HCl = 1,02 г/мл

V (р-ра) HCl = ?

M (HCl) = 36,5 г/моль

M (Cu) = 64 г/моль

M ($CuCl_2$) = 135 г/моль

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

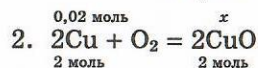
Формулы, используемые при решении:

$$v = \frac{m}{M}; \quad m = M \cdot v; \quad \omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%;$$

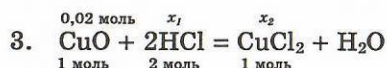
$$m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{в-ва}) \cdot 100\%}{\omega}; \quad V = \frac{m}{\rho}$$

Решение

$$1. \quad v(\text{Cu}) = \frac{1,28 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль.}$$



$$x = 0,02 \text{ моль CuO.}$$



$$x_1 = 0,04 \text{ моль HCl};$$

$$x_2 = 0,02 \text{ моль CuCl}_2.$$

$$4. \quad m(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль} \cdot 0,04 \text{ моль} = 1,46 \text{ г.}$$

$$5. \quad \text{а) } m(\text{р-ра HCl}) = \frac{1,46 \text{ г} \cdot 100\%}{4\%} = 36,5 \text{ г};$$

$$\text{б) } 100 \text{ г р-ра содержат } 4 \text{ г HCl,} \\ x \text{ г р-ра содержат } 1,46 \text{ г HCl.}$$

$$\frac{100}{x} = \frac{4}{1,46}, \quad x = \frac{100 \cdot 1,46}{4} = 36,5 \text{ г.}$$

$$6. \quad V(\text{HCl}) = \frac{36,5 \text{ г}}{1,02 \text{ г/мл}} = 35,78 \text{ мл.}$$

$$7. \quad m(\text{CuCl}_2) = 135 \text{ г/моль} \cdot 0,02 \text{ моль} = 2,70 \text{ г.}$$

Ответ: для реакции потребовался раствор соляной кислоты объемом 35,78 мл и образовался хлорид меди (II) массой 2,70 г.

3. Вычисления по уравнениям реакций с учетом примесей

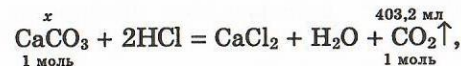
Чаще всего вещества не бывают абсолютно чистыми, они содержат примеси в том или ином количестве. Массовую долю примесей можно вычислить экспериментально. Например, взяли навеску известняка, обработали соляной кислотой до прекращения реакции, по объему выделившегося газа вычислили массу карбоната кальция в известняке и провели расчет примесей.

Зная массовую долю примесей, можно производить различные расчеты (см. задачи 2—4).

Задача 1. При взаимодействии известняка массой 2 г с соляной кислотой выделяется 403,2 мл CO_2 (при н. у.). Вычислить массовую долю некарбонатных примесей в известняке.

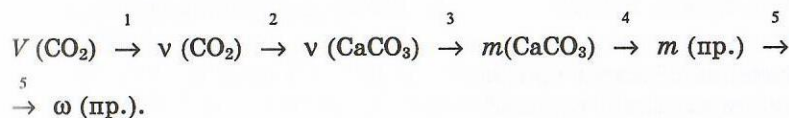
Анализ условия задачи

1. Что дано? 1. Масса минерала известняка и объем углекислого газа.
2. Что нужно найти? 2. Массовую долю примесей ω (пр.).
3. Что для этого надо сначала вычислить? 3. Массу примесей m (пр.).
4. Какое вещество в составе известняка при реакции с кислотой выделяет углекислый газ? 4. Карбонат кальция CaCO_3 .
5. Как вычислить массу карбоната кальция? 5. По уравнению реакции



так как известен объем выделившегося газа.

6. Если необходимо вычислить массу CaCO_3 , а известен объем CO_2 , то в каких единицах надо вести расчет по уравнению? 6. В единицах количества вещества — молях.
7. Схема решения:



Запись решения

Дано:

$$m(\text{изв.}) = 2 \text{ г}$$

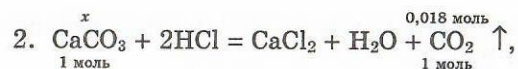
$$V(\text{CO}_2) = 403,2 \text{ мл} = 0,4032 \text{ л (н. у.)}$$

$$\omega(\text{пр.}) = ?$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$$

Решение

$$1. \quad v = \frac{V}{V_m}; \quad v(\text{CO}_2) = \frac{0,4032 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,018 \text{ моль.}$$



$$x = 0,018 \text{ моль.}$$

$$3. m = M \cdot \nu, m(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль} \cdot 0,018 \text{ моль} = 1,8 \text{ г.}$$

$$4. m(\text{пр.}) = 2 \text{ г} - 1,8 \text{ г} = 0,2 \text{ г.}$$

$$5. \text{а) } \omega(\text{пр.}) = \frac{0,2 \text{ г}}{2 \text{ г}} \cdot 100\% = 10\%;$$

б) 2 г принимаем за 100%,

0,2 г принимаем за x ,

$$x = \frac{0,2 \cdot 100\%}{2} = 10\%.$$

в) 2 г известняка содержат 0,2 г примесей,

100 г известняка содержат x г примесей.

$$x = \frac{100 \cdot 0,2}{2} = 10 \text{ г, т. е. } \omega_{\text{пр.}} = 10\%.$$

Ответ: массовая доля примесей в известняке составляет 10%.

Задача 2. Вычислить массу известняка, содержащего 10% некарбонатных примесей, необходимого для получения 200 кг жженой извести.

Анализ условия задачи

1. Что дано?

1. Масса жженой извести $m(\text{CaO})$ и массовая доля примесей в известняке $\omega(\text{пр.})$.

2. Что нужно найти?

2. Массу известняка $m(\text{изв.})$.

3. Какое вещество в составе известняка образует при разложении жженую известь?

3. Карбонат кальция CaCO_3 .

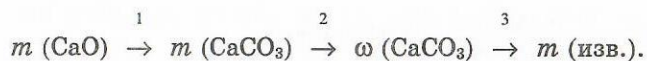
4. Массу какого вещества вычислим по уравнению реакции?

4. Карбоната кальция CaCO_3 .

5. Как найти массу известняка?

5. Масса известняка должна быть больше массы карбоната кальция за счет 10% примесей.

6. Схема решения:



Запись решения

Дано:

$$m(\text{CaO}) = 200 \text{ кг}$$

$$\omega(\text{пр.}) = 10\%$$

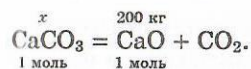
$$m(\text{изв.}) = ?$$

$$M(\text{CaO}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

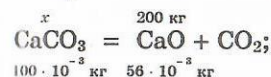
$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Решение

1. Уравнение реакции:



2. В уравнении реакции количества веществ заменим массами, составим пропорцию и вычислим массу карбоната кальция, из которого можно получить 200 кг CaO:



$$\frac{x}{100 \cdot 10^{-3}} = \frac{200}{56 \cdot 10^{-3}}, x = 357,1 \text{ кг.}$$

3. Вычислим массу известняка:

$$\omega(\text{CaCO}_3) = 100\% - 10\% = 90\%;$$

357,1 кг CaCO_3 составляют в известняке 90%,

x кг известняка примем за 100%,

$$\frac{357,1}{x} = \frac{90}{100}, x = \frac{357,1 \cdot 100}{90} = 396,8 \text{ кг или}$$

$$m(\text{изв.}) = \frac{357,1}{0,9} = 396,8 \text{ кг.}$$

Ответ: для получения 200 кг жженой извести потребуется 396,8 кг известняка, содержащего 10% примесей.

Задача 3. Вычислить массу железа, полученного алюмини-термическим путем из оксида железа (III) массой 88 кг, содержащего 10% посторонних примесей.

Дано:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{пр.}) = 88 \text{ кг}$$

$$\omega(\text{пр.}) = 10\%$$

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

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \text{ г/моль} =$$

$$= 160 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

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

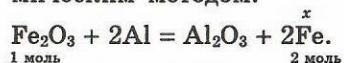
$$= 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$\omega (\text{пр.}) = \frac{m (\text{пр.})}{m (\text{в-ва})} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Решение

1. Составим уравнение реакции получения железа аллюминотермическим методом:



2. Примеси не образуют железа, поэтому их массу нужно вычесть из 88 кг. Массу примесей можно вычислить одним из трех способов:

а) из формулы (1) $m (\text{пр.}) = \frac{88 \text{ кг} \cdot 10\%}{100\%} = 8,8 \text{ кг};$

б) $m (\text{пр.}) = 88 \text{ кг} \cdot 0,1 = 8,8 \text{ кг};$

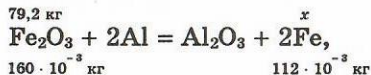
в) 88 кг составляют 100%,
 x кг составляют 10%,

$$x = \frac{88 \cdot 10}{100} = 8,8 \text{ кг} .$$

3. Вычислим массу чистого оксида железа:

$$m (\text{Fe}_2\text{O}_3) = 88 \text{ кг} - 8,8 \text{ кг} = 79,2 \text{ кг} .$$

4. По уравнению реакции вычислим массу железа:



$$m (2\text{Fe}) = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 112 \cdot 10^{-3} \text{ кг} ,$$

$$\frac{79,2}{160 \cdot 10^{-3}} = \frac{x}{112 \cdot 10^{-3}} ;$$

$$x = \frac{79,2 \cdot 112 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} = 55,4 \text{ кг} .$$

5. Оценим достоверность результата.

Результат достоверен, так как: 1) железа получили меньше, чем было оксида; 2) единицы измерения искомой величины те же, что и данные в задаче.

Ответ: из 88 кг оксида железа (III), содержащего 10% примесей, аллюминотермическим путем получается 55,4 кг железа.

Задача 4.¹ На 18 г технического алюминия подействовали избытком раствора гидроксида натрия. При этом выделилось 21,4 л газа (н. у.). Определите процентное содержание примесей в техническом алюминии, если известно, что в нем не содержалось других веществ, способных реагировать с гидроксидом натрия.

Анализ условия задачи

- | | |
|--|--|
| 1. Что дано? | 1. Масса технического алюминия m (техн. Al) и объем выделившегося газа. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Массовую долю примесей в техническом алюминии. |
| 3. По уравнению, или формуле ведем расчет? | 3. По уравнению:
$2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2\uparrow$ |
| 4. Что будем вычислять по уравнению? | 4. Массу алюминия, вступившего в реакцию. |
| 5. Схема решения: | |

$$V (\text{H}_2) \xrightarrow{1} v (\text{H}_2) \xrightarrow{2} v (\text{Al}) \xrightarrow{3} m (\text{Al}) \xrightarrow{4} m (\text{пр.}) \xrightarrow{5} \omega (\text{пр.}) .$$

Запись решения

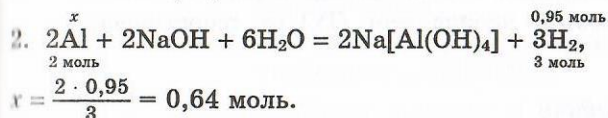
Дано:	$M (\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}$
$m (\text{техн. Al}) = 18 \text{ г}$	$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$
$V (\text{H}_2) = 21,4 \text{ л (н. у.)}$	
$\omega (\text{пр.}) = ?$	

Формулы, используемые при решении:

$$v = \frac{V}{V_m}; \quad m = M \cdot v; \quad \omega (\text{пр.}) = \frac{m (\text{пр.})}{m (\text{техн. Al})} .$$

Решение

1. $v (\text{H}_2) = \frac{21,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,95 \text{ моль} .$



¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 71.

3. $m(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль} \cdot 0,64 \text{ моль} = 17,2 \text{ г.}$

4. $m(\text{пр.}) = 18 \text{ г} - 17,2 \text{ г} = 0,8 \text{ г.}$

5. $\omega(\text{пр.}) = \frac{0,8 \text{ г} \cdot 100\%}{18 \text{ г}} = 4,44\%.$

Ответ: массовая доля примесей в техническом алюминии составляет 4,44%.

4. Вычисления по уравнениям реакций с применением понятия «массовая доля выхода продукта реакции от теоретически возможного»

При проведении химических реакций, как с небольшими количествами веществ (в лаборатории), так и с большими (в промышленности), происходят потери, и масса практически получившегося вещества $m(\text{пр.})$ всегда меньше теоретически ожидаемой согласно уравнению реакции $m(\text{теор.})$.

Отношение массы, практически полученной, к массе, теоретически вычисленной, выраженное в процентах, называется *массовой долей выхода продукта реакции* и обозначается $\omega_{\text{вых.}}$:

$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%.$$

При известном выходе из этой формулы можно вычислить практическую массу продукта (см., например, задачу 2):

$$m_{\text{пр.}} = \frac{m_{\text{теор.}} \cdot \omega_{\text{вых.}}}{100\%}.$$

В практической деятельности чаще требуется получить определенную массу (или объем) вещества при известной массовой (объемной) доле выхода, а рассчитать в этом случае надо массу (объем) исходного вещества, которое надо взять для реакции (см., например, задачу 3).

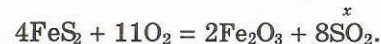
Задача 1. При обжиге 0,5 т пирита, содержащего 48% серного колчедана, получили 192 кг оксида серы (IV). Вычислить массовую долю выхода оксида серы (IV) от теоретически возможного.

Анализ условия задачи

1. Что дано?

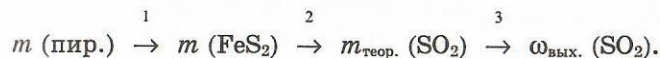
1. Масса пирита $m(\text{пир.})$ и массовая доля FeS_2 в нем.

2. Какая реакция происходит при обжиге? 2. Реакция идет по уравнению



3. Что будем вычислять по уравнению? 3. Теоретически ожидаемую массу SO_2 .

4. Схема решения



Запись решения

Дано:

$$m(\text{пир.}) = 0,5 \text{ т} = 500 \text{ кг}$$

$$\omega(\text{FeS}_2) = 48\%$$

$$m_{\text{вых.}}(\text{SO}_2) = 192 \text{ кг}$$

$$\omega_{\text{вых.}}(\text{SO}_2) = ?$$

$$M(\text{FeS}_2) = 56 + 32 \cdot 2 =$$

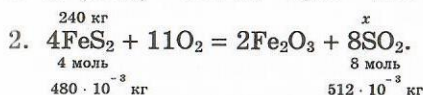
$$= 120 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M(\text{SO}_2) = 32 + 16 \cdot 2 =$$

$$= 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Решение

1. $m(\text{FeS}_2) = 500 \text{ кг} \cdot 0,48 = 240 \text{ кг}$



$$x = \frac{240 \cdot 512 \cdot 10^{-3}}{480 \cdot 10^{-3}} = 256 \text{ кг.}$$

3. $\omega_{\text{вых.}}(\text{SO}_2) = \frac{192 \text{ кг}}{256 \text{ кг}} \cdot 100\% = 75\%.$

Ответ: массовая доля выхода оксида серы (IV) составляет 75% от теоретически возможного.

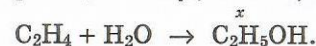
Задача 2. Вычислить массу спирта, полученного гидратацией этилена массой 56 кг, если массовая доля выхода спирта составляет 90% от теоретически возможного.

Анализ условия задачи

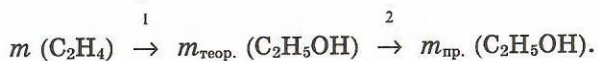
1. Что дано? 1. Масса вещества, вступившего в реакцию $m(\text{C}_2\text{H}_4)$ и массовая доля выхода продукта $\omega_{\text{вых.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$.

2. Что нужно найти? 2. Массу продукта, полученного в результате реакции $m_{\text{пр.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$.

3. Что для этого надо вычислить? 3. Массу вещества согласно уравнению реакции $m_{\text{теор.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$.



4. Схема решения:



Дано:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4) = 56 \text{ кг}$$

$$\omega_{\text{вых.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 90\%$$

$$m_{\text{пр.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = ?$$

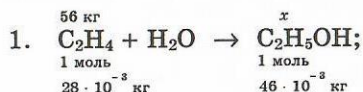
$$M(\text{C}_2\text{H}_4) = 28 \text{ г/моль} =$$

$$= 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль} =$$

$$= 46 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Решение



$$\frac{56}{28 \cdot 10^{-3}} = \frac{x}{46 \cdot 10^{-3}};$$

$$x = \frac{56 \cdot 46 \cdot 10^{-3}}{28 \cdot 10^{-3}} = 92 \text{ кг.}$$

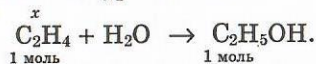
$$2. m_{\text{пр.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{92 \cdot 90\%}{100\%} = 82,8 \text{ кг.}$$

Ответ: гидратацией этилена массой 56 кг получают этанол массой 82,8 кг при массовой доле выхода спирта 90% от теоретически возможного.

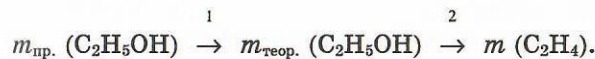
Задача 3. Гидратацией этилена необходимо получить 23 кг спирта при массовой доле выхода 98% от теоретически возможного. Вычислить массу этилена, нужного для этой цели.

Анализ условия задачи

- | | |
|--|---|
| 1. Что дано? | 1. Масса практическая $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $m_{\text{пр.}}$, которая составляет 98% от теоретической. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Массу этилена, вступившего в реакцию, $m(\text{C}_2\text{H}_4)$. |
| 3. Вычисление ведем по формуле или уравнению? | 3. По уравнению |
| 4. Чтобы найти из этого уравнения массу необходимого для реакции этилена, что прежде придется вычислить? | 4. Массу спирта по уравнению реакции, $m_{\text{теор.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$. |



5. Схема решения:



Запись решения:

Дано:

$$m_{\text{пр.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 23 \text{ кг}$$

$$\omega_{\text{вых.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 98\%$$

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

Решение

1. Массу этанола, которую ожидали получить при 100% выходе, можно вычислить двумя способами:

а) преобразуем формулу

$$\omega_{\text{вых.}} = \frac{m_{\text{пр.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%, \quad m_{\text{теор.}} = \frac{m_{\text{пр.}} \cdot 100\%}{\omega_{\text{вых.}}},$$

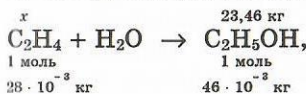
$$m_{\text{теор.}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{23 \text{ кг} \cdot 100\%}{98\%} = 23,46 \text{ кг};$$

б) 23 кг составляют 98%,

x кг составляют 100%.

$$\frac{23}{x} = \frac{98}{100}, \quad x = \frac{23 \cdot 100}{98} = 23,48 \text{ кг.}$$

2. По уравнению реакции вычисляем массу исходного вещества



$$\frac{x}{28 \cdot 10^{-3}} = \frac{23,46}{46 \cdot 10^{-3}},$$

$$x = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 23,46}{46 \cdot 10^{-3}} = 14,28 \text{ кг.}$$

Ответ: для получения 23 кг этанола при 98%-ном выходе требуется 14,28 кг этилена.

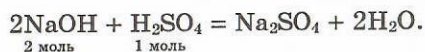
5. Вычисления по уравнениям реакций, когда одно из исходных веществ взято в избытке

Все предыдущие расчеты мы осуществляли по одному известному веществу, предполагая или оговаривая, что другое реагирующее вещество дано в достаточном количестве. Если в условии заданы количества или массы двух реагирующих веществ, то

надо решить, реагируют ли они полностью; возможно, одно из них взято в избытке.

Например, к раствору серной кислоты добавляют раствор гидроксида натрия. Реакция полученного раствора (кислая, щелочная или нейтральная) будет зависеть от количества кислоты и щелочи, вступивших в реакцию.

Уравнение реакции нейтрализации:



Согласно уравнению реакции для полной нейтрализации 1 моль серной кислоты требуется 2 моль гидроксида натрия или пропорциональные этим количествам доли молей. Так, если надо нейтрализовать 0,1 моль H_2SO_4 , то потребуется 0,2 моль NaOH . Если будет взято 0,15 моль NaOH , то для полной нейтрализации кислоты этого будет недостаточно, кислота будет в избытке — среда кислая. Если будет взято 0,25 моль NaOH , то после нейтрализации кислоты останется непрореагировавший гидроксид натрия — среда будет щелочная.

Представим изложенное в виде таблицы:

Количества веществ, вступивших в реакцию	Пропорциональная зависимость	Что в избытке	Среда раствора
0,2 моль NaOH + 0,1 моль H_2SO_4 = 2 моль 1 моль	$\frac{0,2}{2} = \frac{0,1}{1}$	В-ва реагируют полностью	Нейтральная
0,2 моль NaOH + 0,3 моль H_2SO_4 = 2 моль 1 моль	$\frac{0,2}{2} < \frac{0,3}{1}$	H_2SO_4 , ее больше, чем требуется по уравнению	Кислая
0,3 моль NaOH + 0,1 моль H_2SO_4 = 2 моль 1 моль	$\frac{0,3}{2} > \frac{0,1}{1}$	NaOH	Щелочная

Такие же расчеты можно проводить с массами веществ.

Продукт реакции вычисляют по тому веществу, которое реагирует полностью (см., например, задачу 2).

Задача 1. К раствору, содержащему серную кислоту массой 49 г, прилили 200 г 15%-ного раствора едкого натра. Какова реакция полученного раствора?

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 49 \text{ г} \\ m(\text{р-ра } \text{NaOH}) &= 200 \text{ г} \\ \omega(\text{NaOH}) &= 15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 98 \text{ г/моль} \\ M(\text{NaOH}) &= 40 \text{ г/моль} \end{aligned}$$

Какое вещество в избытке?

Решение

1 способ

1. Вычислим массу NaOH в растворе:

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{в-ва}),$$

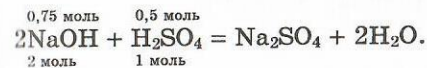
$$m(\text{NaOH}) = 200 \text{ г} \cdot 0,15 = 30 \text{ г}.$$

2. Вычислим количества веществ, вступивших в реакцию:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{49 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль};$$

$$v(\text{NaOH}) = \frac{30 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,75 \text{ моль}.$$

3. В уравнении реакции укажем количества веществ, вступивших в реакцию, — согласно уравнению и вычисленные по условию:



$$\text{Сравним отношения: } \frac{0,75}{2} < \frac{0,5}{1}.$$

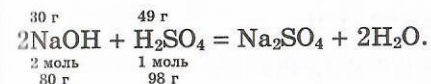
Большая дробь, соответствующая серной кислоте, указывает на ее избыток.

II способ

Сравним отношения масс:

$$m(2 \text{ моль } \text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 80 \text{ г},$$

$$m(1 \text{ моль } \text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} = 98 \text{ г},$$



$$\frac{30}{80} < \frac{49}{98}.$$

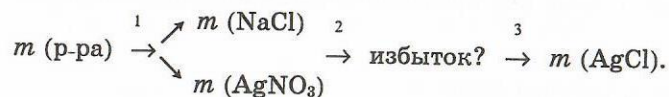
Вторая дробь больше, т. е. серная кислота в избытке, следовательно, образуется кислая соль NaHSO_4 .

Ответ: реакция раствора (среда) кислая.

Задача 2. К 234 г 5%-ного раствора хлорида натрия прилили 687 г 10%-ного раствора нитрата серебра. Осадок отфильтровали. Какова масса осадка? Какие вещества содержатся в фильтрате?

Анализ условия задачи

1. Что дано?
 1. Массы растворов и массовые доли солей в них.
2. Что нужно найти?
 2. Массу осадка, образовавшегося при сливании растворов.
3. По какому уравнению будем расчет?
 3. $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 = \text{NaNO}_3 + \text{AgCl} \downarrow$
4. Какое вещество в осадке?
 4. $\text{AgCl} \downarrow$
5. По какому из двух данных веществ надо считать массу осадка полностью?
 5. По тому, которое реагирует полностью.
6. Как будем находить избыток и недостаток?
 6. Сравнивая отношения масс.
7. Схема решения:



Запись решения

Дано:

$m(\text{р-ра NaCl}) = 234 \text{ г}$
 $\omega(\text{NaCl}) = 5\% \text{ или } 0,05$
 $m(\text{р-ра AgNO}_3) = 687 \text{ г}$
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 10\% \text{ или } 0,1$

$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}$
 $M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г/моль}$
 $M(\text{AgCl}) = 143,5 \text{ г/моль}$

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

Формулы, используемые при решении:

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

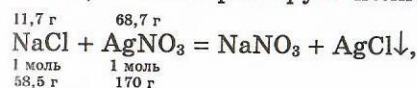
Решение

1. Вычислим массы солей в растворах:

$$m(\text{NaCl}) = 234 \text{ г} \cdot 0,05 = 11,7 \text{ г},$$

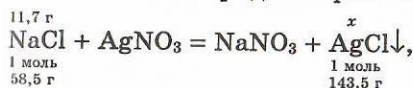
$$m(\text{AgNO}_3) = 687 \text{ г} \cdot 0,1 = 68,7 \text{ г}.$$

2. По уравнению реакции определим, какое из веществ в избытке, а какое реагирует полностью:



$$\frac{11,7}{58,5} < \frac{68,7}{170}, \text{ т. е. AgNO}_3 \text{ в избытке.}$$

3. По массе хлорида натрия найдем массу осадка:

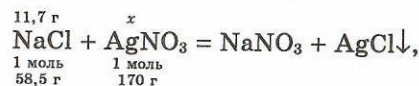


$$x = \frac{11,7 \cdot 143,5}{58,5} = 28,7 \text{ г}.$$

Ответ: при сливании растворов образуется осадок хлорида серебра массой 28,7 г; в фильтрате содержится избыток нитрата серебра и нитрат натрия.

Избыточную массу нитрата серебра, перешедшего в фильтрат, тоже можно вычислить.

1. Вычислим массу нитрата серебра, вступившего в реакцию:



$$x = \frac{11,7 \cdot 170}{58,5} = 34 \text{ г}.$$

2. Масса, перешедшая в фильтрат:

$$68,7 \text{ г} - 34 \text{ г} = 34,7 \text{ г}.$$

Задача 3.¹ Через раствор, содержащий 10 г гидроксида натрия, пропустили 20 г сероводорода. Какая соль образовалась при этом? Определить ее массу и количество вещества.

Дано:

$m(\text{NaOH}) = 10 \text{ г}$
 $m(\text{H}_2\text{S}) = 20 \text{ г}$

$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$
 $M(\text{H}_2\text{S}) = 34 \text{ г/моль}$
 $M(\text{NaHS}) = 56 \text{ г/моль}$

Какая соль?

$\nu(\text{соли}) = ?$

$m(\text{соли}) = ?$

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 71.

Решение

1. В зависимости от количеств веществ реагентов реакция протекает по-разному:

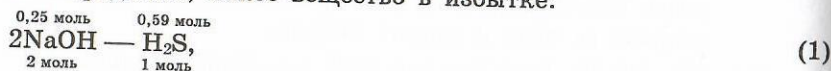


2. Вычислим количества гидроксида натрия и сероводорода по формуле $v = \frac{m}{M}$:

$$v(\text{NaOH}) = \frac{10 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль},$$

$$v(\text{H}_2\text{S}) = \frac{20 \text{ г}}{34 \text{ г/моль}} = 0,59 \text{ моль}.$$

3. Определим, какое вещество в избытке:



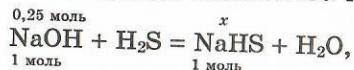
$$\frac{0,25}{2} < \frac{0,59}{1},$$



$$0,25 < 0,59.$$

Сероводород в избытке, гидроксид натрия реагирует полностью, реакция идет по второму уравнению.

4. Вычислим количество гидросульфида натрия и его массу:



$$x = 0,25 \text{ моль};$$

$$m = 56 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 14 \text{ г}.$$

Ответ: в результате взаимодействия гидроксида натрия с избытком сероводорода образуется 0,25 моль или 14 г гидросульфида натрия.

Задача 4.¹ Через 1 л 18%-ного раствора сульфата меди (II) ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$) пропустили 23,2 л сероводорода (н. у.). Какое вещество выпало в осадок и какова его масса?

Пояснение

Из уравнения реакции $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS} \downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4$ следует,

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 121.

что в осадке — сульфид меди (II). Массу осадка надо вычислять по тому из исходных веществ, которое реагирует полностью, а для этого необходимо найти количества веществ, вступивших в реакцию, и по уравнению реакции определить избыток и недостаток.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 1 \text{ л} = 1000 \text{ мл}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 18\% \text{ или } 0,18$$

$$\rho = 1,12 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{H}_2\text{S}) = 23,2 \text{ л}$$

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

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{CuS}) = 96 \text{ г/моль}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н. у.)}$$

Формулы, используемые при решении:

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

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

Решение

1. Вычислим массу раствора сульфата меди (II):

$$m(\text{р-ра}) = 1,12 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} = 1120 \text{ г}.$$

2. Вычислим массу сульфата меди (II) в растворе:

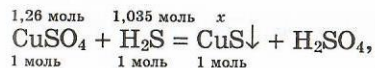
$$m(\text{CuSO}_4) = 1120 \text{ г} \cdot 0,18 = 201,6 \text{ г}.$$

3. Вычислим количества сульфата меди (II) и сероводорода:

$$v(\text{CuSO}_4) = \frac{201,6 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 1,26 \text{ моль},$$

$$v(\text{H}_2\text{S}) = \frac{23,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,035 \text{ моль}.$$

4. Какое из веществ в избытке, а какое реагирует полностью?



$$\frac{1,26}{1} > \frac{1,035}{1}.$$

В избытке сульфат меди (II), сероводород реагирует полностью.

5. По уравнению реакции найдем количество сульфида меди (II):

$$x = v(\text{CuS}) = 1,035 \text{ моль}.$$

6. Вычислим массу осадка:

$$m(\text{CuS}) = 96 \text{ г/моль} \cdot 1,035 \text{ моль} = 99,36 \text{ г.}$$

Ответ: при пропускании сероводорода через раствор сульфата меди (II) в осадок выпадает сульфид меди (II) массой 99,36 г.

Задача 5.¹ В 40 мл 6%-ного раствора нитрата серебра (I) ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) растворили 250 мл хлороводорода (н. у.). Какое вещество выпало в осадок и какова его масса?

Пояснение

Из уравнения реакции $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} = \text{AgCl} \downarrow + \text{HNO}_3$ следует, что в осадке — хлорид серебра.

Задача решается по той же схеме и по тем же формулам, что и предыдущая.

Дано:

$$V(\text{р-ра}) = 40 \text{ мл}$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = 6\% \text{ или } 0,06$$

$$\rho = 1,05 \text{ г/см}^3 = 1,05 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{HCl}) = 250 \text{ мл} = 0,25 \text{ л}$$

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

$$M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{AgCl}) = 143,5 \text{ г/моль}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н. у.)}$$

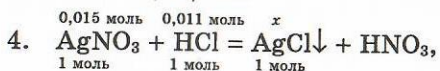
Решение

$$1. m(\text{р-ра}) \text{ AgNO}_3 = 1,05 \text{ г/мл} \cdot 40 \text{ мл} = 42 \text{ г.}$$

$$2. m(\text{AgNO}_3) = 42 \text{ г} \cdot 0,06 = 2,52 \text{ г.}$$

$$3. \nu(\text{AgNO}_3) = \frac{2,52 \text{ г}}{170 \text{ г/моль}} = 0,015 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{0,25 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,011 \text{ моль.}$$



$$\frac{0,015}{1} > \frac{0,011}{1}$$

Нитрат серебра в избытке, хлороводород реагирует полностью.

$$5. x = \nu(\text{AgCl}) = 0,011 \text{ моль.}$$

$$6. m(\text{AgCl}) = 143,5 \text{ г/моль} \cdot 0,011 \text{ моль} = 1,578 \text{ г} \approx 1,6 \text{ г.}$$

Ответ: при растворении хлороводорода в растворе нитрата серебра в осадок выпадает хлорид серебра массой 1,6 г.

¹ Из учебника Рудзитис Г. Е., Фельдман Ф. Г. Химия 11. М.: Просвещение, 1992. С. 140.

Задача 6.¹ Через суспензию, содержащую 19,36 г гидроксида кальция, пропустили 8 л газовой смеси (при н. у.), содержащей азот, оксид углерода (II) и 39,2% оксида углерода (IV) по объему. Вычислите массу и количество образовавшегося осадка после полного поглощения оксида углерода (IV).

Анализ условия задачи

- | | |
|--|--|
| 1. Что дано? | 1. Масса гидроксида кальция $m[\text{Ca}(\text{OH})_2]$,
объем газовой смеси V (см.) и объемная
доля оксида углерода (IV), $\varphi(\text{CO}_2)$. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Массу и количество карбоната кальция. |
| 3. Что надо вычис-
лить, прежде чем на-
ходить массу осадка? | 3. Какое вещество реагирует полностью. |
| 4. Что для этого надо
знать? | 4. Количества веществ, вступивших в
реакцию. |
| 5. Какие вещества
вступают в реакцию? | 5. Гидроксид кальция и оксид углеро-
да (IV). |

Запись решения

Дано:

$$m[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 19,36 \text{ г}$$

$$V(\text{см.}) = 8 \text{ л}$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = 39,2\% = 0,392$$

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

$$\nu(\text{CaCO}_3) = ?$$

$$M[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 74 \text{ г/моль}$$

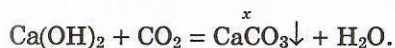
$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$\nu = \frac{V}{V_m}; \nu = \frac{m}{M}$$

Решение

1. Уравнение реакции:



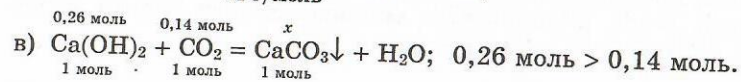
2. Какое вещество в избытке?

$$a) V(\text{CO}_2) = 8 \text{ л} \cdot 0,392 = 3,136 \text{ л,}$$

¹ Из учебника Фельдман Ф. Г., Рудзитис Г. Е. Основы общей химии. М.: Просвещение, 1989. С. 43.

$$v(\text{CO}_2) = \frac{3,136 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,14 \text{ моль};$$

$$\text{б) } v[\text{Ca}(\text{OH})_2] = \frac{19,36 \text{ г}}{74 \text{ г/моль}} = 0,26 \text{ моль};$$



Гидроксид кальция в избытке, а оксид углерода (IV) реагирует полностью.

3. Найдем количество и массу карбоната кальция:

$$x = v(\text{CaCO}_3) = 0,14 \text{ моль};$$

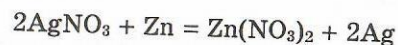
$$m(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль} \cdot 0,14 \text{ моль} = 14 \text{ г}.$$

Ответ: образовался осадок карбоната кальция количеством 0,14 моль и массой 14 г.

Задача 7.¹ В 2%-ный раствор нитрата серебра массой 170 г погрузили цинковую пластину массой 10 г. Определите массу пластины после прекращения реакции.

Пояснение

По уравнению реакции



цинк переходит в раствор в виде соли, а серебро осаждается на пластине. Масса пластины возрастает на величину разности масс этих металлов.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 170 \text{ г}$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = 2\% \text{ или } 0,02$$

$$m(\text{Zn}) = 10 \text{ г}$$

$$m(\text{пласт.}) = ?$$

$$M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при реакции:

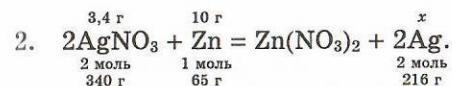
$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})}; \quad m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega; \quad m = M \cdot v;$$

Решение

I способ

$$1. \quad m(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г} \cdot 0,02 = 3,4 \text{ г}.$$

¹ Из учебника Фельдман Ф. Г., Рудзитис Г. Е. Основы общей химии. М.: Просвещение, 1989. С. 96.



$$\frac{3,4}{340} < \frac{10}{65}.$$

Цинк в избытке, нитрат серебра реагирует полностью.

3. Массу серебра, осевшего на пластине, вычислим из уравнения реакции:

$$\frac{3,4}{340} = \frac{x}{216}, \quad x = \frac{3,4 \cdot 216}{340} = 2,16 \text{ г}.$$

4. Массу цинка, перешедшего в раствор, вычислим аналогичным образом:

$$\frac{3,4}{340} = \frac{x}{65}, \quad x = \frac{3,4 \cdot 65}{340} = 0,65 \text{ г}.$$

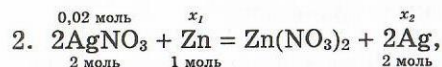
5. Увеличение массы пластины: $2,16 \text{ г} - 0,65 \text{ г} = 1,51 \text{ г}$.

6. Масса пластины после прекращения реакции:

$$10 \text{ г} + 1,51 \text{ г} = 11,51 \text{ г}.$$

II способ

$$1. \quad v(\text{AgNO}_3) = \frac{3,4 \text{ г}}{170 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}.$$



$$x_1 = \frac{0,02 \cdot 1}{2} = 0,01 \text{ моль}, \quad x_2 = \frac{0,02 \cdot 2}{2} = 0,02 \text{ моль}.$$

0,01 моль цинка переходит в раствор в виде соли. 0,02 моль серебра осаждается на пластине.

3. Масса цинка, перешедшего в раствор:

$$m(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль} \cdot 0,01 \text{ моль} = 0,65 \text{ г},$$

масса серебра, осажденного на пластине:

$$m(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль} \cdot 0,02 \text{ моль} = 2,16 \text{ г}.$$

4. Масса пластины после прекращения реакции:

$$10 \text{ г} + (2,16 \text{ г} - 0,65 \text{ г}) = 11,51 \text{ г}.$$

III способ

$$\Delta m = 216 - 65 = 151 \text{ г (по уравнению);}$$

$$2 \text{ моль } (\text{AgNO}_3) - (\Delta m) - 151 \text{ г},$$

$$0,02 \text{ моль } (\text{AgNO}_3) - x \text{ г}.$$

$$x = \frac{0,02 \cdot 151}{2} = 1,49 \text{ г.}$$

$$m_{\text{пласт.}} = 10 + 1,51 = 11,51 \text{ г.}$$

Ответ: масса пластины после прекращения реакции равна 11,51 г.

6. Вычисления по термохимическим уравнениям

Химические реакции, протекающие с выделением энергии, называются *экзотермическими*, а с поглощением — *эндотермическими*. Количество энергии, выделившееся или поглотившееся в результате реакции, называется *тепловым эффектом реакции*.

Уравнение реакции, в котором указан тепловой эффект, называется *термохимическим*.

Для экзотермических реакций тепловой эффект положительный, для эндотермических — отрицательный.

6.1. Вычисление теплового эффекта реакции и составление термохимического уравнения

Задача 1. При восстановлении алюминием железа из 100 г оксида железа (III) выделилось 476 кДж энергии. Определить тепловой эффект реакции.

Анализ условия задачи

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Что дано? | 1. Масса вещества, вступившего в реакцию, и количество выделившейся энергии. |
| 2. Что нужно найти? | 2. Тепловой эффект реакции. |
| 3. Что для этого надо сделать? | 3. Составить уравнение реакции и произвести вычисление количества энергии, выделившейся согласно уравнению. |

Запись решения

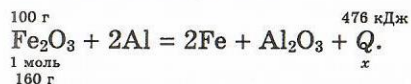
$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 100 \text{ г} \\ Q = 476 \text{ кДж} \end{array}$$

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \text{ г/моль}$$

Найди тепловой эффект реакции.

Решение

1. Уравнение реакции:



2. m (1 моль Fe_2O_3) = 160 г.

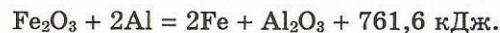
Согласно условию задачи: 100 г Fe_2O_3 выделяют 476 кДж.

По уравнению реакции: 160 г Fe_2O_3 выделяют x кДж;

$$\frac{100}{160} = \frac{476}{x}, \quad x = \frac{160 \cdot 476}{100} = 761,6 \text{ (кДж)}.$$

Ответ: тепловой эффект реакции + 761,6 кДж.

Термохимическое уравнение:



6.2. Вычисление теплоты образования и теплоты сгорания

Теплота образования — это количество энергии, которое выделяется при образовании 1 моль вещества из простых веществ.

Теплотой сгорания называется количество энергии, которое выделяется при сгорании 1 моль вещества.

По теплоте сгорания можно вычислять количество теплоты, выделяющейся в результате сгорания определенной массы вещества, и наоборот, массу вещества для получения необходимого количества энергии.

Значения теплот образования (обозначения — $q_{\text{обр.}}$) и сгорания ($q_{\text{сгор.}}$) приводятся в справочниках.

Задача 2. При сгорании 3,27 г цинка выделилось 174 кДж энергии. Вычислить теплоту образования оксида цинка.

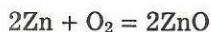
$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ m(\text{Zn}) = 3,27 \text{ г} \\ Q = 174 \text{ кДж} \end{array}$$

$$M(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль}$$

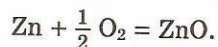
$$q_{\text{обр.}} = ?$$

Решение

1. Уравнение реакции:



перепишем в расчете на 1 моль Zn:



2. m (1 моль Zn) = 65 г.

Согласно условию задачи: при сгорании 3,27 г Zn выделяется 174 кДж, согласно уравнению реакции: при сгорании 65 г Zn выделяется x кДж;

$$\frac{3,27}{65} = \frac{174}{x}, \quad x = \frac{65 \cdot 174 \text{ кДж}}{3,27} = 3458,72 \text{ кДж}.$$

Ответ: теплота образования оксида цинка 3458,72 кДж.

Задача 3. Вычислите теплоту образования оксида углерода (II), если известно, что теплота образования оксида углерода (IV) равна 402 кДж, а теплота сгорания оксида углерода (II) равна 285 кДж.

Дано:

$$q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 402 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{сгор.}}(\text{CO}) = 285 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{обр.}}(\text{CO}) = ?$$

Решение

1. Оксид углерода (II) не образуется из простых веществ, а образуется оксид углерода (IV):



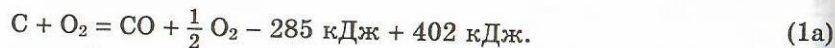
Уравнение реакции горения оксида углерода (II):



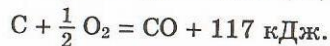
Преобразуем уравнение (2):



и подставим вместо CO_2 его значение из уравнения (2) в уравнение (1):



Сократив уравнение (1a), получим



Ответ: теплота образования оксида углерода (II) 117 кДж.

7. Задачи на смеси

Задачи этого типа решаются алгебраическим способом.

Задача 1. Для превращения смеси гидроксида натрия и карбоната натрия массой 1 г в хлорид натрия израсходовали 0,8677 г хлороводорода. Вычислить массу гидроксида натрия в смеси.

Дано:

$$m(\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3) = 1 \text{ г}$$

$$m(\text{HCl}) = 0,8677 \text{ г}$$

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

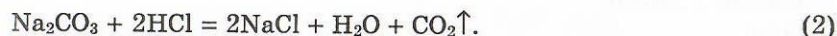
$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Решение

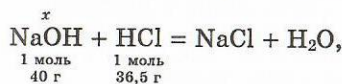
1 способ

1. Составим уравнения реакций:



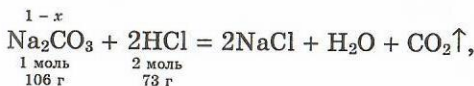
2. Обозначим массу гидроксида натрия через x , тогда масса карбоната натрия будет равна $(1 - x)$.

3. Найдем массу хлороводорода из уравнения (1):



$$m(\text{HCl}) = \frac{36,5 \cdot x}{40}$$

и из уравнения (2):



$$m(\text{HCl}) = \frac{73 - 73x}{106}$$

4. Составим алгебраическое уравнение и решим его:

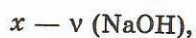
$$\frac{36,5x}{40} + \frac{73 - 73x}{106} = 0,8677,$$

$$0,91x + 0,7 \cdot (1 - x) = 0,8677, \text{ т. е.}$$

$$0,21x = 0,1677, \quad x = 0,8, \text{ т. е. } m(\text{NaOH}) = 0,8 \text{ г.}$$

II способ

Обозначим:



Тогда:

$$\begin{cases} 40x + 106y = 1 \\ x + 2y = 0,024, \end{cases}$$

$$y = \frac{0,024 - x}{2},$$

$$40x + 53(0,024 - x) = 1,$$

$$x = 0,02 \cdot 40 = 0,8 \text{ г.}$$

Ответ: в смеси содержится гидроксид натрия массой 0,8 г.

Задача 2. При обработке смеси карбоната и гидрокарбоната натрия массой 6,98 г соляной кислотой выделился газ объемом 1,568 л, измеренный при н. у. Вычислить массовые доли компонентов в смеси.

Дано:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3) = 6,98 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 1,568 \text{ л (н. у.)}$$

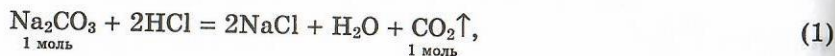
$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3), \omega(\text{NaHCO}_3) = ?$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Составим уравнения реакций:



2. Можно ввести два неизвестных: x — число моль Na_2CO_3 и y — число моль NaHCO_3 .

Из уравнений реакций видно, что количества солей и углекислого газа одинаковы. Из уравнения (1) следует:

1 моль Na_2CO_3 дает 1 моль CO_2 ,

значит, x моль Na_2CO_3 даст x моль CO_2 .

Аналогично из уравнения (2):

1 моль NaHCO_3 образует 1 моль CO_2 ,

значит, y моль NaHCO_3 образует y моль CO_2 .

3. Количество углекислого газа, выделившегося согласно условию задачи, определим по формуле

$$\nu = \frac{V}{V_m}; \quad \nu = \frac{1,568 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,07 \text{ моль.}$$

4. Составим алгебраическое уравнение с двумя неизвестными: $x + y = 0,07$.

5. Второе уравнение составим, используя сумму масс.

Масса x моль $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106x$.

Масса y моль $\text{NaHCO}_3 = 84y$.

Сумма масс, согласно условию, равна 6,98 г, т. е.

$$106x + 84y = 6,98.$$

6. Решаем систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} x + y = 0,07 \\ 106x + 84y = 6,98, \end{cases}$$

$$y = 0,07 - x,$$

$$106x + 84(0,07 - x) = 6,98;$$

$$22x = 1,1; \quad x = 0,05, \text{ т. е. } \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,05 \text{ моль.}$$

$$7. \quad m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль} \cdot 0,05 \text{ моль} = 5,3 \text{ г.}$$

$$8. \quad \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{5,3 \text{ г}}{6,98 \text{ г}} \cdot 100\% = 76\%,$$

$$\omega(\text{NaHCO}_3) = 100\% - 76\% = 24\%.$$

Ответ: в исходной смеси массовая доля карбоната натрия составляет 76%, массовая доля гидрокарбоната 24%.

Часть VI

Задачи, предлагавшиеся на вступительных экзаменах в вузы и химических олимпиадах

Задача 1. Какое теоретически возможное количество этилацетата можно получить, исходя из 40 г технического карбида кальция, содержащего 20% примесей?

Пояснение

Сложный эфир этилацетат можно получить реакцией этерификации — при взаимодействии уксусной кислоты и этилового спирта. Оба эти продукта можно получить из ацетилена через уксусный альдегид (реакция гидратации), который при окислении дает уксусную кислоту, а при восстановлении — этиловый спирт.

Дано:

$$m(\text{техн. CaC}_2) = 40 \text{ г}$$

$$\omega(\text{пр.}) = 20\% = 0,2$$

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = ?$$

$$M(\text{CaC}_2) = 64 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$\omega(\text{пр.}) = \frac{m(\text{пр.})}{m(\text{смеси})}$$

$$m(\text{пр.}) = m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{пр.}); \nu = \frac{m}{M}$$

Решение

I способ

1. Определим количество карбида кальция:

а) $m(\text{пр.}) = 40 \text{ г} \cdot 0,2 = 8 \text{ г};$

б) $m(\text{CaC}_2) = 40 \text{ г} - 8 \text{ г} = 32 \text{ г};$

в) $\nu(\text{CaC}_2) = \frac{32 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}.$

2. Разлагая карбид кальция водой, получаем ацетилен:



$$x = 0,5 \text{ моль},$$

а из него по реакции Кучерова — ацетальдегид:

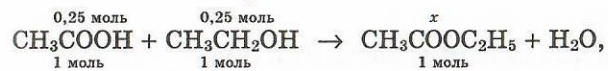


$$x = 0,5 \text{ моль}.$$

Далее из 0,5 моль ацетальдегида надо получить этанол и уксусную кислоту:



При этом ацетальдегид (уксусный альдегид) надо разделить поровну, так как реакция этерификации протекает с равными количествами спирта и кислоты:



$$x = \nu(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,25 \text{ моль}.$$

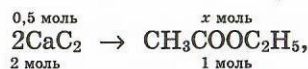
II способ

1. Составив уравнения реакций и убедившись, что весь углерод карбида кальция переходит в этилацетат, составим стехиометрическую схему и по ней произведем расчет.

Таким образом, действие 1 то же, что и в способе I.

2. Составляем уравнения реакций (1)—(4) без расчетов.

3. Составляем схему:



уравняв по углероду, и решаем пропорцию:

$$\frac{0,5}{2} = \frac{x}{1}, \quad x = \frac{0,5 \cdot 1}{2} = 0,25 \text{ моль, т. е.}$$

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,25 \text{ моль}.$$

Ответ: из 40 г технического карбида кальция, содержащего 20% примесей, теоретически можно получить 0,25 моль этилацетата.

Задача 2. При растворении смеси опилок меди, железа и золота в концентрированной азотной кислоте образовалось 6,72 л (н. у.) газа и 8,55 г нерастворившегося остатка. При растворении такой же навески в соляной кислоте выделилось 3,36 л газа (н. у.). Определить процентный состав смеси.

Пояснение

1. С концентрированной азотной кислотой реагирует только медь с выделением оксида азота (IV), а нерастворившийся остаток — это золото и железо.

2. В соляной кислоте растворяется только железо, и выделенный газ — водород.

Дано:

$$V(\text{NO}_2) = 6,72 \text{ л}$$

$$m(\text{Fe} + \text{Au}) = 8,55 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2) = 3,36 \text{ л}$$

$$\omega(\text{Cu}), \omega(\text{Fe}),$$

$$\omega(\text{Au}) = ?$$

$$M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль}$$

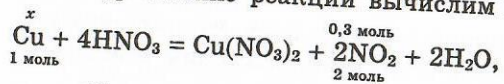
$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Определим количество оксида азота (IV):

$$v = \frac{V}{V_m}, \quad v(\text{NO}_2) = \frac{6,72 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

2. По уравнению реакции вычислим количество меди:



$$x = v(\text{Cu}) = 0,15 \text{ моль,}$$

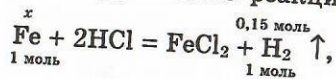
а затем узнаем ее массу:

$$m = M \cdot v, \quad m(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль} \cdot 0,15 \text{ моль} = 9,6 \text{ г.}$$

3. Количество водорода:

$$v(\text{H}_2) = \frac{3,36 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$

4. По уравнению реакции вычислим количество железа:



$$x = v(\text{Fe}) = 0,15 \text{ моль,}$$

а затем узнаем его массу:

$$m(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль} \cdot 0,15 \text{ моль} = 8,4 \text{ г.}$$

$$5. \text{ Масса золота } m(\text{Au}) = 8,55 \text{ г} - 8,4 \text{ г} = 0,15 \text{ г.}$$

$$6. \text{ Масса смеси: } m(\text{смеси}) = 9,6 \text{ г} + 8,55 \text{ г} = 18,15 \text{ г.}$$

7. Массовые доли металлов в смеси:

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{9,6 \text{ г}}{18,15 \text{ г}} \cdot 100\% = 52,89\%;$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{8,4 \text{ г}}{18,15 \text{ г}} \cdot 100\% = 46,28\%;$$

$$\omega(\text{Au}) = \frac{0,15 \text{ г}}{18,15 \text{ г}} \cdot 100\% = 0,83\%.$$

Ответ: процентный состав смеси: медь — 52,89%, железо — 46,28%, золото — 0,83%.

Задача 3. Смесь карбоната кальция, хлорида калия и дихромата калия массой 46,85 г обработали избытком концентрированной соляной кислоты. При этом образовались газообразные вещества объемом 8,96 л (н. у.). При пропускании этих газов над нагретой железной проволокой произошло увеличение массы на 21,3 г. Определить количество веществ в смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 46,85 \text{ г}$$

$$V(\text{газов}) = 8,96 \text{ л (н. у.)}$$

$$\Delta m(\text{пров.}) = 21,3 \text{ г}$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{KCl}) = 74,5 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Cl}_2) = 71 \text{ г/моль}$$

$$v(\text{CaCO}_3), v(\text{KCl}),$$

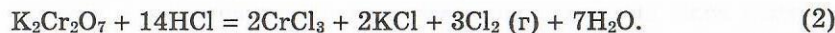
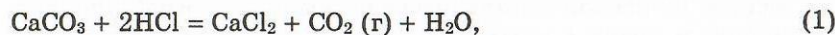
$$v(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = ?$$

Формулы, используемые при решении:

$$v = \frac{m}{M}; \quad v = \frac{V}{V_m}.$$

Решение

1. Составим уравнения реакций:



Следовательно, газовая смесь состоит из углекислого газа и хлора. Из этих двух газов железо реагирует с хлором:



2. Масса проволоки увеличилась за счет реакции железа с хлором.

ром, т. е. если с железом прореагировал весь хлор без остатка, то

$$m(\text{Cl}_2) = 21,3 \text{ г} \text{ и } \nu(\text{Cl}_2) = \frac{21,3 \text{ г}}{71 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

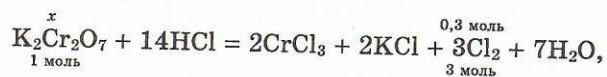
3. Вычислим количество газовой смеси:

$$\nu(\text{смеси}) = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

4. Вычислим количество углекислого газа в смеси:

$$\nu(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль} - 0,3 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль.}$$

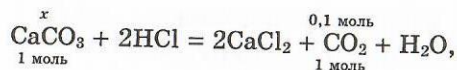
5. По уравнению (2) вычислим количество дихромата калия и его массу:



$$x = 0,1 \text{ моль,}$$

$$m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 29,4 \text{ г.}$$

6. По уравнению (1) вычислим количество карбоната кальция и его массу:



$$m(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 10 \text{ г.}$$

7. Вычислим массу и количество хлорида калия:

$$m(\text{KCl}) = 46,85 \text{ г} - (29,4 \text{ г} + 10 \text{ г}) = 7,45 \text{ г,}$$

$$\nu(\text{KCl}) = \frac{7,45 \text{ г}}{74,5 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$

Ответ: смесь состояла из 0,1 моль карбоната кальция, 0,1 моль хлорида калия, 0,1 дихромата калия.

Задача 4. Тонкая металлическая проволока массой 32 г при опускании в колбу с газом раскаляется и сгорает. Если через раствор соли двухвалентного металла, образующейся в результате сгорания, пропустить ток сероводорода, то выпадет черный осадок массой 48 г. Определить, из какого металла сделана проволока. Вычислить массу оксида марганца (IV) и объем 36,5%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$), которые нужно взять для получения неизвестного газа, необходимого для полного сгорания проволоки.

Анализ условия задачи

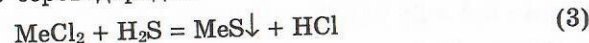
1. Что из- 1. Масса проволоки, сгоревшей в неизвестном газе. известно? Образующаяся соль двухвалентного металла реагирует с сероводородом, образуя черный осадок. Для получения неизвестного газа берут MnO_2 и HCl .

2. Что из 2. Неизвестный газ получают по реакции этого сле- $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} = \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$, (1)
дует? т. е. это хлор.

В результате сгорания образовался хлорид двухвалентного металла:



При реакции с сероводородом



выпал черный осадок. Скорее всего, это сульфид меди. Но это надо доказать.

Запись решения

Дано:

$$m(\text{Me}) = 32 \text{ г}$$

$$m(\text{MeS}) = 48 \text{ г}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 36,5\%$$

$$\rho(\text{р-ра HCl}) = 1,19 \text{ г/мл}$$

$$m(\text{MnO}_2) = ?$$

$$V(\text{р-ра HCl}) = ?$$

$$M(\text{MnO}_2) = 87 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad V = \frac{m}{\rho}.$$

Решение

1. Докажем, что неизвестный металл — это медь. Примем молярную массу Me за x . Тогда $\nu(\text{Me}) = \frac{32}{x}$ и $M(\text{MeS}) = x + 32$,

$$\text{а } \nu(\text{MeS}) = \frac{48}{32 + x}.$$

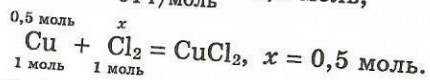
Из уравнений реакции (2) и (3) видно, что 1 моль металла образует 1 моль сульфида, следовательно,

$$\nu(\text{Me}) = \nu(\text{MeS}), \text{ т. е. } \frac{32}{x} = \frac{48}{32 + x}.$$

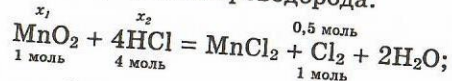
Решив уравнение относительно x , получаем $x = 64$, т. е. $M_r(\text{Me}) = 64$, значит, это медь.

2. Определим количества меди и хлора, прореагировавших по уравнению (2):

$$v(\text{Cu}) = \frac{32 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль},$$



3. По уравнению реакции (1) найдем количества оксида марганца (IV) и хлороводорода:



$$x_1 = 0,5 \text{ моль}; \quad v(\text{MnO}_2) = 0,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{MnO}_2) = 87 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 43,5 \text{ г};$$

$$x_2 = 4 \cdot 0,5 = 2; \quad v(\text{HCl}) = 2 \text{ моль};$$

$$m(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ моль} = 73 \text{ г}.$$

4. Вычислим массу раствора соляной кислоты и его объем

$$m(\text{р-ра}) = \frac{m_{\text{в}}}{\omega}; \quad m(\text{р-ра}) \text{ HCl} = \frac{73 \text{ г}}{0,365} = 200 \text{ г}.$$

$$V(\text{р-ра}) = \frac{200 \text{ г}}{1,19 \text{ г/мл}} = 168 \text{ мл}.$$

Ответ: медная проволока массой 32 г сгорает в хлоре, для получения которого необходимо взять 43,5 г оксида марганца и 168 мл соляной кислоты с массовой долей 36,5%.

Задача 5. Через смесь бензола, анилина и фенола массой 50 г пропустили ток хлороводорода до прекращения реакции. Образовавшийся осадок массой 26 г отфильтровали, на фильтрат подействовали раствором едкого натра, в результате чего он разделился на два слоя. Верхний слой имеет объем 17,7 мл и плотность 0,86 г/мл. Вычислить процентный состав исходной смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 50 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = 26 \text{ г}$$

$$V(\text{C}_6\text{H}_6) = 17,7 \text{ мл}$$

$$\rho(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,86 \text{ г/мл}$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = ?$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_6) = ?$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = ?$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 93 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3\text{Cl}) = 129,5 \text{ г/моль}$$

Формулы, используемые при решении:

$$m = \rho \cdot V, \quad \omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\%.$$

Решение

1. Из трех компонентов смеси реагирует с HCl только анилин, значит, по реакции



образовался хлорид фениламмония, который выпал в осадок, а бензол и фенол остались в фильтрате.

Из двух компонентов фильтрата со щелочью реагирует фенол по реакции



образуя водный раствор фенолята натрия (нижний слой).

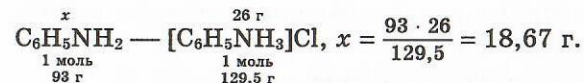
Бензол, поскольку он легче, образует верхний слой.

2. Так как требуется определить процентный состав исходной смеси, необходимо знать массы компонентов.

а) Легче всего определить массу бензола:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,86 \text{ г/мл} \cdot 17,7 \text{ мл} = 15,22 \text{ г}.$$

б) По уравнению реакции (1) вычислим массу анилина:



3. Определим массовые доли:

а) бензола

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{15,22 \text{ г}}{50 \text{ г}} \cdot 100\% = 30,44\%;$$

б) анилина

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{18,67 \text{ г}}{50 \text{ г}} \cdot 100\% = 37,34\%;$$

в) фенола

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 100\% - (30,44 + 37,34)\% = 32,22\%.$$

Ответ: процентный состав смеси: бензол — 30,44%, анилин — 37,34%, фенол — 32,22%.

Задача 6. Смешали два раствора с равными массами и равными долями 5% сульфида натрия и хлорида меди (II). Вычислить массовые доли веществ в растворе после сливания.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{Na}_2\text{S}) = m(\text{р-ра } \text{CuCl}_2)$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{S}) = \omega(\text{CuCl}_2) = 5\%$$

$$\omega(\text{в-ва}) = ?$$

$$M(\text{Na}_2\text{S}) = 78 \text{ г/моль}$$

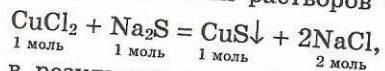
$$M(\text{CuCl}_2) = 135 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{CuS}) = 96 \text{ г/моль}$$

Решение

1. При сливании растворов происходит реакция



в результате которой в растворе будет хлорид натрия и то из исходных веществ, которое было в избытке.

3. Вычислим количество сульфида натрия и хлорида меди (II) по формуле $v = \frac{m}{M}$.

Массовая доля 5% означает, что в 100 г раствора содержится 5 г соли и $100 \text{ г} - 5 \text{ г} = 95 \text{ г}$ воды. Следовательно,

$$v(\text{CuCl}_2) = \frac{5 \text{ г}}{135 \text{ г/моль}} = 0,037 \text{ моль};$$

$$v(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{5 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 0,064 \text{ моль}.$$

Так как $v(\text{Na}_2\text{S}) > v(\text{CuCl}_2)$, сульфид натрия в избытке, хлорид меди (II) реагирует полностью.

4. Количество и масса сульфида натрия в растворе:

$$v(\text{Na}_2\text{S}) = 0,064 - 0,037 = 0,027 \text{ моль},$$

$$m(\text{Na}_2\text{S}) = 78 \text{ г/моль} \cdot 0,027 \text{ моль} = 2,11 \text{ г}.$$

5. Количество и масса хлорида натрия в растворе:

$$v(\text{NaCl}) = 0,037 \cdot 2 = 0,074 \text{ моль},$$

$$m(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль} \cdot 0,074 \text{ моль} = 4,33 \text{ г}.$$

6. Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaCl}) + m(\text{Na}_2\text{S}),$$

$$m(\text{р-ра}) = 190 \text{ г} + 4,33 \text{ г} + 2,11 \text{ г} = 196,44 \text{ г}.$$

7. Массовые доли солей в растворе вычисляем по формуле

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%;$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{4,33 \text{ г}}{196,44 \text{ г}} \cdot 100\% = 2,20\%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{2,11 \text{ г}}{196,44 \text{ г}} \cdot 100\% = 1,07\%.$$

Ответ: в растворе после сливания содержится хлорид натрия массовой долей 2,20% и сульфид натрия массовой долей 1,07%.

Задача 7. Оксид углерода (IV) объемом 5,6 л при н. у. пропустили через 20%-ный раствор гидроксида натрия объемом 164 мл. Определить, какие вещества и в каких количествах будут содержаться в растворе после реакции и какова массовая доля каждого из них в этом растворе.

Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 5,6 \text{ л (н. у.)}$$

$$V(\text{р-ра } \text{NaOH}) = 164 \text{ мл}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 20\%$$

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

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$$

$$\rho(\text{р-ра } \text{NaOH}) = 1,22 \text{ г/мл}$$

Какие вещества в растворе?

$$v = ?, \omega = ?$$

Решение

1. В зависимости от количеств реагирующих веществ реакции могут быть выражены следующими уравнениями:



2. Определим, по какому из уравнений пойдет реакция в данном случае, т. е. какой из реагентов в избытке.

а) Вычислим количество оксида углерода (IV):

$$v = \frac{V}{V_m}, \quad v(\text{CO}_2) = \frac{5,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,25 \text{ моль}.$$

б) Вычислим количество гидроксида натрия: масса раствора

$$m = \rho \cdot V, \quad m(\text{р-ра } \text{NaOH}) = 1,22 \text{ г/мл} \cdot 164 \text{ мл} = 200 \text{ г};$$

масса гидроксида натрия в растворе

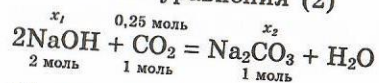
$$m(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega}{100\%}, \quad m(\text{NaOH}) = \frac{200 \text{ г} \cdot 20\%}{100\%} = 40 \text{ г},$$

количество вещества NaOH

$$v = \frac{m}{M}, \quad m(\text{NaOH}) = \frac{40 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль}.$$

в) $v(\text{NaOH}) > v(\text{CO}_2)$, реакция идет по уравнению (2), так как гидроксид натрия в избытке.

3. Вычислим количества веществ, оставшихся в растворе, и их массы. Из уравнения (2)



видим, что в реакцию вступает 0,5 моль гидроксида натрия. Так как гидроксид натрия в избытке, то после реакции в растворе будет содержаться

$$v(\text{NaOH}) = 1 \text{ моль} - 0,5 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль},$$

$$m(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 20 \text{ г}.$$

Из уравнения реакции $x_2 = v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,25 \text{ моль}$, отсюда

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 26,5 \text{ г}.$$

$$4. \text{ Масса раствора: } m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра}) \text{ NaOH} + m(\text{CO}_2), \quad m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 11 \text{ г},$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г} + 11 \text{ г} = 211 \text{ г}.$$

5. Массовые доли веществ в растворе

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%;$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{20 \text{ г}}{211 \text{ г}} \cdot 100\% = 9,48\%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{26,5 \text{ г}}{211 \text{ г}} \cdot 100\% = 12,56\%.$$

Ответ: после окончания реакции в растворе содержится 0,5 моль гидроксида натрия (массовая доля 9,48%) и 0,25 моль карбоната натрия (массовая доля 12,56%).

Задача 8. Определить состав соли и ее массовую долю в растворе, образовавшемся при пропускании всего оксида углерода (IV), полученного при сжигании метана объемом 2,24 л и через 32%-ный раствор едкого натра объемом 19,1 мл и плотностью 1,35 г/мл.

Дано:

$$V(\text{CH}_4) = 2,24 \text{ л (н. у.)}$$

$$V(\text{р-ра}) \text{ NaOH} = 19,1 \text{ мл}$$

$$\rho(\text{р-ра}) \text{ NaOH} = 1,35 \text{ г/мл}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 32\%$$

Какая соль в растворе?

$$\omega(\text{соли}) = ?$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Запишем уравнения реакций:



и



или



в зависимости от того, какой из реагентов взят в избытке.

2. Чтобы определить состав соли, надо узнать, по какому из уравнений идет реакция.

Найдем количество оксида углерода (IV) и гидроксида натрия.

Из уравнения (1)

$$V(\text{CO}_2) = 2,24 \text{ л}, \quad v(\text{CO}_2) = \frac{2,24 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,1 \text{ моль}.$$

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega,$$

$$m(\text{NaOH}) = m(\text{р-ра}) \text{ NaOH} \cdot 0,32 = \rho \cdot V(\text{р-ра}) \text{ NaOH} \cdot 0,32;$$

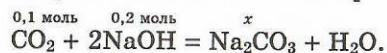
$$v = \frac{m}{M},$$

$$v(\text{NaOH}) = \frac{\rho \cdot V(\text{р-ра}) \text{ NaOH} \cdot 0,32}{M(\text{NaOH})},$$

$$v(\text{NaOH}) = \frac{1,35 \text{ г/мл} \cdot 19,1 \text{ мл} \cdot 0,32}{40 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{NaOH}) > v(\text{CO}_2).$$

Значит, реакция идет по уравнению (3), так как гидроксид натрия взят в избытке. В растворе образуется карбонат натрия.



3. Для определения массовой доли соли в растворе надо знать ее массу и массу раствора.

По уравнению (3) видно, что

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \text{ моль}.$$

Отсюда

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 10,6 \text{ г}.$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра}) \text{ NaOH} + m(\text{CO}_2),$$

$$m(\text{р-ра NaOH}) = 1,35 \text{ г/мл} \cdot 19,1 \text{ мл} = 25,78 \text{ г},$$

$$m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 4,4 \text{ г},$$

$$m(\text{р-ра}) = 25,78 \text{ г} + 4,4 \text{ г} = 30,2 \text{ г}.$$

4. Определяем массовую долю карбоната натрия:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%,$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10,6 \text{ г}}{30,2 \text{ г}} \cdot 100\% = 35,10\%.$$

Отв е т: в растворе образовался карбонат натрия массовой долей 35,10%.

Задача 9. При сжигании предельного углеводорода объемом 100 см^3 получается углекислый газ объемом 300 см^3 , измеренный при н. у. О каком углеводороде идет речь, какова его молекулярная формула?

Дано:

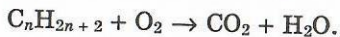
$$V(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 100 \text{ см}^3$$

$$V(\text{CO}_2) = 300 \text{ см}^3$$

МФВ = ?

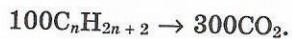
Решение

1. Схема реакции горения:

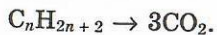


2. В уравнениях реакций с газообразными веществами количества веществ прямо пропорциональны объемам, т. е. коэффициенты показывают объемные отношения.

Следовательно,

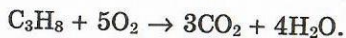


Сократив на 100, получим:



3. Так как весь углерод из предельного углеводорода переходит в углекислый газ, то $n = 3$ и формула углеводорода C_3H_8 .

4. Уравнение реакции горения:



Отв е т: молекулярная формула предельного углеводорода C_3H_8 — пропан.

Задача 10. В смеси находится металлическое железо, оксид железа (II) и оксид железа (III). При восстановлении смеси массой $28,8 \text{ г}$ водородом получается вода массой $7,2 \text{ г}$. Растворение такой же навески в соляной кислоте сопровождается выделением водорода массой $0,2 \text{ г}$. Определите массовую долю каждого компонента в смеси.

Дано:

$$m(\text{Fe} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) = 28,8 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 7,2 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,2 \text{ г}$$

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{FeO}) = 72 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \text{ г/моль}$$

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

$$\omega(\text{Fe}), \omega(\text{FeO}), \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = ?$$

Решение

Чтобы вычислить массовые доли компонентов в смеси, надо знать их массы. Из трех компонентов смеси реагирует с соляной кислотой с выделением водорода только железо. Поэтому массу железа вычислим по уравнению:



$$x = \frac{56 \cdot 0,2}{2} = 5,6 \text{ г}, \text{ т. е. } m(\text{Fe}) = 5,6 \text{ г}.$$

Из компонентов смеси только оксиды вступают в реакцию восстановления:



Суммарная масса оксидов:

$$m(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) = 28,8 \text{ г} - 5,6 \text{ г} = 23,2 \text{ г}.$$

Введем обозначения: масса $\text{FeO} = x$, масса $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 23,2 \text{ г} - x$.

Тогда количества веществ:

$$v(\text{FeO}) = \frac{x}{72 \text{ г/моль}},$$

$$v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{23,2 \text{ г} - x}{160 \text{ г/моль}}.$$

Надпишем эти значения над формулами в уравнениях (2) и (3).
Количество воды, выделившееся при восстановлении оксидов:

$$v = \frac{m}{M}, \quad v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{7,2 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

Из уравнения (2)

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{x}{72}, \text{ а из уравнения (3)}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{23,2 - x}{160} \cdot 3.$$

Составим и решим алгебраическое уравнение:

$$\frac{x}{72} + \frac{69,6 - 3x}{160} = 0,4, \quad x = 7,2, \text{ т. е. } m(\text{FeO}) = 7,2 \text{ г.}$$

Найдем массу оксида железа (III):

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 23,2 \text{ г} - 7,2 \text{ г} = 16 \text{ г.}$$

Вычислим массовые доли компонентов по формуле

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\%.$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{5,6 \text{ г}}{28,8 \text{ г}} \cdot 100\% = 19,44\%,$$

$$\omega(\text{FeO}) = \frac{7,2 \text{ г}}{28,8 \text{ г}} \cdot 100\% = 25,00\%,$$

$$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{16 \text{ г}}{28,8 \text{ г}} \cdot 100\% = 55,56\%.$$

Ответ: в смеси находится металлическое железо массовой долей 19,44%, оксид железа (II) массовой долей 25,00% и оксид железа (III) массовой долей 55,56%.

Задача 11. Смесь карбоната и гидрокарбоната натрия массой 1,37 г обработали соляной кислотой. Выделившийся газ пропустили через раствор, содержащий 0,0225 моль гидроксида бария. Избыток раствора гидроксида бария отделили от осадка и нейтрализовали серной кислотой. Масса нового осадка 1,75 г. Вычислить массовые доли карбоната и гидрокарбоната натрия в исходной смеси.

Дано:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3) = 1,37 \text{ г}$$

$$v[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 0,0225 \text{ моль}$$

$$m(\text{BaSO}_4) = 1,75 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

$$\omega(\text{NaHCO}_3) = ?$$

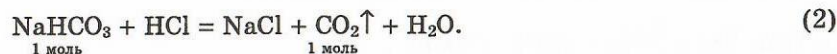
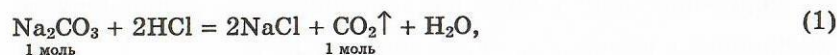
$$M(\text{BaSO}_4) = 233 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль}$$

Решение

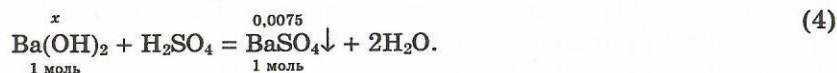
1. При обработке смеси соляной кислотой происходят следующие реакции:



Поскольку раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$ взят в избытке, происходит реакция



а избыток нейтрализуется серной кислотой:



2. Вычислим количества веществ реагентов:

а) количество гидроксида бария, оказавшегося в избытке, узнаем по уравнению (4). Зная массу осадка сульфата бария, легко вычислить его количество:

$$v = \frac{m}{M}, \quad v(\text{BaSO}_4) = \frac{1,75 \text{ г}}{233 \text{ г/моль}} = 0,0075 \text{ моль.}$$

Из уравнения (4) видно, что

$$v[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 0,0075 \text{ моль};$$

б) количество гидроксида бария, вступившего в реакцию с углекислым газом по уравнению (3), равно

$$v[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 0,0225 \text{ моль} - 0,0075 \text{ моль} = 0,015 \text{ моль};$$

в) количество углекислого газа по уравнению (3) также равно 0,015 моль;

г) количество карбоната натрия обозначим через x , а гидрокарбоната — через y . Из уравнений (1) и (2) видно, что

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) + v(\text{NaHCO}_3) = v(\text{CO}_2), \text{ т. е. } x + y = 0,015 \text{ моль.}$$

3. Определим массы компонентов в смеси по формуле $m = M \cdot v$:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106x, \quad m(\text{NaHCO}_3) = 84y, \text{ следовательно,}$$

$$106x + 84y = 1,37 \text{ г.}$$

Решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0,015 \\ 106x + 84y = 1,37, \end{cases}$$

$$y = 0,015 - x, \quad 106x + 84 \cdot (0,015 - x) = 1,37;$$

$$22x = 0,11, \quad x = 0,005 \text{ моль}, \quad y = 0,01 \text{ моль}.$$

Впрочем, значение y для дальнейших вычислений не нужно.

4. Определим массу и массовую долю карбоната натрия в смеси:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль} \cdot 0,005 \text{ моль} = 0,53 \text{ г},$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,53 \text{ г}}{1,37 \text{ г}} \cdot 100\% = 38,7\%.$$

5. Определим массовую долю гидрокарбоната натрия:

$$100\% - 38,7\% = 61,3\%.$$

Ответ: массовая доля карбоната натрия в смеси составляет 38,7%, гидрокарбоната натрия 61,3%.

Задача 12. Вычислить массу раствора нитрата серебра массовой долей 10%, необходимого для полного осаждения хлорид-ионов при взаимодействии с раствором соляной кислоты объемом 100 мл, плотностью 1,06 г/мл и массовой долей 12%.

Дано:

$$V(\text{р-ра HCl}) = 100 \text{ мл}$$

$$\rho(\text{р-ра HCl}) = 1,06 \text{ г/мл}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 12\%$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = 10\%$$

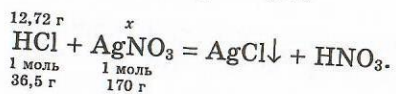
$$m(\text{р-ра AgNO}_3) = ?$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Уравнение реакции:



2. По уравнению реакции надо вычислить массу нитрата серебра, а для этого нужно прежде узнать массу хлороводорода:

$$m(\text{р-ра}) = \rho \cdot V,$$

$$m(\text{р-ра HCl}) = 1,06 \text{ г/мл} \cdot 100 \text{ мл} = 106 \text{ г};$$

$$m(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega}{100\%}, \quad m(\text{HCl}) = 106 \cdot 0,12 = 12,72 \text{ г}.$$

3. Из уравнения (1) масса нитрата серебра:

$$x = \frac{12,72 \cdot 170}{36,5} = 59,24 \text{ г}.$$

4. Вычислим массу раствора нитрата серебра:

а) 59,24 г составляют в р-ре 10%,
 x г (весь раствор) принимаем за 100%,

$$x = \frac{59,24 \text{ г} \cdot 100\%}{10\%} = 592,4 \text{ г}; \quad m(\text{р-ра AgNO}_3) = 592,4 \text{ г}.$$

$$\text{б) } m_{\text{р-ра}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{\omega};$$

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{59,24 \text{ г}}{0,1} = 592,4 \text{ г}.$$

Ответ: для полного осаждения хлорид-ионов из раствора соляной кислоты потребуется 592,4 г 10%-ного раствора нитрата серебра.

Задача 13. Газообразный углеводород объемом 3 мл и кислород объемом 25 мл реагируют в закрытом сосуде. После конденсации полученного водяного пара объем газообразного остатка стал равен 19 мл, а после обработки щелочью уменьшился до 7 мл. Установите формулу углеводорода, учитывая, что измерения производились при одинаковых условиях.

Пояснение

Все вещества, участвующие в реакции и получающиеся в результате реакции, газообразные; объемы газов измерены при одинаковых условиях, следовательно, количества веществ пропорциональны объемам.

Дано:

$$V(\text{C}_x\text{H}_y) = 3 \text{ мл}$$

$$V(\text{O}_2) = 25 \text{ мл}$$

$$V(\text{CO}_2 + \text{O}_2) = 19 \text{ мл}$$

$$V(\text{O}_2) = 7 \text{ мл}$$

$$\text{МФВ} = ?$$

Решение

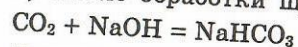
1. Обозначим углеводород формулой C_xH_y . Составим схему реакции горения: $\text{C}_x\text{H}_y + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

2. Чтобы найти x и y , надо знать коэффициенты перед формулами в уравнении, для этого вычислим объемы газов.

а) До реакции углеводород и кислород находятся в объемном отношении 3 : 25, т. е. кислород в избытке, а углеводород реагирует полностью.

б) После сгорания углеводорода и конденсации паров воды газообразными остаются O_2 и CO_2 , их суммарный объем 19 мл.

в) После обработки щелочью углекислый газ поглощается:



и остается только кислород объемом 7 мл. Следовательно,

$$V(\text{CO}_2) = 19 \text{ мл} - 7 \text{ мл} = 12 \text{ мл.}$$

г) Объем вступившего в реакцию кислорода:

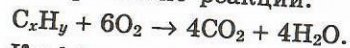
$$V(\text{O}_2) = 25 \text{ мл} - 7 \text{ мл} = 18 \text{ мл.}$$

3. Находим объемные отношения газов:

$$V(\text{C}_x\text{H}_y) : V(\text{O}_2) : V(\text{CO}_2) = 3 : 18 : 12 = 1 : 6 : 4.$$

Это коэффициенты в уравнении реакции горения.

4. Уравнение реакции:



Коэффициент перед H_2O находим, уравнив кислород. Отсюда: $x = 4$, $y = 8$.

Ответ: молекулярная формула углеводорода C_4H_8 — бутулен (бутен) или циклобутан.

Задача 14. При нагревании этанола массой 23 г с концентрированной серной кислотой образуются два органических вещества. Первое вещество — газ, обесцвечивающий 40%-ный раствор брома в четыреххлористом углероде массой 40 г. Второе вещество — легкокипящая жидкость. Какие вещества и в каких количествах получились?

Дано:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 23 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра } \text{Br}_2) = 40 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Br}_2) = 40\%$$

$$\text{МФВ}_1 = ? \quad v = ?$$

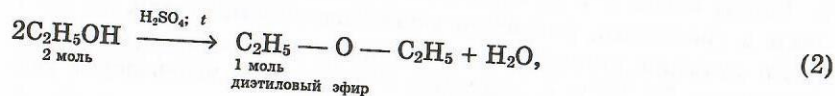
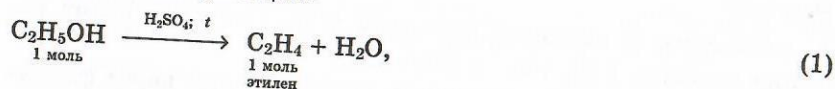
$$\text{МФВ}_2 = ? \quad v = ?$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Br}_2) = 160 \text{ г/моль}$$

Решение

1. Уравнения реакций:



2. Вычислим количество этилена. Для этого нужно знать количество обесцвеченного им брома:

$$v = \frac{m}{M}, \quad m(\text{Br}_2) = 40 \text{ г} \cdot 0,4 = 16 \text{ г},$$

$$v(\text{Br}_2) = \frac{16 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$

Из уравнения (3) видно, что 0,1 моль Br_2 обесцвечивается 0,1 моль C_2H_4 .

3. Вычислим количество диэтилового эфира. Он образовался из той части этанола, которая не пошла на получение этилена. Из уравнения (1) видно, что для образования 0,1 моль этилена потребуется 0,1 моль этанола или в единицах массы:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 4,6 \text{ г.}$$

Следовательно, на получение диэтилового эфира пошло $23 \text{ г} - 4,6 \text{ г} = 18,4 \text{ г}$ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), что составляет

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{18,4 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

Из уравнения (2) видно, что 0,4 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ образуют 0,2 моль $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$.

Ответ: при нагревании этанола массой 23 г с концентрированной серной кислотой образуется 0,1 моль этилена и 0,2 моль диэтилового эфира.

Задача 15. Гидроксид цинка массой 1,98 г растворили в азотной кислоте и из полученного раствора выкристаллизовали кристаллогидрат соли массой 5,94 г. Установите формулу этого кристаллогидрата.

Дано:

$$m[\text{Zn}(\text{OH})_2] = 1,98 \text{ г}$$

$$m(\text{кристалл.}) = 5,94 \text{ г}$$

$$M[\text{Zn}(\text{OH})_2] = 99 \text{ г/моль}$$

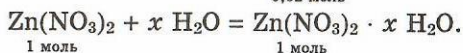
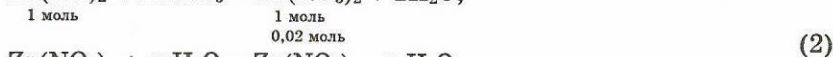
$$M[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2] = 189 \text{ г/моль}$$

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

$$\text{МФВ} = ?$$

Решение

1. Уравнения реакций:



2. Чтобы установить формулу кристаллогидрата, необходимо

знать количество воды. Для этого придется определить количества веществ всех реагентов и продуктов реакции.

а) Количество гидроксида цинка вычислим по формуле $\nu = \frac{m}{M}$:

$$\nu = [\text{Zn}(\text{OH})_2] = \frac{1,98 \text{ г}}{99 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль.}$$

б) По уравнению (1) видно, что 0,02 моль гидроксида цинка образует 0,02 моль нитрата цинка, а из уравнения (2) видим, что выкристаллизовывается 0,02 моль кристаллогидрата.

в) Количество воды определим, исходя из массы воды в 1 моль кристаллогидрата.

Для этого вычислим молярную массу кристаллогидрата по формуле $M = \frac{m}{\nu}$:

$$M [\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}] = \frac{5,94 \text{ г}}{0,02 \text{ моль}} = 297 \text{ г/моль.}$$

Масса воды в 1 моль кристаллогидрата представляет собой разность масс 1 моль кристаллогидрата и 1 моль нитрата цинка:

$$m (\text{H}_2\text{O}) = 297 \text{ г} - 189 \text{ г} = 108 \text{ г,}$$

отсюда

$$\nu (\text{H}_2\text{O}) = \frac{108 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 6 \text{ моль.}$$

Ответ: формула кристаллогидрата $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Молярные массы

АНИОНЫ	КАТИОНЫ								
	H ⁺	K ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺
OH ⁻	18	56	171	74	40	35	58	78	89
NO ₃ ⁻	63	101	261	164	85	80	148	213	179
SO ₄ ²⁻	98	174	233	136	142	132	120	342	151
J ⁻	128	166	391	294	150	145	278	408	309
Br ⁻	81	119	297	200	103	98	184	267	215
Cl ⁻	36,5	74,5	208	111	58,5	53,5	95	133,5	126
SO ₃ ²⁻	82	138	217	120	126	116	104	294	135
PO ₄ ³⁻	98	212	501	310	164	149	262	122	355
F ⁻	20	58	175	78	42	37	62	84	93
CH ₃ COO ⁻	60	98	255	158	82	77	142	204	173
CO ₃ ²⁻	62	138	197	100	106	96	84	234	115
S ²⁻	34	110	169	72	78	68	56	150	87
SiO ₃ ²⁻	78	154	213	116	122	112	100	282	131

неорганических веществ

КАТИОНЫ									
Zn ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Ag ⁺
99	103	90	107	93	93	271	98	235	125
189	238	180	242	183	183	331	188	324	170
161	392	152	400	155	155	303	160	296	312
319	433	310	437	313	313	461	318	454	235
225	292	216	296	219	219	367	223	360	188
136	158	127	162,5	130	130	278	135	271	143,5
145	344	136	352	139	139	287	144	281	296
385	147	358	141	367	367	811	382	793	419
103	109	94	113	116	116	245	102	239	127
183	229	174	233	236	236	325	182	319	167
125	284	116	292	119	119	267	124	261	124
97	200	88	208	91	91	237	96	232	248
141	332	132	340	135	135	183	140	277	184

Приложение 2

Молярные массы наиболее часто

Углеводородные радикалы	Масса радикала	Заместители и функциональные группы				
		H	CH ₃	Cl	Br	J
Предельные углеводороды						
H—		2	16	36,5	81	128
CH ₃ —	15	16	30	50,5	95	142
C ₂ H ₅ —	29	30	44	64,5	109	156
C ₃ H ₇ —	43	44	58	78,5	123	170
C ₄ H ₉ —	57	58	72	92,5	137	184
C ₅ H ₁₁ —	71	72	86	106,5	151	198
C ₆ H ₁₃ —	85	86	100	120,5	165	212
C ₁₅ H ₃₁ —	211	212	226	246,5	291	338
C ₁₆ H ₃₃ —	225	226	240	260,5	305	352
C ₁₇ H ₃₅ —	239	240	254	274,5	319	366
Непредельные углеводороды						
CH ₂ =CH—	27	28	42	62,5	107	154
CH ₂ =CH—CH ₂ —	41	42	56	76,5	121	168
CH ₂ =CH—(CH ₂) ₂ —	55	56	70	90,5	135	182
CH≡C—	25	26	40	60,5	115	152
CH=C—CH ₂ —	39	40	54	74,5	119	166
C ₁₇ H ₃₃ —	237	238	252	272,5	317	364
Ароматические углеводороды и их производные						
C ₆ H ₅ —	77	78	92	112,5	157	204

применяемых органических веществ

Заместители и функциональные группы					
—OH				—NO ₂	—NH ₂
Предельные углеводороды					
18	30	46	45	47	17
32	44	60	59	61	31
46	58	74	73	75	45
60	72	88	87	89	59
74	86	102	101	103	73
88	100	116	115	117	87
102	114	130	129	131	101
228	240	256	255	257	227
242	254	270	269	271	241
256	268	284	283	285	255
Непредельные углеводороды					
44	56	72	71	73	43
58	70	86	85	87	57
72	84	100	99	101	71
42	54	70	69	71	41
56	68	84	83	85	55
254	266	282	281	283	253
Ароматические углеводороды и их производные					
94	106	122	121	123	93

Таблица растворимости

	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺
OH ⁻		P	P	P	—	P
NO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P
Cl ⁻	P	P	P	P	H	P
S ²⁻	P	P	P	P	H	—
SO ₃ ²⁻	P	P	P	P	M	M
SO ₄ ²⁻	P	P	P	P	M	H
CO ₃ ²⁻	P	P	P	P	M	M
SiO ₃ ²⁻	H	—	P	P	H	H
PO ₄ ³⁻	P	P	P	P	H	H
CH ₃ COO ⁻	P	P	P	P	P	P

P — растворимые (больше 1 г в 100 г воды);
 M — малорастворимые (от 1 г и до 0,001 г в 100 г воды);
 H — нерастворимые (меньше 0,001 г в 100 г воды);
 черточка — разлагаются водой или не существуют.

солей и оснований в воде

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺
M	H	H	H	—	M	H	H	H
P	P	P	P	P	P	P	P	P
P	P	P	P	P	M	P	P	P
—	—	H	H	H	H	H	H	—
M	M	M	—	—	H	M	—	—
M	P	P	P	—	M	P	P	P
H	M	—	—	H	H	H	—	—
M	—	H	—	—	H	H	—	—
H	M	H	H	H	H	H	M	H
P	P	P	P	P	P	P	P	P

Приложение 4

Растворимости некоторых веществ в воде (на 1000 г воды)

Формулы веществ	Температура, °C								
	0	10	20	30	40	50	60	80	100
$Al_2(SO_4)_3$	379	381	—	389	404	—	449	—	890
$AlCl_3$	449	463	—	470	465	—	—	—	Разл.
NH_4Cl	294	332	372	414	458	504	552	656	786
$(NH_4)_2SO_4$	701	724	754	781	812	843	874	941	1020
$(NH_4)_2Cr_2O_7$	183	—	356	455	585	—	866	1150	1556
$Ba(NO_3)_2$	49,9	678	90,5	116	143	172	203	266	342
$BaCl_2$	316	337	362	387	412	437	464	522	582
KNO_3	131	212	316	460	639	—	1100	1688	2436
K_2SO_4	71,8	93	111	130	148	—	182	214	241
KCl	280	312	344	374	403	—	458	511	560
$K_2Cr_2O_7$	47	78	125	182	259	—	456	730	1000
$Ca(NO_3)_2$	1020	1146	1288	1494	1890	—	3590	—	3630
$CaCl_2$	595	650	745	1000	1155	—	1370	1470	1580
$MgSO_4$	255	304	351	397	447	504	548	—	502
$MgCl_2$	529	538	548	560	580	—	613	658	730
$CuSO_4$	143	172	205	224	287	337	395	555	770
$CuCl_2$	692	715	745	783	814	855	894	980	1105
$NaNO_3$	727	799	876	961	1049	1141	1247	1490	1760
Na_2SO_4	45	96	192	408	484	—	453	433	423
$NaCl$	357	—	359	—	364	—	372	381	394
$AgNO_3$	1222	1732	2225	2745	3219	—	4490	6040	7700

Приложение 5

Процентные концентрации и плотности растворов серной, соляной и азотной кислот и едкого натра при 20 °C

Процентная концентрация	Плотность, г/см ³			
	H_2SO_4	HNO_3	HCl	$NaOH$
4	1,025	1,020	1,018	1,043
8	1,052	1,043	1,038	1,087
12	1,080	1,066	1,057	1,131
16	1,109	1,090	1,078	1,175
20	1,139	1,115	1,098	1,219
24	1,170	1,140	1,119	1,263
28	1,202	1,167	1,139	1,306
32	1,235	1,193	1,159	1,379
36	1,268	1,221	1,179	1,390
40	1,303	1,246	1,198	1,430
44	1,338	1,272		1,469
48	1,376	1,298		1,507
52	1,415	1,322		1,560
56	1,456	1,345		1,601
60	1,498	1,367		1,643
64	1,542	1,387		
68	1,587	1,405		
72	1,634	1,422		
76	1,681	1,438		
80	1,727	1,452		
84	1,769	1,466		
88	1,802	1,477		
92	1,824	1,487		
96	1,835	1,495		
100	1,830	1,513		

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	3
Часть I. Некоторые физические величины, используемые при решении расчетных химических задач	5
1. Краткие теоретические сведения	5
1.1. Масса	5
1.2. Масса атома	6
1.3. Масса молекулы	6
1.4. Относительная атомная масса	7
1.5. Относительная молекулярная масса	8
1.6. Количество вещества	8
1.7. Молярная масса	10
1.8. Объем	10
1.9. Молярный объем	12
1.10. Плотность	12
1.11. Относительная плотность газов	14
1.12. Вычисление молярной массы газов	15
1.13. Сводная таблица физических величин	16
2. Задачи и упражнения	16
Часть II. Вычисления по формулам	23
1. Что показывает химическая формула?	23
2. Что можно вычислить по химической формуле?	24
3. Вычисление массовых долей элементов в веществе	26
4. Вычисление количества элемента в известном количестве сложного вещества и наоборот	27
5. Вычисление массы элемента по известному количеству сложного вещества и массы вещества по известному количеству элемента	29
6. Вычисления по формулам с применением понятия «массовая доля выхода продукта»	30
7. Вычисление массовых долей компонентов в смеси, в том числе примесей	33
Часть III. Вывод химической формулы вещества	38
Часть IV. Задачи на растворы	50
1. Массовая доля растворенного вещества (процентная концентрация)	51
1.1. Вычисление массовой доли и массы растворенного вещества, массы и объема раствора и растворителя	62
1.2. Задачи на смешение растворов с различным содержанием растворенного вещества	64
1.3. Расчеты, связанные с вычислением массовой доли вещества, получившегося в результате реакции растворяемого вещества с растворителем	67
2. Молярная концентрация (молярность раствора)	67
2.1. Примеры решения задач	68
2.2. Проверка усвоения понятия «молярность»	71
3. Растворимость	71
3.1. Проверка усвоения понятия «растворимость»	73
3.2. Задачи с применением коэффициента растворимости	78
Часть V. Вычисления по уравнениям реакций	78
1. Что показывает химическое уравнение?	87
2. Задачи с применением массовой и объемной доли	98
3. Вычисления по уравнениям реакций с учетом примесей	104
4. Вычисления по уравнениям реакций с применением понятия «массовая доля выхода продукта реакции от теоретически возможного»	107
5. Вычисления по уравнениям реакций, когда одно из исходных веществ взято в избытке	118
6. Вычисления по термохимическим уравнениям	118
6.1. Вычисление теплового эффекта реакции и составление термохимического уравнения	119
6.2. Вычисление теплоты образования и теплоты сгорания	121
7. Задачи на смеси	124
Часть VI. Задачи, предлагавшиеся на вступительных экзаменах в вузы и химических олимпиадах	155

Приложение 1. Молярные массы неорганических веществ	146
Приложение 2. Молярные массы наиболее часто применяемых органических веществ .	148
Приложение 3. Таблица растворимости солей и оснований в воде	150
Приложение 4. Растворимости некоторых веществ в воде (на 1000 г воды)	152
Приложение 5. Процентные концентрации и плотности растворов серной, соляной и азотной кислот и едкого натра при 20 °С	153

Валентина Казимировна РОМАНОВСКАЯ

ХИМИЯ

Решение задач

Пособие для абитуриентов и старшеклассников

Ответственный за выпуск *Шакиров В. Н.*

Научный редактор *Носова Е. В.*

Технический редактор *Иванова О. Е.*

Корректоры *Быкова Н. Д., Смирнова Л. В., Соколова И. Н.*

Компьютерная верстка *Петухова И. Н.*

Лицензия № 071099 от 09.11.94. Подписано к печати 12.03.98.

Формат 60×90^{1/16}. Печать офсетная. Гарнитура Школьная.

Уч.-изд. л. 10,3. Усл. печ. л. 10. Тираж 5000 Заказ 66

Издательство «Специальная Литература» при участии ТОО «Мифрил».
198052, Санкт-Петербург, Измайловский пр., д. 29

Отпечатано в типографии ООО «ИПК»Бионт»
Санкт-Петербург. В.О. Средний пр. 86.