

А. И. Врублевский

УЧИМСЯ РЕШАТЬ
ЗАДАЧИ ПО

ХИМИИ

ОБЩИЙ
ПОДХОД



А. И. Врублевский

**УЧИМСЯ РЕШАТЬ
ЗАДАЧИ ПО
ХИМИИ**

**ОБЩИЙ
ПОДХОД**



УДК 54(075.3)

ББК 24я721

В83

Охраняется законом об авторском праве.
Нарушение ограничений, накладываемых им на воспроизведение
всей этой книги или любой ее части, включая оформление,
преследуется в судебном порядке.

Врублевский, А. И.

В83 Учимся решать задачи по химии. Общий подход /
А. И. Врублевский. — Минск : Попурри, 2019. — 480 с.

ISBN 978-985-15-4104-7.

Пособие адресовано тем старшеклассникам и абитуриентам, которые пока не могут, но очень хотят самостоятельно, без посторонней помощи, научиться решать задачи по химии.

В книге с привлечением большого числа примеров подробно рассмотрено решение задач не только базового школьного курса химии, но и более сложных, конкурсных заданий. Примерно 1000 задач предлагается для самостоятельного решения.

Будет полезно также преподавателям школ, лицеев, гимназий, репетиторам; может использоваться для подготовки к ЕГЭ и ЦТ.

УДК 54(075.3)

ББК 24я721

ISBN 978-985-15-4104-7

© Врублевский А. И., 2018

© Издание. Оформление. ООО «Попурри»,
2018

От автора

Данное пособие адресована тем, кто пока (!) не может, но очень хочет научиться решать задачи по химии. Автор приложил все усилия к тому, чтобы старшеклассник или абитуриент мог самостоятельно справиться с заданиями, которые содержатся в этой книге. С этой целью:

- 1) материал излагается простым и понятным языком;
- 2) приведено очень большое число примеров решения задач различного уровня сложности;
- 3) дана подробная классификация задач по отдельным типам; данная классификация, разработанная автором на базе нескольких десятков лет педагогической практики, хорошо зарекомендовала себя в работе с абитуриентами;
- 4) предлагается примерно 1000 задач конкурсного уровня для самостоятельного решения (многие составлены автором).

В первых девяти главах книги излагается методика расчетов с использованием понятия «химическое количество вещества», рассматриваются подходы к решению задач по темам «Избыток—недостаток», «Выход продукта», «Примеси», а также даются некоторые рекомендации математического характера (правила округления чисел, решение системы двух уравнений с двумя неизвестными и т. д.).

В последующих главах рассматривается решение более сложных задач, в том числе экзаменационного уровня. Глава 13 посвящена окислительно-восстановительным реакциям, глава 30 — реакциям с участием озона. Глава 31 содержит задачи для повторения, уровень заданий данной главы максимально приближен к экзаменационному.

Пособие будет полезно преподавателям и репетиторам, может использоваться также для подготовки к сдаче ЕГЭ и ЦТ.

ГЛАВА 1

Немного математики

1.1. ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

С появлением калькуляторов выполнять арифметические действия с числами стало намного проще. Тем не менее у абитуриентов нередко выявляются некоторые проблемы с подобными действиями.

Например, в химических расчетах часто фигурирует очень большое число — число Авогадро, равное $6,02 \cdot 10^{23}$. Предлагаем выполнить следующие расчеты:

$$\frac{3,01 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}}; \quad \frac{12,04 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}}; \quad \frac{7,826 \cdot 10^{21}}{6,02 \cdot 10^{23}};$$
$$1,20 \cdot 10^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}.$$

А теперь проверьте себя. Правильные результаты:

$$\frac{3,01 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{3,01}{6,02} \cdot 10^{23-23} = 0,5 \cdot 10^0 = 0,5 \cdot 1 = 0,5;$$

$$\frac{12,04 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{12,04}{6,02} \cdot 10^{24-23} = 2 \cdot 10^1 = 20;$$

$$\frac{7,826 \cdot 10^{21}}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{7,826}{6,02} \cdot 10^{21-23} = 1,3 \cdot 10^{-2} = 0,013;$$

$$1,20 \cdot 10^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = (1,20 \cdot 6,02) \cdot 10^{2+23} = 7,22 \cdot 10^{25}.$$

Далее, представьте числа 0,00381 и 38 100 в стандартном виде $C \cdot 10^n$ с использованием степени десятки (C — число,

которое содержит только одну цифру слева от десятичной запятой). В первом случае это будет $3,81 \cdot 10^{-3}$: мы перенесли запятую вправо на три знака, т. е. увеличили число в 1000 раз. Чтобы число при этом не изменилось, надо уменьшить его в 1000 раз, следовательно, разделить 3,81 на 1000:

$$0,00381 = \frac{3,81}{1000} = \frac{3,81}{10^3} = 3,81 \cdot 10^{-3}.$$

Для числа 38 100 мы перенесли запятую влево на четыре знака, т. е. уменьшили число в 10 000 раз. Чтобы число не изменилось, надо 3,81 умножить на 10 000, т. е. на 10^4 :

$$38\,100 = 3,81 \cdot 10\,000 = 3,81 \cdot 10^4.$$

Еще примеры:

$$78,21 \cdot 10^{22} = 7,821 \cdot 10^{22} \cdot 10^1 = 7,821 \cdot 10^{23};$$

$$78,21 \cdot 10^{-23} = 7,821 \cdot 10^{-23} \cdot 10^1 = 7,821 \cdot 10^{-22}.$$

И наконец, при решении химических задач нередко получают выражение

$$ax = by.$$

Например, к такому выражению приходят в процессе решения следующей задачи: в каком массовом отношении надо смешать растворы с массовой долей КОН 5 и 20 %, чтобы получить раствор с массовой долей щелочи 10 %? В приведенном выше выражении x и y — это искомые массы растворов. Интересно, как вы найдете отношение $\frac{x}{y}$? Правильный ответ:

$$\frac{x}{y} = \frac{b}{a} \text{ (однако часто дают ошибочный ответ: } \frac{x}{y} = \frac{a}{b} \text{)}.$$

1.2. ЗНАЧАЩИЕ ЦИФРЫ И ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ЧИСЕЛ

А теперь поговорим о правилах округления. Вы, наверное, не раз слышали такую фразу: конечный результат вычислений

округлите до трех значащих цифр или до целого числа. А что такое значащие цифры?

Прежде всего укажем, что **точными** называются числа, значение которых мы знаем определенно (достоверно). Числа, значение которых мы знаем приблизительно, называются **приближенными** (недостоверными).

В химической практике чаще приходится иметь дело как раз не с точными, а с приближенными цифрами, поскольку любой способ измерения физической величины неизбежно имеет ту или иную погрешность. Точность измерения показывает сама запись числа. Сравним, например, три числа: 2; 2,0 и 2,00. Казалось бы, они совершенно одинаковы. На самом деле это не так: первое число дано с точностью до целых чисел, т. е. с наименьшей точностью, второе — до десятых, а третье — до тысячных, т. е. с наибольшей точностью.

В приближенных вычислениях неизбежна процедура округления чисел. При этом следует иметь четкое представление о значащих цифрах.

Значащими цифрами являются все цифры от 1 до 9. Проблема возникает с нулями. Запомним:

а) нули, стоящие в *начале* числа, *всегда* незначащие.

Например, все три приведенных ниже числа записаны с точностью до трех значащих цифр (эти цифры подчеркнуты: 0,382; 0,0382; 0,00382).

б) нули, стоящие *между* числами 1—9, а также *после* чисел 1—9, *всегда* являются значащими.

Например, все три числа — 108, 1,80 и 0,0180 — содержат по три значащие цифры.

Для чисел, записанных с использованием степеней десятки в виде $C \cdot 10^n$, число значащих цифр указывается в коэффициенте C , который всегда меньше 10 и больше 1:

2,8 · 10⁻³ — две значащие цифры,

2,80 · 10⁵ — три значащие цифры.

При округлении необходимо обеспечить наибольшую близость округленного числа к округляемому. В этом случае придерживаются следующих правил округления:

1. Если отбрасывается цифра, большая чем 5 или равная 5, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу:

$$\begin{aligned}27,48 &\approx 27,5, \\ 27,45 &\approx 27,5.\end{aligned}$$

2. Если отбрасываемая цифра меньше 5, то последняя сохраняемая цифра остается без изменений:

$$27,44 \approx 27,4.$$

1.3. СТЕПЕНЬ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ В ХИМИИ

Численные значения величин в условиях задач даются с определенной точностью, т. е. с определенным числом значащих цифр. Поэтому, представляя конечный результат, бессмысленно указывать точность, большую той, которая приведена для наименее точного числа в условии задачи (этим часто грешат учащиеся, утверждая, что они проводили расчеты, не сбрасывая цифры с дисплея калькулятора).

Пусть, например, указано, что масса смеси (см.) Zn и Al равна 5 г (число имеет одну значащую цифру, т. е. измерено с точностью до целых). При решении задачи на дисплее калькулятора для масс алюминия и цинка соответственно можно получить значения 2,871 и 2,134 г. Однако результат следует записывать так:

$$m(\text{Al}) = 3 \text{ г}, m(\text{Zn}) = 2 \text{ г}.$$

Если в этой же задаче указано, что $m(\text{см.}) = 5,0$ г, то ответ следует записывать так:

$$m(\text{Al}) = 2,9 \text{ г}, m(\text{Zn}) = 2,1 \text{ г}.$$

Для случая $m(\text{см.}) = 5,00$ г имеем:

$$m(\text{Al}) = 2,87 \text{ г}, m(\text{Zn}) = 2,13 \text{ г}.$$

Практические рекомендации при работе с приближенными числами можно сформулировать в виде следующих правил.

1. Для расчета искомой величины используйте, если это возможно, обобщенные математические формулы; это не повысит точность конечного результата, однако позволит сократить число операций по округлению приближенных чисел. Например, в задаче дана масса газа, а требуется найти его объем. Можно, конечно, сначала рассчитать химическое количество газа

$$n = \frac{m}{M},$$

а затем найти объем:

$$V = n \cdot V_m.$$

Однако вычисления лучше провести по обобщенной формуле:

$$V = \frac{m}{M} V_m.$$

2. Для повышения надежности результата рекомендуется в промежуточных вычислениях брать на одну значащую цифру больше, чем их содержит наименее точное число в условии задачи. Округлять до искомой точности следует только конечный результат вычислений.

3. С какой бы кажущейся высокой точностью вы ни получили конечный результат (особенно при работе с помощью калькулятора), он на самом деле не может быть точнее, чем наименее точное число в условии задачи. Поэтому во всех полученных вами итоговых числах значащих цифр должно быть столько, сколько их содержится в наименее точном числе в условии задачи.

1.4. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ДВУХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ С ДВУМЯ НЕИЗВЕСТНЫМИ

Для решения ряда химических задач используется подход, основанный на составлении и решении системы двух

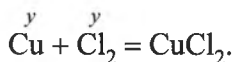
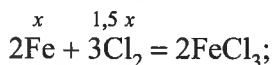
уравнений первой степени с двумя неизвестными. Покажем это на примере конкретной задачи.

Задача.

На полное хлорирование смеси Fe и Cu массой 3,00 г потребовался хлор объемом (н. у.) $1,12 \text{ дм}^3$. Найдите массы веществ (г) в исходной смеси.

Решение.

Записываем уравнения реакций:



$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$; $M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль}$; $V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

Обозначая химические количества металлов x и y (моль), находим, что на хлорирование соответственно железа и меди требуется хлор химическим количеством $1,5x$ и y (моль). Составляем систему двух уравнений: одно — по массе смеси металлов, второе — по объему или (лучше) по химическому количеству хлора. Находим:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = x \cdot 56 \text{ (г)};$$

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = y \cdot 64 \text{ (г)};$$

$$n(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2)/V_m = 1,12/22,4 = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Имеем:

$$\begin{cases} 56x + 64y = 3,00; \\ 1,5x + y = 0,05. \end{cases}$$

Данную систему можно решить методом подстановки. Например, из нижнего уравнения системы выражаем y :

$$y = 0,05 - 1,5x.$$

Выражение для y подставляем в верхнее уравнение системы. Получаем уравнение с одним неизвестным:

$$56x + 64(0,05 - 1,5x) = 3,00.$$

Выполняем математические действия:

$$\begin{aligned}56x + 3,2 - 96x &= 3,00; \\ -40x &= -0,2; \quad 40x = 0,2; \\ x &= 0,2/40 = 0,005 \text{ моль.}\end{aligned}$$

В результате получаем:

$$\begin{aligned}m(\text{Fe}) &= n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = x \cdot M(\text{Fe}); \\ m(\text{Fe}) &= 0,005 \cdot 56 = 0,300 \text{ г}; \\ m(\text{Cu}) &= m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}) = 3,00 - 0,300 = 2,70 \text{ г};\end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{Fe}) = 0,300 \text{ г}; m(\text{Cu}) = 2,70 \text{ г}.$

Эту систему можно решить по-другому. Для этого необходимо все числа верхнего (или нижнего) уравнения системы домножить на такое число, чтобы при последующем сложении (или вычитании) уравнений одно неизвестное исчезло. Умножим все члены нижнего уравнения системы на 64, получим следующую систему двух уравнений:

$$\begin{cases} 56x + 64y = 3,00; \\ 96x + 64y = 3,20. \end{cases}$$

Вычтем почленно из нижнего уравнения системы верхнее, получим:

$$\begin{array}{r} 56x + 64y = 3,00 \\ - \quad 96x + 64y = 3,20 \\ \hline 96x - 56x + 64y - 64y = 3,20 - 3,00 \\ 40x = 0,2; \\ x = \frac{0,2}{40} = 0,005 \text{ моль.} \end{array}$$

Дальнейшее решение такое же, как показано выше.

Наконец, систему двух уравнений с двумя неизвестными можно решить третьим способом.

Показано, что в случае системы

$$\begin{aligned}ax + by &= c, \\a_1x + b_1y &= c_1\end{aligned}$$

значения неизвестных x и y равны:

$$\begin{aligned}x &= \frac{b_1c - bc_1}{ab_1 - a_1b}, \\y &= \frac{ac_1 - a_1c}{ab_1 - a_1b}.\end{aligned}$$

Для рассматриваемого примера

$$a = 56; b = 64; a_1 = 1,5; b_1 = 1; c = 3,00; c_1 = 0,05.$$

Находим:

$$\begin{aligned}n_1 = x &= \frac{1 \cdot 3 - 64 \cdot 0,05}{56 \cdot 1 - 1,5 \cdot 64} = \frac{3 - 3,2}{-40} = 0,005 \text{ (моль);} \\n_2 = y &= \frac{56 \cdot 0,05 - 1,5 \cdot 3,00}{56 \cdot 1 - 1,5 \cdot 64} = \frac{2,8 - 4,5}{-40} = \\&= \frac{-1,7}{-40} = 0,0425 \text{ (моль)}.\end{aligned}$$

Заметьте, что знаменатель в выражении для расчета x и y одинаков.

1.5. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В ходе решения задачи находятся числовые значения физических величин и тем самым устанавливается связь между качественными и количественными сторонами химического явления. При расчетах необходимо пользоваться общепринятыми (международными, СИ) обозначениями величин и единицами их измерения (Приложение 1).

Для использования на практике некоторые единицы физических величин оказываются неудобными, так как являются или чересчур большими, или, наоборот, слишком маленькими. Например, массу иногда удобнее выражать не в килограммах (кг), а в граммах (г) или миллиграммах (мг), а объем не в кубических метрах (м^3), а в кубических дециметрах (дм^3) или кубических сантиметрах (см^3). В таких случаях употребляют десятичные кратные или дольные единицы, которые образуются путем присоединения соответствующих приставок к наименованиям основных (или производных) единиц. Например, с помощью кратной приставки «кило» образуются единицы, в 1000 (10^3) раз большие, а с помощью дольной приставки «мили» — в 1000 (10^3) раз меньшие основных или производных величин.

Названия и числовые значения некоторых наиболее часто применяемых в химии приставок приведены в таблице 1.

*Таблица 1***Некоторые числовые приставки**

Приставки	Обозначение	Множитель
мега	М	10^6
кило	к	10^3
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
мили	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Отсюда следует связь между различными единицами физических величин (например, между единицами массы, объема, давления, температуры).

Масса

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

$$1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}, \quad 1 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ т}, \quad 1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г}.$$

Объем

$$1 \text{ м}^3 = 10^3 \text{ дм}^3 = 10^6 \text{ см}^3,$$

$$1 \text{ дм}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3 = 10^3 \text{ см}^3,$$

$$1 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ дм}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Таким образом, чтобы массу, выраженную в килограммах, представить в граммах, нужно умножить ее на 1000 (т. е. на 10^3):

$$2 \text{ кг} = 2 \cdot 10^3 = 2000 \text{ г}.$$

Наоборот, чтобы массу, выраженную в граммах, представить в килограммах, нужно разделить ее на 1000 (или умножить на 10^{-3}):

$$3000 \text{ г} = \frac{3000}{1000} = 3 \text{ кг}$$

или

$$3000 \text{ г} = 3000 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ кг}.$$

Аналогично:

$$1,5 \text{ дм}^3 = 1,5 \cdot 1000 = 1500 \text{ см}^3,$$

$$2000 \text{ см}^3 = 2000 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ дм}^3.$$

1. Выполните следующие математические действия:

а) $\frac{1,505 \cdot 10^{22}}{6,02 \cdot 10^{23}} =$

б) $\frac{7,224 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} =$

2. Представьте в стандартном виде $C \cdot 10^n$ числа, указав четыре значащие цифры:

а) 53 000; б) 0,0076356; в) 650,43.

3. Округлите до трех значащих цифр следующие числа:
а) 12,087; б) 0,03187; в) 0,0051621; г) $1,245 \cdot 10^{23}$.
4. Переведите указанные величины в другие единицы:
а) 1,2 кг = _____ г; в) 5,6 дм³ = _____ см³;
б) 448 см³ = _____ дм³; г) 120 мг = _____ г.
5. Решите систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 2x + 3y = 0,9; \\ 30x + 40y = 12,5. \end{cases}$$

ГЛАВА 2

Моль. Плотность и относительная плотность газов

2.1. ХИМИЧЕСКОЕ КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

В химии бытует выражение — «царская водка». Так называется смесь определенных объемов концентрированных соляной и азотной кислот за ее способность растворять «царя» металлов — золото (по отдельности ни одна из этих кислот с золотом не реагирует). По аналогии, «царем» химических расчетов следует считать физическую величину, которая называется **химическим количеством вещества** или просто **химическим количеством**. Единицей химического количества является **моль** (говорят, что химическое количество измеряется в молях).

Химическое количество обозначается латинской буквой n , его численное значение можно рассчитать тремя независимыми способами:

- по массе m порции вещества В:

$$n(\text{В}) = \frac{m(\text{В})}{M(\text{В})} \quad (2.1)$$

- по объему V порции газа В:

$$n(\text{В}) = \frac{V(\text{В})}{V_{\text{м}}} \quad (2.2)$$

- по числу структурных единиц (атомов, молекул и т. д.) N , содержащихся в порции вещества В:

$$n(B) = \frac{N(B)}{N_A} \quad (2.3)$$

В выражениях (2.1) — (2.3):

V_m — объем одного моля газа при н. у. ($T = 273$ К или 0 °С, $p = 101,3$ кПа):

$$V_m = 22,4 \frac{\text{дм}^3}{\text{моль}}$$

N_A — постоянная Авогадро:

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

Численное значение постоянной Авогадро равно числу структурных единиц в одном моле вещества. Так, в одном моле натрия содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов натрия, в одном моле кислорода — $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул кислорода.

$M(B)$ — молярная масса вещества (обычно измеряется в г/моль). Ее численное значение совпадает либо с относительной атомной массой A_r элемента, либо с относительной молекулярной (формульной) массой M_r вещества. Например:

$$A_r(\text{Na}) = 23; M(\text{Na}) = 23 \text{ г/моль};$$

$$A_r(\text{H}) = 1; M(\text{H}) = 1 \text{ г/моль};$$

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

$$A_r(\text{KOH}) = 56; M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}.$$

Из формул (2.1) — (2.3) легко вывести выражения для нахождения объема, массы и молярной массы, а также числа структурных единиц:

$$m(B) = n(B) \cdot M(B) \quad (2.4)$$

$$V(B) = n(B) \cdot V_m \quad (2.5)$$

$$N(B) = n(B) \cdot N_A(B) \quad (2.6)$$

$$M(B) = \frac{m(B)}{n(B)} \quad (2.7)$$

Формулы (2.1) — (2.7) необходимо твердо заучить, иначе дальнейшее восприятие материала будет невозможно.

Рассмотрим конкретные примеры использования приведенных формул.

Пример 2.1. Рассчитайте массу и объем (н. у.) порции метана CH_4 , которая содержит $9,03 \cdot 10^{22}$ молекул.

Дано:

$$N(\text{CH}_4) = 9,03 \cdot 10^{22} \text{ молекул}$$

$$m(\text{CH}_4) \text{ — ?}$$

$$V(\text{CH}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

По формуле (2.3) находим химическое количество метана:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{N(\text{CH}_4)}{N_A};$$

$$n(\text{CH}_4) = \frac{9,03 \cdot 10^{22} \text{ молекул}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул/моль}} =$$

$$= \frac{9,03}{6,02} \cdot 10^{22-23} \text{ моль} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль}.$$

Исходя из формул (2.4) и (2.5), находим массу и объем метана:

$$m(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_4) \cdot M(\text{CH}_4);$$

$$M(\text{CH}_4) = (12 + 4 \cdot 1) = 16 \text{ (г/моль)};$$

$$m(\text{CH}_4) = 0,15 \text{ моль} \cdot 16 \text{ г/моль} = 2,40 \text{ г};$$

$$V(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_4) \cdot V_m = 0,15 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 3,36 \text{ дм}^3.$$

Ответ: $m(\text{CH}_4) = 2,40 \text{ г}; V(\text{CH}_4) = 3,36 \text{ дм}^3.$

Пример 2.2. Найдите число молекул воды в ее порции объемом (н. у.) $3,600 \text{ см}^3$.

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 3,600 \text{ см}^3$$

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

Решение:

Казалось бы, задачу можно решить, последовательно используя формулы (2.2) и (2.6). Так обычно и делают. Но это неправильно!

Дело в том, что вода при указанных условиях является жидкостью, а не газом, и выражение (2.2) с $V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$ для нее не годится.

В случае жидких (ж.) и твердых (тв.) веществ химическое количество находим с помощью формулы (2.1), предварительно найдя по плотности ρ массу порции вещества:

$$m(B)_{\text{ж., тв.}} = V(B) \cdot \rho(B) \quad (2.8)$$

В случае воды $\rho(\text{H}_2\text{O})_{\text{ж.}} = 1 \text{ г/см}^3$, поэтому

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 \text{ см}^3 \cdot 1 \text{ г/см}^3 = 3,6 \text{ г.}$$

Далее проводим обычные вычисления:

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

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot N_A;$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{\text{молекул}}{\text{моль}} =$$

$$= 1,204 \cdot 10^{23} \text{ молекул.}$$

Ответ: $N(\text{H}_2\text{O}) = 1,204 \cdot 10^{23} \text{ молекул.}$

В приведенных примерах мы проводим расчеты, используя конкретные единицы физических величин. Это не обязательно, можно указывать единицу физической величины только в конечном результате, тогда ее нужно брать в скобки.

Пример 2.3. Найдите объем (н. у.) порции NH_3 химическим количеством 0,25 моль.

Дано:

$$n(\text{NH}_3) = 0,25 \text{ моль}$$

$$V(\text{NH}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Согласно формуле (2.5):

$$V(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot V_m;$$

$$V(\text{NH}_3) = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{NH}_3) = 5,6 \text{ дм}^3$.



1. В сосуде находится $1,505 \cdot 10^{23}$ молекул сернистого газа SO_2 . Рассчитайте массу и объем (н. у.) этой порции SO_2 .
2. Рассчитайте число атомов натрия в его порции массой 4,6 г.
3. Имеется порция озона O_3 массой 5,76 г. Найдите объем данной порции озона и число молекул в ней.
4. Порция некоторого газа имеет массу 10,00 г и содержит $1,505 \cdot 10^{23}$ молекул. Рассчитайте молярную массу газа.
5. Рассчитайте число формульных единиц в навеске KOH массой 7,0 г.
6. Порция воды содержит $7,224 \cdot 10^{23}$ молекул. Найдите массу и объем (н. у.) данной порции воды.
7. Порция металла массой 46,0 мг содержит $1,505 \cdot 10^{20}$ атомов. Определите металл.
8. Масса атомов иода равна 0,446 мг на каждые 100 г крови человека, масса крови составляет 8 % от массы тела. Рассчитайте число атомов иода в крови человека массой 75 кг.
9. Массовая доля цинка в составе яда кобры составляет 0,5 %. Сколько атомов цинка содержится в 1 капле (30 мг) этого яда?

2.2. ПЛОТНОСТЬ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ГАЗОВ

В химических расчетах с участием газов часто используются такие физические величины, как **плотность** и **относительная плотность** газа.

Плотность любого вещества ρ находится делением массы некоторой его порции на объем этой порции:

$$\rho(B) = \frac{m(B)}{V(B)}$$

Если взять порцию вещества химическим количеством 1 моль (в этом случае $m(B) = n(B) \cdot M(B) = 1 \cdot M(B) = M(B)$, $V(B) = n(B) \cdot V_m = 1 \cdot V_m = V_m$), то плотность можно найти по формуле:

$$\rho(B) = \frac{M(B)}{V_m}$$

Эту формулу обычно не используют в случае жидких и твердых веществ, молярный объем которых зависит от природы вещества. Однако газы обладают замечательным свойством, а именно: для всех газов при н. у. $V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$. Поэтому плотность *любого* газа при н. у. можно без труда найти по формуле:

$$\rho(\text{газа}), \text{ г/см}^3 = \frac{M(\text{газа}), \text{ г/моль}}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} \quad (2.9)$$

Пример 2.4. Рассчитайте плотность (н. у.) хлороводорода.

Дано:

Вещество: HCl

$\rho(\text{HCl})$ — ?

Решение:

Хлороводород HCl при н. у. находится в газообразном состоянии, поэтому, исходя из формулы (2.9), имеем:

$$\rho(\text{HCl}) = \frac{M(\text{HCl})}{22,4}; \quad M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль};$$

$$\rho(\text{HCl}) = \frac{36,5}{22,4} = 1,63 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $\rho(\text{HCl}) = 1,63 \text{ г/дм}^3$.

Зная плотность газа, можно найти его молярную массу. Из выражения (2.9) следует:

$$M(\text{газа}), \text{ г/моль} = \rho(\text{газа}), \text{ г/дм}^3 \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} \quad (2.10)$$

Наряду с плотностью газов, широко используется понятие «относительная плотность газов».

Относительная плотность газа А по газу В (обозначается как $D_{\text{В}}(\text{А})$) равна отношению молярных (или относительных молекулярных) масс этих газов:

$$D_{\text{В}}(\text{А}) = \frac{M(\text{А})}{M(\text{В})} = \frac{M_{\text{г}}(\text{А})}{M_{\text{г}}(\text{В})} \quad (2.11)$$

Пример 2.5. Рассчитайте относительную плотность кислорода по воздуху.

Дано:

Вещество: O_2

$D_{\text{возд.}}(\text{O}_2) — ?$

Решение:

Согласно формуле (2.11):

$$D_{\text{возд.}}(\text{O}_2) = \frac{M(\text{O}_2)}{M(\text{возд.})}.$$

Следует запомнить, что $M(\text{возд.}) = 29 \text{ г/моль}$. Тогда находим $(M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль})$:

$$D_{\text{возд.}}(\text{O}_2) = \frac{32}{29} = 1,103.$$

Ответ: $D_{\text{возд.}}(\text{O}_2) = 1,103$.

Обратите внимание. Относительная плотность газа, в отличие от его плотности, величина безразмерная.

Зная относительную плотность газа А по газу В, можно найти молярную или относительную молекулярную массу газа А. Из формулы (2.11) следует:

$$M(A) = M(B) \cdot D_B(A) \quad (2.12)$$

Пример 2.6. Относительная плотность некоторого газа А по гелию равна 10,5. Рассчитайте плотность газа и его молярную массу.

Дано:

$$D_{\text{He}}(A) = 10,5$$

$\rho(A)$ — ?

$M(A)$ — ?

Решение:

Сначала по формуле (2.12) найдем молярную массу газа:

$$M(A) = M(\text{He}) \cdot D_{\text{He}}(A);$$

$$M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль};$$

$$M(A) = 4 \cdot 10,5 = 42 \text{ (г/моль)}.$$

Используя выражение (2.9), находим плотность газа:

$$\rho(A) = \frac{M(A)}{22,4}; \quad \rho(A) = \frac{42}{22,4} = 1,875 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $M(A) = 42 \text{ г/моль}$; $\rho(A) = 1,875 \text{ г/дм}^3$.

- !**
- Плотность газа (н. у.) равна $2,143 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте молярную массу газа и его относительную плотность по водороду.
 - Относительная плотность газа по неону равна 1,6. Найдите: а) молярную массу газа; б) плотность газа (н. у.); в) число молекул газа в его порции массой $8,0 \text{ г}$; г) объем порции газа массой $16,0 \text{ г}$.
 - Плотность некоторого газа Х в 2 раза больше плотности кислорода. Рассчитайте относительную плотность газа Х по аргону.

2.3. РАСЧЕТ МАССЫ ОДНОЙ СТРУКТУРНОЙ ЕДИНИЦЫ

Вспомним выражения для относительной атомной массы элемента $A_r(\text{Э})$ и относительной молекулярной или формульной единицы (ФЕ) массы вещества $M_r(\text{В})$:

$$A_r(\text{Э}) = \frac{m_a(\text{Э})}{u} \quad (2.13)$$

$$M_r(\text{В}) = \frac{m_{\text{мол., ФЕ}}(\text{В})}{u} \quad (2.14)$$

В этих выражениях: $m_a(\text{Э})$ — масса атома элемента, $m_{\text{мол., ФЕ}}$ — масса молекулы или формульной единицы вещества, u — атомная единица массы (постоянная атомной массы), равная $1,66 \cdot 10^{-24}$ г или $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Из формул (2.13) и (2.14) следуют выражения для расчета массы атома элемента:

$$m_a(\text{Э}) = A_r(\text{Э}) \cdot u \quad (2.15)$$

или массы молекулы (ФЕ) вещества:

$$m_{\text{мол., ФЕ}}(\text{В}) = M_r(\text{В}) \cdot u \quad (2.16)$$

Пример 2.7. Рассчитайте массу (г) атома натрия.

Дано:

Элемент: Na

$m_a(\text{Na})$ — ?

Решение:

Согласно формуле (2.14):

$$m_a(\text{Na}) = A_r(\text{Na}) \cdot u; A_r(\text{Na}) = 23;$$

$$m_a(\text{Na}) = 23 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 38,18 \cdot 10^{-24} \text{ (г)} = 3,82 \cdot 10^{-23} \text{ (г)}.$$

Ответ: $m_a(\text{Na}) = 3,82 \cdot 10^{-23}$ г.

Массу одной структурной единицы можно найти иначе, используя молярную массу. В самом деле, если 1 моль вещества по определению содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ его структурных единиц, то масса одной структурной единицы будет равна:

$$m_{\text{стр. ед.}}(B), \text{ г} = \frac{M(B), \text{ г/моль}}{N_A (\text{моль}^{-1})} = \frac{M(B), \text{ г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} \quad (2.17)$$

Пример 2.8. Рассчитайте массу молекулы воды двумя способами.

Дано:

$N(\text{H}_2\text{O}) = 1$ молекула

$m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O})$ — ?

Решение:

Способ 1.

Согласно формуле (2.17), имеем:

$$m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{6,02 \cdot 10^{23}};$$

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

$$m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ (г)}.$$

Способ 2.

Используя формулу (2.16), получим:

$$m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O}) = M_r(\text{H}_2\text{O}) \cdot u; \quad M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18;$$

$$m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O}) = 18 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 29,88 \cdot 10^{-24} \text{ (г)} \approx 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ (г)}.$$

Ответ: $m_{\text{мол.}}(\text{H}_2\text{O}) \approx 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ г}.$

Рассмотрим пример решения более сложной задачи.

Пример 2.9. При некоторых условиях масса молекулы серы равна $2,125 \cdot 10^{-22}$ г. Найдите число атомов серы в ее молекуле при этих условиях.

Дано:

$$m_{\text{мол.}}(S_x) = 2,125 \cdot 10^{-22} \text{ г}$$

x — ?

Решение:

Масса молекулы серы равна произведению числа атомов в молекуле на массу одного атома серы:

$$m_{\text{мол.}}(S_x) = x \cdot m_a(S).$$

Отсюда число атомов в молекуле равно:

$$x = \frac{m_{\text{мол.}}(S_x)}{m_a(S)} \quad (2.18)$$

Согласно (2.15):

$$m_a(S) = A_r(S) \cdot u; \quad A_r(S) = 32;$$

$$m_a(S) = 32 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 5,312 \cdot 10^{-23} \text{ (г)}.$$

Подставив данное значение массы атома серы в выражение (2.18), получим:

$$x = \frac{2,125 \cdot 10^{-22}}{5,312 \cdot 10^{-23}} = 4.$$

Ответ: 4 атома серы.



13. Рассчитайте массу (кг) одной формульной единицы КОН.
14. Найдите массу (г) пяти молекул сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$.
15. Рассчитайте, во сколько раз масса 10 молекул серной кислоты H_2SO_4 больше массы атома брома.
16. Масса молекулы фосфора при некоторых условиях равна $2,058 \cdot 10^{-22}$ г. Найдите число атомов фосфора в его молекуле.

17. Масса молекулы газа равна $4,65 \cdot 10^{-23}$ г. Рассчитайте:
а) относительную плотность газа по водороду; б) объем (н. у.) порции газа массой 56 г.
18. Плотность газа (н. у.) равна $0,759$ г/дм³. Рассчитайте число молекул газа в его порции массой 34,0 г.
19. В порции газа массой 6,6 г содержится $9,03 \cdot 10^{22}$ молекул. Определите: а) плотность (н. у.) газа; б) относительную плотность газа по воздуху.
20. Найдите число молекул воды в ее порции объемом (н. у.) $1,8$ см³.

ГЛАВА 3

Расчеты по химической формуле вещества

3.1. РАСЧЕТ ЧИСЛЕННЫХ, МОЛЬНЫХ И МАССОВЫХ ОТНОШЕНИЙ АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ

Мы уже знаем, что по химической формуле вещества можно найти массу его атома, молекулы или формульной единицы (см. раздел 2.3). Кроме того, формула сложного вещества позволяет определить численные отношения атомов в веществе. Например, в веществе, формула которого Na_2SO_4 , отношение чисел атомов элементов равно:

$$N(\text{Na}) : N(\text{S}) : N(\text{O}) = 2 : 1 : 4.$$

Число атомов элемента пропорционально их химическому количеству:

$$N(\text{Э}) = n(\text{Э}) \cdot N_{\text{A}},$$

поэтому численное отношение атомов равно их мольному отношению. Для вещества Na_2SO_4

$$n(\text{Na}) : n(\text{S}) : n(\text{O}) = 2 : 1 : 4.$$

Отсюда можно перейти к массовым отношениям элементов. Масса атомов элемента равна произведению химического количества атомов на молярную массу элемента:

$$m(\text{Э}) = n(\text{Э}) \cdot M(\text{Э}).$$

Для сульфата натрия находим:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) &= \\ &= n(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}) : n(\text{S}) \cdot M(\text{S}) : n(\text{O}) \cdot M(\text{O}); \\ m(\text{Na}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) &= 2 \cdot 23 : 1 \cdot 32 : 4 \cdot 16 = 46 : 32 : 64. \end{aligned}$$

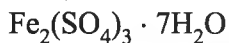
Или (разделим все числа на наименьшее из них, 32):

$$m(\text{Na}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) = 1,44 : 1 : 2.$$

Пример 3.1. Найдите численное, молярное и массовое отношения атомов элементов в составе кристаллогидрата $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Дано:

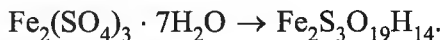
Вещество:



Найдите численное,
молярное и массовое
отношения атомов
элементов.

Решение:

Перепишем формулу вещества в более удобном для анализа виде:



Из правой формулы видно:

$$N(\text{Fe}) : N(\text{S}) : N(\text{O}) : N(\text{H}) = 2 : 3 : 19 : 14;$$

$$n(\text{Fe}) : n(\text{S}) : n(\text{O}) : n(\text{H}) = 2 : 3 : 19 : 14;$$

$$\begin{aligned} m(\text{Fe}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) : m(\text{H}) &= \\ &= 2 \cdot M(\text{Fe}) : 3 \cdot M(\text{S}) : 19 \cdot M(\text{O}) : 14 \cdot M(\text{H}). \end{aligned}$$

Поскольку:

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}; M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{O}) = 16 \text{ г/моль}; M(\text{H}) = 1 \text{ г/моль}$$

находим:

$$m(\text{Fe}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) : m(\text{H}) = 2 \cdot 56 : 3 \cdot 32 : 19 \cdot 16 : 14 \cdot 1;$$

$$m(\text{Fe}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) : m(\text{H}) = 8 : 6,86 : 21,71 : 1.$$

Ответ:

$$N(\text{Fe}) : N(\text{S}) : N(\text{O}) : N(\text{H}) =$$

$$= n(\text{Fe}) : n(\text{S}) : n(\text{O}) : n(\text{H}) = 2 : 3 : 19 : 14;$$

$$m(\text{Fe}) : m(\text{S}) : m(\text{O}) : m(\text{H}) = 8 : 6,86 : 21,71 : 1.$$



1. В соединении хрома с серой на два атома металла приходится три атома неметалла. Рассчитайте, в каком массовом отношении надо взять хром и серу, чтобы они полностью вступили в реакцию.
2. Рассчитайте, в каком массовом отношении находятся:
 - а) атомы элементов в составе нитрата аммония NH_4NO_3 ;
 - б) вода и безводная соль в составе медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

3.2. РАСЧЕТ МАССОВЫХ ДОЛЕЙ АТОМОВ И ИХ СОЧЕТАНИЙ

Химическая формула сложного вещества позволяет рассчитывать массовые доли атомов элементов в его составе. Для этого используется формула:

$$w(\text{Э}) = \frac{N(\text{Э}) \cdot A_r(\text{Э})}{M_r(\text{В})} (100 \%) \quad (3.1)$$

где $N(\text{Э})$ — число атомов элемента в формуле вещества.

С этой целью можно использовать молярные величины:

$$w(\text{Э}) = \frac{n(\text{Э}) \cdot M(\text{Э})}{M(\text{В})}.$$

Пример 3.2. Рассчитайте массовые доли атомов элементов в составе магнетита Fe_3O_4 .

Дано:

Вещество: Fe_3O_4

$w(\text{Fe})$ — ?

$w(\text{O})$ — ?

Решение:

$$A_r(\text{Fe}) = 56; A_r(\text{O}) = 16;$$

$$M_r(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 3 \cdot 56 + 4 \cdot 16 = 232.$$

Используя формулу (3.1), находим:

$$w(\text{Fe}) = \frac{N(\text{Fe}) \cdot A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{Fe}_3\text{O}_4)} = \frac{3 \cdot 56}{232} = 0,724 (72,4 \%);$$

$$w(\text{O}) = \frac{N(\text{O}) \cdot A_r(\text{O})}{M_r(\text{Fe}_3\text{O}_4)} = \frac{4 \cdot 16}{232} = 0,276 \text{ (27,6 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{Fe}) = 72,4 \%$; $w(\text{O}) = 27,6 \%$.

Формула вещества позволяет рассчитать также массовые доли *сочетаний* атомов в его составе.

Пример 3.3. Рассчитайте массовую долю нитрат-ионов в составе нитрата алюминия.

Дано:

Вещество: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

$w(\text{NO}_3^-)$ — ?

Решение:

Очевидно:

$$w(\text{NO}_3^-) = \frac{n(\text{NO}_3^-) \cdot M(\text{NO}_3^-)}{M[\text{Al}(\text{NO}_3)_3]};$$

$$n(\text{NO}_3^-) = 3 \text{ моль}; M(\text{NO}_3^-) = 62 \text{ г/моль};$$

$$M[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 213 \text{ г/моль}.$$

Находим:

$$w(\text{NO}_3^-) = \frac{3 \cdot 62}{213} = 0,873 \text{ (87,3 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{NO}_3^-) = 87,3 \%$.

3. Рассчитайте массовые доли атомов серы и кислорода в составе дисерной кислоты $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$.
4. Найдите массовую долю Na_2CO_3 в составе кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.
5. Рассчитайте массовую долю сульфат-ионов SO_4^{2-} в составе квасцов $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$.
6. Найдите суммарную массовую долю всех катионов в составе квасцов $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Из формулы (3.1) можно вывести соотношения для нахождения:

- числа атомов элементов в составе молекулы (или формульной единицы) вещества:

$$N(\text{Э}) = \frac{M_r(\text{В}) \cdot w(\text{Э})}{A_r(\text{Э})} \quad (3.2)$$

- относительной атомной массы элемента:

$$A_r(\text{Э}) = \frac{M_r(\text{В}) \cdot w(\text{Э})}{N(\text{Э})} \quad (3.3)$$

- относительной молекулярной (или формульной) массы вещества:

$$M_r(\text{В}) = \frac{N(\text{Э}) \cdot A_r(\text{Э})}{w(\text{Э})} \quad (3.4)$$

Пример 3.4. Массовая доля атомов азота в составе некоторого вещества равна 20,90 %. Известно, что в состав молекулы вещества входят 2 атома азота. Рассчитайте молярную массу вещества.

Дано:

$$w(\text{N}) = 20,90 \%$$

$$N(\text{N}) = 2$$

$$M_r(\text{В}) = ?$$

Решение:

Исходя из формулы (3.4), имеем:

$$M_r(\text{В}) = \frac{N(\text{N}) \cdot A_r(\text{N})}{w(\text{N})}; \quad A_r(\text{N}) = 14.$$

$$\text{Находим: } M_r(\text{В}) = \frac{2 \cdot 14}{0,2090} = 134;$$

Следовательно: $M(\text{В}) = 134$ г/моль.

Ответ: $M(\text{В}) = 134$ г/моль.

7. В соединении, молярная масса которого равна 342 г/моль, $w(\text{O}) = 51,46\%$. Найдите число атомов кислорода в молекуле вещества.
8. Известно, что в некотором соединении, молярная масса которого равна 178 г/моль, число атомов элемента и его массовая доля соответственно равны 7 и 62,92 %. Рассчитайте $A_r(\text{Э})$.
9. В составе аминокислоты лизина число атомов азота и его массовая доля соответственно равны 2 и 19,18 %. Найдите относительную молекулярную массу лизина.
10. Рассчитайте число атомов кислорода в молекуле гемоглобина, для которого $M_r = 64\,388$, а $w(\text{O}) = 20,03\%$.

3.3. РАСЧЕТ МАССЫ АТОМОВ ЭЛЕМЕНТА В ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПОРЦИИ СЛОЖНОГО ВЕЩЕСТВА

Массовая доля атомов элемента равна отношению массы атомов элемента $m(\text{Э})$ к массе порции вещества $m(\text{B})$:

$$w(\text{Э}) = \frac{m(\text{Э})}{m(\text{B})} \quad (3.5)$$

Отсюда для массы атомов элемента имеем:

$$m(\text{Э}) = m(\text{B}) \cdot w(\text{Э}) \quad (3.6)$$

С другой стороны, массовую долю атомов элемента можно рассчитать по формуле (3.1). Таким образом, для массы атомов элемента получаем:

$$m(\text{Э}) = m(\text{B}) \cdot w(\text{Э}) = m(\text{B}) \cdot \frac{N(\text{Э}) \cdot A_r(\text{Э})}{M_r(\text{Э})} \quad (3.7)$$

Пример 3.5. Рассчитайте массу атомов кислорода в порции Na_2CO_3 массой 26,5 г.

Дано:	Решение:
$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 26,5 \text{ г}$	$N(\text{O}) = 3; A_r(\text{O}) = 16;$
$m(\text{O}) = ?$	$M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106.$

Используя формулу (3.7), находим:

$$m(\text{O}) = 26,5 \cdot \frac{3 \cdot 16}{106} = 12,0 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{O}) = 12,0 \text{ г}$.

Некоторые учащиеся предпочитают решать такие задачи поэтапно: сначала по формуле (3.1) находят массовую долю атомов элемента, а уже потом по формуле (3.6) рассчитывают массу атомов:

Например (для этой задачи):

$$\omega(\text{O}) = \frac{N(\text{O}) \cdot A_r(\text{O})}{M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{3 \cdot 16}{106} = 0,4528;$$

$$m(\text{O}) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \omega(\text{O}) = 26,5 \cdot 0,4528 = 12,0 \text{ (г)}.$$

Зная массу атомов элемента в веществе, можно решить обратную задачу — найти массу вещества.

Пример 3.6. В какой массе пирита FeS_2 содержатся атомы серы массой 15,3 г?

Дано:	Решение:
Вещество: FeS_2	Из формулы (3.5) следует:
$m(\text{S}) = 15,3 \text{ г}$	
$m(\text{FeS}_2) = ?$	$m(\text{B}) = \frac{m(\text{Э})}{\omega(\text{B})}$ (3.8)

т. е. масса вещества находится делением массы атомов элемента на его массовую долю.

Находим массовую долю атомов серы в пирите:

$$N(\text{S}) = 2; A_r(\text{S}) = 32; M_r(\text{FeS}_2) = 120;$$

$$w(\text{S}) = \frac{2 \cdot 32}{120} = 0,5333.$$

Используя выражение (3.8), получим:

$$m(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{S})}{w(\text{S})};$$

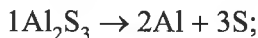
$$m(\text{FeS}_2) = \frac{15,3}{0,5333} = 28,7 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{FeS}_2) = 28,7 \text{ г}$.

- 11. Рассчитайте массу атомов кислорода в порции кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ массой 100,0 г.
- 12. Найдите, в какой массе пропана C_3H_8 содержится водород массой 12,0 г.
- 13. Рассчитайте число атомов серы в составе соли $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ массой 20,25 г.
- 14. Найдите, в какой массе серной кислоты содержится $1,505 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода.
- 15. Рассчитайте массу атомов углерода в порции бутана C_4H_{10} объемом (н. у.) $5,6 \text{ дм}^3$.
- 16. В порции NH_4NO_2 содержится $7,826 \cdot 10^{24}$ атомов азота. Рассчитайте массу порции нитрита аммония.
- 17. Рассчитайте массу порции кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$, в которой находится вода массой 3,6 г.
- 18. Найдите массу воды в порции кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ массой 33,3 г.

Расчеты по формуле можно проводить по стехиометрическим схемам. В этом случае формулу вещества разбиваем (в зависимости от вопроса задачи) на атомы или группы

атомов. При этом получают так называемые **стехиометрические схемы**. Например:



Цифры перед формулами равны химическим количествам. Технику расчета покажем на двух примерах.

Пример 3.7. В какой массе HNO_3 содержатся атомы кислорода массой 6,72 г?

Дано:

Вещество: HNO_3

$m(\text{O}) = 6,72 \text{ г}$

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

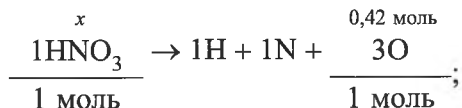
Решение:

Находим химическое количество атомов кислорода:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad M(\text{O}) = 16 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{O}) = \frac{6,72}{16} = 0,42 \text{ (моль)};$$

Составляем стехиометрическую схему и находим:



$$\frac{x}{1} = \frac{0,42}{3}; \quad x = \frac{0,42}{3} = 0,14 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{HNO}_3) = n \cdot M;$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{HNO}_3) = 0,14 \cdot 63 = 8,82 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{HNO}_3) = 8,82 \text{ г}$.

Пример 3.8. В какой массе медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержится вода массой 3,6 г?

Дано:

Вещество: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 $m(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 \text{ г}$

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

Решение:

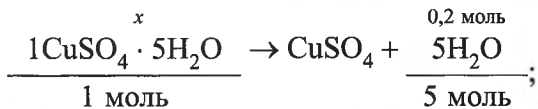
Находим химическое количество воды:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})};$$

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

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6}{18} = 0,2 \text{ (моль)};$$

Составляем стехиометрическую схему и рассчитываем:



$$\frac{x}{1} = \frac{0,2}{5}; \quad x = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,2}{5} = 0,04 \text{ (моль)};$$

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

$$\begin{aligned} M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= M(\text{CuSO}_4) + 5M(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 160 + 90 = 250 \text{ (г/моль)}; \end{aligned}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,04 \cdot 250 = 10,0 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 10,0 \text{ г}$.

Предлагаем решить описанным способом следующие задачи.

19. Рассчитайте суммарное число атомов всех элементов в порции пропана C_3H_8 объемом (н. у.) $2,80 \text{ дм}^3$.

20. Чему равна масса навески $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, содержащей 2,0 г атомов кислорода?

21. Найдите массу атомов углерода в порции бутана C_4H_{10} , содержащей $1,505 \cdot 10^{23}$ молекул.
22. В образце $AlCl_3$ содержится $3,01 \cdot 10^{22}$ ионов Al^{3+} . Рассчитайте массу ионов Cl^- в этом образце.
23. В какой массе H_2SO_4 содержится в сумме $9,03 \cdot 10^{23}$ атомов S и O?
24. Кристалл CaI_2 содержит в сумме $9,03 \cdot 10^{23}$ ионов Ca^{2+} и I^{1-} . Рассчитайте массу данного кристалла.
25. Какая масса кристаллогидрата $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ содержит $7,826 \cdot 10^{22}$ молекул воды?
26. В какой массе глюкозы $C_6H_{12}O_6$ содержатся атомы водорода и кислорода общей массой 12,40 г?
27. В порции $Na_2Cr_2O_7$ суммарная масса атомов Cr и O равна 5,46 г. Найдите: а) число атомов Na в этой порции; б) массу порции соли.
28. Найдите массу атомов C в пяти молекулах глюкозы $C_{12}H_{22}O_{11}$.

ГЛАВА 4

Установление химического элемента и формулы вещества по массовым долям

Используя формулу (3.1), можно определить неизвестный химический элемент.

Пример 4.1. В некотором оксиде металла (степень окисления атома металла равна +7) массовая доля атомов металла равна 49,55 %. Установите металл.

Дано:

$$w(\text{Me}) = 49,55 \%$$

Me — ?

Решение:

Учитывая, что степень окисления атома кислорода в оксидах равна -2 , формулу оксида можно представить в виде (Me — металл): $\text{Me}_x^{+7} \text{O}_y^{-2}$ или Me_2O_7 .

Из формулы (3.1) можно записать выражение для определения массовой доли элемента (в данном случае — металла):

$$w(\text{Me}) = \frac{N(\text{Me}) \cdot A_r(\text{Me})}{M_r(\text{Me}_2\text{O}_7)};$$

Или:

$$0,4955 = \frac{2 \cdot A_r(\text{Me})}{2A_r(\text{Me}) + 7A_r(\text{O})};$$

$$0,4955 = \frac{2 \cdot A_r(\text{Me})}{2A_r(\text{Me}) + 112};$$

Получаем:

$$2A_r(\text{Me}) = 0,4955[2A_r(\text{Me}) + 112];$$

$$2A_r(\text{Me}) = 0,9915 \cdot A_r(\text{Me}) + 55,496;$$

$$1,009A_r(\text{Me}) = 55,496;$$

$$A_r(\text{Me}) = 55,496/1,009 = 55,0.$$

Ответ: определяемый металл — марганец (Mn).

Данную задачу можно решить по-другому, используя понятие «химическое количество». Пусть масса оксида равна 100 г, тогда $m(\text{Me}) = m(\text{оксида}) \cdot w(\text{Me}) = 100 \cdot 0,4955 = 49,55$ г, а $m(\text{O}) = 100 - m(\text{Me}) = 100 - 49,55 = 50,45$ (г).

В составе оксида Me_2O_7 мольное отношение атомов кислорода и металла равно:

$$\frac{n(\text{O})}{n(\text{Me})} = \frac{7}{2}. \quad (4.1)$$

Находим:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{50,45}{16} = 3,153 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{A_r(\text{Me})} = \frac{49,55}{A_r(\text{Me})}.$$

В соответствии с формулой (4.1) имеем:

$$\frac{7}{2} = \frac{3,153}{49,55/A_r(\text{Me})} = \frac{3,153 \cdot A_r(\text{Me})}{49,55}.$$

Отсюда следует:

$$A_r(\text{Me}) = \frac{7 \cdot 49,55}{2 \cdot 3,153} = 55.$$

Это — марганец (Mn).

Ответ: Марганец (Mn).



1. В некотором оксиде состава $\text{Э}_2\text{O}_3$ массовая доля атомов кислорода равна 34,78 %. Установите элемент.
2. В составе бромида металла(III) массовая доля атомов брома составляет 89,88 %. Установите металл.
3. Установите степень окисления металла Me в его бромиде, если известно, что $A_r(\text{Me}) = 40$; $w(\text{Br})$ в бромиде 80 %.
4. Какова степень окисления атома азота в его оксиде, если в оксиде $w(\text{O}) = 74,07$ %?
5. Массовая доля атомов кислорода в оксиде $\text{Э}_2\text{O}_3$ равна 0,316. Рассчитайте $A_r(\text{Э})$.
6. В некотором оксиде марганца $w(\text{Mn})/w(\text{O}) = 1,719$. Установите формулу оксида марганца.

Зная массовые доли атомов элементов в составе вещества, можно найти его простейшую (эмпирическую) формулу. Эмпирическая формула вещества показывает наименьшее целочисленное соотношение атомов в молекуле (формульной единице). Например, для вещества с молекулярной формулой $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ эмпирическая формула равна CH_2O .

Пример 4.2. В составе некоторого вещества массовые доли атомов элементов С, Н и О соответственно равны (%) 76,6; 6,38 и 17,02. Установите эмпирическую формулу вещества.

Дано:

$w(\text{C}) = 76,6$ %

$w(\text{H}) = 6,38$ %

$w(\text{O}) = 17,02$ %

Формула
вещества — ?

Решение:

Формулу вещества представим в виде $\text{H}_x\text{C}_y\text{O}_z$. Наша задача — найти наименьшее целочисленное отношение чисел атомов Н, С и О. Очевидно, что это отношение равно отношению химических количеств соответствующих атомов:

$$x : y : z = n(\text{H}) : n(\text{C}) : n(\text{O}).$$

Пусть масса вещества равна 100 г. Тогда $m(\text{H}) = 100 \cdot 0,0638 = 6,38$ (г), $m(\text{C}) = 100 \cdot 0,766 = 76,6$ (г) и $m(\text{O}) = 100 \cdot 0,1702 = 17,02$ (г).

Имеем:

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

$$x : y : z = \frac{6,38}{1} : \frac{76,6}{12} : \frac{17,02}{16} ;$$

$$x : y : z = 6,38 : 6,383 : 1,064.$$

Числа атомов в молекуле не могут быть дробными, поэтому отношение целых чисел получаем делением всех чисел на *наименьшее* из них, т. е. на 1,064. Получаем:

$$x : y : z = \frac{6,38}{1,064} : \frac{76,6}{1,064} : \frac{17,02}{1,064} ;$$

$$x : y : z = 5,996 : 5,999 : 1 ;$$

$$x : y : z = 6 : 6 : 1.$$

Простейшая формула вещества — $\text{H}_6\text{C}_6\text{O}$.

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

Таким образом, алгоритм решения задач на установление эмпирической формулы вещества $\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z$ по массовым долям атомов элементов состоит в нахождении отношения

$$x : y : z = \frac{w(\text{A})}{A_r(\text{A})} : \frac{w(\text{B})}{A_r(\text{B})} : \frac{w(\text{C})}{A_r(\text{C})} ,$$

которое (при необходимости) приводят к отношению наименьших целых чисел. При этом массовые доли лучше брать в процентах, так как при делении их на A_r получаются большие числа.

Обращаем ваше внимание на два обстоятельства.

1. Аккуратно проводите процедуру округления чисел. Округляемое число равно целому числу, если его отклонение от целого числа не превышает нескольких сотых. Например,

$$3,99 \approx 4; 4,01 \approx 4; 2,98 \approx 3.$$

Но

$$3,2 \neq 3; 2,9 \neq 3; 5,85 \neq 6.$$

2. Иногда для получения целочисленного отношения вслед за операцией *деления* на наименьшее число надо *умножить* полученные числа на некоторое число. Например:

$$x : y : z = 1,2 : 2 : 1,4.$$

Эти числа надо умножить на 5; получаем:

$$x : y : z = 6 : 10 : 7.$$

- !**
7. В составе вещества массовые доли (%) атомов равны: Са — 17,1; Н — 1,7; Р — 26,5; О — 54,7. Установите эмпирическую формулу вещества.
 8. Известны массы (г) атомов элементов в составе вещества: К — 3,86; N — 1,39; О — 4,75. Найдите эмпирическую формулу вещества.
 9. В составе фторотана (это вещество используется в медицине для наркоза) массовые доли (%) атомов элементов равны: С — 12,2; Н — 0,51; Br — 40,4; F — 28,9 и Cl — 18,0. Установите эмпирическую формулу фторотана, представив ее в виде $C_xH_yF_zCl_kBr_m$.
 10. Установите формулу оксида железа, если известно, что при взаимодействии железа массой 1,68 г с кислородом образовалось 2,32 г оксида.
 11. При нитровании углеводорода получили вещество, в котором массовые доли (%) атомов С, Н, N и О соответственно равны 40,45; 7,87; 15,73 и 35,96. Найдите простейшую формулу продукта нитрования.

Если в задаче указана молярная масса вещества (или ее несложно найти), то можно определить не простейшую, а молекулярную формулу вещества.

Пример 4.3. Относительная молекулярная масса соединения N_xH_y равна 32, в его составе $w(N) = 87,5\%$. Установите молекулярную формулу (МФ) вещества.

Дано:

Вещество: N_xH_y

$M_r(N_xH_y) = 32$

$w(N) = 87,5\%$

МФ(N_xH_y) — ?

Решение:

Предлагаем два способа решения задачи.

Способ 1.

Находим:

$$\begin{aligned} w(H) &= 100\% - w(N) = \\ &= 100 - 87,5 = 12,5 (\%). \end{aligned}$$

Пусть масса вещества равна 100 г, тогда

$$m(N) = 100 \cdot 0,875 = 87,5 \text{ (г)}; \quad m(H) = 100 - m(N) = 12,5 \text{ (г)};$$

$$\begin{aligned} x : y &= n(N) : n(H) = \frac{m(N)}{M(N)} : \frac{m(H)}{M(H)} = \\ &= \frac{87,5}{14} : \frac{12,5}{1} = 6,25 : 12,5 = 1 : 2. \end{aligned}$$

Простейшая формула (ПФ) вещества NH_2 , его молярная масса равна: $14 + 2 = 16$ (г/моль). Чтобы получить $M(N_xH_y) = 32$ г/моль, необходимо удвоить числа атомов элементов в простейшей формуле ($M(\text{МФ}) : M(\text{ПФ}) = 32 : 16 = 2$); таким образом, молекулярная формула вещества N_2H_4 .

Способ 2.

Используем формулу (3.2). Для числа атомов элементов имеем:

$$N(N) = \frac{M_r(N_xH_y) \cdot w(N)}{A_r(N)} = \frac{32 \cdot 0,875}{14} = 2;$$

$$N(\text{H}) = \frac{M_r(\text{N}_x\text{H}_y) \cdot w(\text{H})}{A_r(\text{H})} = \frac{32 \cdot 0,125}{1} = 4.$$

Согласитесь, что второй способ гораздо удобнее.

Ответ: МФ(N_xH_y) = N_2H_4 .



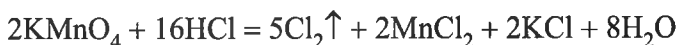
12. Установите молекулярную формулу вещества, в составе которого $w(\text{S}) = 26,89\%$; $w(\text{O}) = 13,45\%$ и $w(\text{Cl}) = 59,66\%$. Относительная плотность (н. у.) паров вещества по водороду равна 59,5.
13. Найдите молекулярную формулу углеводорода, в составе которого $w(\text{C}) = 83,72\%$, а плотность (н. у.) его паров равна 3,839 г/дм³.
14. Масса молекулы вещества состава N_xO_y равна $1,793 \times 10^{-22}$ г, а в его составе $w(\text{N}) = 25,93\%$. Установите молекулярную формулу вещества.

ГЛАВА 5

Расчеты по уравнению химической реакции и стехиометрическим схемам

5.1. РАСЧЕТЫ ПО УРАВНЕНИЮ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Техника расчетов по уравнению химической реакции довольно проста, особенно когда при этом используются химические количества веществ. В данном случае молярное отношение веществ показывают сами стехиометрические коэффициенты, т. е. числа, стоящие перед формулами реагентов и продуктов. Напомним, что **реагентами** принято называть вещества, вступающие в реакцию (т. е. исходные вещества). Важно уяснить, что по известному химическому количеству одного вещества можно найти количества (моль) *любых* других участников процесса. Например, для уравнения реакции



можно записать следующие молярные отношения:

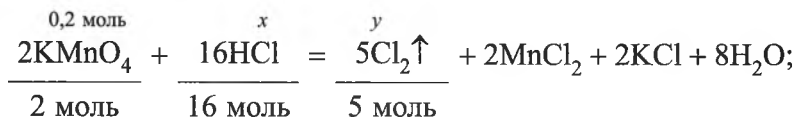
$$\frac{n(\text{KMnO}_4)}{n(\text{HCl})} = \frac{2}{16} \text{ или } \frac{n(\text{KMnO}_4)}{2} = \frac{n(\text{HCl})}{16};$$

$$\frac{n(\text{KMnO}_4)}{n(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{5} \text{ или } \frac{n(\text{KMnO}_4)}{2} = \frac{n(\text{Cl}_2)}{5} \text{ и т. д.}$$

Например, зная химическое количество KMnO_4 , химическое количество HCl можно найти следующим образом:

$$n(\text{HCl}) = \frac{n(\text{KMnO}_4) \cdot 16}{2}.$$

На практике при проведении расчетов поступают так: внизу под формулами двух веществ, вовлеченных в математические расчеты, проставляют значения соответствующих стехиометрических коэффициентов (это мольное отношение веществ), а над формулами — взятое из условия задачи известное химическое количество одного из веществ и обозначенное буквой x неизвестное химическое количество требуемого вещества. Например, если для приведенной выше реакции $n(\text{KMnO}_4) = 0,2$ моль, то химическое количество HCl и Cl_2 находят следующим образом:



$$\frac{0,2}{2} = \frac{x}{16}; \quad x = n(\text{HCl}) = \frac{0,2 \cdot 16}{2} = 1,6 \text{ (моль)};$$

$$\frac{0,2}{2} = \frac{y}{5}; \quad y = n(\text{Cl}_2) = \frac{0,2 \cdot 5}{2} = 0,5 \text{ (моль)}.$$

Пример 5.1. Рассчитайте массу серы, которая потребуется на взаимодействие с алюминием массой 7,02 г.

Дано:

$$m(\text{Al}) = 7,02 \text{ г}$$

$$m(\text{S}) \text{ — ?}$$

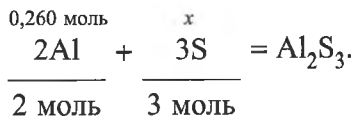
Решение:

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}; \quad M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Al}) = m(\text{Al})/M(\text{Al});$$

$$n(\text{Al}) = 7,02/27 = 0,260 \text{ (моль)}.$$

Алюминий и сера взаимодействуют согласно уравнению реакции (степени окисления Al и S соответственно равны +3 и -2):



Проставляя над и под формулами веществ необходимые данные, получаем:

$$\begin{aligned}\frac{0,260}{2} &= \frac{x}{3}; \\ x = n(\text{S}) &= \frac{0,260 \cdot 3}{2} = 0,39 \text{ (моль)}; \\ m(\text{S}) &= n(\text{S}) \cdot M(\text{S}); \\ m(\text{S}) &= 0,39 \cdot 32 = 12,48 = 12,5 \text{ (г)}.\end{aligned}$$

В ответе мы указали три значащие цифры, потому что с такой точностью в условии задачи дана масса алюминия.

Ответ: $m(\text{S}) = 12,5 \text{ г}$.

Обратите внимание. При равенстве стехиометрических коэффициентов перед формулами веществ равны и их химические количества. Например, если в реакции, уравнение которой $2\text{CuS} + 3\text{O}_2 = 2\text{CuO} + 2\text{SO}_2$, $n(\text{CuS}) = 0,1 \text{ моль}$, то и $n(\text{CuO}) = n(\text{SO}_2) = 0,1 \text{ моль}$.

1. Рассчитайте, какая масса фосфора израсходуется на взаимодействие с 0,6 г кальция (степени окисления атомов Ca и P в продукте реакции соответственно равны +2 и -3).
2. Какая масса сульфида алюминия может быть получена в реакции $1,505 \cdot 10^{24}$ молекул S_8 с избытком алюминия (схема реакции $\text{Al} + \text{S}_8 \rightarrow \text{Al}_2\text{S}_3$)? Найдите массу прореагировавшей серы.
3. При обжиге сульфида меди(II) согласно схеме реакции $\text{CuS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{SO}_2$ был получен оксид серы(IV) объемом (н. у.) 448 см^3 . Рассчитайте массу полученного оксида меди(II) и число молекул прореагировавшего кислорода.

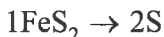
4. Медь и разбавленная азотная кислота взаимодействуют согласно уравнению реакции:



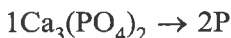
Рассчитайте массу соли и объем (н. у.) газа, которые образуются в реакции меди массой 3,84 г с избытком кислоты.

5.2. СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Стехиометрической называется схема, которая показывает соотношение между химическим количеством исходного вещества и химическим количеством атомов какого-либо элемента в его составе. Примеры стехиометрических схем:



(стехиометрическая схема по атомам серы);



(стехиометрическая схема по атомам фосфора).

Очень часто стехиометрические схемы составляют и для сложных веществ, которые можно получить из исходного вещества. В этом случае также уравнивают числа атомов элемента, который входит в состав как исходного вещества, так и продукта. Например, при получении серной кислоты из алюмокалиевых квасцов имеем:



Стехиометрические схемы удобно использовать при решении задач, когда целевой продукт получается из исходного вещества в несколько стадий и химизм получения продукта не имеет значения.

Пример 5.2. Рассчитайте максимальную массу фосфорной кислоты, которую можно получить из фосфата кальция массой 6,20 г.

Дано:

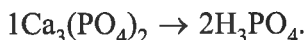
$$m[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 6,20 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

Поскольку в состав 1 моль соли входят 2 моль атомов Р, а в состав 1 моль H_3PO_4 — 1 моль атомов Р, то в соот-

ветствии с законом сохранения массы стехиометрическая схема в данном случае будет выглядеть так:

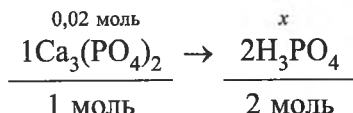


Проводим расчеты:

$$M[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 310 \text{ г/моль}; \quad M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ г/моль};$$

$$n[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = \frac{m}{M} = \frac{6,20}{310} = 0,02 \text{ (моль)}.$$

Из стехиометрической схемы



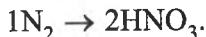
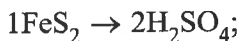
находим:

$$x = n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{0,02 \cdot 2}{1} = 0,04 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n \cdot M = 0,04 \cdot 98 = 3,92 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3,92 \text{ г}$.

Приведем другие подобные стехиометрические схемы:



Используя стехиометрические схемы, решите следующие задачи.

5. Какую максимальную массу фосфата кальция можно получить, имея в своем распоряжении фосфор массой 15,50 г?
6. Из пирита (FeS_2) получена серная кислота массой 147,0 г. Рассчитайте массу затраченного при этом пирита?
7. Какую максимальную массу азотной кислоты можно получить из воздуха объемом 1,000 м³ (объемная доля азота в воздухе равна 0,78; объемная доля газа в смеси равна отношению его объема к объему всей газовой смеси)?

Некоторой спецификой отличаются расчеты по уравнениям реакций с участием газов в том случае, когда указаны и требуется найти их объемы. Не следует переводить объемы газов в химическое количество! Дело в том, что для газов стехиометрические коэффициенты показывают не только молярные, но и объемные отношения газов. Это позволяет с меньшими временными затратами (и точнее!) проводить расчеты.

Пример 5.3. Рассчитайте объем (н. у.) кислорода, который потребуется на каталитическое окисление аммиака объемом 10,0 дм³.

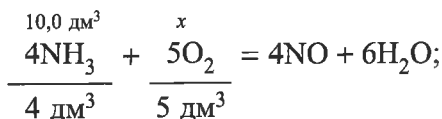
Дано:

$$V(\text{NH}_3) = 10,0 \text{ дм}^3$$

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

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$\frac{10}{4} = \frac{x}{5}; \quad x = V(\text{O}_2) = \frac{10 \cdot 5}{4} = 12,5 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{O}_2) = 12,5 \text{ дм}^3$.

- 
8. Какой объем O_2 потребуется для полного окисления угарного газа объемом $15,0 \text{ дм}^3$?
9. Рассчитайте объем азота, который образуется при сгорании на воздухе аммиака объемом 25 дм^3 . Какой объем кислорода затрачен на реакцию? (В реакции также образуется вода.)

ГЛАВА 6

Массовая доля

Доля — это определенная часть чего-то: раствора, твердой или газообразной смеси и т. д. В главе 3 рассматривалась массовая доля атомов элементов в составе индивидуального вещества. В химических расчетах гораздо чаще фигурирует массовая доля вещества в смеси, равная отношению массы вещества к массе смеси:

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{см.})} \quad (6.1)$$

Из формулы (6.1) можно рассчитать массу вещества в смеси и массу смеси:

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{см.}) \cdot \omega(\text{в-ва}) \quad (6.2)$$

$$m(\text{см.}) = \frac{m(\text{в-ва})}{\omega(\text{см.})} \quad (6.3)$$

Пример 6.1. Смешали 5,00 г CaCO_3 и 10,2 г CaSO_4 . Рассчитайте массовую долю карбоната кальция в смеси.

Дано:

$$m(\text{CaCO}_3) = 5,00 \text{ г}$$

$$m(\text{CaSO}_4) = 10,2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CaCO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим массу смеси солей:

$$m(\text{см.}) = m(\text{CaCO}_3) + m(\text{CaSO}_4);$$

$$m(\text{см.}) = 5,00 + 10,2 = 15,2 \text{ (г)}.$$

По формуле (6.1) рассчитываем массовую долю CaCO_3 в смеси:

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{см.})};$$

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{5,00}{15,2} = 0,329 \text{ (32,9 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{CaCO}_3) = 32,9 \%$.

Пример 6.2. В руде массовая доля смешанного оксида железа Fe_3O_4 равна 78,2 %. Какую массу железа можно получить из такой руды массой 1,28 кг?

Дано:

$$w(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 78,2 \%$$

$$m(\text{руды}) = 1,28 \text{ кг}$$

$$m(\text{Fe}) \text{ — ?}$$

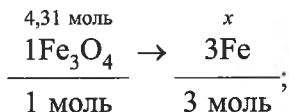
Решение:

По формуле (6.2) находим массу Fe_3O_4 в руде:

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = m(\text{руды}) \cdot w(\text{Fe}_3\text{O}_4);$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 1,28 \cdot 0,782 = 1,0 \text{ (кг)}.$$

Далее по стехиометрической схеме находим массу железа:



$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{m}{M}; \quad m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 1,0 \cdot 10^3 = 1000 \text{ (г)};$$

$$M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 232 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{1000}{232} = 4,31 \text{ (моль)}; \quad \frac{4,31}{1} = \frac{x}{3};$$

$$x = n(\text{Fe}) = \frac{4,31 \cdot 3}{1} = 12,93 \text{ (моль)};$$

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Fe}) = n \cdot M = 12,93 \cdot 56 = 724,08 \text{ (г)} \approx 724 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Fe}) \approx 724 \text{ г.}$

Пример 6.3. В руде, содержащей FeS_2 , массовая доля атомов серы равна 38,4 %. Рассчитайте массовую долю FeS_2 в руде.

Дано:

$$\omega(\text{S}) = 38,4 \%$$

$$\omega(\text{FeS}_2) = ?$$

Решение:

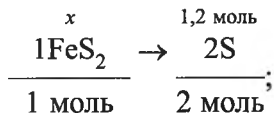
Для расчетов можно взять образец руды любой массы, допустим, $m(\text{руды}) = 100 \text{ г.}$

Тогда масса атомов серы в руде равна:

$$m(\text{S}) = m(\text{руды}) \cdot \omega(\text{S});$$

$$m(\text{S}) = 100 \cdot 0,384 = 38,4 \text{ (г)}.$$

Далее по стехиометрической схеме находим массу FeS_2 в 100 г руды:



$$M(\text{FeS}_2) = 120 \text{ г/моль}; \quad M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})}; \quad n(\text{S}) = \frac{38,4}{32} = 1,2 \text{ (моль)};$$

$$\frac{x}{1} = \frac{1,2}{2}; \quad x = n(\text{FeS}_2) = \frac{1,2 \cdot 1}{2} = 0,6 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{FeS}_2) = n \cdot M = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ (г)};$$

Рассчитываем массовую долю FeS_2 в руде:

$$\omega(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{m(\text{руды})}; \quad \omega(\text{FeS}_2) = \frac{72}{100} = 0,72 \text{ (72 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{FeS}_2) = 72 \%$.

Рассмотрим пример решения более сложной задачи.

Пример 6.4. В смеси $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Zn}(\text{OH})_2$ массовая доля атомов кислорода равна 40,6 %. Рассчитайте массовую долю гидроксида алюминия в исходной смеси.

Дано:

Смесь $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Zn}(\text{OH})_2$
 $w(\text{O}) = 40,6 \%$

 $w[\text{Al}(\text{OH})_3] = ?$

Решение:

Для проведения расчетов удобно взять какую-то массу смеси гидроксидов, например 100 г. Находим химическое количество атомов кислорода в смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{O}) &= m(\text{см.}) \cdot w(\text{O}); \\ m(\text{O}) &= 100 \cdot 0,406 = 40,6 \text{ (г)}; \\ n(\text{O}) &= \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; \quad M(\text{O}) = 16 \text{ г/моль}; \\ n(\text{O}) &= \frac{40,6}{16} = 2,54 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Обозначим химические количества $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Zn}(\text{OH})_2$ соответственно как x (моль) и y (моль). Тогда для их массы можно записать:

$$\begin{aligned} m[\text{Al}(\text{OH})_3] + m[\text{Zn}(\text{OH})_2] &= 100 \text{ г}; \\ m[\text{Al}(\text{OH})_3] &= n \cdot M; \quad M[\text{Al}(\text{OH})_3] = 78 \text{ г/моль}; \\ m[\text{Al}(\text{OH})_3] &= 78x. \end{aligned}$$

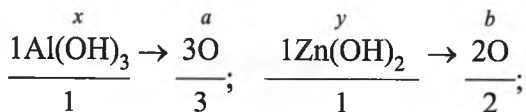
Аналогично:

$$M[\text{Zn}(\text{OH})_2] = 99 \text{ г/моль}; \quad m[\text{Zn}(\text{OH})_2] = 99y.$$

Для массы смеси получаем:

$$78x + 99y = 100. \quad (6.4)$$

Это первое уравнение системы двух уравнений. Второе уравнение получаем по химическому количеству атомов кислорода:



$$a = n(\text{O})_{\text{Al}(\text{OH})_3} = \frac{3x}{1} = 3x \text{ (моль)};$$

$$b = n(\text{O})_{\text{Zn}(\text{OH})_2} = \frac{2y}{1} = 2y \text{ (моль)}.$$

Мы уже говорили, что $n(\text{O}) = 2,54$ моль. Таким образом,

$$3x + 2y = 2,46 \text{ моль.} \quad (6.5)$$

Для удобства запишем уравнения (6.4) и (6.5) рядом:

$$\begin{cases} 78x + 99y = 3,00; \\ 3x + 2y = 2,46. \end{cases}$$

Решать систему будем методом вычитания. Чтобы при этом исчез y , домножим все члены нижнего уравнения на $99/2 = 49,5$. Получаем:

$$\begin{cases} 78x + 99y = 100; \\ 148,5x + 99y = 121,77. \end{cases}$$

Вычтем почленно из нижнего уравнения верхнее. Находим:

$$\begin{aligned} 148,5x - 78x + 99y - 99y &= 121,77 - 100; \\ 70,5x &= 21,77; \\ x &= 0,309 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Сейчас можно найти массу и массовую долю $\text{Al}(\text{OH})_3$ в смеси:

$$m[\text{Al}(\text{OH})_3] = n \cdot M = 0,309 \cdot 78 = 24,1 \text{ (г)};$$

$$w[\text{Al}(\text{OH})_3] = \frac{m[\text{Al}(\text{OH})_3]}{m(\text{см.})} = \frac{24,1}{100} = 0,241 \text{ (24,1 \%)}.$$

Ответ: $w[\text{Al}(\text{OH})_3] = 24,1 \%$.

1. Смешали 25,0 г Na_2SO_4 и 47,6 г Na_2CO_3 . Рассчитайте: а) массовую долю сульфата натрия в смеси; б) массовую долю атомов кислорода в смеси.
2. В железосодержащей руде массовая доля оксида железа(III) равна 86,4 %. Рассчитайте: а) массовую долю атомов железа в руде; б) массу (кг) железа, которое можно получить из такой руды массой 2,540 кг.
3. Медьсодержащая руда содержит 16,2 % атомов серы по массе. Рассчитайте массовую долю атомов меди в руде, если известно, что вся сера входит в состав сульфида меди(I).
4. В смеси P_2O_5 и Na_3PO_4 массовая доля атомов кислорода равна 44,26 %. Рассчитайте: а) массовую долю соли в смеси; б) массовую долю атомов кислорода в смеси.
5. Олеум представляет смесь SO_3 и H_2SO_4 . В некотором олеуме массовая доля атома серы равна 32,9 %. Найдите массу SO_3 в таком олеуме массой 200,0 г.

Массовая доля широко используется для выражения состава растворов. Напомним, что **раствор** — это однородная смесь растворителя (чаще всего воды) и растворенного в ней вещества (соли, кислоты, щелочи и т. д.). Для массовой доли вещества можно записать:

$$w(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%. \quad (6.6)$$

Отсюда

$$m(\text{в-ва}) = m(\text{р-ра}) \cdot w(\text{в-ва}); \quad (6.7)$$

$$m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{в-ва})}{w(\text{в-ва})}. \quad (6.8)$$

Масса раствора складывается из массы воды и массы вещества:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{в-ва}). \quad (6.9)$$

Если известен объем раствора V и его плотность ρ , то массу раствора можно найти как произведение этих величин:

$$m(\text{р-ра}) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}). \quad (6.10)$$

Пример 6.5. В воде объемом $78,2 \text{ см}^3$ растворили КОН массой $12,4 \text{ г}$. Рассчитайте массовую долю щелочи в полученном растворе.

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 78,2 \text{ см}^3$$

$$m(\text{KOH}) = 12,4 \text{ г}$$

$$w(\text{KOH}) \text{ — ?}$$

Решение:

Вспомним, что плотность жидкой воды 1 г/см^3 . Тогда

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V \cdot \rho = 78,2 \cdot 1 = 78,2 \text{ (г)}.$$

Масса раствора — это сумма масс воды и щелочи:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{KOH}) = 78,2 + 12,4 = 90,6 \text{ (г)}.$$

По формуле (6.6) находим массовую долю КОН в растворе:

$$w(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{р-ра})} = \frac{12,4}{90,6} = 0,137 \text{ (13,7 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{KOH}) = 13,7 \text{ \%}$.

Пример 6.6. Рассчитайте массу серной кислоты в ее растворе объемом $120,8 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,73 \text{ г/см}^3$) с массовой долей кислоты $80,3 \text{ \%}$.

Дано:

$$V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = 120,8 \text{ см}^3$$

$$\rho = 1,73 \text{ г/см}^3$$

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 80,3 \text{ \%}$$

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

Решение:

По формуле (6.10) находим массу раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) &= V \cdot \rho = \\ &= 120,8 \cdot 1,73 = 209 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Используя выражение (6.7), рассчитываем:

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

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 209 \cdot 0,803 = 167,8 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 167,8 \text{ г}$.

- !**
- Смешали воду объемом $201,8 \text{ см}^3$ и сульфат натрия массой $13,4 \text{ г}$. Рассчитайте: а) массовую долю соли в полученном растворе; б) массу соли в таком растворе массой $54,6 \text{ г}$.
 - Имеется раствор КОН объемом $43,8 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,29 \text{ г/см}^3$), в котором массовая доля щелочи равна $30,2 \%$. Найдите массу КОН в растворе.
 - Рассчитайте число атомов кислорода в водном растворе фосфорной кислоты массой $64,2 \text{ г}$ с массовой долей кислоты $35,8 \%$.
 - Водный раствор K_2SO_4 массой $197,4 \text{ г}$ содержит в сумме $6,261 \cdot 10^{24}$ атомов кислорода. Найдите массовую долю соли в растворе.
 - В воде массой $112,6 \text{ г}$ растворили некоторую порцию хлорида натрия и получили раствор с массовой долей соли $15,8 \%$. Рассчитайте массу растворенного хлорида натрия.
 - Массовая доля $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в фосфорите равна 85% . Найдите массовую долю фосфора в фосфорите.
 - Основным компонентом минерала боксита является Al_2O_3 , массовая доля которого в боксите равна 95% . Найдите массу алюминия в 100 г боксита.
 - Массовая доля железа в руде, основным компонентом которой является Fe_3O_4 , равна $62,42 \%$. Рассчитайте $w(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ в руде.
 - Массовая доля железа в руде, содержащей $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, равна $48,15 \%$. Найдите $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ в руде.

15. Какую массу Fe можно получить из руды массой 1,2 кг, в которой массовая доля Fe_2O_3 равна 95,0 %?
16. В смеси CaCO_3 и CaSO_4 массовая доля CaCO_3 равна 62 %. Рассчитайте число атомов кислорода в такой смеси массой 250 г.
17. В смеси CuSO_4 и FeS_2 массовые доли веществ соответственно равны 40,0 % и 60 %. Рассчитайте массу серы в такой смеси массой 320 г.

ГЛАВА 7

Избыток—недостаток

7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩЕГО РЕАГЕНТА

В предыдущей главе рассматривался подход к решению задач по уравнению $aA + bB = \text{продукты}$ (a, b — стехиометрические коэффициенты), в которых численные данные указывались *только для одного из реагентов* (например, реагента А). Относительно реагента Б отмечалось, что он взят с избытком. В этом случае методика расчетов не вызывала сомнений, потому что определенно можно сказать: реагент А *полностью* превратился в продукты (продукт). Что же изменится в методике расчета, если численные данные указаны для обоих реагентов?

Рассмотрим конкретную задачу.

Пример 7.1. Кальций массой 1,00 г реагирует с кислородом объемом (н. у.) 448 см³. Рассчитайте массу полученного оксида кальция.

Дано:

$$m(\text{Ca}) = 1,00 \text{ г}$$

$$V(\text{O}_2) = 448 \text{ см}^3$$

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

Решение:

$$M(\text{Ca}) = 40 \text{ г/моль}; V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль};$$

$$M(\text{CaO}) = 56 \text{ г/моль}.$$

Переводим объем O_2 в дм³:

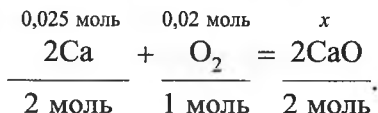
$$V(\text{O}_2) = 448/1000 = 0,448 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Находим химические количества реагентов:

$$n(\text{Ca}) = m/M = 1,00/40 = 0,025 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{O}_2) = V/V_m = 0,448/22,4 = 0,02 \text{ (моль)}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты отдельно по численным данным для обоих реагентов:



По кальцию:

$$\frac{0,025}{2} = \frac{x}{2}; \quad x = n(\text{CaO}) = \frac{0,025 \cdot 2}{2} = 0,025 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{CaO}) = n \cdot M = 0,025 \cdot 56 = 1,40 \text{ (г)}.$$

По кислороду:

$$\frac{0,02}{1} = \frac{x}{2}; \quad x = n(\text{CaO}) = \frac{0,02 \cdot 2}{1} = 0,04 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{CaO}) = n \cdot M = 0,04 \cdot 56 = 2,24 \text{ (г)}.$$

Мы получили два разных результата. Какой из них верный? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны выяснить, какой из реагентов — Ca или O₂ — *полностью* (без остатка) вступил в реакцию. Результат, полученный по данному реагенту (этот реагент будем называть **лимитирующим**), и будет верным.

Второй реагент не полностью вступил в реакцию, часть его останется непрореагировавшим.

В химии прочно укоренилась такая терминология: относительно реагента, который полностью вступил в реакцию (лимитирующий реагент), говорят, что он взят с недостатком; про другой реагент, который не полностью прореагировал, говорят, что он взят с избытком (избыточный реагент).

Вся проблема в целом называется **избыток—недостаток** (не совсем правильно, зато кратко и очень понятно для учащихся).

Запомните. Все численные расчеты в задачах проводятся по лимитирующему реагенту, т. е. реагенту, который взят с недостатком.

Как же выявить лимитирующий реагент? Очень просто, по уравнению реакции, которое показывает, в каких молярных отношениях взаимодействуют между собой реагенты А и Б.

Для приведенной выше задачи находим, сколько моль O_2 вступит в реакцию с 0,025 моль Са:

$$\frac{0,025 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} \cdot \frac{x}{1 \text{ моль}} = \frac{2 \text{ моль } CaO}{2 \text{ моль } Ca} ;$$

$$\frac{0,025}{2} = \frac{x}{1}; \quad x = n(O_2) = \frac{0,025}{2} = 0,0125 \text{ (моль)}.$$

Следовательно, из взятых по условию задачи 0,02 моль O_2 прореагирует только 0,0125 моль! Это и означает, что O_2 не полностью вступил в реакцию, взят с избытком, а масса СаО, найденная по кислороду, неправильная.

К такому же результату можно прийти, выяснив, сколько моль Са прореагирует с 0,02 моль O_2 :

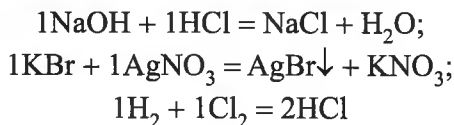
$$\frac{x \text{ моль}}{2 \text{ моль}} \cdot \frac{0,02}{1 \text{ моль}} = \frac{2 \text{ моль } CaO}{2 \text{ моль } Ca} ;$$

$$x = n(CaO) = \frac{0,02 \cdot 5}{1} = 0,04 \text{ (моль)}.$$

Таким образом, на реакцию с 0,02 моль O_2 требуется 0,04 моль Са, а его взято меньше, только 0,025 моль. Следовательно, взятой порции Са не хватает для полной реакции с O_2 , металл взят с недостатком (т. е. Са — лимитирующий реагент). Приходим к выводу: результат расчета, проведенный по Са, правильный: $m(CaO) = 1,40 \text{ г}$.

На практике для определения лимитирующего реагента разработаны более удобные (быстрые) подходы по сравнению с описанными выше. Прежде всего отметим, что лимитиру-

ющий реагент сразу находится, если вещества реагируют в одинаковом мольном отношении, например:



и т. д.

В этом случае *лимитирующим будет тот реагент, химическое количество которого меньше.*

Методику определения лимитирующего реагента в остальных случаях рассмотрим на конкретном примере.

Пример 7.2. Кальций массой 12,0 г смешали с фосфором массой 7,75 г и смесь нагрели. Рассчитайте массу полученного фосфида кальция.

Дано:

$$m(\text{Ca}) = 12,0 \text{ г}$$

$$m(\text{P}) = 7,75 \text{ г}$$

$$m(\text{Ca}_3\text{P}_2) = ?$$

Решение:

Устанавливаем формулу продукта. Степень окисления Ca в соединениях постоянна и равна +2; фосфор в соединениях с металлами проявляет свою низшую степень окисления, равную -3. Находим формулу фосфида кальция $\text{Ca}_a^{+2}\text{P}_b^{-3}$:

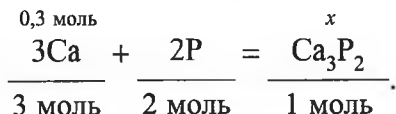
$$a = \frac{2 \cdot 3}{2} = 3; \quad b = \frac{2 \cdot 3}{3} = 2;$$

Формула фосфида кальция — Ca_3P_2 .

$$M(\text{Ca}) = 40 \text{ г/моль}; \quad M(\text{P}) = 31 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Ca}_3\text{P}_2) = 182 \text{ г/моль}.$$

Записываем уравнение реакции:



Решение искомой проблемы находим в два этапа.

Этап 1.

Рассчитываем химические количества реагентов:

$$n(\text{Ca}) = \frac{m}{M} = \frac{12}{40} = 0,3 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{P}) = \frac{m}{M} = \frac{7,75}{31} = 0,25 \text{ (моль).}$$

Этап 2.

Делим найденные химические количества на соответствующие стехиометрические коэффициенты (3 — для Ca и 2 — для P):

$$\frac{n(\text{Ca})}{3} = \frac{0,3}{3} = 0,1 \text{ (моль);}$$

$$\frac{n(\text{P})}{2} = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ (моль).}$$

Лимитирующим реагентом будет то вещество, для которого число, полученное при этих операциях, будет меньше. Так как $0,1 < 0,125$, делаем вывод: в недостатке находится Ca, по нему и проводим расчеты:

$$\frac{0,3}{3} = \frac{x}{1}; \quad x = n(\text{Ca}_3\text{P}_2) = \frac{0,3 \cdot 1}{3} = 0,1 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{Ca}_3\text{P}_2) = n \cdot M = 0,1 \cdot 182 = 18,2 \text{ (г).}$$

Ответ: $m(\text{Ca}_3\text{P}_2) = 18,2 \text{ г.}$

Обратите внимание:

- 1) без процедуры деления (этап 2) можно было бы прийти к неверному выводу: поскольку $n(\text{P})$ меньше, чем $n(\text{Ca})$ ($0,25 < 0,3$), лимитирующим реагентом является фосфор;
- 2) расчеты химического количества продуктов проводим по данным, полученным на 1-м, а не на 2-м этапе.

7.2. РАСЧЕТ МАССЫ НЕПРОРЕАГИРОВАВШЕГО РЕАГЕНТА

В задачах на тему «Избыток—недостаток» обычно требуется найти, какая масса (объем, химическое количество) избыточного реагента остается после реакции, т. е. не прореагирует. Эта проблема решается также в два этапа и рассматривается на примере данных предыдущей задачи. Итак, требуется найти, какая масса фосфора не вступит в реакцию.

Этап 1.

По недостатку, т. е. по кальцию, рассчитываем химическое количество фосфора, вступившего (прореагировавшего) в реакцию:

$$\frac{0,3 \text{ моль}}{3 \text{ моль}} \frac{3\text{Ca}}{3 \text{ моль}} + \frac{x}{2 \text{ моль}} \frac{2\text{P}}{2 \text{ моль}} = \text{Ca}_3\text{P}_2;$$

$$x = n(\text{P})_{\text{прореаг.}} = \frac{0,3 \cdot 2}{3} = 0,20 \text{ (моль)}.$$

Этап 2.

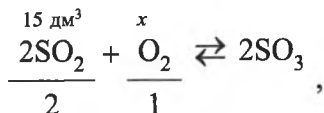
Вычитаем из исходного, т. е. взятого по условию, химического количества фосфора (0,25 моль) химическое количество прореагировавшего фосфора:

$$n(\text{P})_{\text{непрореаг.}} = n(\text{P})_{\text{исх.}} - n(\text{P})_{\text{прореаг.}} = 0,25 - 0,20 = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Находим массу непрореагировавшего фосфора:

$$m(\text{P})_{\text{непрореаг.}} = n(\text{P})_{\text{непрореаг.}} \cdot M(\text{P}) = 0,05 \cdot 31 = 1,55 \text{ (г)}.$$

Отметим, что в случае реакций с участием газов для определения избытка—недостатка вместо молей можно использовать объемы реагентов. Например, для реакции, уравнение которой



при $V(\text{SO}_2) = 15 \text{ дм}^3$, $V(\text{O}_2) = 10 \text{ дм}^3$ находим:

$$\frac{V(\text{SO}_2)}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$\frac{V(\text{O}_2)}{1} = \frac{10}{1} = 10 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Поскольку $7,5 < 10$, делаем вывод: SO_2 взят с недостатком. Рассчитываем объем прореагировавшего O_2 :

$$x = V(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} = \frac{15 \cdot 1}{2} = 7,5 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

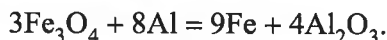
Тогда

$$V(\text{O}_2)_{\text{непрореаг.}} = 10 - 7,5 = 2,5 \text{ (дм}^3\text{)}.$$



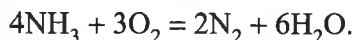
1. Алюминий массой 0,54 г реагирует с серой массой 0,80 г. Рассчитайте массу полученного сульфида алюминия.
2. Водород объемом (н. у.) $8,00 \text{ дм}^3$ смешали с хлором массой 35,5 г и смесь облучили УФ-светом. Найдите объем (н. у.) полученного хлороводорода и массу реагента, который не вступил в реакцию.
3. В реакцию, уравнение которой $3\text{MnO}_2 + 4\text{Al} = 3\text{Mn} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$, вступают оксид марганца(IV) массой 3,12 г и алюминий химическим количеством 0,0425 моль. Рассчитайте: а) массу полученного металла; б) химическое количество реагента, который не вступил в реакцию.
4. Какая масса осадка образуется при сливании раствора CuCl_2 массой 12,0 г с массовой долей соли 5 % и раствора KOH массой 1,5 г с массовой долей щелочи 20 %?
5. Нитрат кальция массой 16,4 г реагирует с фосфатом калия массой 15,9 г (реакция протекает в растворе). Найдите: а) массу образовавшегося осадка; б) массу непрореагировавшего реагента.

6. Железо можно получить из магнетита алюмотермическим методом по уравнению



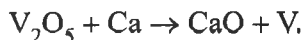
Рассчитайте массу железа, которое можно получить, если в реакцию ввести магнетит массой 34,8 г и алюминий массой 12,15 г. Какое вещество (Fe_3O_4 или Al) и какой массы останется после реакции?

7. Аммиак сгорает в кислороде согласно уравнению реакции



Рассчитайте объем (н. у.) азота, который образуется в данном процессе с участием 20 дм³ NH_3 и 18 дм³ O_2 . Найдите число молекул непрореагировавшего реагента.

8. Смешали кальций массой 6,0 г и фосфор массой 4,1 г. Рассчитайте, какое вещество и какой массы следует удалить из реакционной смеси, чтобы вещества без остатка (полностью) прореагировали между собой при нагревании.
9. Смесь магния и кремния общей массой 21,0 г, в которой массовая доля магния в 2 раза больше массовой доли кремния, нагрели. Найдите: а) массу полученного силицида магния; б) химическое количество непрореагировавшего реагента.
10. Смешали равные массы Al и S , затем смесь подожгли. Рассчитайте массовую долю сложного вещества в твердой фазе после реакции.
11. Сульфид калия массой 12,3 г обработали соляной кислотой массой 80,4 г с $w(\text{HCl}) = 12,2\%$. Полученный газ пропустили в избыток раствора CuSO_4 . Найдите массу образовавшегося осадка.
12. Кальций используется для получения ванадия по схеме:



Для получения ванадия смешали по 100 г оксида ванадия(V) и кальция. Найдите массу полученного ванадия.

13. Смесь алюминия и серы нагрели. После завершения реакции твердую фазу обработали избытком соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) $10,08 \text{ дм}^3$. Этот газ пропустили в избыток раствора CuSO_4 , образовался осадок массой $28,8 \text{ г}$. Найдите массовую долю алюминия в исходной смеси.
14. Рассчитайте массовую долю простого вещества в смеси, полученной при взаимодействии алюминия массой $8,64 \text{ г}$ и оксида железа(III) массой $40,0 \text{ г}$.
15. К метану объемом 100 дм^3 прибавили избыток кислорода и смесь подожгли. Объем газовой смеси после реакции составил 200 дм^3 . Найдите объем добавленного кислорода. (Все объемы измерены при н. у.).
16. Смешали алюминий массой $16,2 \text{ г}$ и серу массой $12,8 \text{ г}$, а затем смесь нагрели и после завершения реакции обработали избытком соляной кислоты. Рассчитайте объем (н. у.) полученного в последней реакции газа.

ГЛАВА 8

Выход продукта. Потери в производстве. Степень превращения вещества

8.1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ

До сих пор мы предполагали, что в результате химической реакции реагенты полностью превращаются в продукты. На практике такое случается редко; например, при получении CaCO_3 по обменной реакции $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl}$ часть его все же растворяется (абсолютно нерастворимых веществ нет). Кроме того, многие реакции обратимы (синтез аммиака, окисление SO_2 в SO_3), так что достичь полного превращения исходных веществ в продукты в принципе невозможно.

Для таких процессов вводятся понятия: «выход продукта», «потери в производстве», «теоретическая и практическая масса» ($m(\text{теор.})$ и $m(\text{практ.})$).

Хорошо усвойте:

1) *теоретическая масса* (а также «теоретический объем», «теоретическое химическое количество») — это та масса, которую рассчитывают по уравнению реакции при условии, что реагенты полностью превращаются в продукты;

2) *практическая масса* — это та масса, которая получена реально, на практике (обычно данная масса указывается в задаче).

Понятно, что $m(\text{практ.})$ всегда меньше $m(\text{теор.})$ или (в идеале) равна ей. Для оценки полноты протекания химического

процесса используют понятие «выход продукта»¹ (а также «потери в производстве»). Выход продукта обозначается греческой буквой η (читается «эта») и равен отношению практической массы продукта к теоретической:

$$\eta = \frac{m(\text{практ.})}{m(\text{теор.})} \cdot (100 \%) \quad (8.1)$$

Выход продукта может выражаться в долях единицы или процентах. Его можно найти и как отношение соответствующих химических количеств или объемов газов:

$$\eta = \frac{n(\text{практ.})}{n(\text{теор.})} \cdot (100 \%) \quad (8.2)$$

$$\eta = \frac{V(\text{практ.})}{V(\text{теор.})} \cdot (100 \%) \quad (8.3)$$

Выход не может превышать 1 (100 %), так как $m(\text{практ.}) < m(\text{теор.})$. Если $\eta = 1$ (100 %), то говорят, что реакция протекает количественно или со 100 %-м выходом. В этом случае $m(\text{практ.}) = m(\text{теор.})$.

Потери в производстве (правильнее говорить о массовой доле потерь, $w(\text{пот.})$) связаны с выходом продукта простым соотношением:

$$\eta = 1 - w(\text{пот.}) \quad (8.4)$$

или

$$\eta(\%) = 100 \% - w(\text{пот.}), \% \quad (8.5)$$

¹ Иногда (и мы тоже так будем делать) употребляют выражение «выход реакции».

Поэтому, если в условии задачи указаны потери в производстве, по формулам (8.4) или (8.5) находят выход продукта и далее в расчетах используют формулы (8.1) — (8.3).

8.2. РАСЧЕТ ВЫХОДА ПРОДУКТА

Пример 8.1. При взаимодействии растворов, содержащих 1,272 г Na_2CO_3 и избыток CaCl_2 , был получен осадок массой 1,000 г. Рассчитайте выход продукта реакции.

Дано:

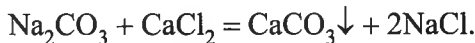
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,272 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = 1,000 \text{ г}$$

$$\eta(\text{прод.}) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции:



Осадок — это карбонат кальция, его выход и требуется рассчитать.

Находим:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}; \quad M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{1,272}{106} = 0,012 \text{ (моль)}.$$

Поскольку стехиометрические коэффициенты перед формулами Na_2CO_3 и CaCO_3 равны, то

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,012 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M = 0,012 \cdot 100 = 1,2 \text{ (г)}.$$

Проводя расчеты по уравнению реакции, мы нашли теоретическую массу осадка. В условии задачи указана практическая масса осадка. Используя формулу (8.1), находим выход CaCO_3 :

$$\eta(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{практ. CaCO}_3)}{m(\text{теор. CaCO}_3)} = \frac{1,000}{1,2} = 0,833 \text{ (83,3 \%)}.$$

$$\text{Ответ: } \eta(\text{CaCO}_3) = 83,3 \text{ \%}.$$

Пример 8.2. Смешали 2,00 м³ азота и 8,00 м³ водорода. Затем смесь пропустили под нагретым катализатором и получили аммиак объемом 0,400 м³. Найдите выход аммиака.

Дано:

$$V(\text{N}_2) = 2,00 \text{ м}^3$$

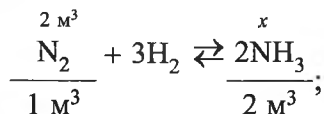
$$V(\text{H}_2) = 8,00 \text{ м}^3$$

$$V(\text{практ. NH}_3) = 0,400 \text{ м}^3$$

$$\eta(\text{NH}_3) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции и определяем лимитирующий реагент:



$$\frac{V(\text{N}_2)}{1} = \frac{2}{1} = 2 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$\frac{V(\text{H}_2)}{3} = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Поскольку $2 < 2,67$, делаем вывод: в недостатке находится азот, по нему и ведем расчеты. Рассчитываем объем аммиака:

$$\frac{2}{1} = \frac{x}{2}; \quad x = V(\text{NH}_3) = \frac{2 \cdot 2}{1} = 4 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Это теоретический объем аммиака, а в условии задачи указан его практический объем. Находим выход аммиака:

$$\eta(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{практ. NH}_3)}{V(\text{теор. NH}_3)} = \frac{0,4}{4} = 0,1 \text{ (10 \%)}.$$

Ответ: $\eta(\text{NH}_3) = 10 \%$.



1. При взаимодействии алюминия массой 1,24 г с избытком серы получили сульфид алюминия массой 3,12 г. Рассчитайте выход сульфида алюминия.
2. К раствору, содержащему CuCl_2 массой 2,70 г, прилили раствор, содержащий NaOH массой 1,2 г и получили осадок массой 1,176 г. Рассчитайте выход осадка.

3. Смешали оксид углерода(II) объемом 28,0 дм³ и кислород объемом 15,0 дм³. Смесь подожгли, в результате реакции образовался углекислый газ объемом 20,0 дм³. Найдите выход углекислого газа.
4. В реакции между 2,4 моль азота и 6,8 моль водорода получен аммиак химическим количеством 3,85 моль. Рассчитайте выход аммиака.
5. Из навески Fe₃O₄ массой 58,0 г получено железо массой 31,5 г. Найдите выход железа.

8.3. РАСЧЕТ МАССЫ (ОБЪЕМА) ПРОДУКТА ПО ЕГО ВЫХОДУ

Пример 8.3. Железо с водяными парами реагирует с образованием оксида железа(II, III) и водорода. При взаимодействии железа массой 14,00 кг с избытком водяных паров реакция протекает с выходом 85 %. Найдите объем (м³, н. у.) полученного водорода.

Дано:

$$m(\text{Fe}) = 14,00 \text{ кг}$$

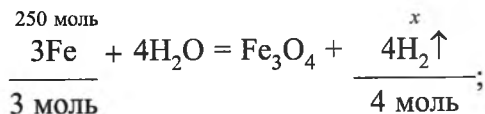
$$\eta = 85 \%$$

$$V(\text{прат. H}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}; V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$n(\text{Fe}) = \frac{m}{M}; \quad m(\text{Fe}) = 14,00 \text{ кг} = 14 \cdot 10^3 = 14000 \text{ (г)};$$

$$n(\text{Fe}) = \frac{14000}{56} = 250 \text{ (моль)}; \quad \frac{250}{3} = \frac{x}{4};$$

$$x = n(\text{H}_2) = \frac{250 \cdot 4}{3} = 333,3 \text{ (моль)};$$

$$V(\text{теор. H}_2) = n \cdot V_m = 333,3 \cdot 22,4 = 7465,92 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Из формулы (8.3) следует:

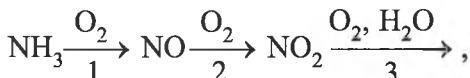
$$V(\text{практ.}) = V(\text{теор.})\eta;$$

$$V(\text{практ. } \text{H}_2) = 7465,92 \cdot 0,85 = 6346,032 \text{ (дм}^3\text{)} \approx 6,346 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{практ. } \text{H}_2) \approx 6,346 \text{ м}^3$.

Встречаются усложненные варианты таких задач, когда продукт получают в несколько стадий, причем каждая стадия протекает со своим выходом продукта.

Пример 8.4. Азотную кислоту из аммиака получают трехстадийным синтезом по схеме:



причем выход продукта на каждой стадии соответственно равен (%) 90,0; 95 и 80. Рассчитайте, какой объем раствора (плотность = 1,380 г/см³) HNO₃ с массовой долей ее 63 % можно получить из аммиака объемом (н. у.) 1,000 м³.

Дано:

$$V(\text{NH}_3) = 1,000 \text{ м}^3$$

$$\eta_1 = 90 \%$$

$$\eta_2 = 95 \%$$

$$\eta_3 = 80 \%$$

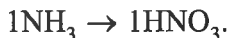
$$V(\text{р-ра HNO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Нерациональный способ решения задачи состоит в нахождении численных данных продукта для каждой из трех стадий.

Рациональный способ состоит в следующем:

1. Составляем стехиометрическую схему всего процесса:



2. По аммиаку рассчитываем теоретическое химическое количество кислоты:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{V}{V_m}; \quad V(\text{NH}_3) = 1,000 \text{ м}^3 = 1000 \text{ дм}^3;$$

$$n(\text{NH}_3) = \frac{1000}{22,4} = 44,64 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{HNO}_3) = n(\text{NH}_3) = 44,64 \text{ моль.}$$

3. Находим *суммарный* выход продукта как произведение выходов продукта по трем стадиям:

$$\eta(\text{суммарн.}) = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 0,684.$$

4. Рассчитываем практическое химическое количество HNO_3 . Из формулы (8.2) следует:

$$n(\text{практ.}) = n(\text{теор.}) \cdot \eta(\text{суммарн.});$$

$$n(\text{практ.}) = 44,64 \cdot 0,684 = 30,53 \text{ (моль).}$$

Дальнейшие вычисления проводим обычным образом:

$$m(\text{HNO}_3) = n \cdot M; \quad M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{HNO}_3) = 30,53 \cdot 63 = 1923,4 \text{ (г).}$$

Масса раствора находится делением массы вещества на его массовую долю:

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{w(\text{HNO}_3)};$$

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{1923,4}{0,63} = 3053 \text{ (г).}$$

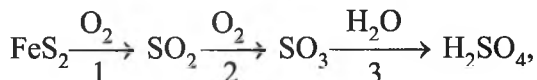
Разделив массу раствора на его плотность, найдем объем раствора:

$$V(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{m(\text{р-ра HNO}_3)}{\rho(\text{р-ра})};$$

$$V(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{3053}{1,38} = 2212,3 \text{ см}^3 \approx 2212 \text{ см}^3.$$

Ответ: $V(\text{р-ра HNO}_3) = 2212 \text{ см}^3$.

- !** 6. Рассчитайте объем (н. у.) оксида азота(II), который образуется в процессе $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ при окислении аммиака объемом 50,40 дм³, если потери в производстве составляют 7,00 %.
7. Водород объемом (н. у.) 6,72 дм³ пропустили над нагретой серой массой 5,00 г. Рассчитайте число образовавшихся при этом молекул сероводорода, если его выход равен 65 %.
8. Рассчитайте, какой объем раствора H_2SO_4 с массовой долей ее 65,0 % (плотность = 1,5 г/см³) можно получить из FeS_2 массой 102,4 г трехстадийным синтезом:



если выход продукта на каждой стадии соответственно равен (%) 85, 50 и 90.

8.4. РАСЧЕТ МАССЫ РЕАГЕНТА ПО ИЗВЕСТНОМУ ВЫХОДУ ПРОДУКТА

В данном случае в задачах указаны выход продукта и его масса (объем, химическое количество). Твердо усвойте, что в условии задачи приведены *практические* величины, а расчет числовых данных для реагента (исходного вещества) следует вести по теоретическим данным для продукта.

Пример 8.5. Какую массу CaCO_3 нужно взять для получения CO_2 объемом (н. у.) 11,2 дм³, если его выход в реакции термического разложения соли равен 90,0 %?

Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 11,2 \text{ дм}^3$$

$$\eta(\text{CO}_2) = 90,0 \%$$

$$m(\text{CaCO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

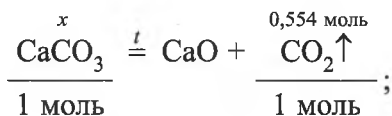
Первый этап решения таких задач заключается в переводе практических численных данных для продукта в теоретические.

Из формулы (8.3) следует:

$$V(\text{теор. CO}_2) = \frac{V(\text{практ. CO}_2)}{\eta(\text{CO}_2)};$$

$$V(\text{теор. CO}_2) = \frac{11,2}{0,9} = 12,4 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{теор. CO}_2)}{V_m} = \frac{12,4}{22,4} = 0,554 \text{ (моль)};$$

$$x = n(\text{CaCO}_3) = \frac{0,554 \cdot 1}{1} = 0,554 \text{ (моль)};$$

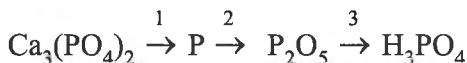
$$m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M; \quad M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,554 \cdot 100 = 55,4 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{CaCO}_3) = 55,4 \text{ г}$.

- !**
9. При взаимодействии CaO с углеродом образуются карбид кальция CaC_2 и угарный газ CO. В этом процессе с выходом 85 % был получен карбид кальция массой 9,6 г. Рассчитайте массу израсходованного оксида кальция.
 10. В реакции восстановления оксида железа(III) водородом с выходом 90 % было получено железо массой 105,2 г. Найдите массу использованного оксида железа(III).
 11. Какая масса Fe_3O_4 потребуется для получения железа массой 200,0 г, если потери в производстве составляют 7,8 % ?

12. Рассчитайте, какую массу $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ надо взять для получения фосфора массой 98,0 г при его выходе 85,0 %.
13. Из пирита FeS_2 с выходом 97,2 % был получен оксид железа(III) массой 78,6 г. Найдите массу израсходованного пирита.
14. Из фосфата кальция массой 100 кг трехстадийным синтезом



была получена фосфорная кислота массой 43,25 кг. На 2-й и 3-й стадиях выход равен соответственно 90 % и 95 %. Найдите выход на первой стадии.

8.5. СТЕПЕНЬ ПРЕВРАЩЕНИЯ РЕАГЕНТА

Существует ряд объективных причин, по которым не весь реагент вступает в реакцию. Поэтому вводится понятие «степень превращения реагента». Будем обозначать эту величину буквой β (бэта). Она равна отношению массы (объема, химического количества) вступившего в реакцию реагента к массе (объему, химическому количеству) взятого (исходного) реагента:

$$\beta = \frac{m(\text{прор. реаг.})}{m(\text{исх. реаг.})} = \frac{V(\text{прор. реаг.})}{V(\text{исх. реаг.})} = \frac{n(\text{прор. реаг.})}{n(\text{исх. реаг.})};$$

Если, например, из взятых 5 моль O_2 в реакцию вступило только 4 моль, то

$$\beta(\text{O}_2) = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ (80 \%)}.$$

Пример 8.6. Какую массу CuO можно получить при обжиге 14,4 г CuS ($\text{CuS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{SO}_2$), если степень превращения оксида меди(II) составляет 85 %?

Дано:

$$m(\text{CuS}) = 14,4 \text{ г}$$

$$\beta(\text{CuS}) = 85 \%$$

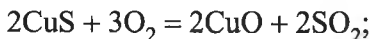
$$m(\text{CuO}) = ?$$

Решение:

$$M(\text{CuS}) = 96 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{CuO}) = 80 \text{ г/моль}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$n(\text{исх. CuS}) = \frac{m}{M} = \frac{14,4}{96} = 0,15 \text{ (моль)};$$

$$\begin{aligned} n(\text{прор. CuS}) &= n(\text{исх. CuS}) \beta(\text{исх. CuS}) = \\ &= 0,15 \cdot 0,85 = 0,1275 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$n(\text{CuO}) = n(\text{прор. CuS}) = 0,1275 \text{ моль}.$$

Находим:

$$m(\text{CuO}) = n \cdot M = 0,1275 \cdot 80 = 10,2 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{CuO}) = 10,2 \text{ г}$.

ГЛАВА 9

Примеси

9.1. РАСЧЕТЫ С УЧЕТОМ ПРИМЕСЕЙ

Абсолютно чистых веществ в природе не существует; каждое вещество наряду с основным компонентом включает то или иное количество примесей. Примеси по сравнению с основным веществом имеют другой состав, поэтому или вообще не вступают в химическую реакцию, или реагируют иначе, чем основной компонент.

Образец (вещество, навеска), содержащий примеси, принято называть технически чистым (или просто техническим). Его массу будем обозначать $m(\text{техн.})$, массу примесей — $m(\text{прим.})$, а массу основного вещества — $m(\text{вещ.})$; можно указывать его формулу (например, $m(\text{вещ. CaCO}_3)$). Запись $m(\text{техн. CaC}_2)$ показывает, что речь идет о массе технического карбида кальция.

Масса технического образца складывается из массы основного вещества и примесей:

$$m(\text{техн.}) = m(\text{вещ.}) + m(\text{прим.}) \quad (9.1)$$

Для массовой доли основного компонента можно записать:

$$\omega(\text{вещ.}) = \frac{m(\text{вещ.})}{m(\text{техн.})} \cdot (100 \%) \quad (9.2)$$

Содержание примесей в техническом образце обычно указывают с помощью массовой доли:

$$w(\text{прим.}) = \frac{m(\text{прим.})}{m(\text{техн.})} \cdot (100 \%) \quad (9.3)$$

Понятно, что сумма массовых долей основного вещества и примесей равна 1 (100 %):

$$w(\text{вещ.}) + w(\text{прим.}) = 1 \text{ (100 \%)},$$

поэтому

$$w(\text{вещ.}) = 1 - w(\text{прим.}) = 100 \% - w(\text{прим.}), \%; \quad (9.4)$$

$$w(\text{прим.}) = 1 - w(\text{вещ.}) = 100 \% - w(\text{вещ.}), \%. \quad (9.5)$$

Рассмотрим конкретный пример для расчета массовой доли примесей.

Пример 9.1. В образце технического магнетита массой 820,0 г массовая доля примесей равна 6,7 %. Найдите массу примесей и массу основного компонента Fe_3O_4 в этом образце.

Дано:

$$m(\text{техн.}) = 820,0 \text{ г}$$

$$w(\text{прим.}) = 6,7 \%$$

$$m(\text{прим.}) \text{ — ?}$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

Из формулы (9.3) следует:

$$m(\text{прим.}) = m(\text{техн.}) \cdot w(\text{прим.}).$$

Находим:

$$m(\text{прим.}) = 820,0 \cdot 0,067 = 54,94 \text{ (г)}.$$

Согласно выражению (9.1):

$$m(\text{вещ.}) = m(\text{техн.}) - m(\text{прим.});$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 820,0 - 54,94 = 765,1 \text{ (г)}.$$

Массу Fe_3O_4 можно найти иначе. Находим по формуле (9.4) $w(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ в образце:

$$w(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 1 - w(\text{прим.});$$

$$w(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 1 - 0,067 = 0,933.$$

Тогда из формулы (9.2) следует:

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = m(\text{техн.}) \cdot w(\text{Fe}_3\text{O}_4);$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 820,0 \cdot 0,933 = 765,1 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{прим.}) = 54,94 \text{ г}$; $m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 765,1 \text{ г}$.

Пример 9.2. При разложении известняка массой 67,2 г получили углекислый газ объемом (н. у.) 12,4 дм³. Рассчитайте массовую долю примесей в известняке.

Дано:

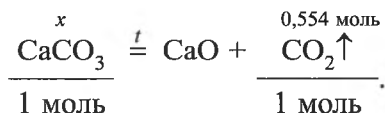
$$m(\text{известн.}) = 67,2 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 12,4 \text{ дм}^3$$

$$w(\text{прим.}) = ?$$

Решение:

Основным компонентом известняка является карбонат кальция, при разложении которого и получается углекислый газ:



Зная объем CO_2 , можно найти массу CaCO_3 в известняке:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{12,4}{22,4} = 0,554 \text{ (моль)};$$

$$\frac{x}{1} = \frac{0,554}{1}; \quad x = n(\text{CaCO}_3) = \frac{0,554 \cdot 1}{1} = 0,554 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M; \quad M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,554 \cdot 100 = 55,4 \text{ (г)}.$$

Далее задачу можно решить двумя способами.

Способ 1.

$$m(\text{прим.}) = m(\text{техн.}) - m(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{прим.}) = 67,2 - 55,4 = 11,8 \text{ (г)};$$

$$w(\text{прим.}) = \frac{m(\text{прим.})}{m(\text{техн.})} = \frac{11,8}{67,2} = 0,176 \text{ (17,6 \%)}.$$

Способ 2.

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{техн.})} = \frac{55,4}{67,2} = 0,824 \text{ (82,4 \%)};$$

$$w(\text{прим.}) = 100 \% - w(\text{CaCO}_3) = 100 \% - 82,4 \% = 17,6 \%.$$

Ответ: $w(\text{прим.}) = 17,6 \%$.

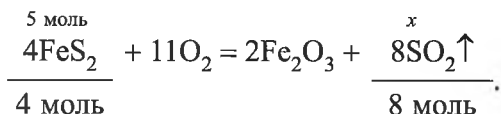
Пример 9.3. Технический пирит содержит 91,2 % FeS_2 по массе. Рассчитайте, какой объем оксида серы(IV) можно получить при обжиге технического пирита массой 658,0 г (примеси не содержат серу).

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{техн. FeS}_2) &= \\ &= 658,0 \text{ г} \\ w(\text{FeS}_2) &= 91,2 \% \\ V(\text{SO}_2) &= ? \end{aligned}$$

Решение:

Уравнение реакции обжига FeS_2 имеет вид:



Находим массу и химическое количество FeS_2 в техническом пирите [$M(\text{FeS}_2) = 120 \text{ г/моль}$]:

$$m(\text{FeS}_2) = m(\text{техн. FeS}_2) \cdot w(\text{FeS}_2);$$

$$m(\text{FeS}_2) = 658,0 \cdot 0,912 = 600,0 \text{ (г)};$$

$$n(\text{FeS}_2) = \frac{m}{M} = \frac{600,0}{120} = 5,000 \text{ (моль)}.$$

По уравнению реакции рассчитываем объем SO_2 :

$$\frac{5}{4} = \frac{x}{8}; \quad x = \frac{5 \cdot 8}{4} = 10,00 \text{ (моль)};$$

$$V(\text{SO}_2) = n \cdot V_m = 10 \cdot 22,4 = 224 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{SO}_2) = 224 \text{ дм}^3$.



1. Какой объем (н. у.) углекислого газа выделится при прокаливании известняка массой 350 г с массовой долей некарбонатных примесей 15 %?
2. При обжиге 134,3 г технического пирита был получен оксид серы массой 128 г. Найдите массовую долю примесей в техническом пирите.
3. При сжигании кокса (технический углерод) массой 25,6 г был получен углекислый газ объемом (н. у.) 44,8 дм³. Рассчитайте массу углерода в коксе массой 154,2 г.
4. Массовая доля атомов брома в техническом образце бромида кальция равна 64,0 %. Найдите массовую долю примесей (не содержащих бром) в этом образце.

9.2. РАСЧЕТ МАССЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА ПО МАССОВОЙ ДОЛЕ ПРИМЕСЕЙ

Мы не случайно выделили этот тип задач в отдельный раздел. Как показывает опыт, большая часть учащихся не умеет находить массу технического образца. Внимательно разберите следующий пример.

Пример 9.4. Какая масса технического карбида кальция с массовой долей примесей 7,2 % потребуется для получения ацетилена массой 13,4 г?

Дано:

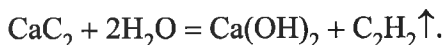
$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = 13,4 \text{ г}$$

$$\omega(\text{прим.}) = 7,2 \%$$

$$m(\text{техн. CaC}_2) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции:



Рассчитываем химическое количество ацетилена $[M(\text{C}_2\text{H}_2) = 26 \text{ г/моль}]$:

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{m}{M} = \frac{13,4}{26} = 0,515 \text{ (моль)}.$$

По уравнению реакции находим массу *чистого* карбида кальция (заметьте: не массу технического карбида кальция!).

Очевидно:

$$m(\text{CaC}_2) = n \cdot M; \quad M(\text{CaC}_2) = 64 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{CaC}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,515 \text{ моль};$$

$$m(\text{CaC}_2) = 0,515 \cdot 64 = 33,0 \text{ (г)}.$$

В дальнейших расчетах обычно допускают типичную ошибку. Найдя массу вещества (в данном случае CaC_2), по ней находят массу примесей:

$$m(\text{прим.}) = m(\text{CaC}_2) \cdot w(\text{прим.});$$

$$m(\text{прим.}) = 33,0 \cdot 0,072 = 2,38 \text{ (г)}.$$

И далее:

$$\begin{aligned} m(\text{техн. CaC}_2) &= m(\text{CaC}_2) + m(\text{прим.}) = \\ &= 33,0 + 2,38 = 35,38 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Но ведь CaC_2 не содержит примесей! Это индивидуальное (чистое) вещество. Как можно находить примеси в чистом веществе?!

Задачу надо решать следующим образом. Согласно условию задачи, массовая доля CaC_2 в техническом образце равна:

$$w(\text{CaC}_2) = 100 \% - w(\text{прим.}) = 100 \% - 7,2 \% = 92,8 \ \%.$$

Таким образом, найденная нами масса CaC_2 (33,0 г) составляет только 92,8 % от массы технического образца. Находим массу технического образца:

$$\begin{aligned} 33,0 &\text{ — } 92,8 \ %, \\ m(\text{техн. CaC}_2) &\text{ — } 100 \ %, \\ m(\text{техн.}) &= \frac{33,0 \cdot 100}{92,8} = 35,56 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Это — правильный ответ.

Ответ: $m(\text{техн. CaC}_2) = 35,56 \text{ г}$.

- !**
- Какая масса (г) технического пирита с массовой долей примесей 8,4 % потребуется для получения сернистого газа SO_2 объемом (н. у.) $2,540 \text{ м}^3$?
 - Массовая доля примесей в известняке равна 7,2 % (остальное — CaCO_3). Рассчитайте, какую массу известняка надо разложить для получения углекислого газа массой $100,0 \text{ г}$.
 - При обжиге технического пирита, содержащего 11,2 % примесей по массе, получили $2,5 \text{ г}$ оксида железа(III). Рассчитайте массу использованного технического пирита.

9.3. РАСЧЕТЫ С ОДНОВРЕМЕННЫМ УЧЕТОМ ВЫХОДА И ПРИМЕСЕЙ

Пример 9.5. Рассчитайте, какую массу фосфора можно получить из фосфорита массой 520 г с $w[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 95,2 \%$, если выход фосфора равен $87,6 \%$.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{фосфорита}) &= 520 \text{ г} \\ w[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] &= 95,2 \% \\ \eta(\text{P}) &= 87,6 \% \end{aligned}$$

$$m(\text{практ. P}) = ?$$

Решение:

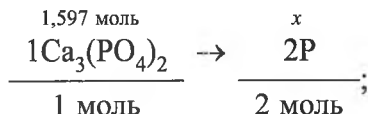
Находим массу и химическое количество фосфата кальция в фосфорите массой 520 г :

$$\begin{aligned} m[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] &= m(\text{фосфорита}) \times \\ &\times w([\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]) = 520 \cdot 0,952 = \\ &= 495 \text{ (г)}; \end{aligned}$$

$$n[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = \frac{m}{M}; \quad M[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 310 \text{ г/моль};$$

$$n[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = \frac{495}{310} = 1,597 \text{ (моль)}.$$

Составляем стехиометрическую схему процесса:



$$x = n_{\text{теор.}}(\text{P}) = 1,597 \cdot 2 = 3,194 \text{ (моль)}.$$

Мы нашли теоретическое химическое количество фосфора. Поскольку

$$\eta = \frac{n(\text{практ.})}{n(\text{теор.})},$$

находим:

$$n(\text{практ.}) = \eta \cdot n(\text{теор.}) = 0,876 \cdot 3,194 = 2,8 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{практ. P}) = n(\text{практ. P}) \cdot M(\text{P}); \quad M(\text{P}) = 31 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{практ. P}) = 2,8 \cdot 31 = 86,8 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{практ. P}) = 86,8 \text{ г}$.

- !**
8. Какую массу серной кислоты можно получить из технического пирита массой 530 г с $w(\text{FeS}_2) = 86,8 \%$, если суммарный выход кислоты в этом процессе равен 75,2 %?
 9. Из технического карбида кальция с массовой долей примесей 15,4 % с выходом 93,6 % был получен ацетилен объемом (н. у.) 120,8 м³. Найдите массу (кг) израсходованного технического карбида кальция.
 10. Из железной руды, содержащей 85,2 % Fe₃O₄ по массе, с выходом 97,2 % было получено железо массой 0,500 т. Найдите массу (г) израсходованной руды.
 11. Какую массу железа (кг) можно получить из железной руды массой 300,0 кг, в которой массовая доля оксида железа(III) равна 76,8 %, если выход железа составляет 91,2 %?
 12. Какая масса технического сульфида цинка с массовой долей примесей 9,1 % потребуется для получения 25,6 дм³ (н. у.) сероводорода, если его выход равен 85,6 %?

ГЛАВА 10

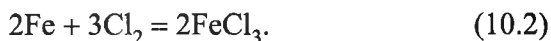
Смеси: кристаллические вещества и растворы

Задачи на смеси составляют подавляющее большинство экзаменационных заданий.

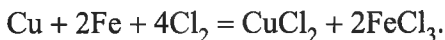
Напомним, что **смесь** — это система, состоящая из двух и более компонентов, содержание которых может варьироваться в широких пределах. Поэтому **запомните**:

при решении задач на смесь веществ следует записывать отдельное уравнение реакции для каждого компонента смеси.

Например, если смесь Cu и Fe обработали избытком Cl_2 , следует записать два уравнения:



Ошибка заключается в том, что записывают суммарное уравнение реакции:



В этом случае вы сразу же задаете молярное отношение между Cu, Fe и Cl_2 соответственно как 1:2:4, а это грубейшая ошибка, потому что *молярное отношение между компонентами смеси может быть совершенно различным*.

Еще одна характерная ошибка. Рассуждают следующим образом: поскольку коэффициент перед формулой Cl_2 в уравнении (10.2) в 3 раза больше коэффициента перед формулой Cl_2 в уравнении (10.1), то и химическое количество Cl_2

в нижнем уравнении в 3 раза больше, чем в верхнем. Повторяем: мольные отношения между компонентами смеси в разных уравнениях реакций могут варьироваться в широких пределах, а коэффициенты показывают мольные отношения только в данном уравнении реакции.

Для успешного решения задач на смеси первостепенное значение имеют знания о химических свойствах веществ. Такие знания приобретаются не сразу, поэтому активно используйте пособия [1—4]. Полезная информация содержится в Приложениях 7, 8 данной книги.

В общем случае при внешнем химическом воздействии на смесь в химические превращения может вступать только один компонент смеси, несколько компонентов либо все компоненты смеси. Рассмотрим конкретные примеры.

Пример 10.1. Сплав Cu и Mg общей массой 2,00 г опустили в избыток соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) 1,792 дм³. Найдите массовую долю меди в сплаве.

Дано:

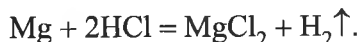
$$m(\text{Cu} + \text{Mg}) = 2,00 \text{ г}$$

$$V(\text{газа}) = 1,792 \text{ дм}^3$$

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

Решение:

Из двух металлов с соляной кислотой взаимодействует только Mg, так как медь в ряду активности металлов расположена за водородом. Записываем уравнение реакции:



Газ — это водород. Находим химическое количество водорода:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{1,792}{22,4} = 0,08 \text{ (моль)}.$$

Очевидно, что

$$n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2) = 0,08 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу магния [$M(\text{Mg}) = 24$ г/моль]:

$$m(\text{Mg}) = n \cdot M = 0,08 \cdot 24 = 1,92 \text{ (г)}.$$

Тогда

$$m(\text{Cu}) = m(\text{сплава}) - m(\text{Mg}) = 2,0 - 1,92 = 0,08 \text{ (г)}.$$

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{сплава})} = \frac{0,08}{2,00} = 0,04 \text{ (4 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{Cu}) = 4 \%$.

Рассмотрим случай, когда химическому превращению подвергаются оба компонента смеси.

Пример 10.2. В результате взаимодействия 8,90 г смеси магния и цинка с избытком соляной кислоты выделилось 4,48 дм³ (н. у.) газа. Рассчитайте массовую долю цинка в смеси.

Дано:

$$m(\text{Mg} + \text{Zn}) = 8,90 \text{ г}$$

$$V(\text{газа}) = 4,48 \text{ дм}^3$$

$$\omega(\text{Zn}) \text{ — ?}$$

Решение:

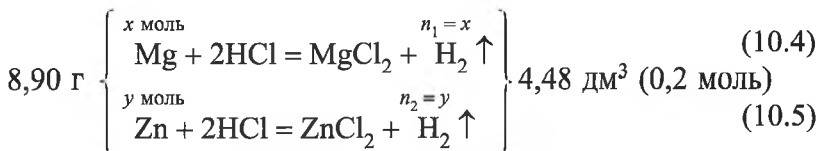
Обозначим химические количества Mg и Zn соответственно как x (моль) и y (моль). Тогда для массы смеси металлов [$M(\text{Mg}) = 24$ г/моль, $M(\text{Zn}) = 65$ г/моль] имеем:

$$24x + 65y = 8,90 \text{ (г)}. \quad (10.3)$$

Находим химическое количество водорода:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ (моль)}.$$

Записываем уравнения реакций:



$$(10.5)$$

Из уравнений (10.4) и (10.5) находим:

$$n_1(\text{H}_2) = x \text{ (моль)}; \quad n_2(\text{H}_2) = y \text{ (моль)}.$$

Следовательно,

$$n(\text{H}_2) = x + y = 0,2 \text{ моль.} \quad (10.6)$$

Равенства (10.3) и (10.6) образуют систему двух уравнений:

$$\begin{cases} 24x + 65y = 8,90; \\ x + y = 0,2. \end{cases}$$

Рассмотрим два варианта решения системы.

Вариант 1. Выражаем x из нижнего уравнения и подставляем полученное соотношение в верхнее уравнение¹:

$$\begin{aligned} x &= 0,2 - y; \\ 24(0,2 - y) + 65y &= 8,90; \\ 41y &= 4,1; \\ y &= 0,1 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Вариант 2. Домножаем все члены нижнего уравнения на 24:

$$24x + 24y = 4,8.$$

Почленно вычитаем это уравнение из верхнего:

$$\begin{aligned} 24x - 24x + 65y - 24y &= 8,9 - 4,8; \\ 41y &= 4,1; \\ y &= 0,1 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} n(\text{Zn}) &= y = 0,1 \text{ моль}; \\ m(\text{Zn}) &= n(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) = 0,1 \cdot 65 = 6,5 \text{ (г)}; \\ w(\text{Zn}) &= \frac{m(\text{Zn})}{m(\text{смеси})} = \frac{6,5}{8,90} = 0,730 \text{ (73,0 \%)} \end{aligned}$$

Ответ: $w(\text{Zn}) = 73,0 \%$.

¹ Выразить можно любое неизвестное и из любого уравнения; на практике руководствуются соображениями удобства.

В общем случае численные данные могут даваться только для исходных веществ, только для продуктов, а также исходных веществ и продуктов. Рассмотрим пример решения задачи, в которой численные данные приведены только для продуктов реакции.

Пример 10.3. Смесь Na_2CO_3 и K_2S полностью растворили в соляной кислоте. При этом выделился газ объемом (н. у.) $5,6 \text{ дм}^3$ и образовалась смесь хлоридов массой $34,05 \text{ г}$. Найдите массовую долю K_2S в исходной смеси.

Дано:

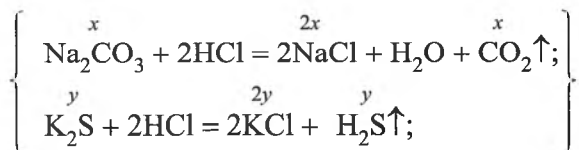
$$V(\text{газа}) = 5,6 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{хлоридов}) = 34,05 \text{ г}$$

$$w(\text{K}_2\text{S}) = ?$$

Решение:

Записываем уравнения реакций и проводим расчеты.



$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{K}_2\text{S}) = 110 \text{ г/моль};$$

$$V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль};$$

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

$$M(\text{KCl}) = 74,5 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}) = \frac{V(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S})}{V_m} = \frac{5,6}{22,4} = 0,25 \text{ (моль)}.$$

Вводим необходимые обозначения (см. уравнения реакций) и получаем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2x \cdot 58,5 + 2y \cdot 74,5 = 34,05 \text{ (по массе хлоридов);} \\ x + y = 0,25 \text{ (по химическому количеству газов).} \end{array} \right.$$

Умножаем нижнее уравнение системы на 117:

$$117x + 117y = 29,25$$

и вычитаем его из верхнего уравнения:

$$117x - 117x + 149y - 117y = 34,05 - 29,25;$$

$$32y = 4,8;$$

$$y = 0,15 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{K}_2\text{S}) = n(\text{K}_2\text{S}) \cdot M(\text{K}_2\text{S}) = 0,15 \cdot 110 = 16,5 \text{ (г)}.$$

Поскольку $x + y = 0,25$:

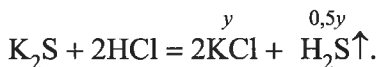
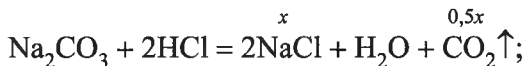
$$x = 0,25 - y = 0,25 - 0,15 = 0,10 \text{ (моль)};$$

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \\ &= 0,10 \cdot 106 = 10,6 \text{ (г)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w(\text{K}_2\text{S}) &= \frac{m(\text{K}_2\text{S})}{m(\text{K}_2\text{S}) + m(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{16,5}{16,5 + 10,6} = \\ &= \frac{16,5}{27,1} = 0,609 \text{ (60,9 \%)} \end{aligned}$$

Ответ: $w(\text{K}_2\text{S}) = 60,9 \%$.

Задачу можно было решать, вводя мольные обозначения по-другому:



Тогда система уравнений выглядела бы иначе:

$$\begin{cases} 58,5x + 74,5y = 34,05; \\ 0,5x + 0,5y = 0,25. \end{cases}$$

Обратите внимание. То, как вы обозначите мольные отношения, не влияет на ответ задачи, главное, чтобы они соответствовали стехиометрическим коэффициентам.

При показанном выше обозначении вы получили бы другие значения неизвестных, а именно: $x = 0,2$ моль, $y = 0,3$ моль.

Однако, переходя к исходным веществам, вы все равно получите такие же значения химических количеств, как и в начале решения задачи:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = x/2 = 0,1 \text{ моль};$$

$$n(\text{K}_2\text{S}) = y/2 = 0,15 \text{ моль}.$$

Среди предлагаемых для самостоятельного решения задач довольно много таких, в которых фигурирует массовая доля атомов какого-то элемента. Рассмотрим пример решения подобной задачи.

Пример 10.4. Смесь Ca_3P_2 и CaHPO_4 содержит $2,408 \cdot 10^{23}$ атомов фосфора и $3,01 \cdot 10^{23}$ атомов кальция. Найдите массовую долю Ca_3P_2 в смеси.

Дано:

$$N(\text{P}) = 2,408 \cdot 10^{23}$$

$$N(\text{Ca}) = 3,01 \cdot 10^{23}$$

$$w(\text{Ca}_3\text{P}_2) = ?$$

Решение:

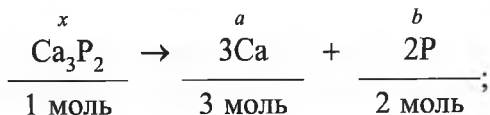
Находим химическое количество атомов P и O в смеси:

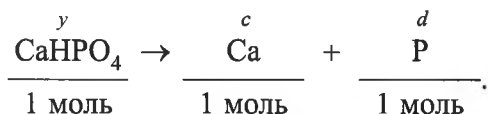
$$n(\text{Э}) = \frac{N(\text{Э})}{N_A};$$

$$n(\text{P}) = \frac{2,408 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,4 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{Ca}) = \frac{3,01 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,5 \text{ (моль)}.$$

Обозначаем химические количества Ca_3P_2 и CaHPO_4 соответственно как x (моль) и y (моль) и составляем стехиометрические схемы:





Из стехиометрических схем находим:

$$a = n(\text{Ca})_{\text{Ca}_3\text{P}_2} = 3x; \quad b = n(\text{P})_{\text{Ca}_3\text{P}_2} = 2x;$$

$$c = n(\text{Ca})_{\text{CaHPO}_2} = y; \quad d = n(\text{P})_{\text{CaHPO}_2} = y.$$

Мы нашли $n(\text{P}) = 0,4$ моль, следовательно,

$$2x + y = 0,4. \quad (10.7)$$

Аналогично $n(\text{Ca}) = 0,5$ моль, следовательно,

$$3x + y = 0,5. \quad (10.8)$$

Решая совместно уравнения (10.7) и (10.8), находим:

$$x = 0,1 \text{ моль}; \quad M(\text{Ca}_3\text{P}_2) = 182 \text{ г/моль};$$

$$y = 0,2 \text{ моль}; \quad M(\text{CaHPO}_4) = 182 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Ca}_3\text{P}_2) = 0,1 \cdot 182 = 18,2 \text{ (г)};$$

$$m(\text{CaHPO}_4) = 0,2 \cdot 136 = 27,2 \text{ (г)}.$$

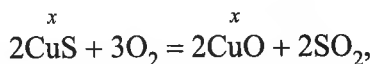
Следовательно,

$$\begin{aligned} w(\text{Ca}_3\text{P}_2) &= \frac{m(\text{Ca}_3\text{P}_2)}{m(\text{Ca}_3\text{P}_2 + \text{CaHPO}_4)} = \frac{18,2}{18,2 + 27,2} = \\ &= \frac{18,2}{45,4} = 0,4 \text{ (40 \%)} \end{aligned}$$

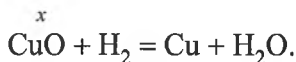
Ответ: $w(\text{Ca}_3\text{P}_2) = 40 \%$.

Сделаем еще два существенных замечания.

1. Допустим, вы решаете задачу, в которой вещество вовлекается в ряд последовательных превращений. Например,

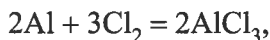


а потом



Если $n(\text{CuS}) = x$ (моль), то и $n(\text{CuO}) = x$ (моль) как в первом, так и во втором уравнениях! Часто пишут для второго уравнения $n(\text{CuO}) = 0,5x$, потому что коэффициент перед формулой CuO во втором уравнении в 2 раза меньше, чем в первом уравнении. Это грубейшая ошибка, масса CuO в обоих уравнениях одинакова (это один и тот же продукт), и химические количества будут равны: $n = m/M$ (M — молярная масса, величина, постоянная для данного вещества).

2. Часто решая задачи, в которых фигурируют уравнения типа



химическое количество обозначают $2x$ (для Al) и $3x$ (для Cl_2) (*первый способ*). Это не ошибка, однако мы все же рекомендуем следующие обозначения: $n(\text{Al}) — x$, $n(\text{Cl}_2) — 1,5x$ (*второй способ*). Почему? Дело в том, что, находя x , а затем $m(\text{Al})$ по первому способу, *очень часто* забывают найденное значение x умножить на 2 и в итоге получают в 2 раза заниженный ответ. Эта ошибка автоматически исключается, если мы вводим обозначения по второму способу.

- 
1. Смесь алюминия и меди массой 20,9 г обработали избытком разбавленной серной кислоты. При этом выделился газ объемом (н. у.) 10,08 дм³. Рассчитайте массовую долю меди в исходной смеси металлов.
 2. Смесь цинковых и серебряных опилок массой 9,52 г опустили в избыток соляной кислоты. К окончанию реакции масса твердого остатка составила 4,32 г. Найдите массу образовавшейся при этом соли.
 3. В смеси меди и железа массой 35,2 г массовая доля меди равна 32,8 %. Рассчитайте, какой максимальный объ-

ем соляной кислоты с $w(\text{HCl}) = 25,2 \%$ ($\rho = 1,065 \text{ г/см}^3$) может вступить в реакцию с этой смесью и какой объем (н. у.) газа при этом выделится.

4. При обработке смеси Ag и Mg избытком соляной кислоты получен газ объемом (н. у.) $4,48 \text{ дм}^3$. Найдите массу полученной при этом соли.
5. Какой объем соляной кислоты с $w(\text{HCl}) = 25,0 \%$ ($\rho = 1,065 \text{ г/см}^3$) потребуется для полного растворения смеси Al и Zn массой $26,4 \text{ г}$ с массовой долей цинка $36,2 \%$?
6. Сплав Ag и Al обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили газ объемом (н. у.) $0,56 \text{ дм}^3$; при этом масса твердого остатка составила $2,7 \text{ г}$. Найдите $w(\text{Al})$ в сплаве.
7. Смесь Na_2SiO_3 и Na_2CO_3 растворили в воде и к полученному раствору добавили избыток соляной кислоты. В результате реакции образовались $1,204 \cdot 10^{23}$ молекул газа и осадок массой $7,7 \text{ г}$. Чему равна $w(\text{Na}_2\text{SiO}_3)$ в исходной смеси?
8. Смесь NaOH и KOH массой $25,6 \text{ г}$ полностью растворили в воде. На нейтрализацию полученного раствора потребовалось $0,3$ моль HBr. Определите $w(\text{NaOH})$ в исходной смеси.
9. Смесь Zn и ZnS массой $22,7 \text{ г}$ полностью растворили в H_2SO_4 (разб.) и получили газ объемом (н. у.) $6,72 \text{ дм}^3$. Рассчитайте $w(\text{ZnS})$ в смеси.
10. В смеси Al_2O_3 и $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ числа атомов металла и кислорода соответственно равны $2,408 \cdot 10^{23}$ и $1,2642 \cdot 10^{24}$. Найдите массу смеси и массовую долю оксида в ней.
11. Смесь массой $2,65 \text{ г}$, состоящую из Zn и Al, полностью растворили в H_2SO_4 (разб.) и получили газ объемом (н. у.) $2,128 \text{ дм}^3$. Рассчитайте массу соляной кислоты с $w(\text{HCl}) = 0,124$, которая потребуется для растворения такой же смеси массой $10,0 \text{ г}$.

12. В результате взаимодействия смеси Mg и Al массой 1,25 г с избытком H_2SO_4 (разб.) выделился газ массой 0,071 г. Найдите число атомов Zn в исходной смеси.
13. Сплав массой 7,31 г, состоящий из натрия и бария, растворили в избытке воды. Выделившийся газ сожгли в избытке кислорода и получили продукт массой 1,08 г. Рассчитайте $w(\text{Ba})$ в сплаве.
14. На смесь ZnCO_3 и ZnS действовали избытком соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) $1,568 \text{ дм}^3$, при сжигании которого образовалась вода массой 0,36 г. Найдите $w(\text{ZnCO}_3)$ в исходной смеси солей.
15. Смесь $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ прокалили до постоянной массы. Полученный твердый остаток полностью растворили в соляной кислоте. В результате образовалась смесь солей массой 3,756 г. Найдите массовую долю $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ в смеси, если известно, что на растворение твердого остатка затрачена соляная кислота объемом $23,8 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 10,52 \%$.
16. Смесь Al и Cu полностью окислили избытком кислорода и получили смесь оксидов массой 3,42 г. При обработке такой же смеси металлов избытком хлора образуется смесь хлоридов массой 6,72 г. Найдите $w(\text{Cu})$ в исходной смеси.
17. На полное окисление смеси Fe и Zn потребовался O_2 объемом $2,128 \text{ дм}^3$ (железо окисляется до степени окисления +3). Такую же смесь металлов обработали избытком соляной кислоты и получили смесь солей массой 19,68 г. Найдите $w(\text{Fe})$ в смеси.
18. В смеси оксидов Al_2O_3 и Cu_2O число атомов O в 1,1 раза больше суммарного числа атомов металлов. Рассчитайте массовую долю атомов меди в смеси, если известно, что ее масса равна 59,4 г.
19. На полное хлорирование смеси Cu и Fe был затрачен хлор объемом (н. у.) $1,456 \text{ дм}^3$. При этом образовалась

- смесь хлоридов массой 7,75 г. Рассчитайте $w(\text{Fe})$ в смеси.
20. При полном восстановлении водородом смеси CuO и Fe_2O_3 образовалась смесь металлов массой 5,92 г и вода объемом (н. у.) $1,98 \text{ см}^3$. Найдите массу смеси оксидов металлов.
21. На полное растворение смеси Al_2O_3 и SnO_2 массой 1,979 г потребовался раствор H_2SO_4 массой 45,08 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10 \%$. Определите суммарную массу образовавшихся солей.
22. При полном восстановлении водородом смеси SnO_2 и Cr_2O_3 массой 6,81 г образовалась вода массой 1,89 г. Найдите массовую долю атомов кислорода в исходной смеси оксидов.
23. На полное восстановление смеси Fe_2O_3 и Fe_3O_4 был затрачен водород объемом (н. у.) $11,2 \text{ дм}^3$. Рассчитайте массу образовавшейся при этом воды.
24. При длительном нагревании смеси $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ масса твердого остатка составила 75,68 % от массы исходной смеси гидроксидов. Найдите $w[\text{Cu}(\text{OH})_2]$ в смеси.
25. Длительное время нагревали смесь $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ и KNO_3 . В результате образовались твердый остаток массой 5,95 г и смесь газов объемом (н. у.) $4,648 \text{ дм}^3$. Определите $w(\text{KNO}_3)$ в исходной смеси.
26. На полное окисление смеси Fe и Cu потребовался O_2 объемом (н. у.) $2,576 \text{ дм}^3$. В образовавшейся смеси оксидов массовая доля атомов кислорода равна 27,1 %. Найдите $w(\text{Cu})$ в смеси.
27. При полном термическом разложении смеси AgNO_3 и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ массой 27,4 г образовался твердый остаток массой 13,72 г. Рассчитайте суммарный объем (н. у.) выделившихся при этом газов.

28. В смеси P_2O_5 и $Ca_3(PO_4)_2$ массой 10,2 г массовая доля атомов кислорода равна 51,76 %. Какую массу H_3PO_4 можно получить из такой смеси?
29. В смеси удобрений $(NH_4)_2HPO_4$ и $NH_4H_2PO_4$ $w(N) = 16,09$ %. Чему равна $w(P)$ в этой смеси?
30. Имеется смесь $CO(NH_2)_2$ и $(NH_4)_3PO_4$, в которой $w(P) = 11,52$ %. Найдите $w(N)$ в этой смеси.
31. Какую массу $Ca_3(PO_4)_2$ надо добавить к K_3PO_4 массой 50,88 г, чтобы $w(P)$ возросла в 1,222 раза?
32. В смеси $(NH_4)_2HPO_4$ и $Ca(H_2PO_4)_2$ мольное отношение $n(N)/n(P)$ равно 1,333. Найдите $w(O)$ в смеси.
33. Водный раствор KH_2PO_4 массой 68,0 г содержит $19,4 \times 10^{23}$ атомов водорода. Рассчитайте массовую долю соли в растворе.
34. К порции $FeCl_3$ добавили $CaCl_2$ массой 5,55 г. При этом число атомов хлора возросло в 2,667 раза. Чему равна $w(FeCl_3)$ в смеси двух солей?
35. Масса смеси Fe_2O_3 и CuO равна 40,0 г, а $w(O)$ в ней составляет 24 %. Найдите $w(CuO)$ в смеси.
36. При нагревании на воздухе некоторой порции меди масса порции возросла на 16 %. Найдите массовые доли веществ в образовавшейся смеси. Какая часть (%) меди окислилась?
37. При обработке CaO водой масса оксида возросла на 18 %. Какая часть (%) оксида была погашена?
38. Смесь сульфатов $Cu(II)$ и $Fe(III)$ обработали избытком разбавленного раствора щелочи и получили осадок массой 13,46 г. Этот осадок прокалили до постоянной массы, при этом образовался твердый остаток массой 10,4 г. Найдите массу исходной смеси солей.
39. При нагревании $CaCO_3$ масса твердого остатка составила 80 % от массы исходной соли. Какая часть (%) соли разложилась?

40. Смесь Cu и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ длительное время нагревали на воздухе. При этом ее масса не изменилась. Найдите $w(\text{Cu})$ в исходной смеси.
41. При частичном разложении NaNO_3 массой 100,0 г получили смесь солей, в которой их массовые доли равны. Рассчитайте объем (н. у.) образовавшегося при разложении газа.
42. Некоторую порцию смеси Al и Fe разделили на равные части. Одну из них обработали избытком Cl_2 и получили смесь хлоридов массой 75,45 г. Другую часть обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили смесь сульфатов массой 79,8 г. Найдите объем (н. у.) O_2 , который потребуется для полного окисления такой смеси двух металлов массой 12,8 г.
43. Смесь гидридов калия и бария растворили в избытке воды и получили $3,311 \cdot 10^{23}$ молекул газа. На полную нейтрализацию образовавшегося раствора понадобилось 0,55 моль HCl . Найдите $w(\text{H})$ в исходной смеси гидридов.
44. Смесь Fe_2O_3 и Fe_3O_4 полностью восстановили угарным газом, которого потребовалось 24,64 дм³ (н. у.). Полученное железо может максимально вступить в реакцию с хлором массой 85,2 г. Найдите массовую долю атомов железа в исходной смеси.
45. Из смеси сульфатов Cu(I) и Fe(II) массой 51,84 г можно максимально получить 72,00 г смеси сульфатов Cu(II) и Fe(III) . Найдите массовую долю сульфата Cu(I) в смеси.
46. Из смеси хлоридов Fe(III) и Sn(IV) получили 20,05 г смеси Fe(OH)_3 и Sn(OH)_4 . Гидроксиды длительное время нагревали, а на полное восстановление полученных оксидов был затрачен оксид углерода(II) массой 7,0 г. Найдите суммарную массу смеси исходных хлоридов.

47. Каким должно быть мольное отношение $n(\text{Al})/n[\text{Al}(\text{NO}_3)_3]$ в их смеси, чтобы после длительного нагревания на воздухе ее масса не изменилась?
48. Массовая доля атомов металла Me в смеси, состоящей из равных химических количеств MeO и MeCl_2 , равна 0,5849. Установите металл и $w(\text{MeCl}_2)$ в смеси.
49. Сплав массой 10,55 г, состоящий из Zn и неизвестного металла, полностью растворили в избытке соляной кислоты и получили водород объемом (н. у.) 4,48 дм³. Установите неизвестный металл, если известно, что $w(\text{Zn})$ в сплаве равна 61,9 %.
50. На полную нейтрализацию раствора массой 10,0 г, содержащего 2,88 г смеси KOH и NaOH , потребовался раствор массой 10,0 г с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 19,6$ %. Рассчитайте массовые доли солей в образовавшемся растворе.
51. При сгорании фосфора массой 24,8 г в кислороде объемом (н. у.) 17,92 дм³ образовалась смесь оксидов P(III) и P(V) (кислород полностью израсходовался). Найдите $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ в образовавшейся смеси оксидов.
52. Смесь карбоната и сульфида металла(I) обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили смесь газов объемом (н. у.) 1000 см³ и массой 1,7071 г. Определите металл, если известно, что массовые доли солей в исходной смеси одинаковы.
53. В смеси FeS и FeCO_3 массой 29,2 г массовая доля атомов железа равна 57,33 %. Какой объем (н. у.) газа выделится при обработке смеси избытком H_2SO_4 (разб.)?
54. При нагревании меди массой 13,44 г с серой массой 5,76 г образуется смесь сульфидов Cu(I) и Cu(II) . Найдите $w(\text{CuS})$ в этой смеси.
55. В смеси K_2S и CaSO_3 массой 28,0 г отношение массовых долей атомов $w(\text{S})/w(\text{O})$ равно 3,333. Какой объем газа выделится при обработке смеси избытком соляной кислоты при нагревании?

56. При обработке смеси Al и Cu избытком серы при нагревании получили смесь сульфидов массой 16,68 г. При полном окислении сульфидов образовался газ объемом (н. у.) $5,824 \text{ дм}^3$. Рассчитайте $w(\text{Cu})$ в исходной смеси.
57. Смесь Na_2CO_3 и CaCO_3 обработали избытком соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) $4,48 \text{ дм}^3$, а также смесь хлоридов массой 23,1 г. Найдите $w(\text{CaCO}_3)$ в смеси.
58. При полном термическом разложении смеси нитратов калия и железа(III) массой 22,2 г получили твердый остаток массой 12,5 г. Найдите суммарный объем (н. у.) образовавшихся при этом газов.
59. Смесь Fe_2O_3 и Fe_3O_4 массой 13,8 г полностью восстановили водородом. Образовавшееся железо обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили газ объемом (н. у.) $3,92 \text{ дм}^3$. Найдите $w(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ в смеси.
60. На смесь Cu и Fe массой 1,312 г действовали избытком Cl_2 . Образовавшиеся хлориды обработали избытком раствора AgNO_3 и получили осадок массой 8,036 г. Найдите: а) $w(\text{Cu})$ в исходной смеси; б) объем (н. у.) прореагировавшего Cl_2 .
61. Смесь $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и CuSO_4 массой 26,24 г обработали избытком разбавленного раствора KOH. Выпавший осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы, равной 10,72 г. Рассчитайте массовую долю атомов железа в исходной смеси.
62. Смесь KNO_3 и AgNO_3 массой 38,8 г прокалили до постоянной массы, при этом образовалась смесь газов, в которой объем O_2 в 3,5 раза больше объема NO_2 . Найдите $w(\text{KNO}_3)$ в смеси.
63. Смесь K_2CO_3 и CuCO_3 массой 9,096 г обработали избытком H_2SO_4 (разб.). Выделившийся газ пропустили в избыток раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и получили осадок массой 7,2 г. Найдите массовую долю атомов кислорода в исходной смеси.

64. Смесь гидроксидов Al и Cu(II) прокалили до постоянной массы и получили твердую смесь массой 6,55 г, в которой $w(O) = 30,53\%$. Рассчитайте массу смеси гидроксидов.
65. Смесь Fe, WO_3 и Cr_2O_3 массой 34,8 г обработали избытком соляной кислоты и получили $1,204 \cdot 10^{23}$ молекул газа. Такую же смесь и такой же массы восстановили водородом и получили 28,72 г смеси металлов. Найдите $w(WO_3)$ в смеси.
66. Смесь FeS_2 и CuS полностью сожгли в избытке O_2 , при этом затрачено $1,736 \text{ дм}^3$ (н. у.) газа. Образовавшиеся оксиды металлов полностью восстановили водородом, которого потребовалось 1008 см^3 (н. у.). Найдите: а) $w(S)$ в исходной смеси; б) суммарную массу полученных в последней реакции металлов.
67. При полном термическом разложении смеси $AgNO_3$ и $Al(NO_3)_3$ массой 78,32 г образовалась смесь газов объемом (н. у.) $25,536 \text{ дм}^3$. Определите $w(Al_2O_3)$ в твердом остатке после прокаливании.
68. Смесь Al_2S_3 и SnS_2 массой 10,65 г содержит $7,826 \cdot 10^{22}$ атомов серы. Какой объем (н. у.) H_2S можно получить из этой смеси, если выход сероводорода равен 75 %?
69. Из смеси Cr_2S_3 и OsS_4 можно получить SO_2 объемом (н. у.) $5,152 \text{ дм}^3$ или смесь металлов массой 9,000 г. Найдите $w(OsS_4)$ в смеси.
70. Из смеси KNO_3 и $Cu(NO_3)_2$ можно получить раствор HNO_3 максимальной массой 78,75 г с $w(HNO_3) = 20,0\%$ или O_2 объемом (н. у.) $8,4 \text{ дм}^3$. Определите $w(KNO_3)$ в смеси.
71. Имеются две одинаковые смеси Fe и Sn. Одну из них обработали O_2 и получили смесь оксидов Fe_3O_4 и SnO_2 массой 19,74 г. На другую смесь действовали избытком Cl_2 и получили смесь $FeCl_3$ и $SnCl_4$ массой 35,85 г. Найдите $w(Fe)$ в исходной смеси.

72. При обработке смеси Na_2CO_3 и CaSO_3 избытком H_2SO_4 (разб.) при нагревании получили смесь газов, которую пропустили в избыток раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$; при этом образовался осадок массой 7,4 г. В смеси газов массовая доля более легкого газа составляет 63,2 %. Найдите $w(\text{CaSO}_3)$ в исходной смеси.
73. Смесь Al и Fe массой 16,6 г обработали избытком H_2SO_4 (разб.) (масса раствора 294 г, $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20\%$). На нейтрализацию избытка кислоты потребовался $\text{Ba}(\text{OH})_2$ химическим количеством 0,1 моль. Рассчитайте $w(\text{Al})$ в смеси.
74. В смеси Cr_2O_3 и CuO число атомов кислорода в 1,25 раза больше числа атомов металлов. На полное восстановление смеси затрачен H_2 объемом (н. у.) 11,2 дм^3 . Найдите общую массу образовавшихся при восстановлении металлов.
75. Смесь FeO и Cu_2O массой 21,6 г полностью окислили в смесь Fe_2O_3 и CuO массой 24,0 г. Рассчитайте: а) объем (н. у.) затраченного на окисление кислорода; б) массовую долю атомов Cu в исходной смеси.
76. Смесь Fe_3O_4 и Cu_2O массой 26,0 г полностью перевели в смесь $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и CuSO_4 массой 62,9 г. Найдите массовую долю атомов Fe в исходной смеси.
77. Смесь $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и CuCl_2 нагревали до постоянной массы и получили смесь газов объемом (н. у.) 11,2 дм^3 . При добавлении к такой же исходной смеси солей избытка раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ получили осадок массой 27,8 г. Найдите $w(\text{CuCl}_2)$ в исходной смеси.
78. Сплав Zn и Al массой 23,8 г полностью растворили в H_2SO_4 (разб.) и получили смесь сульфатов массой 100,0 г. Какую массу Al надо сплавить с Zn массой 260 г, чтобы получить такой же по составу сплав?
79. Смесь KNO_3 и KClO_3 нагревали до постоянной массы, при этом масса твердого остатка оказалась на 23,2 г

меньше массы исходной смеси. В конечной смеси $w(K) = 49,66\%$. Определите $w(KNO_3)$ в исходной смеси.

80. Избыток Fe обработали газообразной смесью Cl_2 и HCl объемом (н. у.) $1478,4\text{ см}^3$ и получили смесь хлоридов массой $6,44\text{ г}$. Найдите массу прореагировавшего железа.
81. Смесь $FeSO_4$ и $Fe_2(SO_4)_3$ массой $15,04\text{ г}$ растворили в избытке воды и получили раствор массой $50,0\text{ г}$. В этот раствор внесли избыток Mg , образовавшееся железо выделили из раствора и обработали избытком Cl_2 , получили соль массой $13,0\text{ г}$. Найдите массовые доли солей в растворе массой $50,0\text{ г}$.
82. Для полного растворения навески Fe_2O_3 понадобился раствор, содержащий в сумме $21,09\text{ г}$ HCl и HNO_3 . При нагревании полученных солей образовался твердый остаток массой $24,25\text{ г}$. Найдите массу исходной навески оксида.
83. Смесь CuO и Al_2O_3 массой $46,6\text{ г}$ растворили в избытке H_2SO_4 (разб.). Полученный раствор обработали избытком раствора $BaCl_2$, образовался осадок массой $256,3\text{ г}$. Чему равна $w(CuO)$ в исходной смеси?
84. Смесь CuO и Cu_2O полностью восстановили водородом, которого потребовалось $1,68\text{ дм}^3$ (н. у.). Образовавшуюся медь обработали избытком хлора и получили соль массой $13,5\text{ г}$. Найдите $w(Cu_2O)$ в исходной смеси.
85. Смесь $Cu(OH)_2$ и $Al(NO_3)_3$ прокалили до постоянной массы и получили твердый остаток массой $2,33\text{ г}$, а также смесь газов объемом $2,52\text{ дм}^3$. Рассчитайте $w[Cu(OH)_2]$ в исходной смеси.
86. На воздухе прокалили смесь Cu и $Fe(NO_3)_3$. Полученную твердую фазу обработали H_2SO_4 (разб.), образовалась смесь солей массой $10,0\text{ г}$. Эту смесь солей обработали избытком раствора KOH и получили смесь гидроксидов массой $5,97\text{ г}$. Найдите $w(Cu)$ в исходной смеси.

87. Смесь K_2CO_3 , $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ прокалили до постоянной массы, которая составила 4,52 г; при этом также получили газ (н. у.) объемом 0,224 дм³. Оставшуюся после прокаливания твердую смесь обработали избытком соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) 0,448 дм³. Определите $w[Mg(OH)_2]$ в исходной смеси.
88. В смеси SiC и SiO₂ содержится $3,01 \cdot 10^{24}$ атомов Si и C. Найдите массу смеси.
89. Смесь Fe и Mg может максимально прореагировать с хлором объемом (н. у.) 14,56 дм³ или с раствором, содержащим 36,5 г HCl. Найдите $w(Fe)$ в смеси.
90. Смесь CaO и $Ca(NO_3)_2$ содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов Ca и $1,204 \cdot 10^{24}$ атомов O. Найдите массовую долю соли в смеси.
91. В смеси ZnO и ZnSO₄ $w(O) = 28,35 \%$. Чему равна $w(ZnO)$ в смеси?
92. В смеси V₂O₃ и V₂O₅ $w(O) = 40 \%$. Какое химическое количество Al потребуется для полного восстановления такой смеси массой 120 г?
93. Смесь Cu(OH)₂ и Mg(OH)₂ массой 18,5 г прокалили до постоянной массы. В полученном твердом остатке $w(O) = 28,57 \%$. Найдите $w[Mg(OH)_2]$ в исходной смеси.
94. В смеси CaC₂ и Ca(NO₃)₂ $w(C) = 25 \%$. Найдите мольное отношение $n(CaC_2)/n(CaCO_3)$.
95. В смеси Na₂O и Na₂O₂ на 8 атомов Na приходится 7 атомов O. Чему равна $w(Na_2O)$ в смеси?
96. При нагревании KNO₃ массой 20,2 г получили смесь равных масс солей. Чему равен объем (н. у.) образовавшегося при этом газа?
97. При обработке смеси Ca и Fe избытком Cl₂ получили смесь солей, в которой $w(CaCl_2) = 25,46 \%$. Найдите $w(Ca)$ в исходной смеси.
98. В смеси H₂O и H₃PO₄ $w(O) = 79,37 \%$. Найдите $w(H)$ в смеси.

99. Имеется смесь Mg и S массой 10,0 г, в которой массовая доля магния в 2 раза больше массовой доли серы. Эту смесь нагрели. Найдите массу полученного сульфида.
100. В смеси CaO и Ca(OH)₂ $w(\text{Ca}) = 64,52\%$. К такой смеси массой 5,58 г прибавили раствор, содержащий 12 г HCl. Найдите массу образовавшейся соли.
101. Смесь Fe₂O₃ и Fe(NO₃)₃ содержит $2,107 \cdot 10^{23}$ атомов Fe и $9,933 \cdot 10^{23}$ атомов O. Рассчитайте $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ в смеси.
102. В смеси Al₂O₃ и Al₂(SO₄)₃ $w(\text{O}) = 52,26\%$. Чему равна массовая доля соли в смеси?
103. В смеси NaNO₃ и KClO₃ $w(\text{K}) = 15,6\%$. При полном термическом разложении этой смеси образовались две соли и 10,08 дм³ (н. у.) O₂. Найдите массу исходной смеси солей.
104. В результате полного восстановления Fe₂O₃ углеродом была получена смесь CO и CO₂ химическим количеством 1,2 моль и массой 35,7 г. Определите массу полученного железа.
105. Для подкормки растений на 1 м² почвы необходимо внести 5,6 г N и 6,24 г K. Рассчитайте массу смеси, состоящей из NH₄NO₃ и KNO₃, которая потребуется для подкормки растений на поле площадью 100 м².
106. При прокаливании по отдельности навесок KNO₃ и Al(NO₃)₃ объемы полученных газов оказались равными. Найдите отношение $m(\text{KNO}_3)/m(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.
107. При прокаливании смеси NaNO₃ и Cu(NO₃)₂ полученный объем O₂ оказался в 2 раза больше объема второго газа. Рассчитайте $w(\text{NaNO}_3)$ в смеси.
108. В смеси Ca₃(PO₄)₂ и Al₂(SO₄)₃ число анионов в 1,333 раза больше числа катионов. Найдите массовую долю фосфата в смеси.

109. В смеси KBr и K_2SO_4 мольное отношение $n(KBr)/n(K_2SO_4)$ равно 2, а общее химическое количество атомов равно 0,5 моль. Найдите массу бромида в смеси.
110. При обработке смеси K и Li избытком Cl_2 получили смесь солей, в которой $w(KCl) = 80\%$. Найдите $w(K)$ в смеси.
111. Смесь Fe_3O_4 и Al массой 30,4 г со стехиометрическим мольным отношением компонентов нагрели. Реакция прошла полностью, в результате образовались Fe и Al_2O_3 . Найдите $w(Al_2O_3)$ в твердом остатке после реакции.
112. Смешали Fe_2O_3 массой 32,0 г и Mg массой 12,0 г и смесь нагрели. Протекает реакция восстановления. Рассчитайте массовую долю простого вещества в смеси после завершения реакции.
113. Массовая доля Mg в его сплаве с Al равна 24,0 %. Рассчитайте массу сплава, который потребуется для получения H_2 объемом (н. у.) $28,0\text{ дм}^3$ в реакции сплава с избытком H_2SO_4 (разб.).
114. Смесь CaC_2 и Al_4C_3 массой 27,2 г обработали избытком воды. Выделившийся газ сожгли в избытке O_2 и получили новый газ объемом (н. у.) $15,68\text{ дм}^3$. Чему равна $w(CaC_2)$ в смеси?

ГЛАВА 11

Расчет состава газовых смесей

Задачи на смеси газов весьма специфичны и среди абитуриентов по праву считаются одними из наиболее сложных. Для успешного решения таких задач прежде всего надо научиться определять состав газовых смесей.

11.1. МАССОВАЯ, ОБЪЕМНАЯ И МОЛЬНАЯ ДОЛИ ГАЗОВ

Состав газовых смесей может выражаться с помощью массовой, объемной и мольной долей компонентов смеси.

Массовая доля $w(B)$ данного газа в газовой смеси находится по формуле

$$w(B) = \frac{m(B)}{m(\text{смеси})}, \quad (11.1)$$

где $m(B)$ и $m(\text{смеси})$ — масса газа B и масса смеси газов соответственно.

Масса смеси газов равна сумме масс всех ее компонентов:

$$m(\text{смеси}) = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

Объемная доля $\varphi(B)$ данного газа B в смеси газов находится по формуле

$$\varphi(B) = \frac{V(B)}{V(\text{смеси})}, \quad (11.2)$$

где $V(B)$ и $V(\text{смеси})$ — объем газа B и объем смеси газов соответственно.

Объем смеси газов равен сумме объемов всех компонентов смеси:

$$V(\text{смеси}) = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

Поскольку объем газа пропорционален его химическому количеству, то для расчета объемной доли можно использовать выражение

$$\varphi(B) = \frac{n(B)}{n(\text{смеси})}, \quad (11.3)$$

где $n(B)$ и $n(\text{смеси})$ — химическое количество газа B и газовой смеси соответственно.

Химическое количество газовой смеси можно найти суммированием химического количества всех компонентов смеси:

$$n(\text{смеси}) = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

или по формулам

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{m(\text{смеси})}{M(\text{смеси})} = \frac{N(\text{смеси})}{N_A},$$

где $N(\text{смеси})$ — число всех молекул в газовой смеси; $M(\text{смеси})$ — молярная масса смеси; $V_m = 22,4$ дм³/моль (н. у.); $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ молекул/моль.

Химическое количество газа рассчитывается обычным образом:

$$n(B) = \frac{V(B)}{V_m} = \frac{m(B)}{M(B)} = \frac{N(B)}{N_A}.$$

Поскольку химическое количество пропорционально числу молекул газа, то для расчета объемной доли газа можно использовать формулу

$$\varphi(B) = \frac{N(B)}{N(\text{смеси})}, \quad (11.4)$$

где $N(B)$ и $N(\text{смеси})$ — число молекул газа B и общее число молекул всех газов в смеси соответственно:

$$N(\text{смеси}) = N_1 + N_2 + N_3 + \dots$$

Мольная доля $\chi(B)$ данного газа B в смеси газов находится по формуле

$$\chi(B) = \frac{n(B)}{n(\text{смеси})} \quad (11.5)$$

и совпадает с объемной долей газа.

Если химическое количество смеси равно 1 моль, то из формул (11.3) и (11.5) следует:

$$\varphi(B) = n(B); \quad \chi(B) = n(B).$$

Иными словами, для 1 моль газовой смеси химическое количество данного газа численно равно его мольной или объемной доле, выраженной в долях единицы. Например, если объемная доля газа B в смеси равна 0,4, это означает, что в смеси химическим количеством 1 моль находится 0,4 моль газа B .

Можно показать, что объемная и массовая доли данного газа в смеси газов связаны соотношением:

$$w(B) = \frac{\varphi(B) \cdot M(B)}{M(\text{смеси})}, \quad (11.6)$$

$$\varphi(B) = \frac{w(B) \cdot M(\text{смеси})}{M(B)}, \quad (11.7)$$

где $w(B)$ и $\varphi(B)$ выражены в долях единицы.

Пример 11.1. Рассчитайте объемную и массовую доли NH_3 в смеси, полученной при смешивании 10,0 г NH_3 и 40,0 дм³ (н. у.) CO_2 .

Дано:

$$m(\text{NH}_3) = 10,0 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 40,0 \text{ дм}^3$$

$$\varphi(\text{NH}_3) \text{ — ?}$$

$$w(\text{NH}_3) \text{ — ?}$$

Решение:Находим $V(\text{NH}_3)$ и $m(\text{CO}_2)$:

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

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль};$$

$$V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль};$$

$$\begin{aligned} V(\text{NH}_3) &= n(\text{NH}_3) \cdot V_m = \frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)} \cdot V_m = \\ &= \frac{10}{17} \cdot 22,4 = 13,2 \text{ (дм}^3\text{)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{CO}_2) &= n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} \cdot M(\text{CO}_2) = \\ &= \frac{40}{22,4} \cdot 44 = 78,6 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Используя формулы (11.1) и (11.2), находим:

$$w(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{CO}_2)} = \frac{10}{10 + 78,6} = 0,113 \text{ (11,3 \%)};$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V(\text{NH}_3) + V(\text{CO}_2)} = \frac{13,2}{13,2 + 40,0} = 0,248 \text{ (24,8 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{NH}_3) = 24,8 \%$; $w(\text{NH}_3) = 11,3 \%$.

Пример 11.2. Объемная доля неона в его смеси с аргоном равна 20 %. Рассчитайте массу аргона в такой смеси объемом 120 дм³.

Дано:

$$\varphi(\text{Ne}) = 20 \%$$

$$V(\text{смеси}) = 120 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{Ar}) \text{ — ?}$$

Решение:

Поскольку сумма объемных долей газов равна 1 (или 100 %), получаем:

$$\varphi(\text{Ar}) = 1 - \varphi(\text{Ne}) = 1 - 0,2 = 0,8.$$

Используя формулу (11.2), находим объем аргона в смеси:

$$V(\text{Ar}) = \varphi(\text{Ar}) \cdot V(\text{смеси}) = 0,8 \cdot 120 = 96 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Имеем [$M(\text{Ar}) = 40 \text{ г/моль}$]:

$$\begin{aligned} m(\text{Ar}) &= n(\text{Ar}) \cdot M(\text{Ar}) = \frac{V(\text{Ar})}{V_m} \cdot M(\text{Ar}) = \\ &= \frac{96}{22,4} \cdot 40 = 171 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{Ar}) = 171 \text{ г}$.

Пример 11.3. Массовая доля O_2 в смеси с CO_2 равна 25 %. Рассчитайте объем CO_2 в такой смеси массой 80,0 г.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 80,0 \text{ г}$$

$$\omega(\text{O}_2) = 25 \%$$

$$V(\text{CO}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

Очевидно, что

$$\omega(\text{CO}_2) = 1 - \omega(\text{O}_2) = 1 - 0,25 = 0,75.$$

Согласно формуле (11.1):

$$m(\text{CO}_2) = \omega(\text{CO}_2) \cdot m(\text{смеси}) = 0,75 \cdot 80 = 60 \text{ (г)}.$$

Находим [$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль}$]:

$$\begin{aligned} V(\text{CO}_2) &= n(\text{CO}_2) \cdot V_m = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} \cdot V_m = \\ &= \frac{60}{44} \cdot 22,4 = 30,5 \text{ (дм}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Ответ: $V(\text{CO}_2) = 30,5 \text{ дм}^3$.

Пример 11.4. В газовой смеси на каждые 25 молекул N_2 приходится 90 молекул He. Рассчитайте число молекул N_2 в такой смеси объемом (н. у.) $36,2 \text{ дм}^3$.

Дано:

$$\frac{N(\text{N}_2)}{N(\text{He})} = \frac{25}{90}$$

$$V(\text{смеси}) = 36,2 \text{ дм}^3$$

$$N(\text{N}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

По формуле (11.4) рассчитываем объемную долю N_2 в смеси:

$$\begin{aligned} \varphi(\text{N}_2) &= \frac{N(\text{N}_2)}{N(\text{N}_2) + N(\text{He})} = \\ &= \frac{25}{25 + 90} = 0,217. \end{aligned}$$

Находим объем и число молекул N_2 в смеси:

$$V(\text{N}_2) = V(\text{смеси}) \cdot \varphi(\text{N}_2) = 36,2 \cdot 0,217 = 7,86 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$\begin{aligned} N(\text{N}_2) &= n(\text{N}_2) \cdot N_A = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} \cdot N_A = \\ &= \frac{7,86}{22,4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2,11 \cdot 10^{23} \text{ (молекул)}. \end{aligned}$$

Ответ: $N(\text{N}_2) = 2,11 \cdot 10^{23}$ молекул.

Пример 11.5. Объемная доля H_2 в смеси с He равна 60 %. Рассчитайте массовую долю H_2 в такой смеси.

Дано:

$$\varphi(\text{H}_2) = 60 \%$$

$$w(\text{H}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; \quad M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль}.$$

Пусть химическое количество смеси равно 1 моль. Тогда

$$n(\text{H}_2) = \varphi(\text{H}_2) = 0,6 \text{ моль}; \quad n(\text{He}) = 1 - 0,6 = 0,4 \text{ (моль)};$$

$$\begin{aligned} w(\text{H}_2) &= \frac{m(\text{H}_2)}{m(\text{H}_2) + m(\text{He})} = \\ &= \frac{n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2)}{n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) + n(\text{He}) \cdot M(\text{He})} = \frac{0,6 \cdot 2}{0,6 \cdot 2 + 0,4 \cdot 4} = \\ &= 0,429 \text{ (42,9 \%)} \end{aligned}$$

Ответ: $w(\text{H}_2) = 42,9 \%$.

Пример 11.6. Массовая доля CO в смеси с CO₂ равна 30 %. Чему равна объемная доля CO в данной смеси?

Дано:

$$w(\text{CO}) = 30 \%$$

$$\varphi(\text{CO}) = ?$$

Решение:

Возьмем порцию смеси массой 100 г.
Тогда:

$$m(\text{CO}) = m(\text{смеси}) \cdot w(\text{CO}) = 0,3 \cdot 100 = 30 \text{ (г)};$$

$$m(\text{CO}_2) = 100 - 30 = 70 \text{ (г)};$$

$$M(\text{CO}) = 28 \text{ г/моль}; \quad M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{M(\text{CO})} = \frac{30}{28} = 1,07 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{70}{44} = 1,59 \text{ (моль)};$$

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})}{n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2)} = \frac{1,07}{1,07 + 1,59} = 0,402 \text{ (40,2 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{CO}) = 40,2 \%$.



1. Какой объем (н. у.) занимает газовая смесь, состоящая из $3,01 \cdot 10^{25}$ молекул CH₄ и $12,04 \cdot 10^{25}$ молекул этана?
2. Массовая доля CO в смеси CO₂ равна 20 %. Рассчитайте объемную долю углекислого газа в смеси.
3. Объем (н. у.) газовой смеси, состоящей из N₂ и O₂, равен 8,0 дм³, причем объем O₂ в 3 раза больше объема N₂. Найдите массу этой смеси.
4. Рассчитайте объем смеси F₂ и Cl₂ массой 5,5 г, в которой объемная доля более легкого газа составляет 34,0 %.
5. Смешали N₂ и H₂ в объемном отношении 1:4 соответственно. Чему равна масса такой смеси объемом 34,2 дм³?
6. В газовой смеси на каждые 15 молекул CH₄ приходится 60 молекул N₂. Рассчитайте: а) объемную долю N₂

- в смеси; б) число молекул CH_4 в такой смеси объемом (н. у.) $44,8 \text{ дм}^3$; в) массу данной смеси объемом 100 дм^3 .
7. Чему равна масса смеси H_2 и NH_3 объемом (н. у.) 200 дм^3 , в которой на каждую молекулу H_2 приходится 3 молекулы NH_3 ?
 8. В смеси CO и CO_2 объемная доля CO равна 70 %. Рассчитайте массу угарного газа в такой смеси массой 200 г.
 9. В смеси Ne и Ar массовая доля Ar равна 20 %. Рассчитайте объем (н. у.) Ne в такой смеси объемом 200 дм^3 .
 10. Найдите массу смеси H_2 и CO_2 объемом (н. у.) $4,48 \text{ дм}^3$, в которой $w(\text{H}_2) = 10,0 \%$.

11.2. МОЛЯРНАЯ МАССА СМЕСИ ГАЗОВ. ПЛОТНОСТЬ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ СМЕСИ ГАЗОВ

Смеси газов характеризуются молярной массой.

Молярную массу смеси газов $M(\text{смеси})$ можно рассчитать двумя независимыми способами:

- по массе смеси и ее химическому количеству:

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \quad (11.8)$$

- через объемные доли газов в смеси:

$$M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 + M_3\varphi_3 + \dots \quad (11.9)$$

Для двух газов имеем:

$$M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2; \quad (11.10)$$

Поскольку $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$, получаем:

$$M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 + M_2(1 - \varphi_1). \quad (11.11)$$

Плотность газовой смеси $\rho(\text{смеси})$ находим по формуле

$$\rho(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{V(\text{смеси})}. \quad (11.12)$$

Для расчета плотности удобно взять 1 моль смеси, тогда $V(\text{смеси}) = V_m$, а $m(\text{смеси}) = M(\text{смеси})$. Отсюда

$$\rho(\text{смеси}) = \frac{M(\text{смеси})}{V_m}. \quad (11.13)$$

Относительная плотность смеси газов по некоторому газу B находится обычным образом:

$$D_B(\text{смеси}) = \frac{M(\text{смеси})}{M(B)}. \quad (11.14)$$

Пример 11.7. При нормальных условиях плотность газовой смеси, состоящей из азота и кислорода, равна $1,369 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте молярную массу смеси. Чему равна объемная доля азота в смеси?

Дано:

$$\rho(\text{смеси}) = 1,369 \text{ г/дм}^3$$

$$M(\text{смеси}) \text{ — ?}$$

$$\varphi(\text{N}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

$$M(\text{N}_2) = 28 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}.$$

Из формулы (11.13) получим:

$$M(\text{смеси}) = \rho(\text{смеси}) \cdot V_m = 1,369 \cdot 22,4 = 30,7 \text{ (г/моль)}.$$

Согласно формулам (11.10) и (11.11):

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

$$M(\text{смеси}) = M(\text{N}_2) \cdot \varphi(\text{N}_2) + M(\text{O}_2)[1 - \varphi(\text{N}_2)];$$

$$30,7 = 28\varphi(\text{N}_2) + 32[1 - \varphi(\text{N}_2)];$$

$$\varphi(\text{N}_2) = 0,325.$$

Ответ: $M(\text{смеси}) = 30,7$ г/моль; $\varphi(\text{N}_2) = 0,325$.

Пример 11.8. Вычислите среднюю молярную массу газовой смеси, состоящей из азота и аммиака, объемы которых в смеси (н. у.) соответственно равны $2,4 \text{ дм}^3$ и $3,6 \text{ дм}^3$.

Дано:

$$V(\text{N}_2) = 2,4 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{NH}_3) = 3,6 \text{ дм}^3$$

$M(\text{смеси})$ — ?

Решение:

Предлагаем два варианта решения данной задачи.

Вариант 1. Согласно формуле (11.10):

$$M(\text{N}_2 + \text{NH}_3) = M(\text{N}_2) \cdot \varphi(\text{N}_2) + M(\text{NH}_3) \cdot \varphi(\text{NH}_3);$$

$$M(\text{N}_2) = 28 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль};$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{N}_2 + \text{NH}_3)} = \frac{2,4}{2,4 + 3,6} = 0,40;$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V(\text{N}_2 + \text{NH}_3)} = \frac{3,6}{2,4 + 3,6} = 0,60.$$

По формуле (11.10) рассчитываем молярную массу смеси:

$$M(\text{N}_2 + \text{NH}_3) = 28 \cdot 0,40 + 17 \cdot 0,60 = 21,4 \text{ (г/моль)}.$$

Вариант 2. Находим химическое количество смеси:

$$\begin{aligned} n(\text{смеси}) &= n(\text{N}_2) + n(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} + \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m} = \\ &= \frac{2,4}{22,4} + \frac{3,6}{22,4} = 0,107 + 0,161 = 0,268 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Рассчитываем массу смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{смеси}) &= m(\text{N}_2) + m(\text{NH}_3) = \\ &= n(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) + n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = \\ &= 0,107 \cdot 28 + 0,161 \cdot 17 = 5,733 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Согласно формуле (11.8), получаем:

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})} = \frac{5,733}{0,268} = 21,4 \text{ (г/моль)}.$$

Ответ: $M(\text{смеси}) = 21,4 \text{ г/моль}$.

Пример 11.9. Газовая смесь, состоящая из аргона и гелия, имеет молярную массу, равную 16 г/моль. Определите массу гелия в такой смеси объемом (н. у.) 2,24 дм³.

Дано:

$$M(\text{Ar} + \text{He}) = 16 \text{ г/моль}$$

$$V(\text{Ar} + \text{He}) = 2,24 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{He}) \text{ — ?}$$

Решение:

Предлагаем три варианта решения задачи.

Вариант 1. Рассчитаем химическое количество газовой смеси:

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{2,24}{22,4} = 0,10 \text{ (моль)}.$$

Найдем массу газовой смеси:

$$m(\text{смеси}) = n(\text{смеси}) \cdot M(\text{смеси}) = 0,10 \cdot 16 = 1,6 \text{ (г)}.$$

Выразим массу аргона:

$$m(\text{Ar}) = m(\text{смеси}) - m(\text{He}) = 1,6 - m(\text{He}).$$

Выразим химические количества гелия и аргона:

$$M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль}; \quad M(\text{Ar}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{He}) = \frac{m(\text{He})}{M(\text{He})} = \frac{m(\text{He})}{4}; \quad (11.15)$$

$$n(\text{Ar}) = \frac{m(\text{Ar})}{M(\text{Ar})} = \frac{1,6 - m(\text{He})}{40}. \quad (11.16)$$

Химическое количество газов в смеси равно 0,10 моль:

$$n(\text{He}) + n(\text{Ar}) = 0,10 \text{ моль}.$$

Подставим в это уравнение выражения (11.15) и (11.16):

$$\frac{m(\text{He})}{4} + \frac{1,6 - m(\text{He})}{40} = 0,10.$$

Решая это уравнение, получим $m(\text{He}) = 0,27 \text{ г}$.

Вариант 2 (через систему двух уравнений). Пусть химическое количество Ar и He в смеси равно соответственно x (моль) и y (моль). Составляем систему уравнений по химическому количеству смеси (0,1 моль) и ее массе:

$$\begin{cases} x + y = 0,1; \\ x \cdot 40 + y \cdot 4 = 1,6. \end{cases}$$

Отсюда

$$y = 0,0675 \text{ моль};$$

$$m(\text{He}) = n(\text{He}) \cdot M(\text{He}) = 0,0675 \cdot 4 = 0,27 \text{ (г)}.$$

Вариант 3 (через молярную массу смеси газов):

$$M(\text{смеси}) = M(\text{Ar}) \cdot \varphi(\text{Ar}) + M(\text{He}) \cdot \varphi(\text{He});$$

$$16 = 40\varphi(\text{Ar}) + 4[1 - \varphi(\text{Ar})];$$

$$\varphi(\text{Ar}) = 0,333;$$

$$\varphi(\text{He}) = 1 - \varphi(\text{Ar}) = 0,667;$$

$$V(\text{He}) = V(\text{смеси}) \cdot \varphi(\text{He}) = 2,24 \cdot 0,667 = 1,49 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$m(\text{He}) = n(\text{He}) \cdot M(\text{He}) = \frac{V(\text{He})}{V_m} \cdot M(\text{He}) = \frac{1,49}{22,4} \cdot 4 = 0,27 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{He}) = 0,27 \text{ г}$.

Пример 11.10. Относительная плотность по водороду газовой смеси, состоящей из аммиака и водорода, равна 7,0. Рассчитайте объемную долю аммиака в смеси.

Дано:

$$D_{\text{H}_2}(\text{NH}_3 + \text{H}_2) = 7$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = ?$$

Решение:

Находим молярную массу смеси:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси}) &= D_{\text{H}_2}(\text{смеси}) \cdot M(\text{H}_2) = \\ &= 7 \cdot 2 = 14 \text{ (г/моль);} \end{aligned}$$

$$M(\text{смеси}) = \varphi_1 \cdot M(\text{H}_2) + \varphi_2 \cdot M(\text{NH}_3),$$

где φ_1 и φ_2 — объемные доли соответственно H_2 и NH_3 .

$$\text{Так как } \varphi_1 + \varphi_2 = 1,$$

$$M(\text{смеси}) = \varphi_1 \cdot 2 + (1 - \varphi_1) \cdot 17;$$

$$14 = \varphi_1 \cdot 2 + (1 - \varphi_1) \cdot 17;$$

$$\varphi_1 = \varphi(\text{H}_2) = 0,2;$$

$$\varphi_2 = \varphi(\text{NH}_3) = 1 - 0,2 = 0,80 \text{ (80 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{NH}_3) = 80 \text{ \%}$.

Следующий пример показывает, как рассчитать объемные и массовые доли компонентов, если известны масса и объем газовой смеси.

Пример 11.11. Смесь массой 13,5 г, состоящая из кислорода и хлора, занимает объем (н. у.) 6,72 дм³. Определите объемную и массовую доли кислорода в смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 13,5 \text{ г}$$

$$V(\text{смеси}) = 6,72 \text{ дм}^3$$

$$\varphi(\text{O}_2) = ?$$

$$w(\text{O}_2) = ?$$

Решение:

Предлагаем два варианта решения задачи.

Вариант 1 (через систему двух уравнений):

$$n(\text{O}_2 + \text{Cl}_2) = \frac{V(\text{O}_2 + \text{Cl}_2)}{V_m} = \frac{6,72}{22,4} = 0,3 \text{ (моль)}.$$

Пусть в смеси содержится кислород химическим количеством x (моль) и хлор химическим количеством y (моль):

$$n(\text{O}_2) = x \text{ моль}; \quad n(\text{Cl}_2) = y \text{ моль}.$$

Тогда

$$x + y = 0,3 \text{ моль}; \quad (11.17)$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}; \quad M(\text{Cl}_2) = 71 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = x \cdot 32 \text{ (г)};$$

$$m(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2) = y \cdot 71 \text{ (г)}.$$

Согласно условию,

$$x \cdot 32 + y \cdot 71 = 13,5. \quad (11.18)$$

Полученные уравнения (11.17) и (11.18) составляют систему

$$\begin{cases} x + y = 0,30; \\ x \cdot 32 + y \cdot 71 = 13,5. \end{cases}$$

Решив эту систему, получим:

$$x = 0,20, \quad y = 0,10.$$

Следовательно, $n(\text{O}_2) = 0,20$ (моль), а $n(\text{Cl}_2) = 0,10$ (моль).

Находим объемы газов:

$$V(\text{O}_2) = 0,20 \cdot 22,4 = 4,48 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$V(\text{Cl}_2) = 0,10 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Рассчитываем объемную и массовую доли O_2 :

$$\begin{aligned} \varphi(\text{O}_2) &= \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{O}_2 + \text{Cl}_2)} = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{O}_2) + V(\text{Cl}_2)} = \\ &= \frac{4,48}{4,48 + 2,24} = 0,667 \text{ (66,7 \%)} \end{aligned}$$

Или:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{смеси})} = \frac{0,2}{0,3} = 0,667 \text{ (66,7 \%)};$$

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,20 \cdot 32 = 6,4 \text{ (г)};$$

$$w(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{O}_2 + \text{Cl}_2)} = \frac{6,4}{13,5} = 0,474 \text{ (47,4 \%)}.$$

Вариант 2 (через молярную массу):

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{6,72}{22,4} = 0,3 \text{ (моль)};$$

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})} = \frac{13,5}{0,3} = 45 \text{ (г/моль)};$$

$$M(\text{смеси}) = M(\text{O}_2) \cdot \varphi(\text{O}_2) + M(\text{Cl}_2) \cdot \varphi(\text{Cl}_2);$$

$$45 = 32\varphi(\text{O}_2) + 71[1 - \varphi(\text{O}_2)];$$

$$\varphi(\text{O}_2) = 0,667 \text{ (66,7 \%)};$$

$$V(\text{O}_2) = V(\text{смеси}) \cdot \varphi(\text{O}_2) = 6,72 \cdot 0,667 = 4,48 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} \cdot M(\text{O}_2) =$$

$$= \frac{4,48}{22,4} \cdot 32 = 6,4 \text{ (г)};$$

$$w(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{6,4}{13,5} = 0,474 \text{ (47,4 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{O}_2) = 66,7 \%$; $w(\text{O}_2) = 47,4 \%$.

Пример 11.12. Газовая смесь состоит из угарного и углекислого газов и имеет объем 4,48 дм³ (н. у.). На каждые 40 атомов углерода в смеси приходится 60 атомов кислорода. Чему равна масса угарного газа в смеси?

Дано:

$$V(\text{CO} + \text{CO}_2) = 4,48 \text{ дм}^3$$

$$\frac{N(\text{C})}{N(\text{O})} = \frac{40}{60}$$

$$m(\text{CO}) \text{ — ?}$$

Решение:

Пусть в смеси находится x (моль) CO и y (моль) CO_2 . Находим химическое количество атомов C и O в смеси. Если $n(\text{CO}) = x$, то $n(\text{C}) = n(\text{O}) = x$. В случае углекислого газа $n(\text{C}) = y$, а $n(\text{O}) = 2y$. Всего в смеси

$$\Sigma n(\text{C}) = x + y \text{ (моль);}$$

$$\Sigma n(\text{O}) = x + 2y \text{ (моль).}$$

Поскольку отношение чисел атомов $n(\text{C})/n(\text{O})$ равно отношению их химических количеств, то

$$\frac{N(\text{C})}{N(\text{O})} = \frac{x + y}{x + 2y} = \frac{40}{60}.$$

Отсюда

$$x = y,$$

т. е. в смеси химические количества CO и CO_2 одинаковы, а их суммарное химическое количество равно:

$$n(\text{CO} + \text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO} + \text{CO}_2)}{V_m} = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ (моль)}.$$

Если $x + y = 0,2$ моль, а $x = y$, то

$$x = y = 0,1 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{CO}) = n(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}) = 0,1 \cdot 28 = 2,8 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{CO}) = 2,8 \text{ г}$.

Пример 11.13. В смеси NH_3 и CO_2 массой 12,7 г содержится $3,913 \cdot 10^{24}$ электронов. Рассчитайте плотность (н. у.) смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 12,7 \text{ г}$$

$$N(e) = 3,913 \cdot 10^{24}$$

$$\rho(\text{смеси}) \text{ — ?}$$

Решение:

Заряды ядер атомов равны:

$$Z(\text{C}) = 6; Z(\text{N}) = 7; Z(\text{H}) = 1; Z(\text{O}) = 8.$$

Заряд ядра атома равен числу протонов в ядре или числу электронов в электронной оболочке. Таким образом, 1 молекула NH_3 содержит $7 + 3 = 10$ (электронов), а 1 молекула CO_2 — $6 + 2 \cdot 8 = 22$ (электрона).

Обозначим химические количества NH_3 и CO_2 как x и y (моль). Тогда количество электронов в составе аммиака равно $10x$ (моль), а в составе углекислого газа — $22y$ (моль).

Составляем систему двух уравнений — по массе смеси и по количеству электронов в ней:

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}; \quad M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль};$$

$$n(e) = 3,913 \cdot 10^{24} / 6,02 \cdot 10^{23} = 6,5 \text{ (моль)};$$

$$\begin{cases} 17x + 44y = 12,7; \\ 10x + 22y = 6,5. \end{cases}$$

Решив систему, находим:

$$x = 0,1 \text{ моль}; \quad y = 0,25 \text{ моль}.$$

Рассчитываем молярную массу смеси и ее плотность:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси}) &= \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})} = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{NH}_3) + n(\text{CO}_2)} = \\ &= \frac{12,7}{0,1 + 0,25} = 36,3 \text{ (г/моль)}; \end{aligned}$$

$$\rho(\text{смеси}) = \frac{M(\text{смеси})}{V_m} = \frac{36,3}{22,4} = 1,62 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $\rho(\text{смеси}) = 1,62 \text{ г/дм}^3$.

- !** 11. Объемная доля N_2 в смеси с O_2 равна 75,0 %. Найдите молярную массу смеси.
12. Водород объемом (н. у.) 20 дм^3 смешали с кислородом массой 160 г. Определите относительную плотность полученной газовой смеси по воздуху.

13. Смесь O_2 и Ar имеет плотность (н. у.) $1,607 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте $\varphi(Ar)$ в смеси.
14. Рассчитайте молярную массу газовой смеси, состоящей из O_2 и SO_2 , в которой $\varphi(O_2) = 40,0 \%$.
15. Найдите относительную плотность углекислого газа по газовой смеси, в которой на каждую молекулу N_2 приходится две молекулы O_2 .
16. Смесь H_2 и O_2 объемом (н. у.) $10,75 \text{ дм}^3$ имеет массу $2,0 \text{ г}$. Найдите $w(H_2)$ в смеси.
17. Определите плотность (н. у.) газовой смеси, состоящей из O_2 и O_3 , в которой $w(O_3) = 5,0 \%$.
18. Смесь газов F_2 и He имеет молярную массу $21,0 \text{ г/моль}$. Чему равен объем (н. у.) He в смеси массой $9,2 \text{ г}$?
19. Смесь N_2 и C_3H_8 массой $16,0 \text{ г}$ имеет объем (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$. Найдите $\varphi(N_2)$ в смеси.
20. Относительная плотность по воздуху смеси Ar и He равна $0,7596$. Рассчитайте $w(He)$ в смеси.
21. Газовая смесь объемом (н. у.) $6,72 \text{ дм}^3$, состоящая из H_2 и Cl_2 , имеет массу $7,50 \text{ г}$. Чему равна $\varphi(Cl_2)$ в смеси?
22. Средняя молярная масса смеси CO_2 и CO равна 32 г/моль . Рассчитайте: а) $m(CO_2)$ в смеси объемом (н. у.) $11,2 \text{ дм}^3$; б) объем (н. у.) CO в смеси массой $10,0 \text{ г}$.
23. Какой объем (н. у.) занимает смесь газов CO_2 и N_2 массой $32,0 \text{ г}$, в которой $\varphi(N_2) = 75\%$?
24. Какова должна быть $w(CH_4)$ в его смеси с водородом, чтобы такая смесь была в 10 раз легче воздуха?
25. Во сколько раз H_2 легче газовой смеси, в которой на каждые 10 атомов He приходится 6 атомов Ar ?
26. Рассчитайте относительную плотность по воздуху газовой смеси, состоящей: а) из равных масс H_2 и N_2 ; б) из $5,6 \text{ дм}^3$ (н. у.) O_2 и $3,01 \cdot 10^{23}$ молекул Ar .
27. Рассчитайте относительную плотность по водороду газовой смеси H_2 и N_2 , в которой $w(H_2) = 55 \%$.

28. В газообразной смеси F_2 и HF массовая доля атомов H равна 2,00 %. Рассчитайте $\varphi(HF)$ в смеси и плотность (н. у.) смеси.
29. Объем (н. у.) смеси N_2 и H_2 равен 2,24 дм³, масса N_2 в ней равна 1,40 г. Определите относительную плотность смеси по воздуху.
30. Какой объем (н. у.) имеет на выходе из озонатора смесь O_2 и O_3 массой 50,0 г, в которой на каждые 20 молекул O_2 приходится 1 молекула O_3 ?
31. Массовая доля O_2 в его смеси с N_2 равна 10 %. Какое число молекул N_2 приходится на 1000 молекул O_2 в этой смеси?
32. Газовая смесь состоит из He и Ar , причем $w(He) = 15,0$ %. Рассчитайте плотность (н. у.) этой смеси.
33. Найдите объем (н. у.) CO_2 в смеси с O_2 , если известно, что эта смесь объемом (н. у.) 3,36 дм³ имеет массу 6,0 г.
34. Плотность (н. у.) смеси O_2 и O_3 равна 1,670 г/дм³. Рассчитайте, какое число молекул O_2 приходится на 1000 молекул O_3 в этой смеси.
35. Смесь H_2 и N_2 массой 4,00 г занимает объем (н. у.) 22,4 дм³. Найдите $w(H_2)$ в смеси.
36. В смеси CO_2 и CO массовая доля атомов C равна 31,9 %. Рассчитайте: а) объем (н. у.) CO_2 в смеси массой 100 г; б) $\varphi(CO_2)$ в смеси.
37. В некоторой газовой смеси $\varphi(CO) = 30,0$ %, а плотность (н. у.) смеси равна 1,429 г/дм³. Найдите $m(CO)$ в смеси массой 48 г.
38. Рассчитайте: а) массовую долю O_2 в смеси с NH_3 с молярной массой 26 г/моль; б) массу N_2 в смеси с пропаном общим объемом (н. у.) 58 дм³, если плотность смеси (н. у.) равна 1,45 г/дм³.
39. В некоторой газовой смеси $w(Ar) = 28,0$ %, $\rho(\text{смеси}) = 1,518$ г/дм³ (н. у.). Определите $V(Ar)$ в смеси объемом 62 дм³.

40. Смесь O_2 и O_3 имеет массу 60 г. Объем O_3 в 2 раза больше, чем объем O_2 . Какое число молекул O_2 содержится в смеси?
41. Относительная плотность по азоту смеси O_2 и O_3 на выходе из озонатора равна 1,2. Рассчитайте $\varphi(O_3)$ и $\omega(O_3)$ в смеси, а также $V(O_2)$, затраченный на получение 100 dm^3 смеси.

11.3. ИЗМЕНЕНИЕ МОЛЯРНОЙ МАССЫ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

При добавлении к газовой смеси других газов молярная масса смеси изменяется. На этом свойстве основано большое число конкурсных задач.

Пример 11.14. К смеси, состоящей из водорода объемом 20 dm^3 и углекислого газа объемом 30 dm^3 , добавили пропан. Молярная масса смеси возросла на 10,3 %. Рассчитайте объем добавленного пропана (все объемы измерены при н. у.).

Дано:

$$V(H_2) = 20 \text{ } dm^3$$

$$V(CO_2) = 30 \text{ } dm^3$$

$$\Delta M(\text{смеси}) = 10,3 \%$$

$$V(\text{пропана}) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим молярную массу исходной смеси:

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = M(H_2) \cdot \varphi(H_2) + \\ + M(CO_2) \cdot \varphi(CO_2);$$

$$M(H_2) = 2 \text{ г/моль}; \quad M(CO_2) = 44 \text{ г/моль};$$

$$\varphi(H_2) = \frac{V(H_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{20}{20 + 30} = 0,4;$$

$$\varphi(CO_2) = \frac{V(CO_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{30}{20 + 30} = 0,6;$$

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = 2 \cdot 0,4 + 44 \cdot 0,6 = 27,2 \text{ (г/моль)}.$$

Находим молярную массу смеси после добавления пропана:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} &= M(\text{смеси})_{\text{исх.}} + M(\text{смеси})_{\text{исх.}} \cdot 0,103 = \\ &= 27,2 + 27,2 \cdot 0,103 = 30 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

Пусть объем добавленного пропана C_3H_8 равен x (дм³). Тогда $V(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 50 + x$ (дм³), а объемные доли газов составляют:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{20}{50 + x}.$$

Аналогично:

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{30}{50 + x}; \quad \varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{x}{50 + x}.$$

Учитывая, что $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44$ г/моль, составляем выражение для $M(\text{смеси})_{\text{конечн.}}$:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} &= M(\text{H}_2) \cdot \varphi(\text{H}_2) + M(\text{CO}_2) \cdot \varphi(\text{CO}_2) + \\ &+ M(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot \varphi(\text{C}_3\text{H}_8); \end{aligned}$$

$$30 = 2 \frac{20}{50 + x} + 44 \frac{30}{50 + x} + 44 \frac{x}{50 + x};$$

$$30(50 + x) = 40 + 1320 + 44x;$$

$$1500 + 30x = 1360 + 44x;$$

$$x = 10 \text{ дм}^3.$$

Ответ: $V(\text{пропана}) = 10 \text{ дм}^3$.

Пример 11.15. К смеси H_2 и Ar со средней молярной массой 9,6 г/моль добавили неизвестный газ объемом, равным объему водорода. При этом плотность газовой смеси увеличилась в 1,48 раза. Рассчитайте молярную массу неизвестного газа.

Дано:

$$M(\text{H}_2 + \text{Ar}) = 9,6 \text{ г/моль}$$

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

$$\frac{\rho(\text{конечн.})}{\rho(\text{исх.})} = 1,48$$

$$M(X) — ?$$

Решение:

Отношение молярных масс газов (и их смесей) равно отношению их плотностей. Это означает, что молярная масса смеси после добавления неизвестного газа также возросла в 1,48 раза:

$$M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 9,6 \cdot 1,48 = 14,208 \text{ (г/моль)}.$$

Находим состав исходной смеси:

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = M(\text{H}_2) \cdot \varphi(\text{H}_2) + M(\text{Ar}) \cdot \varphi(\text{Ar});$$

$$9,6 = 2\varphi(\text{H}_2) + 40[1 - \varphi(\text{H}_2)];$$

$$\varphi(\text{H}_2) = 0,8;$$

$$\varphi(\text{Ar}) = 1 - 0,8 = 0,2.$$

Пусть $n(\text{Ar} + \text{He}) = 1$ моль, т. е. $V(\text{Ar} + \text{He}) = 22,4 \text{ дм}^3$.

Тогда

$$V(\text{H}_2) = 22,4 \cdot 0,8 = 17,92 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$V(\text{Ar}) = 22,4 \cdot 0,2 = 4,48 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Учитывая, что объем неизвестного газа X равен объему водорода (т. е. $17,92 \text{ дм}^3$), составляем уравнение для молярной массы смеси трех газов:

$$M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = M(\text{H}_2) \cdot \varphi(\text{H}_2) + M(\text{Ar}) \cdot \varphi(\text{Ar}) + M(X) \cdot \varphi(X);$$

$$\begin{aligned} \varphi(\text{H}_2) &= \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{H}_2) + V(\text{Ar}) + V(X)} = \\ &= \frac{17,92}{17,92 + 4,48 + 17,92} = \frac{17,92}{40,32} = 0,444. \end{aligned}$$

Аналогично:

$$\varphi(\text{Ar}) = \frac{V(\text{Ar})}{V(\text{смеси})} = \frac{4,48}{40,32} = 0,111;$$

$$\varphi(X) = \frac{17,92}{40,32} = 0,444.$$

Для молярной массы конечной смеси имеем:

$$14,208 = 2 \cdot 0,444 + 40 \cdot 0,111 + M(X) \cdot 0,444.$$

Отсюда:

$$M(X) = 20 \text{ г/моль}.$$

Ответ: $M(X) = 20 \text{ г/моль}.$

- 42.** В газовой смеси H_2 и NH_3 объем H_2 в 3 раза больше, чем объем NH_3 . К этой смеси добавили неизвестный газ объемом, равном объему NH_3 . При этом молярная масса (г/моль) смеси возросла на 5,25 единицы. Рассчитайте молярную массу добавленного газа.
- 43.** К смеси CO и CO_2 объемом (н. у.) 70 дм^3 добавили 30 дм^3 бутана. Плотность (н. у.) полученной газовой смеси составила $1,703 \text{ г/дм}^3$. Найдите $\varphi(\text{CO})$ в исходной смеси.
- 44.** Имеется смесь NH_3 и O_2 объемом (н. у.) $78,4 \text{ дм}^3$ с плотностью $1,142 \text{ г/дм}^3$. К этой смеси добавили $5,0 \text{ г}$ H_2 . Как при этом изменилась (возросла или уменьшилась и во сколько раз) плотность смеси?
- 45.** К смеси равных объемов CH_4 и N_2 добавили некоторый объем CO_2 . При этом молярная масса смеси возросла в 1,333 раза. Рассчитайте объем (н. у.) добавленного CO_2 (объем исходной смеси равен 100 дм^3).
- 46.** Имеется смесь Ne и Ar объемом (н. у.) 200 дм^3 . К этой смеси добавили O_2 объемом (н. у.) 100 дм^3 , молярная масса смеси стала равной $27,333 \text{ г/моль}$. Найдите $\varphi(\text{Ne})$ в исходной смеси.

ГЛАВА 12

Нуклиды. Изотопы. Радиоактивность

12.1. РАСЧЕТ СОСТАВА НУКЛИДОВ

Нуклид — это вид атомов с определенным значением массового числа.

Изотопы — это нуклиды одного химического элемента. Между собой изотопы отличаются числом нейтронов в ядре.

Пример 12.1. Рассчитайте число нейтронов в ядре нуклида ^{63}Cu .

Дано:

нуклид ^{63}Cu

$N(n)$ — ?

Решение:

В записи нуклида ${}^A_Z\text{Э}$ с зарядом ядра Z

${}^A_Z\text{Э}$

A — массовое число нуклида, равное сумме числа протонов Z и нейтронов $N(n)$:

$$A = N(n) + Z.$$

Отсюда следует:

$$N(n) = A - Z.$$

По таблице периодической системы находим:

$$Z(\text{Cu}) = 29.$$

Следовательно:

$$N(n) = A - Z = 63 - 29 = 34.$$

Ответ: $N(n) = 34$.

Пример 12.2. Массовое число нуклида в 2,5 раза больше его протонного числа, а число нейтронов равно 78. Установите нуклид (ответ представьте в виде записи ${}^A_Z\text{Э}$).

Дано:

$$N(n) = 78$$

$$\frac{A}{Z} = 2,5$$

Нуклид — ?

Решение:

Чтобы установить нуклид, необходимо найти его заряд ядра, т. е. протонное число Z .

Учитывая, что $A = N(n) + Z$, находим:

$$\frac{A}{Z} = \frac{N(n) + Z}{Z} = \frac{78 + Z}{Z} = 2,5.$$

Находим: $Z = 52$. Это теллур; его массовое число равно сумме числа протонов и нейтронов:

$$A = 78 + 52 = 130.$$

Ответ: ${}^{130}_{52}\text{Te}$.

1. Масса нуклида равна $212,48 \cdot 10^{-24}$ г, а его ядро содержит 74 протона. Установите символ нуклида.
2. В состав нуклида входят 44 нейтрона, а отношение числа нейтронов к числу электронов равно 1,294. Установите символ нуклида.

12.2. РАСЧЕТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АТОМНОЙ МАССЫ ИЗОТОПНО-СМЕШАННОГО ЭЛЕМЕНТА

Относительная атомная масса элемента находится как средняя величина относительных масс всех нуклидов с учетом их мольного содержания в естественной смеси.

Пример 12.3. Образец хлора содержит два нуклида — ${}^{35}\text{Cl}$ и ${}^{37}\text{Cl}$. Их мольные доли соответственно равны 77,5 % и 22,5 %. Рассчитайте относительную атомную массу элемента хлора.

Дано:

$$\chi(^{35}\text{Cl}) = 77,5 \%$$

$$\chi(^{37}\text{Cl}) = 22,5 \%$$

$$A_r(\text{Cl}) = ?$$

Решение:

Если известны молярные доли отдельных нуклидов, то относительная атомная масса элемента находится по формуле:

$$A_r(\text{Э}) = \chi_1 \cdot A_1 + \chi_2 \cdot A_2 + \chi_3 \cdot A_3 + \dots,$$

где A — массовое число нуклида, χ — его молярная доля в смеси (в данном случае — в долях единицы).

Находим:

$$\begin{aligned} A_r(\text{Cl}) &= 0,775 \cdot 35 + 0,225 \cdot 37 = \\ &= 27,125 + 8,325 = 35,45. \end{aligned}$$

Ответ: $A_r(\text{Cl}) = 35,45$.

- 
3. Образец фосфора содержит нуклиды Р-31 и Р-33 с молярными долями Р-33, равной 10 %. Рассчитайте $A_r(\text{P})$ в этом образце.
 4. Природный бром состоит из двух изотопов, причем молярная доля ^{79}Br равна 55 %. Учитывая, что A_r элемента брома равна 79,9, рассчитайте молярную долю второго изотопа.
 5. Молярная доля нейтронов в молекуле S^{16}O_2 равна 34,69 %. Установите массовое число нуклида серы.
 6. Рассчитайте массовую долю нейтронов в нуклиде ^{65}Cu .
 7. Образец водорода содержит атомы протия массой 2,0 г и атомы дейтерия массой 4,0 г. Найдите относительную атомную массу элемента водорода в этом образце.

12.3. РАСЧЕТ СОСТАВА СМЕСЕЙ ПО ЧИСЛУ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Пример 12.4. Образец сплава железа-56 и меди-63 содержит электроны и нейтроны количеством 5,5 моль и 6,4 моль соответственно. Рассчитайте массовую долю железа в сплаве.

Дано:

$$n(e) = 5,5 \text{ моль}$$

$$n(n) = 6,4 \text{ моль}$$

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

Решение:

Это пример достаточно сложной задачи. Многие абитуриенты с трудом воспринимают связь между химическим количеством элемента (вещества) и числом (количеством) элементарных частиц. Между тем эта связь достаточно простая: если заряд ядра атома равен Z , то в одном атоме содержится Z протонов или Z электронов, а в 1 моль атомов — Z (моль) протонов или Z (моль) электронов.

Связь числа нейтронов N с зарядом ядра Z задается через массовое число A :

$$N = A - Z.$$

Массовое число приблизительно равно $A_r(M)$ элемента (простого вещества).

Для данной задачи имеем:

$$Z(\text{Cu}) = 29; \quad A(^{63}\text{Cu}) = 63; \quad N(^{63}\text{Cu}) = 63 - 29 = 34;$$

$$Z(\text{Fe}) = 26; \quad A(^{56}\text{Fe}) = 56; \quad N(^{56}\text{Fe}) = 56 - 26 = 30;$$

$$M(^{56}\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}; \quad M(^{63}\text{Cu}) = 63 \text{ г/моль}.$$

Пусть $n(\text{Fe}) = x$ моль, $n(\text{Cu}) = y$ моль, тогда для количества электронов и нейтронов смеси имеем:

$$n(e)_{\text{Fe}} = 26x; \quad n(N)_{\text{Fe}} = 30x;$$

$$n(e)_{\text{Cu}} = 29y; \quad n(N)_{\text{Cu}} = 34y.$$

Составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 26x + 29y = 5,5; \\ 30x + 34y = 6,4. \end{cases}$$

Решая ее, находим:

$$x = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,1 \cdot 56 = 5,6 \text{ (г)};$$

$$y = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ (г)};$$

$$\begin{aligned}w(\text{Fe}) &= \frac{m(\text{Fe})}{n(\text{смеси})} = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{Fe}) + m(\text{Cu})} = \\&= \frac{5,6}{5,6 + 6,3} = 0,471 \text{ (47,1 \%)}.\end{aligned}$$

Ответ: $w(\text{Fe}) = 47,1 \%$.

- !**
8. Смесь Al_2O_3 и FeS_2 массой 34,2 г содержит в атомах $99,932 \cdot 10^{23}$ электронов. Рассчитайте массовую долю элемента Al в смеси.
 9. Имеется смесь равных объемом O_2 и O_3 , в которой содержится 6,4 моль электронов. Какой максимальный объем (н. у.) метана можно полностью окислить этой смесью?
 10. В смеси SO_2 и CO_2 общее число протонов в атомах в 24 раза больше молекул. Рассчитайте молярную массу смеси.
 11. Какая масса дейтерия потребуется для полного восстановления смеси $^{63}\text{Cu}^{16}\text{O}$ и $^{65}\text{Cu}^{18}\text{O}$ массой 24,1 г, в которой отношение числа нейтронов к числу протонов равно 13:11,3?
 12. Образец газообразной смеси H_2^{32}S и D_2^{34}S занимает объем 5,6 дм³ и имеет массу 9,1 г. Найдите объемную долю более легкого газа в смеси.
 13. В составе нуклида $^{36}\text{S}^{2-}$ массой 0,54 г содержится $1,6254 \cdot 10^{22}$ электронов. Установите символ нуклида.

12.4. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивные ядра со временем распадаются. Этот процесс характеризуется периодом полураспада $T_{1/2}$, т. е. временем, за которое распадается половина ядер от их исходного числа.

Пример 12.5. Период полураспада нуклида Au-199 примерно равен 3 дня. Какая часть ядер (%) нуклида от их первоначального числа распадется за 9 суток?

Дано:

$$T_{1/2}(\text{Au-199}) = 3 \text{ дня}$$

$$t = 9 \text{ суток}$$

Найти долю (%) распавшихся ядер Au-199

Решение:

Период полураспада $T_{1/2}$, время t и число оставшихся к этому времени ядер $N(t)$ связывает формула:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}},$$

где N_0 — исходное число ядер.

Если $N_0 = 1000$, то

$$N(t) = 1000 \left(\frac{1}{2}\right)^{9/3} = 1000 \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 1000 \cdot 0,125 = 125 \text{ ядер.}$$

Следовательно, через 9 суток останется 125 ядер из 1000. Значит, распалось $1000 - 125 = 875$ ядер, или $\frac{875}{1000} \cdot 100 \% = 87,5 \% \text{ ядер.}$

Ответ: 87,5 %.

Подобные задачи можно решать по схеме (см. с. 141), находя последовательно число распавшихся ядер за каждый промежуток времени, равный периоду полураспада.

Легко находим, что за 9 суток распалось $500 + 250 + 125 = 875$ (ядер) или $\frac{875}{1000} \cdot 100 \% = 87,5 \% \text{ от их первоначально-го числа.}$

14. Период полураспада нуклида ^{131}I равен 8 суток. Какая доля (%) атомов нуклида останется нераспавшейся в течение 32 суток радиоактивного распада?

15. За 58,2 года масса образца нуклида Pb-210 уменьшилась с 2,000 г до 250 мг. Рассчитайте период полураспада данного нуклида.

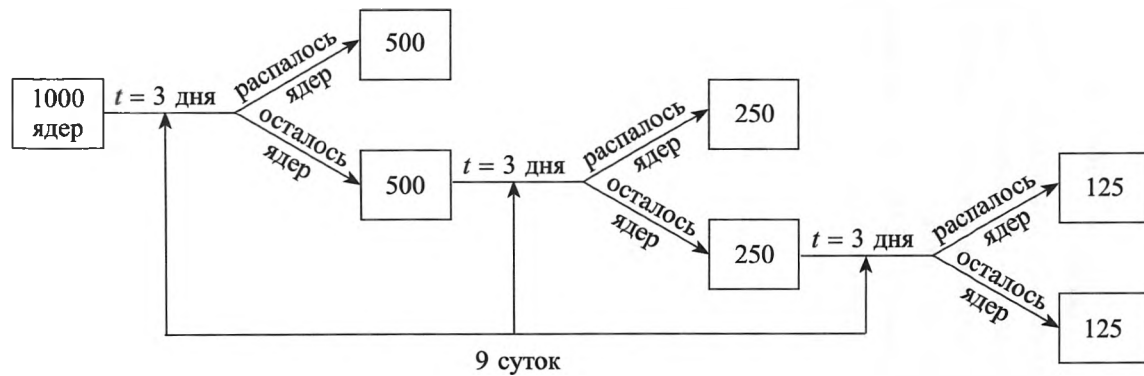


Схема расчета числа распавшихся ядер Au-199

16. Какой объем (н. у.) нуклида X образуется через 6400 лет при распаде образца нуклида ^{230}Ra массой 4,6 г по уравнению



если период полураспада нуклида Ra-230 равен 1600 лет?

17. Период полураспада I-131 равен 8 суток. Какое число атомов I-131 останется в образце данного нуклида массой 800 мг через 40 суток?
18. В образце содержится $12,04 \cdot 10^{21}$ атомов нуклида Cs-137 , имеющего период полураспада 30,2 года. Через какое время в образце останется $1,505 \cdot 10^{21}$ атомов Cs-137 ?
19. Какая масса Al-28 превратится в атомы другого химического элемента в результате радиоактивного распада за 11 мин в образце, содержащем 200 мг нуклида Al-28 , если период его полураспада равен 2,2 мин?

ГЛАВА 13

Окислительно-восстановительные реакции

13.1. РАССТАНОВКА КОЭФФИЦИЕНТОВ В ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ

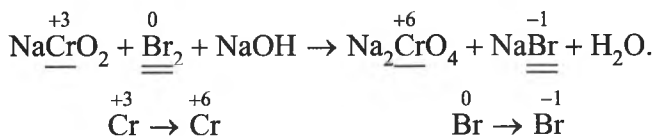
Сущность метода электронного баланса

Пример 13.1. Методом электронного баланса расставьте стехиометрические коэффициенты в окислительно-восстановительной реакции (ОВР) окисления хромита натрия бромом в среде NaOH (образуются хромат и бромид натрия, а также вода).

Решение. Метод электронного баланса включает 6 последовательных этапов.

Этап 1.

Записываем формулы реагентов и продуктов, находим атомы элементов, которые изменяют степень окисления, и выписываем их отдельно:



Этап 2.

Составляем схемы электронного баланса, записывая одну под другой схемы процессов отдачи электронов (процесс окисления) и их принятия (процесс восстановления). Как правило, в этих уравнениях число атомов каждого элемента (как в правой, так и в левой частях) такое же, как и в одной молекуле (формульной единице) *исходного* вещества.

Записываем:

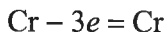


Схема электронного баланса реакции окисления

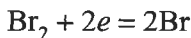
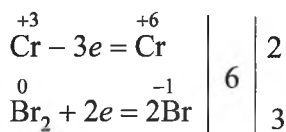


Схема электронного баланса реакции восстановления

Этап 3.

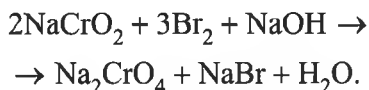
Находят наименьшее общее кратное (НОК) чисел отданных и принятых электронов (НОК — это наименьшее число, которое без остатка делится на каждое из двух указанных чисел). В данном случае НОК равно 6. Затем НОК поочередно делится на число отданных ($6 : 3 = 2$) и число принятых ($6 : 2 = 3$) электронов. Полученные числа — 2 и 3 — представляют собой так называемые дополнительные множители; эти множители показывают, на сколько нужно умножить числа атомов элементов в схемах электронного баланса, чтобы числа отданных и принятых электронов были равными.

Записываем:



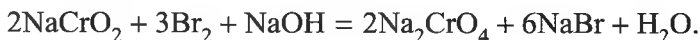
Этап 4.

Проставляем найденные дополнительные множители сначала в левую часть схемы реакции перед формулами соответствующих веществ (множитель 1 обычно не проставляется, но учитывается при подсчете общего числа стехиометрических коэффициентов):

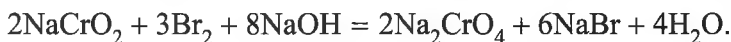


Этап 5.

Уравниваем числа атомов Cr и Br, записав соответствующие множители в правую часть схемы перед формулами Na_2CrO_4 и NaBr :

*Этап 6.*

Уравниваем числа атомов остальных элементов (Na, H и O) и получаем уравнение химической реакции (в последнюю очередь обычно уравниваются числа атомов H и O).



На практике, если в правой части уравнения ОВР присутствуют молекулы N_2 , Cl_2 , O_2 , Br_2 , I_2 , N_2O , лучше писать электронный баланс на 2 атома элемента и найденный множитель тоже проставлять в правую часть (см. пример 13.5).

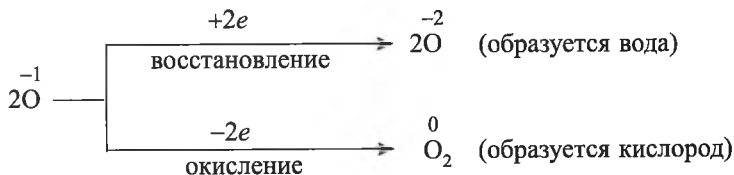


1. $\text{S} + \text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{P}_2\text{O}_3 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}_2$
3. $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
4. $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
5. $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
6. $\text{C} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
7. $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$
8. $\text{P} + \text{NaClO}_3 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + \text{NaCl}$
9. $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
10. $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$
11. $\text{HIO}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{HI} + \text{H}_2\text{O}$
12. $\text{P} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HI}$
13. $\text{P} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
14. $\text{SO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$
15. $\text{PbO}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{HMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

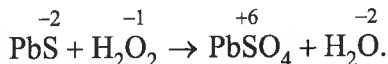
16. $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
 $\rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
17. $\text{H}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{S} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
18. $\text{SO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
19. $\text{NaClO} + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{NaCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
20. $\text{KMnO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{NaNO}_3 + \text{KOH}$
21. $\text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
22. $\text{SO}_2 + \text{NaIO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{I}_2 + \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$
23. $\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
24. $\text{N}_2\text{O} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
25. $\text{V} + \text{HF} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{VF}_7 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
26. $\text{ZrCl}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{ZrN} + \text{N}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$

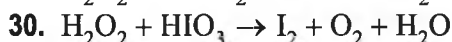
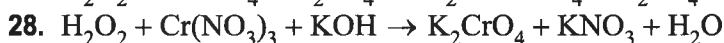
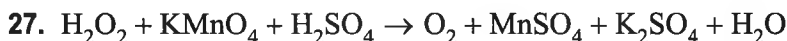
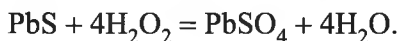
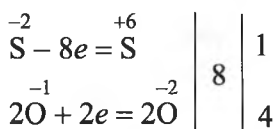
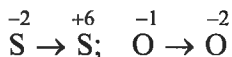
Окислительно-восстановительные реакции с участием пероксида водорода

Пероксид водорода H_2O_2 в ОВР за счет кислорода в степени окисления -1 может играть роль как окислителя, так и восстановителя. Электронные схемы процессов окисления и восстановления выглядят так:



Пример 13.2. Расставьте методом электронного баланса коэффициенты в ОВР, протекающей по схеме:

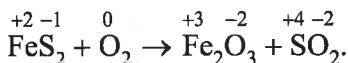
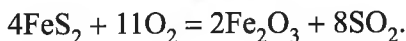
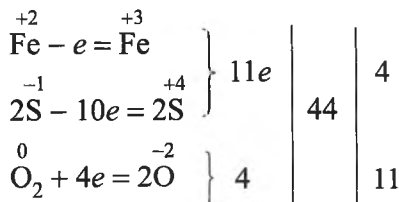
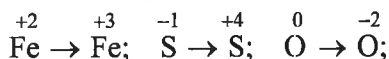


Решение.

**Расстановка коэффициентов в ОВР,
в которых в роли восстановителя выступают
атомы двух различных элементов**

В этом случае две схемы процессов окисления записывают одну под другой и числа отданных электронов суммируют.

Пример 13.3. Расставьте коэффициенты в ОВР, протекающей по схеме:

**Решение.**

31. $\text{P}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$
32. $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
33. $\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CuO} + \text{CO}_2 + \text{CaSO}_3$
34. $\text{P}_2\text{S}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{CrPO}_4 + \text{SO}_2 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
35. $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + \text{O}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4$
36. $\text{Cr}_2\text{S}_3 + \text{KNO}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$
37. $\text{FeS}_2 + \text{HCl} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{FeCl}_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
38. $\text{FeS}_2 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
39. $\text{P}_2\text{S}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

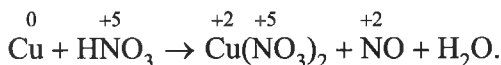
Учет солеобразования

Довольно распространены ОВР, в которых окислитель выполняет одновременно две функции: окислителя и участвует в образовании соли. То же относится к восстановителю, который также может выполнять две функции: восстановителя и участвовать в образовании соли.

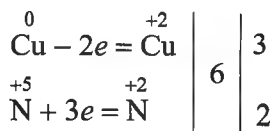
Первый случай типичен для ОВР с участием металлов и кислот-окислителей — H_2SO_4 (конц.) и HNO_3 . Второй — для ОВР с участием окислителей ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KMnO_4 , MnO_2) и кислот, анион которых выполняет роль восстановителя, — HCl , HBr , H_2S .

Пример 13.4. Расставьте коэффициенты в реакции окисления меди разбавленной азотной кислотой.

Решение. Записываем схему реакции:



Видим, что азотная кислота выполняет роль окислителя (окисляет $\overset{0}{\text{Cu}}$ в $\overset{+2}{\text{Cu}}$) и участвует в образовании соли $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, в составе которой атом N не изменяет степень окисления:



Найденные множители для меди проставляем и в левую, и в правую части, а множитель для азота — только в *правую*, перед формулой NO (так всегда поступают для реакций, в которых присутствует солеобразование):



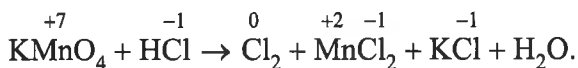
Проводим подсчеты и обнаруживаем, что в правой части всего 8 атомов азота, следовательно, перед формулой кислоты в левой части схемы ставим коэффициент 8, затем за счет молекул воды уравниваем числа атомов Н и О:



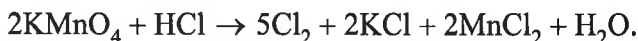
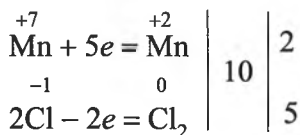
Замечаем, что из 8 израсходованных молекул HNO_3 непосредственно на окисление расходуется только 2 молекулы (это коэффициент перед формулой NO), а на образование соли — 6 (можно определить по формуле $3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$: для этого умножаем коэффициент перед формулой соли на число остатков кислоты в ней: $3 \cdot 2 = 6$). Можно вычесть из общего числа молекул кислоты (8) число молекул кислоты, идущих на окисление (2): $8 - 2 = 6$.

Пример 13.5. Расставьте коэффициенты в реакции окисления соляной кислоты перманганатом калия.

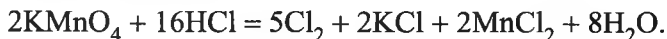
Решение. Записываем схему процесса:



В данной ОВР соляная кислота выполняет роль восстановителя и участвует в образовании соли. Находим:



Уравниваем атомы Cl, H и O:



Видно, что из 16 молекул HCl на восстановление расходовалось 10 молекул ($5 \cdot \text{Cl}_2 = 10\text{Cl}$), а на образование соли — 6 ($16 - 10 = 6$, или $2 \cdot 2 = 4$ (на образование соли MnCl_2) и $2 \cdot 1$ (на образование соли KCl), т. е. всего 6 молекул HCl, затраченных на солеобразование (2): $8 - 2 = 6$.

- !**
40. $\text{Cu} + \text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 41. $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 42. $\text{Mg} + \text{HNO}_3 = \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
 43. $\text{Al} + \text{HNO}_3 = \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 44. $\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 45. $\text{MnO}_2 + \text{HCl} = \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 46. $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
 47. $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
 48. $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 49. $\text{Fe} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 50. $\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
 51. $\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OCl})_2 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

ОВР с участием органических соединений

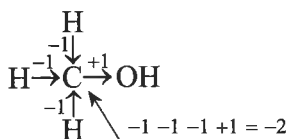
Подход к расстановке коэффициентов в этом случае не отличается от описанного выше. Основная трудность заключается в определении степени окисления атома углерода,

который обычно выступает в роли восстановителя. Полезно иметь в виду:

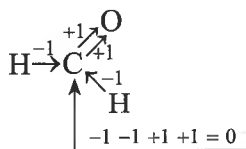
- связь $C-C$ не привносит на атом C никакого заряда;
- каждая связь $C-H$ привносит на атом C единичный отрицательный заряд: $\overset{-1}{C} \leftarrow H$;
- каждая связь $C-O$, $C-N$, $C-Cl$ привносит на атом C единичный положительный заряд: $\overset{+1}{C} \rightarrow \overset{-1}{O}$, $\overset{+3}{C} \rightarrow \overset{-3}{N}$, $\overset{+2}{C} \rightarrow \overset{-2}{O}$ и т. д.

При определении степеней окисления атома C нужно записывать развернутые структурные формулы органических соединений.

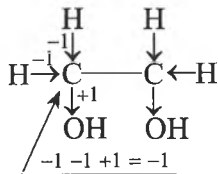
Например, находим степень окисления атома C в метаноле, метанале и этиленгликоле:



метанол

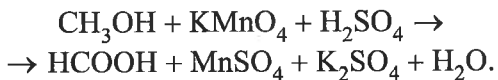


метаналь

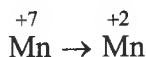


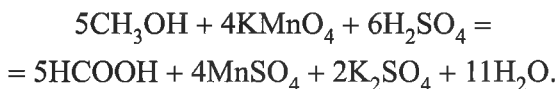
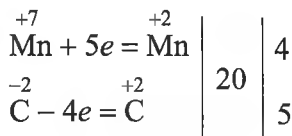
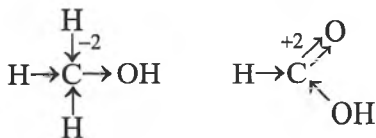
этиленгликоль

Пример 13.6. Расставьте коэффициенты в ОВР, протекающей по схеме:



Решение. Находим:





- !** 52. $\text{CH}_2\text{O} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
53. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{MnO}_2 + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$
54. $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
 $\rightarrow \text{CH}_2(\text{OH}) + \text{CH}_2(\text{OH}) + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$
55. $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{K}_2\text{CrO}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 $\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
56. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

13.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ

На эту тему предлагаются разнообразные расчетные задания. Рассмотрим некоторые из них.

Пример 13.7. Рассчитайте, какая масса (по отдельности) HNO_3 в ее очень разбавленном растворе расходуется на окисление и образование соли (солеобразование) в ее реакции с алюминием массой 0,675 г.

Дано:

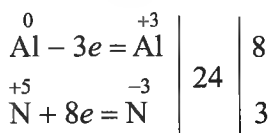
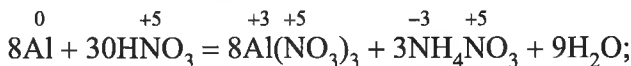
$$m(\text{Al}) = 0,675 \text{ г}$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{окисл.}} \text{ — ?}$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{солеобр.}} \text{ — ?}$$

Решение:

В этом случае азотная кислота восстанавливается до аммиака (степень окисления N в его составе равна -3), который реагирует с HNO_3 , образуя нитрат аммония. Составляем уравнение ОВР:



Из уравнения ОВР (и схем электронного баланса) видно, что при окислении 8 моль Al непосредственно на его окисление расходуется 3 моль HNO_3 . Из формул солей с учетом коэффициентов следует, что на образование солей $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ и NH_4NO_3 пошло $8 \cdot 3 (\text{Al}(\text{NO}_3)_3) + 3 \cdot 1 (\text{NH}_4\text{NO}_3) = 27$ моль HNO_3 (или $30 - 3 = 27$).

Находим химическое количество Al и отвечаем на поставленные вопросы:

$$n(\text{Al}) = \frac{m}{M}; \quad M(\text{Al}) = \text{г/моль};$$

$$n(\text{Al}) = \frac{0,675}{27} = 0,025 \text{ (моль)};$$

$$\begin{array}{ccc} 8 \text{ моль Al} & \xrightarrow{\text{на окисление}} & 3 \text{ моль HNO}_3; \\ 0,025 & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & x; \end{array}$$

$$x = \frac{3 \cdot 0,025}{8} = 0,00938 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{окисл.}} = n \cdot M; \quad M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{окисл.}} = 0,00938 \cdot 63 = 0,590 \text{ (г)}$$

Аналогично:

$$8 \text{ моль Al} \xrightarrow{\text{на солеобразование}} 27 \text{ моль HNO}_3;$$

$$0,025 \text{ ————— } y;$$

$$y = \frac{27 \cdot 0,025}{8} = 0,0844 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{солеобр.}} = n \cdot M; \quad M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{солеобр.}} = 0,0844 \cdot 63 = 5,32 \text{ г.}$$

$$\text{Ответ: } m(\text{HNO}_3)_{\text{окисл.}} = 0,590 \text{ г}; \quad m(\text{HNO}_3)_{\text{солеобр.}} = 5,32 \text{ г.}$$

Пример 13.8. В реакции $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и HCl (конц.) атомы восстановителя отдали $1,204 \cdot 10^{23}$ электронов. Найдите объем (н. у.) образовавшегося при этом хлора (образуются также KCl , CrCl_3 и H_2O).

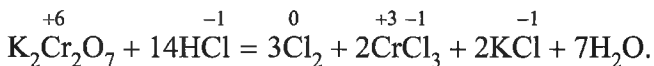
Дано:

$$N(e) = 1,204 \cdot 10^{23}$$

$$V(\text{Cl}_2) \text{ — ?}$$

Решение:

Составляем уравнение окислительно-восстановительной реакции:



$$\begin{array}{rcl} \overset{+6}{2\text{Cr}} + 6e = \overset{+3}{2\text{Cr}} & \Bigg| & 1 \\ \overset{-1}{2\text{Cl}} - 2e = \overset{0}{\text{Cl}_2} & \Bigg| & 6 \end{array} \quad \Bigg| \quad \begin{array}{l} 1 \\ 3 \end{array}$$

Заметьте: мы составляли схемы электронного баланса с учетом двух атомов хлора (т. е. по правой части); соответственно, найденный множитель (3) также проставляется в правую часть уравнения.

Находим количество (моль) электронов, отданных атомами восстановителя (т. е. атомами хлора):

$$n(e) = \frac{N(e)}{N_A} = \frac{1,204 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,2 \text{ (моль)}.$$

Из схемы электронного баланса ($2\overset{-1}{\text{Cl}} - 2e = 1\overset{0}{\text{Cl}_2}$) следует, что, если атомы $\overset{-1}{\text{Cl}}$ отдают 2 моль электронов, образуется 1 моль молекул Cl_2 . Можно составить и решить пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} 2 \text{ моль электронов} & \text{—————} & 1 \text{ моль } \text{Cl}_2; \\ 0,2 \text{ моль} & \text{—————} & x; \end{array}$$

$$x = \frac{0,2 \cdot 1}{2} = 0,1 \text{ (моль)}.$$

Находим объем хлора:

$$V(\text{Cl}_2) = n \cdot V_m = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ дм}^3.$$

Ответ: $V(\text{Cl}_2) = 2,24 \text{ дм}^3$.

- 57.** Рассчитайте химическое количество HNO_3 , которое расходуется на образование соли в реакции с участием 0,2 моль Mg , схема которой $\text{Mg} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$.
- 58.** При восстановлении азотной кислоты химическим количеством 0,15 моль атомы азота приняли 0,45 моль электронов. Найдите формулу продукта восстановления кислоты.
- 59.** Методом электронного баланса составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей по схеме $\text{Mg} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$. Укажите массу окисленного магния, если известно, что на образование соли израсходована кислота массой 1,26 г.
- 60.** В ОВР, схема которой $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$, выделился хлор объемом (н. у.) 0,448 дм³. Рассчитайте количество (моль) электронов, которые в этом процессе приняли атомы элемента-окислителя.

61. В реакции Zn с H_2SO_4 израсходована кислота массой 2,45 г и выделился H_2S . Рассчитайте число электронов, которое в этой реакции приняли атомы элемента-окислителя.
62. В реакции, схема которой $\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{FeCl}_2 + \text{HCl}$, атомы элемента-восстановителя отдали $1,204 \cdot 10^{23}$ электронов. Найдите массу полученной при этом серы.
63. В реакции с участием H_2SO_4 массой 4,9 г атомы серы приняли $1,806 \cdot 10^{23}$ электронов. Найдите формулу продукта восстановления кислоты.
64. Для реакции KMnO_4 с HCl (конц.) рассчитайте, какая масса HCl расходуется на образование солей, если израсходовалось 0,1 моль KMnO_4 .
65. В предыдущей реакции образовался хлор объемом (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$. Сколько электронов при этом приняли атомы элемента-окислителя?
66. Масса соли, которая образовалась в реакции Al с KOH (р-р, изб.), равна 14,76 г. Сколько электронов при этом перешло от атомов алюминия к атомам водорода?
67. В реакции, схема которой $\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$, атомы элемента-восстановителя отдали 0,25 моль электронов. Найдите объем (н. у.) полученного оксида азота(II).
68. В процессе реакции, схема которой $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{O}_2$, атомы элемента-окислителя приняли 0,5 моль электронов. Какой объем (н. у.) O_2 при этом выделился?
69. В реакции, схема которой $\text{C} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$, атомы элемента-восстановителя отдали 0,4 моль электронов. Рассчитайте суммарный объем (н. у.) выделенных газов.
70. В процессе реакции, схема которой $\text{Ca} + \text{P}_4 \rightarrow \text{Ca}_3\text{P}_2$, атомы элемента-окислителя приняли 1,2 моль электронов. Рассчитайте массу полученного при этом фосфида кальция.

ГЛАВА 14

Электролиз

Теория электролиза расплавов и растворов электролитов подробно изложена в пособиях [1—3] и в настоящей книге не рассматривается. Необходимые комментарии мы будем давать по ходу решения задач.

Пример 14.1. При электролизе водного раствора CuCl_2 выделился газ объемом (н. у.) $1,34 \text{ дм}^3$. Какая масса меди при этом получена?

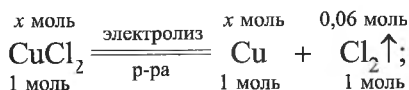
Дано:

$$V(\text{газа}) = 1,34 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{Cu}) — ?$$

Решение:

В электролизе солей такого типа (неактивный металл + остаток бескислородной кислоты) вода не участвует, разлагается только соль:



$$M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль.}$$

В результате электролиза на аноде выделяется хлор, а на катоде осаждается медь. Находим:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m} = \frac{1,34}{22,4} = 0,06 \text{ (моль).}$$

Согласно уравнению реакции, $n(\text{Cl}_2) = n(\text{Cu})$, поэтому

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,06 \cdot 64 = 3,84 \text{ (г).}$$

Ответ: $m(\text{Cu}) = 3,84 \text{ г.}$



1. При электролизе расплава NaCl на катоде получен натрий массой 4,6 г. Рассчитайте объем газа, который при этом выделился на аноде.
2. В процессе электролиза расплава KOH катод принял $1,204 \cdot 10^{23}$ электронов. Найдите массу полученного при электролизе металла и объем (н. у.) выделившегося на аноде газа.

Рассмотрим примеры решения задач на электролиз водных растворов электролитов.

Пример 14.2. При полном электролизе водного раствора NaCl на катоде получен газ объемом (н. у.) $2,8 \text{ дм}^3$. Найдите химические количества других веществ, образовавшихся при электролизе.

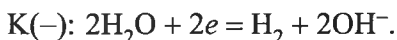
Дано:

$$V(\text{газа}) = 2,8 \text{ дм}^3$$

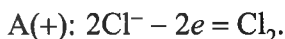
$n(\text{веществ})$ — ?

Решение:

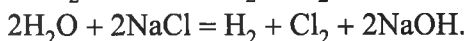
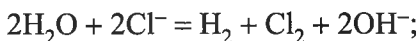
В ряду активности металлов натрий расположен до Al , поэтому на катоде восстанавливаются молекулы воды, а не ионы натрия:



Хлорид-ион относится к числу бескислородных анионов, поэтому на аноде будут окисляться анионы Cl^- , а не молекулы воды:



Сложив эти два уравнения, получаем ионное и молекулярное уравнения электролиза:



На катоде выделяется водород:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{2,8}{22,4} = 0,125 \text{ (моль)}.$$

Проводим расчеты:

$$\begin{aligned}n(\text{Cl}_2) &= n(\text{H}_2) = 0,125 \text{ (моль);}\\n(\text{NaOH}) &= 2n(\text{H}_2) = 0,125 \cdot 2 = 0,25 \text{ (моль).}\end{aligned}$$

Ответ: $n(\text{Cl}_2) = 0,125$ моль; $n(\text{NaOH}) = 0,25$ моль.

3. При полном электролизе водного раствора KCl на аноде получен газ объемом (н. у.) $5,6 \text{ дм}^3$. Какие вещества и в каком количестве (моль) образовались в катодном пространстве?
4. В результате полного электролиза 200 г водного раствора NaCl на электродах в сумме получены газы объемом (н. у.) $22,4 \text{ дм}^3$. Рассчитайте $w(\text{NaCl})$ в исходном растворе.
5. При электролизе раствора NaCl собрано $5,6 \text{ дм}^3$ (н. у.) хлора. Определите массовую долю вещества, полученного в растворе катодного пространства, если объем этого раствора равен 120 см^3 ($\rho = 1,12 \text{ г/дм}^3$).
6. При электролизе расплава хлорида кальция получен хлор объемом (н. у.) 40 дм^3 . Определите массу соли, которая разложилась при этом.
7. Вычислите объем (н. у.) хлора, который может быть получен путем электролиза расплава хлорида кальция массой $0,80 \text{ кг}$, содержащего $2,0 \%$ примесей по массе. Выход хлора составляет 98% .
8. Вычислите массу боксита с массовой долей пустой породы, равной 12% , который необходим для получения электролитическим способом алюминия массой 20 т , если выход алюминия составляет 98% .
9. В результате водного раствора хлорида натрия выделился хлор химическим количеством $0,30$ моль и образовался гидроксид натрия. Масса раствора к моменту окончания электролиза составила 160 г . Определите массовую долю гидроксида натрия в образовавшемся растворе.

10. При электролизе расплавленного хлорида натрия массой 420 кг получен хлор объемом (н. у.) $70,0 \text{ м}^3$. Чему равен практический выход хлора?

Рассмотрим примеры решения более сложных задач.

Пример 14.3. В результате электролиза водного раствора хлорида калия массой 125 г с массовой долей соли 12,3 % получен газ объемом (н. у.) $3,34 \text{ дм}^3$. Рассчитайте: а) массовые доли сильных электролитов в растворе после электролиза; б) массу раствора КОН с массовой долей щелочи 15,2 %, который может полностью прореагировать при нагревании с газом, выделившимся на аноде.

Дано:

$$m(\text{р-ра KCl}) = 125 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KCl}) = 12,3 \%$$

$$\omega(\text{KOH}) = 15,2 \%$$

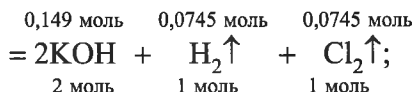
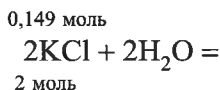
$$V(\text{газа}) = 3,34 \text{ дм}^3$$

$$\omega(\text{электролитов}) \text{ — ?}$$

$$m(\text{р-ра KOH}) \text{ — ?}$$

Решение:

а) Электролиз водного раствора хлорида калия описывается уравнением:



$$M(\text{KCl}) = 74,5 \text{ г/моль}; \quad M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; \quad M(\text{Cl}_2) = 71 \text{ г/моль}.$$

В первую очередь следует установить, вся ли соль подверглась разложению при электролизе.

По условию

$$V(\text{H}_2 + \text{Cl}_2) = 3,34 \text{ дм}^3$$

или

$$n(\text{Cl}_2 + \text{H}_2) = 3,34 : 22,4 = 0,149 \text{ (моль)}.$$

Из уравнения электролиза следует, что

$$n(\text{Cl}_2) = n(\text{H}_2) = 0,149 : 2 = 0,0745 \text{ (моль)}.$$

Согласно уравнению реакции находим, что химическое количество разложившегося хлорида калия равно 0,149 моль, а его масса составляет $0,149 \cdot 74,5 = 11,1$ (г).

В исходном растворе находился хлорид калия массой $125 \cdot 0,123 = 15,38$ (г). Следовательно, при электролизе разложился не весь хлорид калия, причем $m(\text{KCl})_{\text{неразл.}} = 15,38 - 11,1 = 4,28$ (г).

В результате электролиза образовался гидроксид калия химическим количеством тоже 0,149 моль или массой $0,149 \times 56 = 8,34$ (г).

Находим массовые доли KOH и $\text{KCl}_{\text{неразл.}}$ в растворе после электролиза.

Масса раствора после электролиза меньше массы исходного раствора на массу газов H_2 и Cl_2 :

$$m(\text{H}_2) = 0,0745 \cdot 2 = 0,149 \text{ (г)};$$

$$m(\text{Cl}_2) = 0,0745 \cdot 71 = 5,29 \text{ (г)};$$

$$m(\text{H}_2) + m(\text{Cl}_2) = 0,149 + 5,29 = 5,44 \text{ (г)};$$

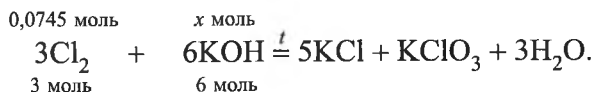
$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = 125 - 5,44 = 119,56 \text{ (г)}.$$

Тогда

$$\omega(\text{KCl}) = 4,28 : 119,56 = 0,0358 \text{ (3,58 \%)};$$

$$\omega(\text{KOH}) = 8,34 : 119,56 = 0,0698 \text{ (6,98 \%)}.$$

б) На аноде выделился хлор, который с горячим раствором KOH взаимодействует согласно уравнению реакции



Рассчитываем:

$$x = n(\text{KOH}) = \frac{0,0745 \cdot 6}{3} = 0,149 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{KOH}) = 0,149 \cdot 56 = 8,34 \text{ (г)};$$

$$m(\text{р-ра KOH}) = 8,34 : 0,152 = 54,9 \text{ (г)}.$$

Ответ: а) $w(\text{KCl}) = 3,58 \%$, $w(\text{KOH}) = 6,98 \%$;

б) $m(\text{р-ра KOH}) = 54,9 \text{ г}$.

Пример 14.4. В результате электролиза водного раствора Na_2SO_4 массой 76 г с массовой долей соли 15 % на катоде выделился газ объемом (н. у.) $31,6 \text{ дм}^3$. Рассчитайте массовую долю сильного электролита в растворе после электролиза.

Дано:

$$m(\text{р-ра Na}_2\text{SO}_4) = 76 \text{ г}$$

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 15 \%$$

$$V(\text{газа}) = 31,6 \text{ дм}^3$$

$$w(\text{электролита}) = ?$$

Решение:

При электролизе водных растворов солей, образованных щелочными или щелочноземельными металлами и анионом кислородсодержащей кислоты, разложению подвергается вода:



$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; \quad M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}.$$

Газ, выделившийся на катоде, — это водород, химическое количество которого равно $31,6 : 22,4 = 1,41$ (моль), а масса $1,41 \cdot 2 = 2,82$ (г).

На аноде выделился кислород, причем

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \cdot 1,41 = 0,705 \text{ (моль)}$$

или

$$m(\text{O}_2) = 0,705 \cdot 32 = 22,56 \text{ (г)}.$$

Масса конечного раствора, в котором находится Na_2SO_4 , составляет:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} &= m(\text{р-ра})_{\text{исх.}} - m(\text{H}_2) - m(\text{O}_2) = \\ &= 76 - 2,82 - 22,56 = 50,62 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Находим массу сульфата натрия в конечном растворе (она такая же, как и в исходном растворе):

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m(\text{р-ра } \text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{исх.}} \cdot w(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{исх.}} = \\ = 76 \cdot 0,15 = 11,4 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массовую долю соли в конечном растворе:

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{11,4}{50,62} = 0,225 \text{ (22,5 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 22,5 \%$.

Пример 14.5. В результате электролиза водного раствора NaCl объемом 86,0 см³ ($\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$) с массовой долей соли 8,3 % получен раствор с массовой долей щелочи 13,2 %. Рассчитайте массу разложившейся воды.

Дано:

$$V(\text{р-ра } \text{NaCl}) = 86,0 \text{ см}^3$$

$$\rho(\text{р-ра } \text{NaCl}) = 1,14 \text{ г/см}^3$$

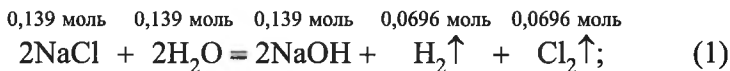
$$w(\text{NaCl}) = 8,3 \%$$

$$w(\text{щелочи}) = 13,2 \%$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Решение:

«Изюминка» задачи состоит в том, что участие воды в электролизе в общем случае может описываться двумя уравнениями:



Процесс (2) протекает только после того, как весь хлорид натрия разложился в процессе (1).

Прежде всего необходимо установить, надо ли при решении задачи принимать во внимание уравнение (2). Выясняем, весь ли хлорид натрия разложился в процессе (1).

Находим:

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; M(\text{Cl}_2) = 71 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{р-ра NaCl}) = V(\text{р-ра NaCl}) \cdot \rho = \\ = 86,0 \cdot 1,14 = 98,04 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaCl}) = m(\text{р-ра NaCl}) \cdot w(\text{NaCl}) = \\ = 98,04 \cdot 0,083 = 8,14 \text{ (г)};$$

$$n(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl}) : M(\text{NaCl}) = \\ = 8,14 : 58,5 = 0,139 \text{ (моль)}.$$

Предположим, что весь NaCl разложился, но процесс (2) не протекает. Тогда $m(\text{NaOH}) = 0,139 \cdot 40 = 5,56 \text{ (г)}$, а масса раствора NaOH меньше массы исходного раствора NaCl на суммарную массу H_2 и Cl_2 . Находим [см. уравнение (1)]:

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2);$$

$$m(\text{H}_2) = \frac{0,139}{2} \cdot 2 = 0,139 \text{ (г)};$$

$$m(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2);$$

$$m(\text{Cl}_2) = \frac{0,139}{2} \cdot 71 = 4,93 \text{ (г)};$$

$$m(\text{р-ра NaOH}) = 98,4 - 0,139 - 4,93 = 93 \text{ (г)};$$

$$w(\text{NaOH}) = \frac{5,56}{93} = 0,06 = 6 \text{ \%}.$$

На самом деле $w(\text{NaOH})$ по условию задачи равна 13,2 %. Это возможно лишь в том случае, если масса раствора NaOH меньше 93 г. В свою очередь, это свидетельствует как о полном разложении NaCl , так и о протекании процесса (2), в результате которого образуются газы и масса раствора уменьшается еще больше.

Пусть масса разложившейся в процессе (2) воды равна $x \text{ (г)}$. Тогда масса конечного раствора NaOH равна

$$98,04 - m(\text{H}_2) - m(\text{Cl}_2) - x = \\ = 98,04 - 0,139 - 4,93 - x = 93 - x \text{ (г)}.$$

Так как $m(\text{NaOH}) = 5,56$ г, имеем:

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

$$0,132 = \frac{5,56}{93 - x};$$

$$x = 50,9 \text{ (г)}.$$

Учитывая, что в процессе (1) разложилась вода массой $0,139 \cdot 18 = 2,5$ (г), находим суммарную массу разложившейся воды:

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{разл.}} = 2,5 + 50,9 = 53,4 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 53,4$ г.

- !**
- Газ, выделившийся на аноде при полном электролизе водного раствора NaCl объемом 400 см^3 (молярная концентрация соли $1,25 \text{ моль/дм}^3$), пропустили через раствор KI объемом 664 см^3 ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{KI}) = 10 \%$. Чему равна масса полученного иода?
 - При электролизе водного раствора KCl с $w(\text{KCl}) = 20 \%$ получили хлор объемом (н. у.) $5,6 \text{ дм}^3$, при этом $w(\text{KCl})$ в растворе стала равной $10,5 \%$. Найдите: а) массу исходного раствора KCl ; б) массу разложившегося KCl .
 - Хлорид бария массой $37,44$ г растворили в воде массой $32,04$ г и раствор подвергли электролизу. В результате получили смесь газов объемом (н. у.) 75 264 см^3 . Рассчитайте массовую долю сильного электролита в растворе после электролиза.
 - Раствор Na_2SO_4 массой 120 г с $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 32 \%$ подвергли электролизу и получили смесь газов объемом (н. у.) $67,2 \text{ дм}^3$. Найдите массовую долю сильного электролита в растворе после электролиза.

Рассмотрим пример решения задачи на электролиз кислотосодержащей соли неактивного металла.

Пример 14.6. На нейтрализацию кислоты, полученной при неполном электролизе раствора CuSO_4 массой 200 г с $w(\text{CuSO}_4) = 18\%$, затрачен NaOH химическим количеством 0,2 моль. Рассчитайте массовые доли электролитов в растворе после электролиза.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{CuSO}_4) = 200 \text{ г}$$

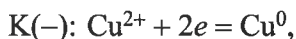
$$w(\text{CuSO}_4) = 18\%$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,2 \text{ моль}$$

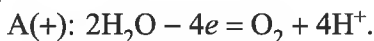
$$w(\text{электролитов}) \text{ — ?}$$

Решение:

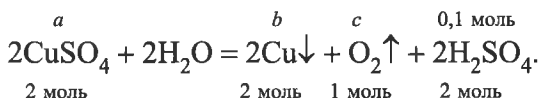
В этом случае на катоде восстанавливаются катионы меди:



а на аноде окисляются молекулы воды:

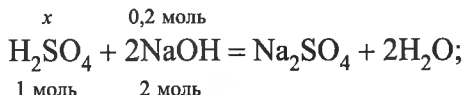


Суммарное молекулярное уравнение электролиза имеет вид:



При неполном электролизе разложилась не вся соль. Следовательно, необходимо определить массовые доли полученной серной кислоты и неразложившегося сульфата меди(II).

Записываем уравнение нейтрализации кислоты щелочью и проводим расчеты:



$$x = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,2 \cdot 1}{2} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n \cdot M; \quad M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \cdot 98 = 9,8 \text{ (г)}.$$

Из уравнения электролиза находим $m(\text{Cu})$, $m(\text{O}_2)$ и массу разложившейся соли:

$$b = n(\text{Cu}) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{Cu}) = n \cdot M; \quad M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Cu}) = 0,1 \cdot 64 = 6,4 \text{ (г)};$$

$$c = n(\text{O}_2) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{2} = 0,05 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{O}_2) = n \cdot M; \quad M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{O}_2) = 0,05 \cdot 32 = 1,8 \text{ (г)};$$

$$a = n(\text{CuSO}_4)_{\text{разл.}} = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ (моль)};$$

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

$$m(\text{CuSO}_4)_{\text{разл.}} = n \cdot M = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ (г)}.$$

В исходном растворе масса CuSO_4 составляла:

$$m(\text{CuSO}_4)_{\text{исх.}} = m(\text{р-ра}) \cdot w = 200 \cdot 0,18 = 36 \text{ (г)}.$$

Не разложилась соль массой:

$$m(\text{CuSO}_4)_{\text{неразл.}} = 36 - 16 = 20 \text{ (г)}.$$

Находим массу конечного раствора после электролиза:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} &= m(\text{р-ра})_{\text{исх.}} - m(\text{Cu}) - m(\text{O}_2) = \\ &= 200 - 6,4 - 1,8 = 192 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Рассчитываем массовые доли электролитов:

$$w(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)_{\text{неразл.}}}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{20}{192} = 0,1042 \text{ (10,42 \%)}.$$

Аналогично:

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{9,8}{192} = 0,0510 \text{ (5,10 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{CuSO}_4) = 10,42 \%$; $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,10 \%$.

- 15.** В растворе массой 500 г содержится 12,8 г смеси AgNO_3 и $\text{Cu(NO}_3)_2$. В результате полного электролиза раствора получили смесь металлов массой 5,34 г. Найдите суммарную массовую долю солей в исходном растворе.
- 16.** При электролизе раствора массой 500 г с $w(\text{AgNO}_3) = 17\%$ получен газ объемом (н. у.) $2,8 \text{ дм}^3$. Рассчитайте:
а) массу раствора после электролиза; б) массовую долю кислоты в растворе после электролиза.
- 17.** Имеется раствор CuSO_4 массой 500 г. После электролиза масса раствора уменьшилась на 7,96 г. Оставшийся раствор полностью прореагировал с сероводородом объемом (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$. Найдите $w(\text{CuSO}_4)$ в исходном растворе.

ГЛАВА 15

Термохимия

15.1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ

Запас энергии, которым обладают участники химического процесса — реагенты и продукты, — не одинаков, поэтому любая химическая реакция сопровождается изменением энергии. Наиболее типичный для химии случай изменения энергии — это выделение или поглощение теплоты Q , измеряемой в килоджоулях (кДж).

Иногда употребляется и внесистемная единица, килокалория (ккал): $1 \text{ ккал} = 4,18 \text{ кДж}$.

Тепловой эффект химической реакции — это количество теплоты, выделяемой или поглощаемой в результате ее протекания.

Реакция называется **экзотермической**, если теплота выделяется в окружающее пространство (внешнюю среду); при поглощении теплоты из внешней среды реакция называется **эндотермической**. В термохимии знак Q определяется относительно внешней среды, так что $Q > 0$ — для экзотермических реакций, $Q < 0$ — для эндотермических реакций.

Тепловой эффект химической реакции зависит от ряда факторов:

- а) природы реагентов и продуктов;
- б) массы (химического количества, объемов) реагентов;
- в) агрегатного состояния реагентов и продуктов, которое может быть кристаллическим (кр.), т. е. твердым (тв.), жидким (ж.) и газообразным (г.);

- г) температуры и давления процесса;
- д) природы аллотропной модификации простого вещества.

Термохимическим называется уравнение, в котором указаны величина и знак теплового эффекта, а также агрегатное состояние реагентов и продуктов реакции.

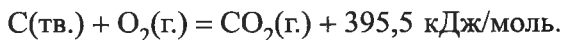
Обычно величина теплового эффекта приведена для так называемых стандартных условий: $T = 298 \text{ К}$, $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (от нормальных условий стандартные отличаются температурой). Приведем пример термохимического уравнения:



Таким образом, при образовании 2 моль газообразной воды из 2 моль водорода и 1 моль кислорода, также находящихся в газообразном состоянии, выделяется 482 кДж теплоты. Однако образование 2 моль жидкой воды из газообразных водорода и кислорода сопровождается выделением уже 570 кДж теплоты.

Теплота образования химического соединения — количество теплоты, выделяемой или поглощаемой при образовании 1 моль соединения из простых веществ в стандартных условиях.

Например:



Следовательно, при образовании 1 моль углекислого газа из углерода и кислорода выделяется 395,5 кДж теплоты, т. е. $Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 395,5 \text{ кДж/моль.}$

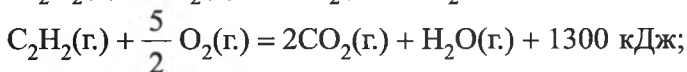
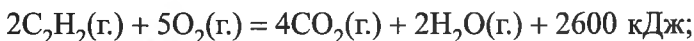
Существует определенная разница между химическими и термохимическими уравнениями. Например, в термохимическом уравнении стехиометрические коэффициенты могут

быть как целыми, так и дробными числами; в химическом уравнении — только целыми. Это объясняется тем, что химическое уравнение описывает взаимодействие веществ не только на макро-, но и на микроуровне (на уровне атомов, молекул, ионов), а говорить о дробном числе атомов, молекул или ионов нереально.

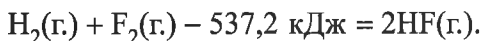
В то же время термохимическое уравнение всегда описывает макропроцесс (бессмысленно говорить о теплоте образования одной молекулы вещества с точки зрения ее экспериментального определения), в котором участвуют химические количества реагентов и продуктов, указанные в термохимическом уравнении; химическое количество может выражаться как целым, так и дробным числом.

При решении задач на эту тему следует помнить:

а) тепловой эффект относится к тем значениям стехиометрических коэффициентов, которые указаны в термохимическом уравнении; поэтому, изменяя в определенное число раз эти коэффициенты, необходимо пропорционально изменить количество теплоты (например, разделив коэффициенты на два, надо в два раза уменьшить величину Q). Сравните:

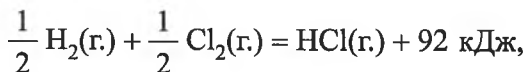


б) величину теплового эффекта можно переносить из одной части уравнения в другую, при этом знак Q изменяется на противоположный. Например:

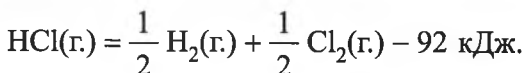


Тепловые эффекты реакций образования и распада вещества равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку.

Например, если при образовании 1 моль HCl выделяется 92 кДж теплоты:



то при распаде 1 моль HCl на простые вещества поглощается 92 кДж теплоты:



Расчеты по термохимическим уравнениям можно проводить как по массам (объемам), так и по химическому количеству, причем теплота прямо пропорционально зависит от массы (объема, химического количества).

15.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Пример 15.1. При сжигании 6 г магния в кислороде выделяется 150 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции образования 1 моль оксида магния.

Дано:

$$m(\text{Mg}) = 6 \text{ г}$$

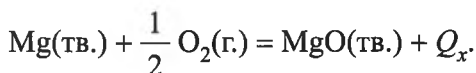
$$Q = 150 \text{ кДж}$$

$$n(\text{MgO}) = 1 \text{ моль}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Необходимо определить значение Q_x процесса:



Из уравнения реакции видно, что 1 моль MgO образуется, когда в реакцию вступает 1 моль Mg . Согласно условию задачи, для 6 г магния, т. е. для $6/24 = 0,25$ (моль) Mg , значение Q равно 150 кДж. Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{для } 0,25 \text{ моль Mg} & \xrightarrow{\text{выделяется}} & 150 \text{ кДж теплоты;} \\ 1,00 \text{ моль Mg} & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & Q_x. \end{array}$$

Отсюда

$$Q_x = \frac{1,00 \cdot 150}{0,25} = 600 \text{ (кДж/моль)}.$$

Термохимическое уравнение имеет вид:



Пример 15.2. Исходя из термохимического уравнения реакции $\text{N}_2(\text{г.}) + \text{O}_2(\text{г.}) = 2\text{NO}(\text{г.}) - 180,7 \text{ кДж}$, найдите величину теплового эффекта при окислении 5,6 г азота.

Дано:

$$m(\text{N}_2) = 5,6 \text{ г}$$

$$Q = -180,7 \text{ кДж}$$

$$Q_x = ?$$

Решение:

Величина Q пропорциональна химическому количеству или массе. Из уравнения реакции видно, что при окислении 1 моль азота, т. е. 28 г азота, поглощается 180,7 кДж теплоты.

Находим значение Q для 5,6 г азота:

$$n(\text{N}_2) = m/M = 5,6/28 = 0,2 \text{ (моль).}$$

Составляем пропорцию:

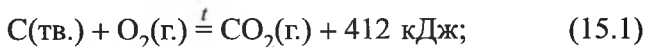
$$\begin{array}{lcl} \text{при окислении 1 моль } \text{N}_2 & \xrightarrow{\text{тепловой эффект равен}} & -180 \text{ кДж;} \\ 0,2 \text{ моль } \text{N}_2 & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & Q_x. \end{array}$$

Отсюда

$$Q_x = \frac{-180,7 \cdot 0,2}{1} = -36,14 \text{ (кДж).}$$

Ответ: $Q_x = -36,14 \text{ кДж.}$

Пример 15.3. Согласно термохимическим уравнениям реакций горения угля и разложения известняка



определите, какую массу угля надо сжечь, чтобы выделившейся энергии хватило для получения 112 т негашеной извести.

Дано:

$$Q_1 = 412 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = -180 \text{ кДж}$$

$$m(\text{CaO}) = 112 \text{ т}$$

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

Решение:

Суть задачи состоит в следующем: реакция (15.2) получения негашеной извести (CaO) эндотермическая, т. е. требует затрат энергии (теплоты). Эту теплоту получают при сгорании угля (реакция (15.1)).

Очевидно, что количество теплоты Q_2 , которую надо затратить на разложение известняка, должно быть равно по абсолютной величине количеству теплоты Q_1 , получаемой при сгорании угля.

Находим значение Q_2 :

$$n(\text{CaO}) = 112 \cdot 10^6 / 56 = 2 \cdot 10^6 \text{ (моль)} \quad (112 \text{ т} = 112 \cdot 10^6 \text{ г}).$$

Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{для получения 1 моль CaO} & \xrightarrow{\text{требуется}} & 180 \text{ кДж теплоты;} \\ 2 \cdot 10^6 \text{ моль} & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & Q_x. \end{array}$$

Отсюда

$$Q_2 = -36 \cdot 10^7 \text{ кДж}$$

($Q_2 < 0$, так как теплота затрачивается).

Находим Q_1 , равное Q_2 по абсолютной величине. Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{при сгорании 1 моль угля} & \xrightarrow{\text{выделяется}} & 412 \text{ кДж;} \\ x \text{ моль} & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & 36 \cdot 10^7 \text{ кДж.} \end{array}$$

Отсюда

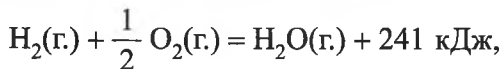
$$x = 0,0874 \cdot 10^7 \text{ моль.}$$

Находим массу угля [$M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$]:

$$m(\text{C}) = n \cdot M = 0,0874 \cdot 10^7 \cdot 12 = 1,05 \cdot 10^7 (\text{г}) = 10,5 (\text{т}).$$

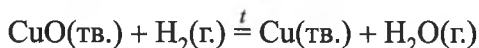
Ответ: $m(\text{C}) = 10,5 \text{ т.}$

По величине теплового эффекта для однотипных реакций можно судить об устойчивости соединений. Например, теплота образования 1 моль оксидов меди(II), цинка и алюминия соответственно равна (кДж) 162, 351 и 1676. Следовательно, наиболее устойчив оксид алюминия, а наименее устойчив оксид меди (II). Ввиду большого теплового эффекта образования Al_2O_3 получить этот металл восстановлением оксида алюминия водородом нельзя, так как средство водорода к кислороду, судя по значению Q для реакции



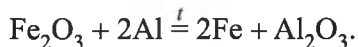
значительно меньше.

В то же время получить медь по реакции

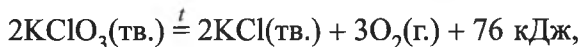


вполне возможно, так как теплота образования CuO (162 кДж) меньше, чем теплота образования воды (241 кДж).

Из-за большого теплового эффекта реакции образования оксида алюминия этот металл применяется для восстановления других металлов из их оксидов (метод *алюминотермии*):



- 1.** Согласно термохимическому уравнению процесса



рассчитайте объем (н. у.) кислорода, отвечающий выделению 308,7 кДж теплоты.

- 2.** Алюминий сгорает в кислороде согласно термохимическому уравнению реакции



Рассчитайте количество теплоты, которая выделится при сгорании алюминия массой 600 мг в избытке кислорода.

3. Взаимодействие SO_3 и H_2O протекает согласно термохимическому уравнению.



Навеску SO_3 растворили в воде объемом 50 см^3 , при этом выделилось $1,95 \text{ кДж}$ теплоты. Рассчитайте $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в полученном растворе.

4. Согласно термохимическому уравнению реакции

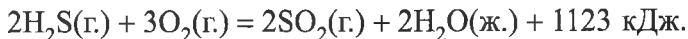


рассчитайте теплоту процесса с участием железа массой $18,4 \text{ г}$.

5. Теплота образования 1 моль Fe_3O_4 из простых веществ равна 1117 кДж . Найдите суммарную массу прореагировавших железа и кислорода, если выделилось $286,4 \text{ кДж}$ теплоты.

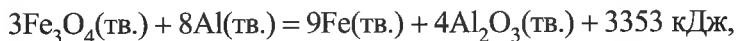
6. При сгорании фосфора массой $1,24 \text{ г}$ выделяется $30,14 \text{ кДж}$ теплоты. Рассчитайте теплоту образования 1 моль оксида фосфора(V).

7. Сероводород сгорает в избытке кислорода согласно термохимическому уравнению



Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания 300 дм^3 (н. у.) исходной смеси стехиометрического состава.

8. Согласно термохимическому уравнению реакции



рассчитайте массу исходной смеси стехиометрического состава, если теплота процесса равна $200,0 \text{ кДж}$.

15.3. ПРИРОДА ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА

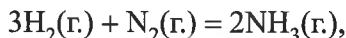
Тепловой эффект реакции объясняется тем, что химический процесс сопровождается, с одной стороны, разрывом связей в молекулах реагентов (при этом энергия затрачивает-

ся, $Q_{\text{разр.}} < 0$). С другой стороны, при образовании продуктов формируются новые химические связи (при этом энергия выделяется, $Q_{\text{образ.}} > 0$). Знак и величина теплового эффекта химической реакции $Q_{\text{х.р.}}$ в целом определяются алгебраической суммой:

$$Q_{\text{х.р.}} = Q_{\text{разр.}} + Q_{\text{образ.}}$$

Поэтому тепловой эффект может быть как положительным (экзотермическая реакция), так и отрицательным (эндотермическая реакция).

Пример 15.4. Найдите тепловой эффект реакции



если энергии связей H—H , $\text{N}\equiv\text{N}$, N—H соответственно равны (кДж/моль) 435, 945, 390.

Дано:

$$E(\text{N}\equiv\text{N}) = 945 \text{ кДж/моль}$$

$$E(\text{H—H}) = 435 \text{ кДж/моль}$$

$$E(\text{N—H}) = 390 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{х.р.}} = ?$$

Решение:

1 моль водорода содержит 1 моль связей H—H , а 3 моль водорода — 3 моль этих связей, на разрыв которых надо,

следовательно, затратить $3 \cdot 435 = 1305$ (кДж) теплоты; аналогично на разрыв 1 моль связей $\text{N}\equiv\text{N}$ затрачивается 945 кДж теплоты. Таким образом, $Q_{\text{разр.}} = -1305 + (-945) = -2250$ (кДж).

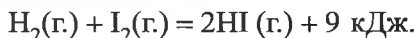
Из уравнения реакции видно, что в результате образуется 2 моль аммиака; поскольку 1 моль NH_3 содержит 3 моль связей N—H , то можно утверждать, что в результате реакции формируются 6 моль связей N—H , причем теплота образования 1 моль связи N—H равна 390 кДж. При образовании 6 моль таких связей выделяется $6 \cdot 390 = 2340$ (кДж) теплоты. Находим суммарный тепловой эффект:

$$Q_{\text{х.р.}} = +2340 + (-2250) = +90 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q_{\text{х.р.}} = +90 \text{ кДж.}$



9. Энергия связи в молекуле хлора равна $4,03 \cdot 10^{-19}$ Дж. Рассчитайте, какую энергию надо затратить на разрыв всех связей в порции хлора массой 3,55 г.
10. Дано термохимическое уравнение



Энергии связей в молекуле H_2 и HI равны соответственно (кДж/моль) 436 и 298. Рассчитайте энергию связи (кДж/моль) в молекуле иода.

11. Согласно термохимическому уравнению



рассчитайте энергию связи (кДж/моль) в молекулах HF , если энергии связей (кДж/моль) в молекулах H_2 и F_2 соответственно равны 436 и 159.

12. Энергии связей (кДж/моль) в молекулах HCl , H_2 и Cl_2 равны соответственно 431, 436 и 242. Рассчитайте тепловой эффект реакции образования 1 моль HCl из простых веществ.

15.4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА РАСТВОРЕНИЯ В ВОДЕ ИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассчитаем тепловой эффект реакции растворения ионных соединений в воде. В этом случае необходимо знать энергию кристаллической решетки ионного соединения $E_{\text{кр.реш.}}$ (т. е. энергию связи между ионами) и энергию (теплоту) гидратации $E_{\text{гидр.}}$ ионов водой (эти величины можно взять из справочников). Тогда тепловой эффект растворения

$$Q_{\text{раств.}} = -E_{\text{кр.реш.}} + E_{\text{гидр.}} \quad (15.3)$$

При этом $E_{\text{кр.реш.}}$ берется со знаком минус (на разрыв связей между ионами энергия затрачивается), а $E_{\text{гидр.}}$ — со знаком плюс (гидратация — процесс экзотермический).

Пример 15.5. Определите тепловой эффект реакции растворения в воде 1 моль KCl , если $E_{\text{кр.реш.}}$ равна 730 кДж/моль, а для ионов Cl^- и K^+ $E_{\text{гидр.}}$ соответственно равны 330 и 339 кДж/моль.

Дано:

$$E_{\text{кр.реш.}}(\text{KCl}) = 730 \text{ кДж/моль}$$

$$E_{\text{гидр.}}(\text{Cl}^-) = 330 \text{ кДж/моль}$$

$$E_{\text{гидр.}}(\text{K}^+) = 339 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{раств.}}(1 \text{ моль KCl}) = ?$$

Решение:

Используя формулу (15.3), находим:

$$Q_{\text{раств.}} = -730 + 330 + 339 = -61 \text{ (кДж/моль)}.$$

Ответ: $Q_{\text{раств.}} = -61 \text{ кДж/моль}$.

Таким образом, растворение KCl в воде — процесс эндотермический, ибо энергия, затрачиваемая на разрыв связей между ионами K^+ и Cl^- , больше по абсолютной величине энергии, выделяемой при гидратации перешедших в раствор ионов Cl^- и K^+ .

Пример 15.6. Растворение кристаллогидрата соли химическим количеством 1 моль сопровождается поглощением 98,7 кДж теплоты, а полная дегидратация кристаллогидрата таким же химическим количеством — поглощением 108,9 кДж теплоты. Укажите тепловой эффект реакции растворения безводной соли химическим количеством 1 моль.

Дано:

$$Q_{\text{раств.}}(\text{Kг}) =$$

$$= -98,7 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{дегидр.}}(\text{Kг}) =$$

$$= -108,9 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{раств.}}(1 \text{ моль Kг}) = ?$$

Решение:

Тепловой эффект растворения безводной соли находится по уравнению (15.3). Тепловой эффект реакции гидратации безводной соли равен взятому с обратным знаком тепловому эффекту реакции дегидратации кристаллогидрата:

$$Q_{\text{гидр.}} = -Q_{\text{дегидр.}}$$

Следовательно:

$$Q_{\text{гидр.}} = +108,9 \text{ кДж.}$$

Тепловой эффект растворения кристаллогидрата равен энергии кристаллической решетки, взятой с обратным знаком:

$$Q_{\text{раств.}}(\text{Кг}) = -E_{\text{кр.реш.}}, \text{ так как для кристаллогидрата } Q_{\text{гидр.}} = 0;$$

$$E_{\text{кр.реш.}} = 98,7 \text{ кДж.}$$

Имеем:

$$Q_{\text{раств.безводн.соли}} = Q_{\text{гидр.}} - E_{\text{кр.реш.}};$$

$$Q_{\text{раств.безводн.соли}} = +108,9 - 98,7 = +10,2 \text{ (кДж).}$$

Ответ: $Q_{\text{раств.}} = +10,2 \text{ кДж/моль.}$



13. Тепловой эффект растворения некоторой соли состава MeAn_2 равен $+30,2 \text{ кДж/моль}$. Рассчитайте тепловой эффект растворения данной соли, если при этом образовался раствор, в котором суммарное число ионов Me^{2+} и An^- равно $3,612 \cdot 10^{24}$.
14. При растворении в воде 1 моль кристаллического КОН выделяется 60 кДж теплоты. Энергии кристаллической решетки КОН и гидратации ионов K^+ равны соответственно (кДж/моль) 790 и 339 . Рассчитайте энергию гидратации ионов Cl^- (кДж/моль).
15. Растворение 1 моль безводной соли происходит с выделением 100 кДж теплоты, а реакция гидратации с образованием 1 моль кристаллогидрата — с выделением 130 кДж теплоты. Найдите тепловой эффект реакции растворения 2 моль кристаллогидрата.
16. Теплота растворения некоторой безводной соли равна 100 кДж/моль , а теплота растворения ее кристаллогидрата составляет -40 кДж/моль . Рассчитайте теплоту гидратации (кДж/моль) соли с образованием этого же кристаллогидрата.

15.5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ КОНКУРСНЫХ ЗАДАЧ

Пример 15.7. Теплота сгорания этана и бутана соответственно равна 1541 кДж/моль и 2657 кДж/моль. Рассчитайте объемные доли этих газов в их смеси, если при сгорании ее объемом 67,2 дм³ (н. у.) выделилось 685,5 кДж теплоты.

Дано:

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{C}_2\text{H}_6) = 1541 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 2657 \text{ кДж/моль}$$

$$V(\text{смеси}) = 67,2 \text{ дм}^3$$

$$Q_{\text{сгор.}} = 685,4 \text{ кДж}$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = ?$$

$$\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = ?$$

Решение:

Пусть в смеси содержалось x (моль) этана и y (моль) бутана. Очевидно, что:

$$x + y = \frac{V(\text{смеси})}{V_m};$$

$$x + y = \frac{6,72}{22,4} = 0,3 (\text{моль}). \quad (15.4)$$

Если при сгорании 1 моль C_2H_6 выделяется 1541 кДж теплоты, то при сгорании x (моль) C_2H_6 теплоты выделится $x \cdot 1541$ (кДж). Аналогично, для y (моль) бутана теплота сгорания будет равна $y \cdot 2657$ (кДж).

По условию

$$x \cdot 1541 + y \cdot 2657 = 685,5. \quad (15.5)$$

Решая совместно уравнения (15.4) и (15.5), находим:

$$x = 0,1 \text{ моль}; y = 0,2 \text{ моль};$$

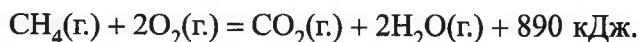
$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_6)}{n(\text{смеси})} = \frac{0,1}{0,3} = 0,333;$$

$$\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{n(\text{C}_4\text{H}_{10})}{n(\text{смеси})} = \frac{0,2}{0,3} = 0,667.$$

Ответ: $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,333$; $\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,667$.

Пример 15.8. Даны два термохимических уравнения реакций:





Найдите тепловой эффект реакции сгорания $67,2 \text{ дм}^3$ (н. у.) смеси H_2 и CH_4 с молярной массой $10,0 \text{ г/моль}$.

Дано:

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{H}_2) = 484 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{CH}_4) = 890 \text{ кДж}$$

$$V(\text{H}_2 + \text{CH}_4) = 67,2 \text{ дм}^3$$

$$M(\text{смеси}) = 10,0 \text{ г/моль}$$

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{смеси}) \text{ — ?}$$

Решение:

Определим мольный состав газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = M(\text{CH}_4) \cdot \varphi(\text{CH}_4) + M(\text{H}_2) \cdot \varphi(\text{H}_2);$$

$$M(\text{CH}_4) = 16 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}.$$

Если $\varphi(\text{CH}_4) = x$, то $\varphi(\text{H}_2) = 1 - x$.

Имеем:

$$10 = 16x + 2(1 - x);$$

$$10 = 16x + 2 - 2x;$$

$$8 = 14x;$$

$$x = 0,571.$$

Находим объемы CH_4 и H_2 :

$$\varphi(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V(\text{смеси})};$$

$$V(\text{CH}_4) = \varphi(\text{CH}_4) \cdot V(\text{смеси});$$

$$V(\text{CH}_4) = 0,571 \cdot 67,2 = 38,4 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$V(\text{H}_2) = V(\text{смеси}) - V(\text{CH}_4);$$

$$V(\text{H}_2) = 67,2 - 38,4 = 28,8 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Рассчитываем химическое количество CH_4 и H_2 :

$$n(\text{CH}_4) = \frac{V}{V_m} = \frac{38,4}{22,4} = 1,714 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{28,8}{22,4} = 1,286 \text{ (моль)}.$$

Находим по отдельности тепловой эффект сгорания найденных химических количеств CH_4 и H_2 . Согласно термохимическим уравнениям, имеем:

$$\begin{array}{rcl} 2 \text{ моль } \text{H}_2 & \text{—————} & 484 \text{ кДж;} \\ 1,286 \text{ моль} & \text{—————} & Q_x; \end{array}$$

$$Q_x = \frac{1,286 \cdot 484}{2} = 311 \text{ (кДж)};$$

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ моль } \text{CH}_4 & \text{—————} & 890 \text{ кДж;} \\ 1,714 & \text{—————} & Q_y; \end{array}$$

$$Q_y = \frac{1,714 \cdot 890}{1} = 1525,5 \text{ (кДж)}.$$

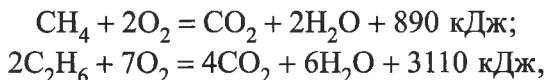
Суммарный тепловой эффект реакции сгорания смеси H_2 и CH_4 равен:

$$Q_{\text{сгор.}}(\text{смеси}) = Q_x + Q_y = 311 + 1525,5 = 1836,5 \text{ (кДж)}.$$

Ответ: $Q_{\text{сгор.}}(\text{смеси}) = 1836,5 \text{ кДж}.$

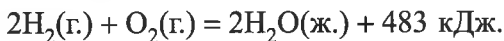
- !** 17. При полном сгорании 10,0 г H_2 выделяется 1208 кДж теплоты, а при сгорании 10,0 CH_4 — 556 кДж теплоты. Рассчитайте тепловой эффект полного сгорания смеси H_2 и CH_4 объемом (н. у.) 57,75 дм^3 , в которой $w(\text{CH}_4) = 70 \%$.

18. Согласно термохимическим уравнениям



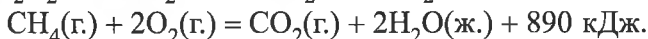
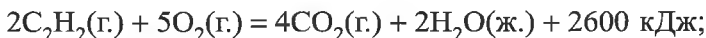
рассчитайте теплоту сгорания смеси объемом (н. у.) 4,48 дм^3 , в которой число атомов углерода в 3,2 раза меньше числа атомов водорода.

19. Водород сгорает в кислороде согласно термохимическому уравнению

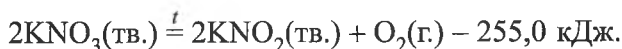


Найдите тепловой эффект сгорания смеси H_2 и O_2 объемом (н. у.) $2,94 \text{ дм}^3$, в которой массовая доля H_2 в три раза меньше массовой доли O_2 .

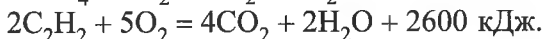
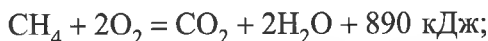
20. Найдите тепловой эффект сгорания смеси CH_4 и C_2H_2 массой 25 г , имеющей относительную плотность по водороду $10,0$. Термохимические уравнения:



21. При полном сгорании 1 моль CH_4 выделяется 890 кДж теплоты. Какой объем метана (н. у.) необходимо сжечь, чтобы выделившейся теплоты оказалось достаточно для разложения $74,17 \text{ г}$ нитрата калия? Термохимическое уравнение:

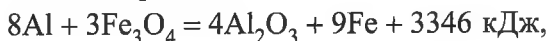


22. При сгорании смеси CH_4 и C_2H_2 объемом (н. у.) 336 дм^3 выделилось $17\,450 \text{ кДж}$ теплоты. Термохимические уравнения:



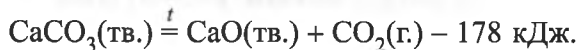
Найдите химическое количество ацетила в смеси.

23. Теплота испарения воды равна 44 кДж/моль , а теплота сгорания оксида углерода(II) — 283 кДж/моль . Какой минимальный объем (н. у.) угарного газа необходимо сжечь, чтобы полученной теплоты оказалось достаточно для превращения в пар воды объемом (20°C) 1 дм^3 ?
24. Теплота реакции полного сгорания этана равна 1500 кДж/моль . При полном сгорании смеси этана и бутана массой $23,4 \text{ г}$ с объемной долей бутана 60% выделилось $1174,8 \text{ кДж}$ теплоты. Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания бутана.
25. Рассчитайте количество теплоты, выделяющейся в реакции алюминотермии



приходящейся на 100 кг термитной смеси (это исходная смесь) стехиометрического состава.

26. Разложение CaCO_3 происходит в соответствии с термохимическим уравнением



Для разложения соли затратили 48,6 кДж теплоты. Полученный при этом углекислый газ пропустили в раствор NaOH массой 60,0 г с $w(\text{NaOH}) = 40 \%$. Найдите массовую долю соли в полученном растворе.

27. Образец минерала, в котором $w(\text{Fe}) = 46,67 \%$, $w(\text{S}) = 53,3 \%$, массой 15 г сожгли в избытке O_2 . Образовавшийся твердый продукт прокалили с Al массой 7,02 г до полного завершения реакции. Обе реакции экзотермичны. Рассчитайте общее количество теплоты по обеим реакциям, если известно, что Q первой реакции, в расчете на 4 моль сгоревшего минерала, равна 3360 кДж, а второй, в расчете на 2 моль образовавшегося простого твердого вещества, — 854 кДж.
28. Смесь CO и O_2 массой 20 г с относительной плотностью по водороду 15 взорвали. Определите тепловой эффект реакции, если теплота образования 1 моль CO_2 в этих условиях равна 416 кДж.
29. В закрытой кварцевой колбе объемом (н. у.) 50 дм^3 находится смесь H_2 и Cl_2 , плотность которой (н. у.) $1,32 \text{ г/дм}^3$. Сколько теплоты выделится при освещении колбы УФ-светом, если $Q_{\text{обр.}}(\text{HCl}) = 92 \text{ кДж/моль}$?
30. Термохимическое уравнение сгорания магния имеет вид:



Масса смеси Mg и O_2 равна 136 г. Рассчитайте количество теплоты, которая выделится в результате реакции, если в избытке останется кислород объемом (н. у.) 28 дм^3 .

ГЛАВА 16

Химическая кинетика

Задачи на эту тему целесообразно разбить на задания по скорости химической реакции и химическому равновесию.

16.1. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

С течением времени в ходе протекания химической реакции химические количества n и молярные концентрации c (далее — просто концентрации) участников процесса изменяются (см. рис. 16.1.): для исходных веществ (реагентов) они уменьшаются (реагенты расходуются), а в случае продуктов значения n и c возрастают (продукты накапливаются).

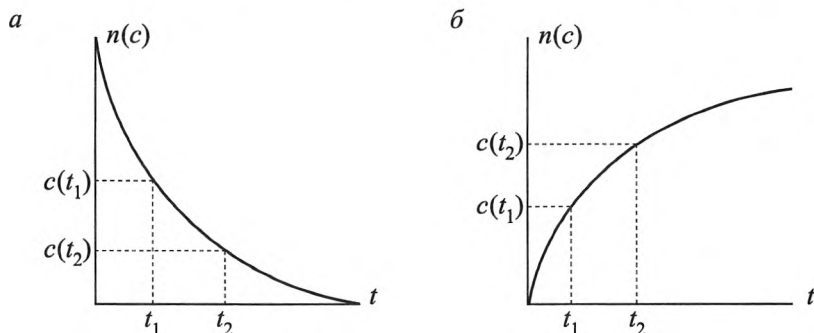


Рис. 16.1. Изменение со временем химического количества и концентрации реагентов (а) и продуктов (б)

Скорость химической реакции можно рассчитать по изменению n или c любого из веществ — продукта или реагента по формулам:

$$v = \pm \frac{n(t_2) - n(t_1)}{V(t_2 - t_1)} = \pm \frac{\Delta n}{V \cdot \Delta t}; \quad (16.1)$$

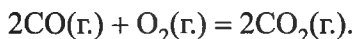
$$v = \pm \frac{c(t_2) - c(t_1)}{t_2 - t_1} = \pm \frac{\Delta c}{\Delta t}. \quad (16.2)$$

Здесь V — объем реакционной системы (реактора, колбы, стакана); Δt — время, за которое химическое количество или концентрация изменились на Δn или Δc .

Выражение (16.2) вытекает из формулы (16.1), так как $\Delta n/V = \Delta c$.

В вышеприведенных соотношениях знак $(-)$ используется при расчете скорости по значениям Δn и Δc для исходного вещества. В этом случае (см. рис 16.1а) $n(t_2) < n(t_1)$ и $c(t_2) < c(t_1)$, так что $\Delta n < 0$ и $\Delta c < 0$, а скорость реакции должна быть величиной положительной.

Пример 16.1. В реакторе объемом 8 дм³ протекает гомогенная реакция:



Через 3 мин после начала реакции химическое количество углекислого газа возросло на 3,2 моль. Рассчитайте скорость образования углекислого газа за это время [в моль/(дм³ · с)].

Дано:

$$V = 8 \text{ дм}^3$$

$$\Delta t = 3 \text{ мин}$$

$$\Delta n = 3,2 \text{ моль}$$

$$v_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = ?$$

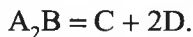
Решение:

Используем формулу (16.1) (3 мин = 3 · 60 = 180 с):

$$v = \frac{3,2 \text{ моль}}{8 \text{ дм}^3 \cdot 180 \text{ с}} = 0,00222 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с}) = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$$

Ответ: $v_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$

Пример 16.2. В водном растворе вещество A_2B разлагается по уравнению



Через 5 с после начала реакции концентрация вещества A_2B изменилась с 1,50 моль/дм³ до 0,40 моль/дм³. Рассчитайте скорость реакции разложения вещества A_2B за это время.

Дано:

$$\Delta t = 5 \text{ с}$$

$$c_1 = 1,50 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_2 = 0,40 \text{ моль/дм}^3$$

$$v_{\text{разл.}}(A_2B) \text{ — ?}$$

Решение:

Согласно выражению (16.2), имеем:

$$v = - \frac{c_2 - c_1}{\Delta t} = - \frac{0,40 - 1,50}{5} = 0,22 \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$$

Ответ: $v_{\text{разл.}}(A_2B) = 0,22 \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$

Выше мы отмечали, что скорость реакции можно рассчитать по изменению n и c любого вещества, участвовавшего в химической реакции. Однако здесь есть маленький нюанс.

Сравните две реакции:



Для первой реакции стехиометрические коэффициенты перед формулами всех веществ одинаковы; следовательно, за один и тот же промежуток времени изменение Δn или Δc для веществ A , B и AB будет одинаковым. А это означает, что и скорость расходования вещества A будет равна скорости расходования вещества B и скорости образования вещества AB :

$$v_{\text{расх.}}(A) = v_{\text{расх.}}(B) = v_{\text{обр.}}(AB).$$

Совершенно другой случай реализуется для второй реакции. В соответствии со значениями стехиометрических коэффициентов за одно и то же время изменение Δn или Δc для вещества D будет в 3 раза больше, чем для вещества A ,

и в 1,5 ($3 : 2 = 1,5$) раза больше, чем для вещества В. Следовательно, так же будут относиться и скорости реакции, измеренные по этим веществам:

$$v_{\text{обр.}}(\text{D}) = 3v_{\text{расх.}}(\text{A}) = 1,5v_{\text{расх.}}(\text{B}).$$

Если, например, скорость расщедования вещества А равна 0,02 моль/(дм³ · с), то

$$v_{\text{расх.}}(\text{B}) = 2v_{\text{расх.}}(\text{A}) = 0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)};$$

$$v_{\text{обр.}}(\text{D}) = 3v_{\text{расх.}}(\text{A}) = 0,02 \cdot 3 = 0,06 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}.$$

Пример 16.3. Гомогенная реакция протекает по уравнению



Через 20 с после начала реакции концентрация вещества А уменьшилась на 0,08 моль/дм³. Рассчитайте скорость реакции по веществам А, В и D.

Дано:

$$t = 20 \text{ с}$$

$$\Delta c(\text{A}) = 0,08 \text{ моль/дм}^3$$

$$v_{\text{расх.}}(\text{A}) \text{ — ?}$$

$$v_{\text{расх.}}(\text{B}) \text{ — ?}$$

$$v_{\text{обр.}}(\text{D}) \text{ — ?}$$

Решение:

Сначала по формуле (16.2) находим скорость реакции по веществу А, т. е. скорость расщедования вещества А:

$$\begin{aligned} v_{\text{расх.}}(\text{A}) &= \frac{\Delta c(\text{A})}{\Delta t} = \frac{0,08}{20} = \\ &= 0,004 \text{ [моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}]. \end{aligned}$$

Согласно стехиометрическим коэффициентам, имеем:

$$\begin{aligned} v_{\text{расх.}}(\text{B}) &= \frac{1}{3} v_{\text{расх.}}(\text{A}) = \frac{0,004}{3} = 0,00133 \text{ [моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}] = \\ &= 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ [моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{\text{обр.}}(\text{D}) &= \frac{2}{3} v_{\text{расх.}}(\text{A}) = \frac{2}{3} \cdot 0,004 = 0,00267 \text{ [моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}] = \\ &= 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ [моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}]. \end{aligned}$$

Ответ: $v_{\text{расх.}}(\text{A}) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с});$
 $v_{\text{расх.}}(\text{B}) = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с});$
 $v_{\text{обр.}}(\text{D}) = 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с}).$

Выражения (16.1) и (16.2) позволяют находить химические количества (а если известны молярные массы — и массы) и концентрации образовавшихся или израсходованных веществ, а также время протекания реакции:

$$\Delta n = v \cdot V \cdot \Delta t; \quad (16.3)$$

$$m = \Delta n \cdot M = M \cdot v \cdot V \cdot \Delta t; \quad (16.4)$$

$$\Delta c = v \cdot \Delta t; \quad (16.5)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta c}{v}. \quad (16.6)$$

Пример 16.4. Реакция протекает по уравнению



Исходные (начальные) концентрации (моль/дм³) веществ А, В и D соответственно равны 1,2; 1,8; и 0,1. Через 10 с после начала реакции концентрация вещества В стала равной 1,4 моль/дм³.

Рассчитайте, чему стали равны к этому моменту времени концентрации веществ А и D, а также найдите скорость реакции образования вещества D.

Дано:

$$t = 10 \text{ с}$$

$$c_0(\text{A}) = 1,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_0(\text{B}) = 1,8 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_0(\text{D}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_t(\text{B}) = 1,4 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_t(\text{A}) \text{ — ?}$$

$$c_t(\text{D}) \text{ — ?}$$

$$v_{\text{обр.}}(\text{D}) \text{ — ?}$$

Решение:

Изменение концентрации вещества В равно:

$$\Delta c(\text{B}) = 1,8 - 1,4 = 0,4 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Согласно стехиометрическим коэффициентам, изменение концентрации вещества А будет в 2 раза меньше, а изменение концентрации вещества D — в 1,5 (3 : 2 = 1,5) раза больше:

$$\Delta c(A) = \frac{\Delta c(B)}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ (моль/дм}^3\text{)};$$

$$\Delta c(D) = \frac{3}{2} \Delta c(B) = \frac{3 \cdot 0,4}{2} = 0,6 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Обратите внимание. Поскольку вещество А *расходуется*, то его концентрация *уменьшается* на величину $\Delta c(A)$; таким образом:

$$c_t(A) = c_0(A) - \Delta c(A) = 1,2 - 0,2 = 1,0 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Так как вещество D *образуется*, то его концентрация будет *больше* начальной на величину $\Delta c(D)$:

$$c_t(D) = c_0(D) + \Delta c(D) = 0,1 + 0,6 = 0,61 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Находим скорость образования вещества D двумя способами:

Способ 1

$$v_{\text{обр.}}(D) = \frac{\Delta c(D)}{\Delta t} = \frac{0,6}{10} = 0,06 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}.$$

Способ 2

$$v_{\text{расх.}}(B) = - \frac{1,4 - 1,8}{10} = 0,04 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}.$$

$$v_{\text{обр.}}(D) = \frac{3}{2} v_{\text{расх.}}(B) = \frac{3 \cdot 0,04}{2} = 0,06 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}.$$

Ответ: $c_t(A) = 1,0 \text{ моль/дм}^3$;
 $c_t(D) = 0,61 \text{ моль/дм}^3$;
 $v_{\text{обр.}}(D) = 0,06 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}.$

Обратите внимание. Изменение концентраций $\Delta c(A)$ и $\Delta c(D)$ можно было найти по формуле (16.5):

$$\Delta c(A) = v_{\text{расх.}}(A) \cdot \Delta t;$$

$$v_{\text{расх.}}(\text{A}) = \frac{1}{2} v_{\text{расх.}}(\text{B}) = 0,02 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с});$$

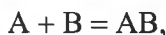
$$\Delta c(\text{A}) = 0,02 \cdot 10 = 0,2 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Аналогично:

$$\Delta c(\text{D}) = v_{\text{обр.}}(\text{D}) \cdot \Delta t;$$

$$\Delta c(\text{D}) = 0,06 \cdot 10 = 0,6 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Пример 16.5. Скорость некоторой реакции, протекающей в закрытом реакторе по уравнению



равна $0,015 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$, а начальная концентрация вещества А составляет $3,5 \text{ моль}/\text{дм}^3$. Через какой промежуток времени концентрация вещества А уменьшится в 7 раз?

Дано:

$$v = 0,015 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$c_0(\text{A}) = 3,5 \text{ моль}/\text{дм}^3$$

$$\frac{c_0(\text{A})}{c_t(\text{A})} = 7$$

$$\Delta t \text{ — ?}$$

Решение:

Итак, концентрация вещества А стала равной $3,5/7 = 0,5 \text{ (моль/дм}^3\text{)}$.

Изменение концентрации Δc равно $3,5 - 0,5 = 3,0 \text{ (моль/дм}^3\text{)}$.

Используем формулу (16.6):

$$\Delta t = \frac{\Delta c}{v} = \frac{3,0}{0,015} = 200 \text{ (с)}.$$

Ответ: $\Delta t = 200 \text{ с}$.

Пример 16.6. В закрытом сосуде протекает химическая реакция $\text{A} + 3\text{B} = 3\text{C} + \text{D}$. До начала реакции молярная концентрация вещества А равнялась $1 \text{ моль}/\text{дм}^3$, а вещества С — $0 \text{ моль}/\text{дм}^3$. Через сколько секунд концентрации веществ А и С сравняются, если скорость образования вещества С составляет $0,03 \text{ моль}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$ (все вещества — газы, объем сосуда постоянный)?

Дано:

$$c_0(A) = 1 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_0(C) = 0 \text{ моль/дм}^3$$

$$v = 0,03 \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$c_t(A) = c_t(C)$$

$$\Delta t = ?$$

Решение:

Со временем концентрация вещества А уменьшается, а концентрация вещества С возрастает.

Из формулы (16.2) следует, что изменение концентрации за время Δt равно:

$$\Delta c = v \cdot \Delta t.$$

На такую величину концентрация вещества А за время Δt уменьшится и станет равной:

$$c_t(A) = c_0(A) - v_{\text{расх.}}(A) \cdot \Delta t.$$

Концентрация продукта реакции С за этот же промежуток времени возрастет и станет равной:

$$c_t(C) = c_0(C) + v_{\text{обр.}}(C) \cdot \Delta t.$$

Коэффициент перед формулой вещества А в три раза меньше, чем перед формулой вещества С, следовательно:

$$v_{\text{расх.}}(A) = \frac{1}{3} v_{\text{обр.}}(C) = \frac{0,03}{3} = 0,01 \text{ [моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})].$$

Можно записать:

$$c_t(A) = 1 - 0,01 \cdot \Delta t;$$

$$c_t(C) = 0 + 0,03 \cdot \Delta t = 0,03 \cdot \Delta t.$$

По условию

$$1 - 0,01 \cdot \Delta t = 0,03 \cdot \Delta t.$$

Отсюда

$$\Delta t = 25 \text{ с.}$$

Ответ: $\Delta t = 25 \text{ с.}$

- !** 1. Рассчитайте скорость реакции, уравнение которой $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$, если через 1 мин 40 с после ее начала концентрация CO стала равной $0,2 \text{ моль/дм}^3$, а начальная концентрация угарного газа составляла $3,4 \text{ моль/дм}^3$.

2. В сосуде объемом $2,0 \text{ дм}^3$ протекает реакция, уравнение которой $2\text{A(г.)} + \text{B(г.)} = 2\text{D(г.)}$. Через 30 с после начала реакции в сосуде образовалось вещество D массой 1,20 г. Определите скорость реакции образования вещества D, молярная масса которого равна 46 г/моль.
3. Реакция протекает по уравнению $\text{A} + 3\text{B} = 2\text{D}$. Через 20 с после начала реакции концентрация вещества D возросла на $1,2 \text{ моль/дм}^3$. Рассчитайте скорость расходования вещества B.
4. Скорость реакции образования SO_2 в реакции $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ составляет $0,01 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}$. Рассчитайте массу оксида серы(IV), который образуется в сосуде объемом 500 см^3 через 20 с после начала реакции.
5. Скорость реакции, протекающей при неизменном объеме по уравнению $\text{A} + \text{B} = \text{AB}$, равна $2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}$. Начальная концентрация вещества A составляет $3,0 \text{ моль/дм}^3$. Через какой промежуток времени концентрация вещества A уменьшится в 3 раза?
6. Скорость реакции образования вещества D в процессе, протекающем по уравнению $\text{A} + 2\text{B} = 3\text{D}$, равна $0,06 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}$, а начальные концентрации (моль/дм^3) веществ A, B и D соответственно равны 0,8; 2,6 и 0,1. Рассчитайте концентрации всех веществ через 20 с после начала реакции.
7. В закрытом сосуде протекает химическая реакция $\text{A} + 2\text{B} = 3\text{D}$. Исходные концентрации (моль/дм^3) веществ B и D соответственно равны 1,5 и 0,2, скорость расходования вещества A составляет $0,01 \text{ моль/(дм}^3 \cdot \text{с)}$. Через какое время (с) концентрации веществ B и C сравняются?
8. Химической реакции отвечает уравнение $\text{A} + \text{B} = 2\text{D}$. В начальный момент времени концентрации веществ A, B и D составляли (моль/дм^3) 0,80; 0,65 и 0,05. Через 10 с после начала реакции концентрация вещества A стала

равной 0,55 моль/дм³. Определите скорость реакции расходования вещества А и концентрации всех веществ к этому моменту времени.

16.2. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ

Зависимость скорости химической реакции от температуры определяет правило Вант-Гоффа, которое имеет следующее математическое выражение:

$$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}, \quad (16.7)$$

где v_2 — скорость реакции при температуре t_2 ; v_1 — скорость реакции при температуре t_1 ; γ — температурный коэффициент скорости реакции, который показывает, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на 10 °С.

При увеличении температуры скорость химической реакции возрастает в соответствии с правилом Вант-Гоффа:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}. \quad (16.8)$$

Пример 16.7. На сколько градусов следует повысить температуру, чтобы скорость химической реакции возросла в 16 раз, если при увеличении температуры на 10 °С она возрастает в 2 раза (температурный коэффициент скорости данной реакции равен 2).

Дано:

$$\gamma = 2$$

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = 16$$

$$\Delta t = ?$$

Решение:

Подставим известные значения в формулу (16.8); получаем:

$$16 = 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

или

$$2^4 = 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

откуда $t_2 - t_1 = 40$, $t_2 = t_1 + 40$.

Следовательно, температуру нужно повысить на 40 °С.

Ответ: $\Delta t = 40$ °С.

Скорость реакции и время τ , за которое она протекает¹, связаны обратно пропорциональной зависимостью: чем больше v , тем меньше τ . Математически это выражается соотношением

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = \frac{\tau_1}{\tau_2}. \quad (16.9)$$

Пример 16.8. При температуре 20 °С реакция протекает за 2 мин. За какое время произойдет эта реакция при 0 °С, если $\gamma = 2$?

Дано:

$$\gamma = 2$$

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$t_2 = 0 \text{ °С}$$

$$\tau_1 = 2 \text{ мин}$$

$$\tau_2 = ?$$

Решение:

Из выражения (16.9) следует:

$$\tau_2 = \frac{v(t_1)}{v(t_2)} \cdot \tau_1.$$

Из выражения (16.8) имеем:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v(t_1)}{v(t_2)} = \frac{1}{\gamma^{\Delta t/10}}.$$

Получаем:

$$\tau_2 = \frac{\tau_1}{\gamma^{\Delta t/10}} = \frac{2}{2^{(0-20)/10}} = \frac{2}{2^{-2}} = 2 \cdot 2^2 = 8 \text{ (мин)}.$$

Ответ: $\tau_2 = 8$ мин.

Пример 16.9. Растворение одинакового образца цинка в соляной кислоте при 20 °С заканчивается через 27 мин, а при 40 °С — за 3 мин. За какое время (с) такой же образец цинка растворится в соляной кислоте при 60 °С?

¹ Чтоб не путать t (температура) и t (время), мы будем обозначать время буквой τ (тау).

Дано:

$t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_2 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\tau_1 = 27\text{ мин}$

$\tau_2 = 3\text{ мин}$

$t_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\tau_3 = ?$

Решение:

Учитывая временные данные (27 мин и 3 мин), находим температурный коэффициент реакции:

$$v(40\text{ }^{\circ}\text{C}) = v(20\text{ }^{\circ}\text{C}) \cdot \gamma^{(40-20)/10},$$

$$\frac{v(40\text{ }^{\circ}\text{C})}{v(20\text{ }^{\circ}\text{C})} = \gamma^2.$$

С другой стороны,

$$\frac{v(40\text{ }^{\circ}\text{C})}{v(20\text{ }^{\circ}\text{C})} = \frac{\tau(20\text{ }^{\circ}\text{C})}{\tau(40\text{ }^{\circ}\text{C})} = \frac{27}{3} = 9 = 3^2.$$

Таким образом:

$$\gamma^2 = 3^2; \gamma = 3.$$

Для того чтобы найти время растворения Zn при 60 °C, можно использовать данные для любой начальной температуры — либо 20 °C, либо 40 °C. Пусть $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Имеем:

$$\frac{v(60\text{ }^{\circ}\text{C})}{v(20\text{ }^{\circ}\text{C})} = \gamma^{\Delta t/10} = 3^{(60-20)/10} = 3^4 = 81.$$

Следовательно, при повышении температуры с 20 °C до 60 °C скорость реакции возросла в 81 раз. Очевидно, что время растворения Zn при этом уменьшилось в 81 раз:

$$\tau(60\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{\tau(20\text{ }^{\circ}\text{C})}{81} = \frac{27 \cdot 60}{81} = 20\text{ (с)}.$$

Ответ: $\tau_3 = 20\text{ с}$.

Пример 16.10. При температуре 100 °C скорость некоторой реакции равна $3,6 \cdot 10^{-2}$ моль/(дм³ · с). При какой температуре (°C) следует проводить эту реакцию, чтобы ее скорость стала равной $9 \cdot 10^{-3}$ моль/(дм³ · с)? Температурный коэффициент реакции равен 2.

Дано:

$$v(100\text{ }^{\circ}\text{C}) =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$v(t_2) = 9 \cdot 10^{-3} \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$t_2 \text{ — ?}$$

Решение:

Находим:

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = \gamma^{(t_2 - t_1)/10}.$$

Или:

$$\frac{9 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 10^{-2}} = 2^{(t_2 - 100)/10},$$

$$\frac{1}{4} = 2^{\Delta t/10}; \quad \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 2^{\Delta t/10};$$

$$(2)^{-2} = 2^{\Delta t/10}; \quad \frac{\Delta t}{10} = -2.$$

Имеем:

$$\frac{t_2 - t_1}{10} = -2;$$

$$\frac{t_2 - 100}{10} = -2;$$

$$t_2 = 100 - 20 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}.$

Пример 16.11. Две реакции при 290 К протекают с одинаковой скоростью. Значения γ для этих реакций равны 2,0 и 3,0. Как будут соотноситься скорости этих реакций, если первую из них ($\gamma = 2$) проводить при 350 К, а вторую ($\gamma = 3$) — при 330 К?

Дано:

$$\gamma_1 = 2,0$$

$$\gamma_2 = 3,0$$

$$T_1 = 350\text{ К}$$

$$T_2 = 330\text{ К}$$

$$\frac{v_2}{v_1} \text{ — ?}$$

Решение:

Имеем:

$$\begin{aligned} v_1(350\text{ К}) &= v_1(290\text{ К}) \cdot \gamma^{(350-290)/10} = \\ &= v_1(290\text{ К}) \cdot 2^6 = 64v_1(290\text{ К}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_2(330\text{ К}) &= v_2(290\text{ К}) \cdot \gamma^{(330-290)/10} = \\ &= v_2(290\text{ К}) \cdot 3^4 = 81v_2(290\text{ К}); \end{aligned}$$

$$\frac{v_2(330\text{ К})}{v_1(350\text{ К})} = \frac{81v_2(290\text{ К})}{64v_1(290\text{ К})}.$$

Так как $v_2(290 \text{ K}) = v_1(290 \text{ K})$, находим

$$\frac{v_2(330 \text{ K})}{v_1(350 \text{ K})} = \frac{81}{64} = 1,266.$$

Ответ: $\frac{v_2}{v_1} = 1,266.$

Пример 16.12. Две химические реакции при температуре 343 К протекают со скоростью 0,16 моль/(дм³ · с) и 0,09 моль/(дм³ · с) соответственно. Температурный коэффициент первой реакции равен 3, а второй — 4. При какой температуре (°С) скорости обеих реакций будут одинаковыми?

Дано:

$$T_1 = 343 \text{ K}$$

$$v_1 = 0,16 \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$v_2 = 0,09 \text{ моль/}(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$$

$$\gamma_1 = 3$$

$$\gamma_2 = 4$$

$$t_2 = ?$$

Решение:

Пусть искомая температура по шкале Кельвина равна T_2 . Имеем:

$$v_1(T_2) = v(343 \text{ K}) \cdot 3^{(T_2 - T_1)/10};$$

$$v_2(T_2) = v(343 \text{ K}) \cdot 4^{(T_2 - T_1)/10};$$

$$v_1(T_2) = 0,16 \cdot 3^{\Delta T/10};$$

$$v_2(T_2) = 0,09 \cdot 4^{\Delta T/10}.$$

По условию

$$0,16 \cdot 3^{\Delta T/10} = 0,09 \cdot 4^{\Delta T/10}.$$

Или

$$\frac{0,16}{0,09} = \frac{4^{\Delta T/10}}{3^{\Delta T/10}}; \left(\frac{0,4}{0,3}\right)^2 = \left(\frac{4}{3}\right)^2 = \left(\frac{4}{3}\right)^{\Delta T/10};$$

$$\frac{\Delta T}{10} = 2; T_2 - T_1 = 20; T_2 = T_1 + 20 = 343 + 20 = 363 \text{ K}.$$

Находим температуру по шкале Цельсия:

$$t_2 = T_2(\text{K}) - 273;$$

$$t_2 = 363 - 273 = 90 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}.$

- 9.** При повышении температуры на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость реакции возрастает в 2 раза. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры с $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $75\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 10.** Температурный коэффициент реакции равен 2. При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ реакция протекает за 2 мин. Рассчитайте время ее протекания для а) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Скорость реакции зависит от молярной концентрации реагентов. Для одностадийных реакций эта зависимость пропорциональна произведению концентраций, взятых в степени, равной стехиометрическим коэффициентам при формулах реагентов. Например, для одностадийной реакции $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ $v = k \cdot c^2(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_2)$, где k — константа скорости реакции. В случае гетерогенных реакций скорость не зависит от содержания вещества, находящегося в твердом состоянии. Например, для реакции $\text{C}(\text{тв.}) + \text{O}_2(\text{г.}) = \text{CO}_2(\text{г.})$ получим: $v = k \cdot c(\text{O}_2)$.

Пример 16.13. Во сколько раз увеличится скорость реакции окисления оксида азота(II) кислородом, если молярные концентрации реагентов увеличить в два раза?

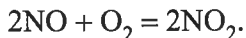
Дано:

$$\frac{c_t}{c_0} = 2$$

$$\frac{v_t}{v_0} = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции:



Обозначим начальные и конечные молярные концентрации реагентов соответственно $c_0(\text{NO})$, $c_0(\text{O}_2)$ и $c_t(\text{NO})$, $c_t(\text{O}_2)$. Точно так же начальную и конечную скорости реакций обозначим v_0 и v_t .

Тогда получим:

$$v_0 = k \cdot c_0^2(\text{NO}) \cdot c_0(\text{O}_2); \quad (16.10)$$

$$v_t = k \cdot c_t^2(\text{NO}) \cdot c_t(\text{O}_2). \quad (16.11)$$

По условию

$$c_t(\text{NO}) = 2c_0(\text{NO}); \quad c_t(\text{O}_2) = 2c_0(\text{O}_2). \quad (16.12)$$

Подставив (16.12) в (16.11), имеем:

$$\begin{aligned} v_t &= k \cdot [2c_0(\text{NO})]^2 \cdot 2c_0(\text{O}_2) = \\ &= k \cdot 4 \cdot c_0^2(\text{NO}) \cdot 2c_0(\text{O}_2) = k \cdot 8 \cdot c_0^2(\text{NO}) \cdot c_0(\text{O}_2). \end{aligned} \quad (16.13)$$

Разделив (16.13) на (16.10), получим:

$$\frac{v_t}{v_0} = \frac{k \cdot 8 \cdot c_0^2(\text{NO}) \cdot c_0(\text{O}_2)}{k \cdot c_0^2(\text{NO}) \cdot c_0(\text{O}_2)} = 8.$$

Ответ: в 8 раз.

Зависимость скорости от давления наблюдается только для реакций с участием газов, и эта зависимость такая же, как и для концентрации: *при увеличении давления в n раз в n раз возрастает и концентрация, а при уменьшении давления в n раз в n раз уменьшается и концентрация.*

Пример 16.14. Во сколько раз надо увеличить давление, чтобы скорость реакции (все вещества — газы) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ увеличилась в 100 раз?

Дано:

$$\frac{v_2}{v_1} = 100$$

$$\frac{p_2}{p_1} = ?$$

Решение:

Пусть давление надо увеличить в n раз, во столько же раз возрастут и концентрации реагентов. Далее поступаем точно так же, как и в примере 16.13:

$$\begin{aligned} v_0 &= k \cdot c_0(\text{H}_2) \cdot c_0(\text{Cl}_2); \\ v_1 &= k \cdot n \cdot c_0(\text{H}_2) \cdot n \cdot c_0(\text{Cl}_2) = \\ &= k \cdot n^2 \cdot c_0(\text{H}_2) \cdot c_0(\text{Cl}_2). \end{aligned}$$

По условию $v_1/v_0 = 100$, т. е.

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{k \cdot n^2 \cdot c_0(\text{H}_2) \cdot c_0(\text{Cl}_2)}{k \cdot c_0(\text{H}_2) \cdot c_0(\text{Cl}_2)} = 100$$

или

$$n^2 = 100, n = \sqrt{100} = 10.$$

Ответ: в 10 раз.

16.3. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

В задачах на эту тему очень часто предлагается определить состав равновесной смеси по данным для обратимого процесса или, наоборот, рассчитать состав исходной смеси реагирующих веществ по данным для равновесной смеси.

Пример 16.15. Смесь сернистого газа и кислорода, содержащую вещества химическим количеством по 10 моль, пропустили над катализатором. К моменту наступления равновесия в смеси образовалось 4 моль SO_3 . Какие химические количества SO_2 и O_2 находятся в равновесной смеси?

Дано:

$$n_0(\text{SO}_2) = n_0(\text{O}_2) = 10 \text{ моль}$$

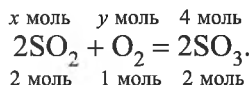
$$n_t(\text{SO}_3) = 4 \text{ моль}$$

$$n(\text{SO}_2)_{\text{равн.}} \text{ — ?}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} \text{ — ?}$$

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



По уравнению реакции находим, какие химические количества SO_2 и O_2 вступили в реакцию:

$$n(\text{SO}_2)_{\text{прореаг.}} = x = n(\text{SO}_3) = 4 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} = y = \frac{1}{2} n(\text{SO}_3) = 2 \text{ моль}.$$

Находим химические количества SO_2 и O_2 в равновесной смеси:

$$n(\text{SO}_2)_{\text{равн.}} = n_0(\text{SO}_2) - n(\text{SO}_2)_{\text{прореаг.}};$$

$$n_0(\text{SO}_2) = 10 \text{ моль};$$

$$n(\text{SO}_2)_{\text{равн.}} = 10 - 4 = 6 \text{ (моль)}.$$

Аналогично

$$n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} = n_0(\text{O}_2) - n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}};$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} = 10 - 2 = 8 \text{ (моль)}.$$

Ответ: $n(\text{SO}_2)_{\text{равн.}} = 6$ моль; $n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} = 8$ моль.

Пример 16.16. В сосуде объемом 350 см³, содержащем катализатор, смешали азот и водород химическим количеством по 5 моль и нагрели. Через 10 с химическое количество водорода уменьшилось на 2,1 моль. Как изменилась молярная концентрация азота за это время?

Дано:

$$V = 350 \text{ см}^3$$

$$n_0(\text{N}_2) = n_0(\text{H}_2) = 5 \text{ моль}$$

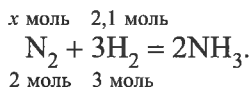
$$t = 10 \text{ с}$$

$$n_t(\text{H}_2) = 2,1 \text{ моль}$$

$$\Delta c(\text{N}_2) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



Из данных задачи следует, что прореагировал водород химическим количеством 2,1 моль. По уравнению реакции находим химическое количество вступившего в реакцию азота:

$$n(\text{N}_2)_{\text{прореаг.}} = x = \frac{2,1 \cdot 1}{3} = 0,7 \text{ (моль)}.$$

Следовательно, остался N_2 химическим количеством $5 - 0,7 = 4,3$ (моль), т. е. $n(\text{N}_2)_{\text{конечн.}} = 4,3$ моль.

Находим исходную и конечную молярные концентрации азота:

$$c(\text{N}_2)_{\text{исх.}} = \frac{n(\text{N}_2)_{\text{исх.}}}{V} = \frac{5}{0,350} = 14,29 \text{ (моль/дм}^3\text{)};$$

$$c(\text{N}_2)_{\text{конечн.}} = \frac{n(\text{N}_2)_{\text{конечн.}}}{V} = \frac{4,3}{0,350} = 12,29 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Следовательно, молярная концентрация азота уменьшилась на величину

$$\Delta c(\text{N}_2) = c(\text{N}_2)_{\text{исх.}} - c(\text{N}_2)_{\text{конечн.}} = 14,29 - 12,29 = 2,00 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: уменьшилась на 2,00 моль/дм³.

Пример 16.17. В реакции между CO и O₂ установилось химическое равновесие. Химические количества CO, O₂ и CO₂ в равновесной системе соответственно равны 2,0; 1,0 и 2,0 моль. Рассчитайте исходные химические количества CO и O₂ (начальная молярная концентрация CO₂ равна нулю).

Дано:

$$c_i(\text{CO}) = 2 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_i(\text{O}_2) = 1 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_i(\text{CO}_2) = 2 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_0(\text{CO}_2) = 0$$

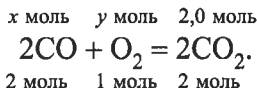
$$n(\text{CO})_{\text{исх.}} \text{ — ?}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{исх.}} \text{ — ?}$$

Решение:

Данная задача обратна задаче, рассмотренной в примере 16.15, в которой по исходным молярным концентрациям требовалось найти равновесные концентрации веществ. Здесь же, напротив, по равновесным молярным концентрациям требуется рассчитать исходные концентрации веществ.

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



Очевидно

$$n(\text{CO})_{\text{исх.}} = n(\text{CO})_{\text{равн.}} + n(\text{CO})_{\text{прореаг.}};$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{исх.}} = n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} + n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}}$$

где $n(\text{CO})_{\text{равн.}} = 2,0 \text{ моль}$, $n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} = 1,0 \text{ моль}$.

По уравнению реакции, используя $n(\text{CO})_{\text{равн.}}$, рассчитываем:

$$x = n(\text{CO})_{\text{прореаг.}} = \frac{2 \cdot 2,0}{2} = 2,0 \text{ (моль);}$$

$$y = n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} = \frac{1 \cdot 2,0}{2} = 1,0 \text{ (моль).}$$

Далее находим:

$$n(\text{CO})_{\text{исх.}} = 2,0 + 2,0 = 4,0 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{исх.}} = 1,0 + 1,0 = 2,0 \text{ (моль).}$$

Ответ: $n(\text{CO})_{\text{исх.}} = 4,0$ моль; $n(\text{O}_2)_{\text{исх.}} = 2,0$ моль.

В ходе реакции между газами в закрытом сосуде давление изменяется. Расчет конечного (или исходного) давления, его изменение также могут являться предметом ряда задач.

Пример 16.18. В герметичный сосуд поместили оксид углерода(II) и кислород. Через некоторое время в системе установилось равновесие: $2\text{CO(г.)} + \text{O}_2(\text{г.}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{г.})$. Известно, что исходные молярные концентрации CO и O_2 равны по $0,15$ моль/дм³, а равновесная молярная концентрация кислорода — $0,075$ моль/дм³. Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия?

Дано:

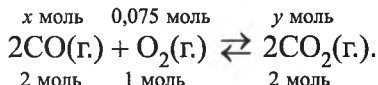
$$c_0(\text{CO}) = c_0(\text{O}_2) = 0,15 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_{\text{r}}(\text{O}_2) = 0,075 \text{ моль/дм}^3$$

$$\frac{p_0}{p_{\text{равн.}}} = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



Давление пропорционально общему химическому количеству газа:

$$p = k \cdot \sum n.$$

Пусть объем V сосуда равен 1 дм^3 и в ходе реакции (как следует из условия) не изменяется. Тогда химическое количество и молярная концентрация численно равны ($n = c \cdot V = c$). Для исходной смеси имеем:

$$\begin{aligned}n_0(\text{CO}) &= 0,15 \text{ моль}; n_0(\text{O}_2) = 0,15 \text{ моль}; \\P_0 &= k[n_0(\text{O}_2) + n_0(\text{CO})] = k(0,15 + 0,15) = 0,3k.\end{aligned}$$

Согласно условию, израсходовалось $0,15 - 0,075 = 0,075$ (моль) O_2 следовательно, в равновесной смеси осталось $0,15 - 0,075 = 0,075$ (моль) O_2 . Из уравнения химической реакции видно, что CO израсходовалось в 2 раза больше, т. е. $0,15$ моль ($x = 2 \cdot 0,075 = 0,15$). Это означает, что оксид углерода(II) полностью вступил в реакцию. В результате реакции образовалось $y = n(\text{CO}_2) = 0,075 \cdot 2 = 0,15$ (моль) оксида углерода(IV).

Таким образом, в конечной системе имеем $0,075$ моль O_2 и $0,15$ моль CO_2 :

$$P_{\text{равн.}} = k[n(\text{O}_2)_{\text{равн.}} + n(\text{CO}_2)] = k(0,075 + 0,15) = k \cdot 0,225.$$

Находим отношение исходного и равновесного давлений:

$$\frac{P_0}{P_{\text{равн.}}} = \frac{0,3k}{0,225k} = 1,33,$$

т. е. давление уменьшилось в 1,33 раза.

Ответ: давление уменьшилось в 1,33 раза.

Отметим, что задачи на определение химических количеств и концентраций реагентов и продуктов в равновесной смеси удобно решать, используя табличный метод. В этом методе расчеты проводятся непосредственно под формулами веществ.

Пример 16.19. В закрытом сосуде протекает реакция водорода и азота с образованием аммиака. Начальные концентрации (моль/дм³) азота и водорода соответственно равны 5 и 8

(исходная концентрация аммиака равна нулю). Чему будут равны концентрации H_2 , N_2 и NH_3 к моменту, когда прореагирует 25 % H_2 ?

Дано:

$$c_0(\text{N}_2) = 5 \text{ моль/дм}^3$$

$$c_0(\text{H}_2) = 8 \text{ моль/дм}^3$$

Прореагировало

25 % H_2

$$c_t(\text{H}_2) \text{ — ?}$$

$$c_t(\text{N}_2) \text{ — ?}$$

$$c_t(\text{NH}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Сразу же подчеркнем: в закрытом сосуде молярные концентрации изменяются, как и химические количества, в соответствии со стехиометрическими коэффициентами. Если, например, в реакции $\text{A} + 2\text{B} = 3\text{C}$ концентрация вещества А уменьшилась на $0,1 \text{ моль/дм}^3$, то концентрация вещества В уменьшилась на $2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ (моль/дм}^3\text{)}$, а концентрация продукта С возросла на $0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ (моль/дм}^3\text{)}$.

Ниже показана суть табличного метода для данной задачи. Отметим, что в этой реакции в недостатке находится

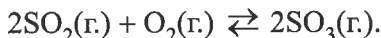
$$\text{H}_2 : \frac{8}{3} < \frac{5}{1}.$$

	3H_2	+	N_2	=	2NH_3
Было, моль/дм ³	8		5		—
Прореагировало, моль/дм ³	$8 \cdot 0,25 = 1,6$		$\frac{1,6}{3} = 0,53$		
Осталось, моль/дм ³	$8 - 1,6 = 6,40$		$5 - 0,53 = 4,47$		
Образовалось, моль/дм ³	—		—		$c(\text{NH}_3)_{\text{обр.}} =$ $= \frac{2}{3} c(\text{H}_2)_{\text{прореаг.}} =$ $= 2c(\text{N}_2)_{\text{прореаг.}}$ $\frac{2}{3} \cdot 1,6 = 1,06$ $2 \cdot 0,53 = 1,06$

Итак, в равновесной смеси молярные концентрации (моль/дм³) веществ равны: H_2 — 6,40; N_2 — 4,47; NH_3 — 1,06.

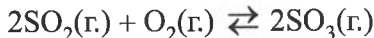
Ответ: $c_i(H_2) = 6,40$ моль/дм³; $c_i(N_2) = 4,47$ моль/дм³; $c_i(NH_3) = 1,06$ моль/дм³.

11. Некоторое количество азота и водорода смешали в сосуде объемом 5 дм³ и нагрели в присутствии катализатора до установления химического равновесия. Равновесная смесь содержит 1,10 моль N_2 , 2,40 моль H_2 и 0,8 моль NH_3 . Определите исходные концентрации N_2 и H_2 .
12. Равновесные молярные концентрации CO , O_2 и CO_2 в реакции $2CO(г.) + O_2(г.) \rightleftharpoons 2CO_2(г.)$ соответственно равны (моль/дм³) 0,2; 0,1 и 0,15 (исходная концентрация CO_2 равна 0). Рассчитайте объемную и массовые доли O_2 в исходной газовой смеси.
13. В системе установилось равновесие



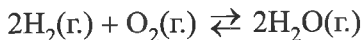
Равновесная концентрация SO_3 равна 0,20 моль/дм³. Рассчитайте равновесную молярную концентрацию O_2 , если известно, что к моменту наступления равновесия прореагировало 60 % O_2 .

14. К моменту наступления равновесия процесса



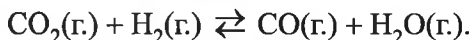
объемы (дм³) SO_2 , O_2 и SO_3 соответственно равны 2, 5 и 6. Найдите $w(SO_2)$ в исходной смеси, в которой SO_3 отсутствовал.

15. В замкнутый сосуд поместили 5 моль H_2 и 3 моль O_2 . Через некоторое время установилось равновесие



и образовалось 1,5 моль воды. Как изменилось давление в сосуде к моменту наступления равновесия?

16. В закрытом сосуде смешали 4,4 г CO_2 и 0,4 г H_2 . Смесь нагрели. В системе установилось равновесие



К моменту наступления равновесия прореагировало 25 % H_2 . Рассчитайте выход CO .

17. В закрытом сосуде постоянного объема под давлением 167 кПа находится газообразная смесь SO_2 , O_2 и SO_3 , количество SO_3 в ней равно 0,040 моль. Через некоторое время количества SO_2 , O_2 и SO_3 (моль) в сосуде составят 0,100; 0,050 и 0,100 соответственно. Найдите давление в сосуде в этот момент (температура в сосуде оставалась постоянной).

ГЛАВА 17

Установление формулы вещества по данным химических реакций

В главе 3 мы показали, как по массовым долям можно определить химический элемент или формулу вещества. В этой главе рассматривается методика установления химического элемента или вещества по данным химической реакции.

Пример 17.1. На восстановление оксида металла массой 7,2 г был затрачен водород массой 0,2 г. Определите металл, если известно, что его степень окисления в оксиде равна +2.

Дано:

$m(\text{оксида}) = 7,2 \text{ г}$

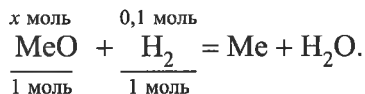
$m(\text{H}_2) = 0,2 \text{ г}$

Степень окисления
металла равна +2

Установите металл

Решение:

Записываем уравнение реакции, учитывая, что формула оксида MeO :



Рассчитываем $[M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}]$:

$$n(\text{H}_2) = \frac{m}{M} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ (моль)};$$

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

$$x = n(\text{MeO}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Находим:

$$M(\text{MeO}) = \frac{m}{n} = \frac{7,2}{0,1} = 72 \text{ (г/моль)}.$$

Отсюда

$$M(\text{Me}) = M(\text{MeO}) - M(\text{O});$$

$$M(\text{Me}) = 72 - 16 = 56 \text{ (г/моль)}.$$

Это железо (Fe).

Ответ: железо (Fe).

Пример 17.2. Для полного растворения оксида металла ЭО массой 32,55 г взяли раствор H_2SO_4 объемом 80 см³ с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 27,0 \%$ ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$). Массовая доля кислоты в растворе после реакции составила 8,61 %. Установите металл.

Дано:

$$m(\text{ЭО}) = 32,55 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 80 \text{ см}^3$$

$$\rho(\text{р-ра}) = 1,19 \text{ г/см}^3$$

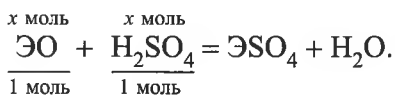
$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 27,0 \%$$

$$w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8,61 \%$$

Установите металл

Решение:

Записываем уравнение реакции:



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

$$m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = V \cdot \rho = 80 \cdot 1,19 = 95,2 \text{ (г)};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 95,2 \cdot 0,27 = 25,7 \text{ (г)}.$$

Пусть в реакцию вступил оксид металла химическим количеством x (моль). Из уравнения реакции следует, что химическое количество прореагировавшей кислоты также равно x (моль) или $98 \cdot x$ (г). Масса оставшейся в растворе кислоты составляет $25,7 - 98x$ (г). Учитывая, что масса конечного раствора равна сумме масс оксида ЭО и раствора H_2SO_4 , т. е. $32,55 + 95,2 = 127,75$ (г), составляем и решаем выражение для массовой доли H_2SO_4 в растворе после реакции:

$$0,0861 = \frac{25,7 - 98x}{127,75};$$

$$25,7 - 98x = 0,0861 \cdot 127,75;$$

$$25,7 - 98x = 11;$$

$$98x = 14,7;$$

$$x = 0,15 \text{ (моль)}.$$

Поскольку масса ЭО равна 32,55 г, рассчитываем молярную массу оксида химическим количеством 0,15 моль:

$$M(\text{MeO}) = \frac{m(\text{MeO})}{n(\text{MeO})} = \frac{32,55}{0,15} = 217 \text{ (г/моль)}.$$

Отсюда

$$M(\text{Me}) = M(\text{MeO}) - M(\text{O});$$

$$M(\text{Me}) = 217 - 16 = 201 \text{ (г/моль)}.$$

Это ртуть (Hg).

Ответ: ртуть (Hg).

- 
1. При взаимодействии металла массой 5,40 г с избытком кислорода образовался оксид металла состава $\text{Э}_2\text{O}_3$ массой 8,28 г. Установите металл.
 2. Карбонат металла состава ЭCO_3 массой 10,0 г обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили газ массой 4,4 г. Определите металл.
 3. Из гидроксида состава $\text{Me}(\text{OH})_2$ массой 1,8 г получено 3,04 г его сульфата. Установите формулу гидроксида.
 4. Оксид щелочного металла массой 24,8 г растворили в воде объемом 175,2 см^3 и получили раствор щелочи с массовой долей ее 16,0 %. Установите формулу оксида.
 5. На нейтрализацию 50 г раствора с $w(\text{MeOH}) = 7,2 \%$ потребовалась соляная кислота объемом 38,1 см^3 ($\rho = 1,065 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 13,5 \%$. Установите металл Me.
 6. Оксид состава Me_2O_3 массой 12,24 г растворили в соляной кислоте массой 180 г с $w(\text{HCl}) = 18,25 \%$. Массовая доля HCl в растворе после реакции равна 3,42 %. Установите металл.
 7. Для перевода в раствор оксида металла IIА группы массой 10,0 г потребовалось 83 см^3 соляной кислоты с $w(\text{HCl}) = 20 \%$ ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$). Установите металл.

8. Карбонат металла состава ЭСО_3 массой 12,5 г растворили в строго необходимом количестве горячего раствора с $w(\text{HCl}) = 5,00\%$ и получили раствор с $w(\text{ЭCl}_2) = 8,83\%$. Установите металл.
9. Двухвалентный металл массой 2,0 г прореагировал с избытком хлора. Полученную соль растворили в воде, а затем добавили избыток нитрата серебра(I), выпал осадок массой 14,35 г. Установите металл.
10. При взаимодействии 72,8 г смеси неизвестного металла и его карбоната (степень окисления металла равна +2) с соляной кислотой выделилось $8,96 \text{ дм}^3$ (н. у.) газов. После сжигания газов и конденсации водяных паров получили $6,72 \text{ дм}^3$ (н. у.) газа. Определите металл.
11. Раствор хлорида металла состава ЭCl_2 разделили на две равные части. К одной добавили избыток раствора MgSO_4 и получили осадок массой 6,99 г. К другой части прилили избыток раствора AgNO_3 и получили осадок массой 8,61 г. Установите формулу хлорида.
12. Для полного восстановления оксида металла MeO_2 массой 45,3 г взяли точно рассчитанную массу Al. После восстановления получили твердую смесь массой 56,1 г. Установите металл.

Существует тип задач, в которых элемент или формула вещества устанавливается не напрямую по данным задачи, а на основании анализа допустимых значений неизвестных в некотором математическом уравнении.

Пример 17.3. Массовая доля атомов кислорода в оксиде металла равна 0,48. Установите формулу оксида.

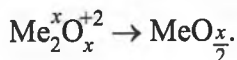
Дано:

$$w(\text{O}) = 0,48$$

Установите оксид

Решение:

Пусть степень окисления металла в оксиде равна x . Тогда формулу оксида можно представить в виде:



Для массовой доли атомов кислорода получаем:

$$w(\text{O}) = \frac{N(\text{O}) \cdot A_r(\text{O})}{M_r(\text{MeO}_x)};$$

$$0,48 = \frac{\frac{x}{2} \cdot 16}{A_r(\text{Me}) + \frac{x}{2} \cdot 16};$$

$$0,48 = \frac{8x}{A_r(\text{Me}) + 8x}.$$

Решим это уравнение относительно $A_r(\text{Me})$:

$$8x = 0,48[A_r(\text{Me}) + 8x];$$

$$8x = 0,48A_r(\text{Me}) + 3,84x;$$

$$0,48A_r(\text{Me}) = 4,16x;$$

$$A_r(\text{Me}) = 8,67x.$$

Проанализируем данное выражение. Степень окисления x металла может принимать значения от +1 до +8. Рассчитаем $A_r(\text{Me})$ при этих значениях степени окисления:

$$x = 1: A_r(\text{Me}) = 8,67; \quad x = 2: A_r(\text{Me}) = 17,33;$$

$$x = 3: A_r(\text{Me}) = 26,00; \quad x = 4: A_r(\text{Me}) = 34,67;$$

$$x = 5: A_r(\text{Me}) = 43,33; \quad x = 6: A_r(\text{Me}) = 52,00;$$

$$x = 7: A_r(\text{Me}) = 60,69; \quad x = 8: A_r(\text{Me}) = 69,63.$$

По таблице периодической системы находим, что только при $x = 6$ получается реальное значение $A_r(\text{Me}) = 52$ (это хром).

Формула оксида — CrO_3 .

Ответ: CrO_3 .

- 13.** Массовая доля атомов металла в оксиде равна 87,88 %. Установите формулу оксида.
- 14.** В результате полного восстановления оксида массой 1,60 г избытком водорода был получен металл массой 1,12 г. Установите формулу оксида.

15. Массовая доля атомов металла в сульфате металла составляет 15,77 %. Установите металл.
16. Массовая доля атомов водорода в летучем водородном соединении неметалла равна 12,5 %. Установите формулу водородного соединения.

Подобные задачи встречаются в органической химии.

Пример 17.4. На полное сжигание 0,1 моль углеводорода потребовалось 0,4 моль кислорода. Установите формулу углеводорода.

Дано:

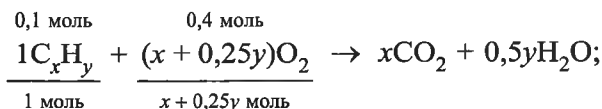
0,1 моль углеводорода

$n(\text{O}_2) = 0,4$ моль

Формула углеводорода — ?

Решение:

Представим формулу углеводорода (УВ) в виде C_xH_y и запишем уравнение реакции горения:



имеем:

$$\frac{0,1}{1} = \frac{0,4}{x + 0,25y};$$

$$0,4 = 0,1(x + 0,25y).$$

Отсюда число атомов Н в молекуле УВ равно:

$$N(\text{H}) = y = 16 - 4x.$$

Проводим анализ данного соотношения, учитывая, что x — целое число, равное 1, 2, 3 ...

- | | |
|-----------------|--|
| $x = 1, y = 12$ | УВ состава CH_{12} не существует; |
| $x = 2, y = 8$ | УВ состава C_2H_8 не существует; |
| $x = 3, y = 4$ | УВ состава C_3H_4 существует; |
| $x = 4, y = 0$ | бессмысленно с точки зрения химии |
- решение (то же получается для $x > 4$).

Ответ: C_3H_4 .

- 17.** На полное сгорание углеводорода массой 13,6 г потребовался кислород объемом (н. у.) 31,36 дм³. Установите формулу углеводорода.
- 18.** Для полного сгорания некоторого объема УВ потребовался объем кислорода в 1,5 раза меньший, чем объем кислорода, необходимый для полного сгорания такого же объема последующего члена гомологического ряда. Определите эти углеводороды.
- 19.** При полном сгорании двух соседних в гомологическом ряду алканов общей массой 13,0 г получили CO₂ объемом (н. у.) 20,16 дм³. Установите формулы алканов.

Особенно распространены задачи, в которых формулу вещества (в основном органического) определяют по данным реакции его полного сгорания.

Пример 17.5. При полном сгорании углеводорода образовались CO₂ объемом (н. у.) 6,72 дм³ и вода массой 5,4 г. Установите простейшую формулу (ПФ) углеводорода.

Дано:

$$V(\text{CO}_2) = 6,72 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 5,4 \text{ г}$$

ПФ (УВ) — ?

Решение:

Углеводород состоит из атомов С и Н, его формулу представим в виде C_xH_y. Очевидно, что

$$x : y = n(\text{C}) : n(\text{H}).$$

Химическое количество атомов С и Н найдем по данным для CO₂ и H₂O:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль};$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{6,72}{22,4} = 0,3 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль}.$$

Аналогично:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{5,4}{18} = 0,3 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ (моль)}.$$

Следовательно:

$$x : y = 0,3 : 0,6 = 1 : 2.$$

Простейшая формула УВ CH_2 .

Ответ: ПФ (УВ) — CH_2 .

В данном примере было оговорено, что исходное вещество — углеводород, т. е. состоит только из атомов С и Н. В других случаях требуется решать проблему вхождения кислорода в состав вещества. Как правило, в таких задачах указана масса исходного вещества.

Пример 17.6. При полном сгорании органического вещества массой 2,2 г образовались CO_2 и H_2O массой 4,4 г и 1,8 г соответственно. Найдите эмпирическую формулу вещества.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 2,2 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 4,4 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,8 \text{ г}$$

ПФ — ?

Решение:

Как и в примере 17.5, находим:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{4,4}{44} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ (г)};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,8}{18} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем суммарную массу атомов С и Н и сравниваем ее с массой исходного вещества:

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) = 1,2 + 0,2 = 1,4 \text{ (г)};$$

$$1,4 \text{ г} < 2,2 \text{ г}.$$

Следовательно, в состав вещества входит кислород, причем

$$m(\text{O}) = m(\text{в-ва}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 2,2 - 1,4 = 0,8 \text{ (г)};$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,8}{16} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Окончательно получим:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,1 : 0,2 : 0,05 = 2 : 4 : 1.$$

Простейшая формула вещества $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$.

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

Чтобы найти молекулярную формулу вещества, необходимо знать его молярную массу.

Пример 17.7. В результате полного сгорания соединения массой 0,48 г образовалось 0,54 г воды и 0,336 дм³ (н. у.) азота. Относительная плотность паров этого вещества по водороду равна 16. Установите молекулярную формулу (МФ) соединения.

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 0,48 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,54 \text{ г}$$

$$V(\text{N}_2) = 0,336 \text{ дм}^3$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{в-ва}) = 16$$

МФ — ?

Решение:

Приведем два варианта решения задачи.

Вариант 1.

Рассчитаем молярную (относительную молекулярную) массу соединения:

$$M(\text{в-ва}) = M(\text{H}_2) \cdot D_{\text{H}_2}(\text{в-ва}) =$$

$$= 2 \cdot 16 = 32 \text{ (г/моль)};$$

$$M_r(\text{в-ва}) = 32.$$

Судя по продуктам реакции, в состав вещества определенно входят азот и водород. В составе продуктов реакции есть и кислород, однако заранее сказать, входит ли он в состав вещества, нельзя, поскольку это может быть кислород, затраченный на сгорание вещества. Используем подход, рассмотренный в примере 17.6.

Рассчитаем химическое количество воды, образовавшейся при сгорании соединения:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,54}{18} = 0,03 \text{ (моль)}.$$

Следовательно:

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,06 \text{ моль}.$$

Рассчитаем массу водорода в сожженной навеске вещества:

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 1,0 \cdot 0,06 = 0,06 \text{ (г)}.$$

Найдем химическое количество азота, образовавшегося при сгорании вещества:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_{\text{м}}} = \frac{0,336}{22,4} = 0,015 \text{ (моль)}.$$

Следовательно:

$$n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2) = 2 \cdot 0,015 = 0,03 \text{ (моль)}.$$

Рассчитаем массу азота в сожженной навеске вещества:

$$m(\text{N}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 0,03 \cdot 14 = 0,42 \text{ (г)}.$$

Масса навески вещества равна сумме масс атомов элементов, входящих в его состав. Если вещество содержит кислород, то

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

Поэтому

$$m(\text{O}) = m(\text{в-ва}) - [m(\text{H}) + m(\text{N})].$$

Находим суммарную массу азота и водорода в составе вещества и сравниваем ее с массой вещества:

$$m(\text{H}) + m(\text{N}) = 0,06 + 0,42 = 0,48 \text{ (г)}.$$

Так как суммарная масса атомов азота и водорода равна массе исходной навески вещества, делаем вывод: в составе вещества атомы кислорода отсутствуют:

$$m(\text{O}) = m(\text{в-ва}) - [m(\text{H}) + m(\text{N})] = 0,48 - 0,48 = 0.$$

Находим соотношение химических количеств атомов водорода и азота:

$$n(\text{H}) : n(\text{N}) = 0,06 : 0,03 = 2 : 1.$$

Таким образом, эмпирическая (простейшая) формула неизвестного вещества — NH_2 :

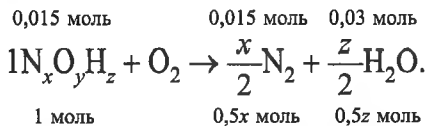
$$M_r(\text{NH}_2) = 14 + 1 \cdot 2 = 16.$$

Истинная относительная молекулярная масса вещества равна 32, т. е. в два раза больше ($32/16 = 2$). Следовательно, молекулярная формула неизвестного вещества содержит в два раза больше атомов N и H, чем эмпирическая, и имеет вид: N_2H_4 .

Вариант 2.

Задачи подобного типа, в которых известна молярная масса вещества (или ее легко найти), можно решить более рационально, без привязки к простейшей формуле.

Запишем в общем виде схему реакции горения вещества, формулу которого на основании продуктов реакции представим как $\text{N}_x\text{O}_y\text{H}_z$ (числа атомов N и H в схеме реакции уравниваем):



Так как $M(N_xO_yH_z) = 32$ г/моль, находим:

$$n(N_xO_yH_z) = \frac{m(N_xO_yH_z)}{M(N_xO_yH_z)} = \frac{0,48}{32} = 0,015 \text{ (моль)}.$$

Рассчитываем химическое количество азота и воды:

$$n(N_2) = \frac{V(N_2)}{V_m} = \frac{0,336}{22,4} = 0,015 \text{ (моль)};$$

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{0,54}{18} = 0,03 \text{ (моль)}.$$

Из схемы реакции следует:

$$1 \text{ моль } N_xO_yH_z \text{ — } 0,5x \text{ моль } N_2;$$

$$0,015 \text{ моль — } 0,015 \text{ моль};$$

$$0,015 \cdot 1 = 0,015 \cdot 0,5x;$$

$$x = \frac{0,015 \cdot 1}{0,015 \cdot 0,5} = 2.$$

Аналогично:

$$1 \text{ моль } N_xO_yH_z \text{ — } 0,5z \text{ моль } H_2O;$$

$$0,015 \text{ моль — } 0,03 \text{ моль};$$

$$z = 4.$$

Формула вещества — N_2H_4 ; $M(N_2H_4) = 32$ г/моль, что совпадает с молярной массой вещества, следовательно, кислород в составе вещества отсутствует.

Заметьте, что при данном варианте решения сразу находим истинное (а не простейшее) соотношение чисел атомов в формуле вещества.

Ответ: МФ — N_2H_4 .

Рассмотрим еще один пример решения подобной задачи.

Пример 17.8. При полном сжигании газообразного вещества массой 3,3 г получены азот объемом (н. у.) 1,12 дм³ и вода массой 2,7 г. Найдите молекулярную формулу вещества (совпадает с эмпирической).

Дано:

$$m(\text{в-ва}) = 3,3 \text{ г}$$

$$V(\text{N}_2) = 1,12 \text{ дм}^3$$

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

МФ — ?

Решение:

На основании природы продуктов сгорания вещества представим его формулу как $\text{N}_x\text{O}_y\text{H}_z$.

Находим химическое количество и массу атомарного азота:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} = \frac{1,12}{22,4} = 0,05 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2) = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{N}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 0,1 \cdot 14 = 1,4 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем химическое количество и массу атомарного водорода:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2,7}{18} = 0,15 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,15 \cdot 2 = 0,3 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ (г)}.$$

Легко убедиться, что масса вещества (3,3 г) больше суммы масс азота и водорода ($1,4 + 0,3 = 1,7 \text{ (г)}$). Следовательно, в состав вещества входит кислород.

Находим массу и химическое количество атомарного кислорода:

$$m(\text{O}) = m(\text{в-ва}) - [m(\text{N}) + m(\text{H})] = 3,3 - (1,4 + 0,3) = 1,6 \text{ (г)};$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{1,6}{16} = 0,1 \text{ (моль)}.$$

Рассчитываем соотношение чисел атомов N, O и H в формуле вещества:

$$x : y : z = 0,1 : 0,1 : 0,3 = 1 : 1 : 3.$$

Формула вещества — NOH_3 или NH_2OH (гидроксиламин).

Ответ: МФ — NH_2OH .

- !**
20. При полном сгорании неизвестного углеводорода образуется $16,8 \text{ дм}^3$ (н. у.) CO_2 и $16,2 \text{ г}$ H_2O . Относительная плотность паров углеводорода по аргону равна 1,8. Установите молекулярную формулу углеводорода.
 21. При полном сжигании вещества массой $3,40 \text{ г}$ образовались вода массой $5,40 \text{ г}$ и азот химическим количеством $0,100$ моль. Масса молекулы вещества равна $2,822 \cdot 10^{-23} \text{ г}$. Определите молекулярную формулу вещества.
 22. В результате полного сгорания органического вещества массой $12,28 \text{ г}$ выделился CO_2 объемом (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$ и сконденсировалась вода массой $14,4 \text{ г}$. Установите формулу вещества.
 23. При полном сгорании органического вещества массой $8,8 \text{ г}$ образовалось $8,96 \text{ дм}^3$ (н. у.) CO_2 и $7,2 \text{ г}$ H_2O . Установите молекулярную формулу вещества, если известно, что в его молекуле содержится один атом кислорода.
 24. Какова формула соединения, если при полном сжигании его навески массой $2,4 \text{ г}$ получили $1,44 \text{ г}$ H_2O , 896 см^3 (н. у.) CO_2 и $2,408 \cdot 10^{22}$ молекул N_2 ?
 25. При полном сгорании $0,6 \text{ г}$ вещества образовалось 448 см^3 (н. у.) CO_2 и $0,36 \text{ г}$ H_2O . Плотность паров вещества (н. у.) равна $2,68 \text{ г/дм}^3$. Установите молекулярную формулу вещества.
 26. При полном сгорании вещества массой $6,72 \text{ г}$ получили $3,36 \text{ дм}^3$ (н. у.) CO_2 , $2,7 \text{ см}^3$ (н. у.) H_2O и $4,14 \text{ г}$ K_2CO_3 . Установите формулу вещества.

27. При сжигании 2,42 г паров вещества в избытке кислорода получили хлороводород и оксид серы(IV) объемом (н. у.) 0,896 дм³ и 0,448 дм³ соответственно. Установите формулу вещества и объем (н. у.) O₂, затраченного на сгорание.

В других задачах может быть указан объем кислорода, затраченного на сгорание вещества, а вместо массы неизвестного вещества приведено его химическое количество.

Пример 17.9. При полном сжигании вещества химическим количеством 0,12 моль получен углекислый газ объемом 8,064 дм³ и пары воды объемом 10,752 дм³. На сжигание был затрачен кислород объемом 12,096 дм³. Установите молекулярную формулу вещества (все объемы измерены при н. у.)

Дано:

$$n(\text{в-ва}) = 0,12 \text{ моль}$$

$$V(\text{CO}_2) = 8,064 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 10,752 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{O}_2) = 12,096 \text{ дм}^3$$

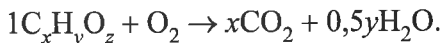
МФ — ?

Решение:

Предлагаем два варианта решения задачи.

Вариант 1.

Представим формулу вещества в виде C_xH_yO_z и запишем схему реакции его сгорания (числа атомов С и Н уравниваем):



Подобно тому, как это делалось в примере 17.7 (вариант 2), находим значения x и y :

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{8,064}{22,4} = 0,36 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{V(\text{H}_2\text{O})}{V_m} = \frac{10,752}{22,4} = 0,48 \text{ (моль)};$$

1 моль $C_xH_yO_z$ — x моль CO_2 ;

0,12 моль — 0,36 моль;

$$x = \frac{0,36 \cdot 1}{0,12} = 3;$$

1 моль $C_xH_yO_z$ — 0,5 моль H_2O ;

0,12 моль — 0,48 моль;

$$y = \frac{0,48 \cdot 1}{0,12 \cdot 0,5} = 8.$$

Итак, в состав молекулы вещества входят 3 атома С и 8 атомов Н. Как же определить, входит ли в состав вещества кислород? Сделать это, как в примере 17.8, нельзя, поскольку масса вещества неизвестна.

Поступаем следующим образом. Находим химическое количество затраченного на сгорание кислорода:

$$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_m} = \frac{12,096}{22,4} = 0,54 \text{ (моль)}.$$

Очевидно, что химическое количество атомов кислорода в обеих частях уравнения должно быть одинаково. В составе вещества $n(O) = z \cdot n(\text{в-ва}) = 0,12z$ (моль). На сгорание затрачен атомарный кислород количеством $n(O) = 2n(O_2) = 2 \cdot 0,54 = 1,08$ (моль). Таким образом, в левой части схемы имеем:

$$n(O) = \underbrace{0,12 \cdot z}_{\text{в составе вещества}} + \underbrace{2 \cdot 0,54}_{\text{в составе кислорода}} = 0,12z + 1,08 \text{ (моль)}.$$

В правой части схемы получим:

$$n(O) = \underbrace{0,36 \cdot 2}_{\text{в составе } CO_2} + \underbrace{0,48}_{\text{в составе } H_2O} = 1,2 \text{ (моль)}.$$

Имеем:

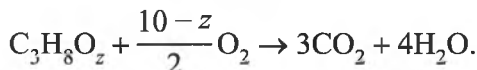
$$n(O) \text{ слева} = n(O) \text{ справа};$$

$$0,12z + 1,08 = 1,2;$$

$$z = 1.$$

Формула вещества — C_3H_8O .

Найти число атомов кислорода можно по-другому, записав уравнение реакции горения вещества с полным набором стехиометрических коэффициентов:



Составляем и решаем пропорцию:

$$1 \text{ моль } C_3H_8O_z - \frac{10-z}{2} \text{ моль } O_2;$$

$$0,12 - 0,54;$$

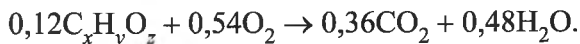
$$0,54 = \frac{0,12(10-z)}{2};$$

$$z = 1.$$

Вариант 2.

Задачу можно решить более прогрессивным методом.

Учтем, что отношение стехиометрических коэффициентов в уравнении реакции равно отношению химических количеств. Это означает, что вместо коэффициентов в уравнении реакции можно использовать химические количества. Воспользовавшись числовыми данными варианта 1, запишем:



Поскольку химические количества атомов элементов в обеих частях уравнения реакции должны быть равными, находим:

$$\text{углерод: } 0,12x = 0,36; x = 3;$$

$$\text{водород: } 0,12y = 0,48 \cdot 2 = 0,96; y = 8;$$

$$\text{кислород: } 0,12z + 0,54 \cdot 2 = 0,36 \cdot 2 + 0,48;$$

$$0,12z + 1,08 = 1,2; z = 1.$$

Формула вещества — C_3H_8O .

Ответ: МФ — C_3H_8O .

- 28.** На полное сгорание вещества химическим количеством 0,2 моль затрачен O_2 объемом (н. у.) 168 дм^3 , при этом получены 176 г CO_2 , 1 моль N_2 и $4,214 \cdot 10^{24}$ молекул H_2O . Установите формулу вещества.
- 29.** На полное сгорание вещества химическим количеством 0,3 моль был потрачен O_2 массой 4,8 г, при этом получены H_2O массой 8,1 г и N_2 объемом (н. у.) $3,36 \text{ дм}^3$. Установите формулу вещества.
- 30.** На полное сгорание 0,2 моль углеводорода затрачен кислород массой 57,6 г, при этом получили столько воды, сколько ее содержится в порции $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ массой 13 824 мг. Найдите молекулярную формулу углеводорода и его массу.

Установить формулу вещества можно и по значениям объемов газообразных веществ.

Пример 17.10. При полном сгорании одного объема паров вещества образовалось по два объема CO_2 и паров воды и один объем хлороводорода. На сгорание было затрачено 2,5 объема кислорода. Установите формулу вещества (все объемы измерены при одинаковых условиях).

Дано:

1V в-ва

2V CO_2

1V HCl

2V H_2O

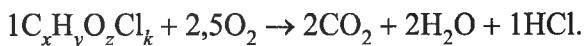
2V O_2

Формула

вещества — ?

Решение:

Объемы газообразных веществ пропорциональны их химическим количествам. Поэтому объемы веществ можно использовать как стехиометрические коэффициенты:



Поскольку числа атомов элементов в обеих частях уравнения должны быть одинаковыми, находим:

углерод: $1x = 2$; $x = 2$;
водород: $1y = 5$; $y = 5$;
кислород: $1z + 5 = 6$; $z = 1$;
хлор: $1k = 1$; $k = 1$.

Формула вещества — C_2H_5OCl .

Ответ: C_2H_5OCl .

- 31.** При сжигании некоторого вещества объемом 2 дм³ получили 2 дм³ CO₂. На сжигание затрачено 4 дм³ O₂. Установите формулу вещества. (Все объемы измерены при одинаковых условиях.)
- 32.** Для сжигания одного объема газа нужно пять объемов O₂, при этом получены три объема CO₂ и четыре объема H₂O. Найдите формулу вещества. (Все объемы измерены при одинаковых условиях.)
- 33.** В результате полного сгорания одного объема паров вещества образовалось два объема CO₂ и три объема паров H₂O. На сжигание затрачено три объема O₂. Установите формулу вещества.
- 34.** На сжигание четырех объемов газообразного органического вещества затрачено девять объемов O₂, при этом образовалось четыре объема CO₂, 10 объемов паров воды и два объема азота. Установите формулу вещества.

В некоторых задачах числовые данные для исходного сожженного вещества могут вообще отсутствовать. Покажем, как решать проблему вхождения кислорода в состав вещества для данного случая.

Пример 17.11. При полном сгорании органического вещества получили CO₂ и воду массой 4,4 г и 1,8 г соответственно. На сгорание был затрачен кислород объемом (н. у.) 2,8 дм³. Установите простейшую формулу вещества.

Дано:

$$m(\text{CO}_2) = 4,4 \text{ г}$$

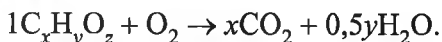
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,8 \text{ г}$$

$$V(\text{O}_2) = 2,8 \text{ дм}^3$$

ПФ — ?

Решение:

Записываем схему реакции горения вещества, представив его формулу в виде $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$:



По массам CO_2 и H_2O находим $n(\text{C})$, $n(\text{H})$, а также $n(\text{O})$ в составе CO_2 и H_2O :

- в составе CO_2

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{4,4}{44} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,1 \text{ моль};$$

$$n_1(\text{O}) = 2n(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m_1(\text{O}) = n_1(\text{O}) \cdot M(\text{O}) = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ (г)};$$

- в составе H_2O

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,8}{18} = 0,10 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}) = n(\text{H}_2\text{O}) = 0,10 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль};$$

$$n_2(\text{O}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,10 \text{ моль};$$

$$m_2(\text{O}) = n_2(\text{O}) \cdot M(\text{O}) = 0,10 \cdot 16 = 1,6 \text{ (г)};$$

- всего в составе продуктов масса атомов O равна:

$$\sum m(\text{O})_{\text{прод.}} = m_1(\text{O}) + m_2(\text{O}) = 3,2 + 1,6 = 4,8 \text{ (г)}.$$

Находим массу атомов кислорода, затраченного на горение:

$$n(\text{O}_2)_{\text{гор.}} = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{м}}} = \frac{2,8}{22,4} = 0,125 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{O})_{\text{гор.}} = 0,125 \cdot 2 = 0,25 \text{ (г)}.$$

$$m(\text{O})_{\text{гор.}} = n(\text{O}) \cdot M(\text{O}) = 0,25 \cdot 16 = 4,0 \text{ (г)}.$$

Как видим, масса кислорода, затраченного на сгорание вещества, меньше массы кислорода в составе продуктов сгорания. Это возможно лишь при условии, что кислород входит в состав исходного вещества. В таких случаях масса кислорода, входящего в состав вещества, находится как разница между массой кислорода в составе продуктов горения [$m(\text{O})$ справа] и массой кислорода, затраченного на сгорание вещества [$m(\text{O})$ слева — это масса кислорода в левой части уравнения]:

$$\begin{aligned} m(\text{O}) \text{ слева} &= m(\text{O})_{\text{в-ва}} + m(\text{O})_{\text{гор.}}; \\ m(\text{O}) \text{ справа} &= m(\text{O})_{\text{CO}_2} + m(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}}; \\ m(\text{O})_{\text{в-ва}} + m(\text{O})_{\text{гор.}} &= m(\text{O})_{\text{CO}_2} + m(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}}; \\ m(\text{O})_{\text{в-ва}} &= \underbrace{m(\text{O})_{\text{CO}_2} + m(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}}}_{m(\text{O})_{\text{прод.}}} - m(\text{O})_{\text{гор.}}. \end{aligned}$$

Рассчитываем массу и химическое количество кислорода в составе вещества:

$$m(\text{O})_{\text{в-ва}} = m(\text{O})_{\text{прод.}} - m(\text{O})_{\text{гор.}} = 4,8 - 4,0 = 0,8 \text{ (г)};$$

$$n(\text{O})_{\text{в-ва}} = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,8}{16} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Находим:

$$\begin{aligned} x : y : z &= n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}); \\ x : y : z &= 0,1 : 0,2 : 0,05 = 2 : 4 : 1. \end{aligned}$$

Простейшая формула вещества — $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$.

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

- 35.** При полном сгорании в токе кислорода паров вещества x получили 13,2 г CO_2 и пары воды объемом (н. у.) 8,96 дм³. На сжигание был затрачен кислород объемом (н. у.) 10,08 дм³. Установите молекулярную формулу вещества, если известно, что его пары объемом 0,80 дм³ имеют массу 2,143 г.

ГЛАВА 18

Растворы

Задачи по этой теме отличаются исключительным многообразием. В этой главе рассматриваются задания двух типов: а) определение состава растворов; б) процесс приготовления (смешивание) растворов, при котором химические реакции *не протекают*.

Состав растворов можно выразить несколькими способами. Наиболее часто с этой целью используются: а) массовая доля, w ; б) молярная концентрация, c .

Массовая доля $w(B)$ растворенного вещества B равна отношению его массы к массе раствора:

$$w(B) = \frac{m(B)}{m(p-ra)} (100 \%). \quad (18.1)$$

Необходимо помнить, что масса раствора есть сумма масс воды (растворителя) и растворенного вещества:

$$m(p-ra) = m(H_2O) + m(B).$$

Молярная концентрация вещества $c(B)$ равна отношению его химического количества n (моль) к объему раствора V (дм³):

$$c(B) = \frac{n(B)}{V(p-ra)}. \quad (18.2)$$

Объем раствора и его масса связаны соотношением

$$m(p-ra) = V(p-ra) \cdot \rho, \quad (18.3)$$

где ρ — плотность раствора.

В отличие от массовой доли молярная концентрация имеет единицу измерения моль/дм³.

Соотношения (18.1) — (18.3) позволяют найти любую из трех величин по двум известным:

$$m(B) = m(p-pa) \cdot w(B); \quad (18.4)$$

$$m(p-pa) = \frac{m(B)}{w(B)}; \quad (18.5)$$

$$n(B) = c(B) \cdot V(p-pa); \quad (18.6)$$

$$V(p-pa) = \frac{n(B)}{c(B)}; \quad (18.7)$$

$$V(p-pa) = \frac{m(p-pa)}{\rho}; \quad (18.8)$$

$$\rho = \frac{m(p-pa)}{V(p-pa)}. \quad (18.9)$$

Обратите внимание. Для нахождения массовой доли вещества его формулу знать не обязательно (достаточно знать его массу и массу растворителя или раствора), тогда как при определении молярной концентрации формулу вещества (его молярную массу) надо знать обязательно.

Следует иметь в виду, что в задачах этой главы масса полученного раствора всегда равна сумме масс смешиваемых растворов.

Еще одно замечание относится ко всем растворам вообще: *суммарный объем полученного раствора не равен сумме объемов смешиваемых растворов (за исключением смешивания очень разбавленных растворов).*

Пример 18.1. В воде объемом 85 см^3 растворили аскорбиновую кислоту (АК) массой 12 г . Найдите массовую долю АК в образовавшемся растворе.

Дано:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 85 \text{ см}^3$$

$$m(\text{АК}) = 12 \text{ г}$$

$$w(\text{АК}) = ?$$

Решение:

Используя формулу (18.1), получаем:

$$w(\text{АК}) = \frac{m(\text{АК})}{m(\text{р-ра})};$$

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

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V \cdot \rho; \rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/см}^3;$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 85 \cdot 1 = 85 \text{ (г)};$$

$$w(\text{АК}) = \frac{12}{85 + 12} = \frac{12}{97} = 0,124 \text{ (12,4 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{АК}) = 12,4 \text{ \%}$.

Пример 18.2. В воде массой 120 г растворили аскорбиновую кислоту массой $15,2 \text{ г}$ и получили раствор плотностью $1,05 \text{ г/см}^3$. Рассчитайте молярную концентрацию аскорбиновой кислоты в полученном растворе, если известно, что ее формула $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 15,2 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 120 \text{ г}$$

$$\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$$

$$c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = ?$$

Решение:

Для определения молярной концентрации АК необходимо знать ее химическое количество и объем раствора (см. формулу 18.2).

Согласно формуле (18.8):

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

$$m(\text{р-ра АК}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{АК}) = 120 + 15,2 = 135,2 \text{ (г)};$$

$$V(\text{р-ра АК}) = \frac{135,2}{1,05} = 128,8 \text{ (см}^3\text{)} \approx 0,129 \text{ дм}^3.$$

Рассчитаем химическое количество АК:

$$M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 176 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = \frac{m}{M} = \frac{15,2}{176} = 0,0864 \text{ (моль)}.$$

Исходя из выражения (18.2), имеем:

$$c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)}{V(\text{р-ра } \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)} = \frac{0,0864}{0,129} = 0,67 \text{ (моль/дм}^3\text{)};$$

Ответ: $c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 0,67 \text{ моль/дм}^3$.

1. Рассчитайте массу серной кислоты в ее растворе объемом 97,8 см³ ($\rho = 1,055 \text{ г/см}^3$) с массовой долей кислоты 8,4 %.
2. Найдите молярную концентрацию КОН в растворе, полученном при растворении щелочи массой 12,8 г в воде объемом 56,4 см³ (плотность раствора 1,18 г/см³).
3. В растворе, содержащем 11,2 г H₂SO₄, молярная концентрация кислоты равна 0,500 моль/дм³. Найдите объем раствора.

Необходимо уметь проводить расчеты, связанные с переводом массовой доли в молярную концентрацию или молярной концентрации в массовую долю.

Пример 18.3. Рассчитайте молярную концентрацию H₂SO₄ в ее растворе с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25,2 \%$ ($\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$).

Дано:

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25,2 \%$$

$$\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$$

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

Решение:

Для расчета удобно взять раствор массой 100 г (можно также взять раствор определенного объема, например 100 см³).

Тогда

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 100 \cdot 0,252 = 25,2 \text{ (г)};$$

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

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{25,2}{98} = 0,257 \text{ (моль)};$$

$$V(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{100}{1,08} = 92,6 \text{ см}^3 \text{ (0,0926 дм}^3\text{)};$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,257}{0,0926} = 2,78 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,78 \text{ моль/дм}^3$.

Пример 18.4. Найдите массовую долю Na_2CO_3 в растворе с молярной концентрацией этой соли $0,832 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,043 \text{ г/см}^3$).

Дано:

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,832 \text{ моль/дм}^3$$

$$\rho = 1,043 \text{ г/см}^3$$

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Для перевода молярной концентрации в массовую долю удобно взять какой-то определенный объем раствора, например 100 см^3 (можно взять раствор определенной массы).

Проводим вычисления. Согласно формуле (18.6):

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = c(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{р-ра}); V(\text{р-ра}) = 0,1 \text{ дм}^3;$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,832 \cdot 0,1 = 0,0832 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n \cdot M; M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,0832 \cdot 106 = 8,82 \text{ (г)}.$$

По формуле (18.3) находим массу раствора:

$$m(\text{р-ра}) = V \cdot \rho = 100 \cdot 1,043 = 104,3 \text{ (г)}.$$

Используя выражение (18.1), получим:

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{8,82}{104,3} = 0,0846 \text{ (8,46 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 8,46 \%$.

4. Рассчитайте массу азотной кислоты в ее растворе объемом $120,8 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$) с молярной концентрацией кислоты $1,24 \text{ моль/дм}^3$. Какова массовая доля кислоты в этом растворе?
5. В некотором объеме воды растворили $25,6 \text{ г}$ КОН и получили раствор с молярной концентрацией щелочи $4,32 \text{ моль/дм}^3$. Найдите объем раствора щелочи.
6. Имеется раствор NaOH массой $98,6 \text{ г}$ с $w(\text{NaOH}) = 6,02 \%$ и молярной концентрацией щелочи $1,6 \text{ моль/дм}^3$. Найдите плотность раствора и его объем.
7. В растворе H_2SO_4 объемом $107,6 \text{ г}$, плотность которого $1,055 \text{ г/см}^3$, массовая доля кислоты равна $8,42 \%$. Найдите молярную концентрацию кислоты в этом растворе.
8. Рассчитайте молярную концентрацию NaOH в его растворе с $w(\text{NaOH}) = 47,3 \%$ ($\rho = 1,50 \text{ г/см}^3$).
9. Найдите $w(\text{HCl})$ в ее растворе с молярной концентрацией кислоты $7,78 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,065 \text{ г/см}^3$).
10. Раствор $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ массой $7,2 \text{ г}$ содержит $2,1672 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода. Рассчитайте: а) массовую долю соли в растворе; б) число атомов азота в растворе.

Рассмотрим примеры решения задач на приготовление растворов.

Пример 18.5. Рассчитайте, какую массу щелочи необходимо растворить в воде массой 185 г , чтобы получить раствор с массовой долей щелочи 15% .

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 185 \text{ г}$$

$$\omega(\text{щелочи}) = 15 \%$$

$$m(\text{щелочи}) = ?$$

Решение:

Многие задачи на тему «Растворы» удобно решать, обозначая величину, которую надо найти, буквой x . В данном случае такой величиной является масса щелочи.

Итак, пусть требуемая масса щелочи равна x (г). Тогда масса раствора щелочи составляет $185 + x$ (сумма масс воды и щелочи).

Для массовой доли щелочи имеем:

$$\omega(\text{щелочи}) = \frac{m(\text{щелочи})}{m(\text{р-ра щелочи})};$$

$$0,15 = \frac{x}{185 + x}.$$

Находим:

$$x = 0,15 (185 + x);$$

$$x = 27,75 + 0,15x;$$

$$x - 0,15x = 27,75;$$

$$0,85x = 27,75;$$

$$x = \frac{27,75}{0,85} = 32,6 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{щелочи}) = 32,6 \text{ г}$.

Пример 18.6. Какую массу воды нужно добавить к раствору NaOH массой 78,2 г с $\omega(\text{NaOH}) = 8,2 \%$, чтобы массовая доля щелочи уменьшилась вдвое?

Дано:

$$m(\text{р-ра NaOH}) = 78,2 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{NaOH}) = 8,2 \%$$

$$\omega_1/\omega_2 = 2$$

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

Решение:

В конечном растворе массовая доля щелочи равна $8,2 \%/2 = 4,1 \%$.

Важно понять, что при добавлении воды в раствор (или ее удалении из раствора) масса растворенного вещества не изменяется.

Предлагаем два варианта решения задачи.

Вариант 1.

В данном случае

$$\begin{aligned} m(\text{NaOH}) &= m(\text{р-ра NaOH}) \cdot w(\text{NaOH}) = \\ &= 78,2 \cdot 0,082 = 6,41 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Зная массовую долю конечного раствора, находим его массу:

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = \frac{m(\text{NaOH})}{w_2(\text{NaOH})} = \frac{6,41}{0,041} = 156,3 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массу добавленной воды:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} - m(\text{р-ра})_{\text{исх.}}; \\ m(\text{H}_2\text{O}) &= 156,3 - 78,2 = 78,1 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Вариант 2.

Пусть масса добавленной воды равна x (г). Тогда масса полученного раствора составляет $78,2 + x$ (г), а для массовой доли NaOH в нем имеем:

$$0,041 = \frac{6,41}{78,2 + x}.$$

Отсюда

$$x = 78,1 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 78,1 \text{ г.}$

Пример 18.7. Какую массу раствора азотной кислоты с $w(\text{HNO}_3) = 35,2 \%$ нужно взять для приготовления раствора объемом 400 см^3 с молярной концентрацией HNO_3 $3,54 \text{ моль/дм}^3$?

Дано:

$$w(\text{HNO}_3) = 35,2 \%$$

$$V(\text{р-ра HNO}_3) = 400 \text{ см}^3$$

$$c(\text{HNO}_3) = 3,54 \text{ моль/дм}^3$$

$$m(\text{р-ра HNO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим химическое количество HNO_3 и ее массу в растворе объемом 400 см^3 ($0,4 \text{ дм}^3$):

$$\begin{aligned} n(\text{HNO}_3) &= V(\text{HNO}_3) \cdot c(\text{HNO}_3) = \\ &= 0,4 \cdot 3,54 = 1,416 \text{ (моль)}; \end{aligned}$$

$$m(\text{HNO}_3) = n \cdot M; M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{HNO}_3) = 1,416 \cdot 63 = 89,21 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массу раствора с $w(\text{HNO}_3) = 35,2 \%$:

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

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{89,21}{0,352} = 253,4 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{р-ра HNO}_3) = 253,4 \text{ г}$.

Пример 18.8. В каком массовом отношении необходимо смешать растворы с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8,4 \%$ и $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 35,2 \%$, чтобы получить раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 21,6 \%$?

Дано:

$$w_1 = 8,4 \%$$

$$w_2 = 35,2 \%$$

$$w_3 = 21,6 \%$$

$$\frac{m(\text{р-ра})_1}{m(\text{р-ра})_2} \text{ — ?}$$

Решение:

Для быстрого решения таких задач разработан специальный способ (так называемое «правило креста» или «конверт» Пирсона). Но это — для лаборантов, нам же надо понимать ход решения задачи.

Пусть массы растворов с $w_1 = 8,4 \%$ и $w_2 = 35,2 \%$ равны соответственно x и y (г). Обозначим их как первый (1) и второй (2) растворы. Тогда имеем:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)_1 = x \cdot 0,084;$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)_2 = y \cdot 0,352;$$

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = m(\text{р-ра})_1 + m(\text{р-ра})_2 = x + y.$$

В конечном растворе $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,216$. Получаем:

$$0,216 = \frac{x \cdot 0,084 + y \cdot 0,352}{x + y}.$$

Находим:

$$0,216x + 0,216y = 0,084x + 0,352y;$$

$$0,132x = 0,136y;$$

$$\frac{x}{y} = \frac{0,136}{0,132} = 1,03 : 1.$$

Следовательно, для приготовления раствора с заданной массовой долей кислоты исходные растворы надо смешать в массовом отношении 1,03 ($w_1 = 8,4\%$) : 1 ($w_2 = 35,2\%$). Допустим, для приготовления раствора массой 400 г необходимо

взять $\frac{400}{1,03 + 1} \cdot 1,03 = 203$ г раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8,4\%$

и $\frac{400}{1,03 + 1} \cdot 1 = 197$ г (или $400 - 203 = 197$ г) раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 35,2\%$.

Ответ: $m(\text{p-ра})_1 / m(\text{p-ра})_2 = 1,03 : 1$.

- 11.** К раствору серной кислоты массой 120,8 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 12,8\%$ добавили воду массой 41,2 г. Рассчитайте $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в образовавшемся растворе.
- 12.** Рассчитайте массу KOH в его растворе объемом 68,2 см³ ($\rho = 1,29$ г/см³) с $w(\text{KOH}) = 30,1\%$. Какова молярная концентрация щелочи в этом растворе?
- 13.** Какой объем (н. у.) хлороводорода потребуется для приготовления соляной кислоты объемом 5,20 дм³ с $w(\text{HCl}) = 25,4\%$ ($\rho = 1,065$ г/см³)? Рассчитайте молярную концентрацию хлороводорода в этом растворе.
- 14.** К раствору KOH массой 240 г с $w(\text{KOH}) = 10,0\%$ добавили 20 г KOH и получили раствор плотностью 1,18 г/см³. Найдите массовую долю щелочи и ее молярную концентрацию в образовавшемся растворе.

15. В раствор H_2SO_4 объемом $101,2 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,78 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25,21 \%$ добавили воду массой $58,8 \text{ г}$ и получили раствор плотностью $1,03 \text{ г/см}^3$. Найдите молярную концентрацию кислоты в конечном растворе.
16. Какой объем раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 85,2 \%$ ($\rho = 1,78 \text{ г/см}^3$) можно получить из технического пирита массой $93,8 \text{ г}$ с $w(\text{FeS}_2) = 96,4 \%$?
17. К какому объему раствора с массовой долей соли $16,0 \%$ ($\rho = 1,156 \text{ г/см}^3$) следует прибавить 250 см^3 воды, чтобы получить раствор с массовой долей соли $4,0 \%$?
18. Упарили раствор K_2CrO_4 объемом $2,8 \text{ дм}^3$ с $w(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 12,0 \%$ ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) до объема $1,5 \text{ дм}^3$. Какова молярная концентрация соли в полученном после упаривания растворе?
19. Какую массу HBr нужно добавить к раствору массой $58,6 \text{ г}$ с $w(\text{HBr}) = 3,5 \%$, чтобы получить раствор с $w(\text{HBr}) = 7,8 \%$?
20. Какой объем раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 78,2 \%$ ($\rho = 1,76 \text{ г/см}^3$) необходимо взять для приготовления:
а) 200 см^3 раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 21,2 \%$ ($\rho = 1,075 \text{ г/см}^3$);
б) 350 см^3 раствора с молярной концентрацией $\text{H}_2\text{SO}_4 = 7,8 \text{ моль/дм}^3$?
21. Какой объем (н. у.) хлороводорода нужно растворить в воде для приготовления: а) соляной кислоты объемом 420 см^3 ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 22,5 \%$; б) раствора объемом $5,2 \text{ дм}^3$ с молярной концентрацией хлороводорода $2,5 \text{ моль/дм}^3$?
22. Какой объем соляной кислоты с $w(\text{HCl}) = 20,4 \%$ ($\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$) можно приготовить, имея соляную кислоту объемом $70,0 \text{ см}^3$ с $w(\text{HCl}) = 38,3 \%$ ($\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$)?
23. К раствору CaBr_2 с массовой долей соли $5,2 \%$ добавили еще $5,8 \text{ г}$ этой соли. При этом массовая доля соли возросла в $1,2$ раза. Найдите массу исходного раствора соли.

24. К раствору КОН объемом 320 см^3 с $w(\text{KOH}) = 5,12 \%$ ($\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$) добавили 156 г раствора КОН с неизвестной массовой долей щелочи. В результате получили раствор с $w(\text{KOH}) = 10,5 \%$. Рассчитайте $w(\text{KOH})$ в добавленном растворе.
25. К раствору КОН объемом $97,4 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,095 \text{ г/см}^3$) с молярной концентрацией щелочи $2,05 \text{ моль/дм}^3$ добавили некоторое количество воды и получили раствор с $w(\text{KOH}) = 6,20 \%$. Рассчитайте массу добавленной воды.
26. В каких массовых отношениях надо смешать растворы с $w(\text{NaOH}) = 18 \%$ (раствор А) и $w(\text{NaOH}) = 50 \%$ (раствор Б), чтобы получить раствор с $w(\text{NaOH}) = 35 \%$? Какие массы этих растворов потребуются для приготовления раствора массой 300 г с $w(\text{NaOH}) = 35 \%$?
27. Какие объемы растворов с $w(\text{HNO}_3) = 6,65 \%$ ($\rho = 1,035 \text{ г/см}^3$) и $w(\text{HNO}_3) = 45,27 \%$ ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$) необходимо смешать, чтобы получить раствор HNO_3 объемом 620 см^3 ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$)?
28. В каком объемном отношении необходимо смешать растворы HNO_3 с молярными концентрациями $14,3 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,39 \text{ г/см}^3$) (раствор А) и $5,6 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$) (раствор Б), чтобы получить раствор с молярной концентрацией кислоты $9,2 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$)? Какова массовая доля кислоты в этом растворе?
29. До какого объема необходимо упарить $2,5 \text{ дм}^3$ раствора $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ с массовой долей соли $6,0 \%$ ($\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$), чтобы получить раствор с молярной концентрацией $1,2 \text{ моль/дм}^3$?
30. Какой объем (н. у.) хлороводорода следует растворить в соляной кислоте массой 500 г с $w(\text{HCl}) = 5,0 \%$, чтобы получить раствор с молярной концентрацией HCl $2,0 \text{ моль/дм}^3$ ($\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$)?

31. Какую массу квасцов состава $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ следует добавить к раствору $Al_2(SO_4)_3$ массой 310 г с $w[Al_2(SO_4)_3] = 12,4 \%$, чтобы массовая доля сульфата алюминия стала равной 15,2 %?
32. Какова $w(KHCO_3)$ в водном растворе, содержащем 9,17 моль атомов кислорода и 10,94 моль атомов водорода?
33. Уксусная кислота широко используется как консервант. В быту чаще всего используют уксус (массовая доля кислоты 9,0 %, $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$) или уксусную эссенцию (массовая доля кислоты 70,0 %, $\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$). Вычислите, в каком объеме воды необходимо растворить уксусную эссенцию, чтобы получить 225 см³ уксуса.

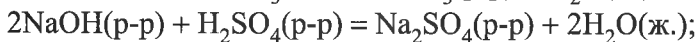
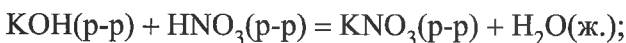
ГЛАВА 19

Реакции в растворах

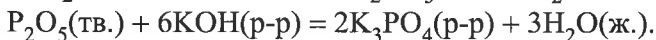
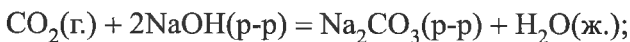
Иногда образование нового раствора сопровождается протеканием различных химических реакций. При этом следует различать два принципиально разных случая: 1) реакция не сопровождается выпадением осадка или выделением газа; 2) продуктом реакции является осадок или/и газ.

В первом случае протекают, например, реакции:

а) нейтрализации с участием KOH и NaOH:



б) взаимодействия кислотных оксидов с растворами KOH и NaOH:



Обратите внимание. В данном случае масса конечного раствора всегда равна сумме масс смешиваемых компонентов.

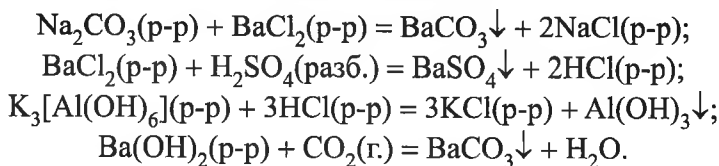
Если, например, к раствору H_2SO_4 приливается раствор KOH, то

$$m(p-ра)_{\text{конечн.}} = m(p-ра \text{ H}_2\text{SO}_4) + m(p-ра \text{ KOH}).$$

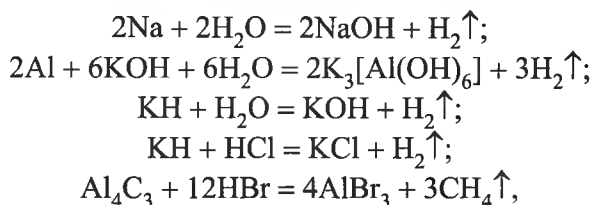
Если в раствор KOH или NaOH пропускают CO_2 (SO_2 , H_2S , P_2O_5 и т. д.), то

$$m(p-ра)_{\text{конечн.}} = m(p-ра \text{ KOH}) + m(\text{CO}_2).$$

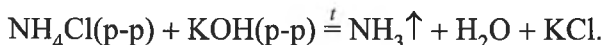
Во втором случае при смешивании растворов осадок выпадает в ходе протекания некоторых обменных реакций:



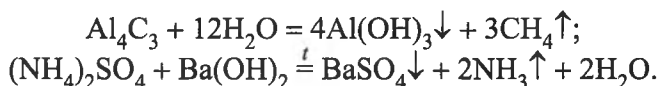
Газ выделяется при внесении в воду или водный раствор кислоты (щелочи) некоторых металлов и бинарных соединений:



а также при взаимодействии солей аммония (или их растворов) с горячими растворами щелочей:



В ходе образования нового раствора может одновременно выпадать осадок и выделяться газ:

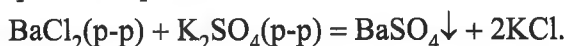


В случае образования осадка и/или газа массу конечного раствора находят двумя принципиально различными способами.

Способ 1.

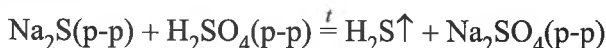
Масса конечного раствора равна сумме масс всех веществ (в том числе воды!), которые в нем присутствуют после завершения реакции. В этом случае нас не интересуют ни масса выпавшего осадка, ни масса выделившегося газа.

При смешивании, например, растворов сульфата калия и хлорида протекает реакция:



Масса конечного раствора будет равна сумме масс KCl и H_2O (если вещества прореагировали между собой без остатка). При этом надо учитывать суммарную массу H_2O , которая находится в растворах BaCl_2 и K_2SO_4 .

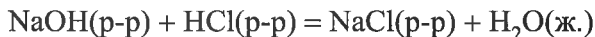
Для случая



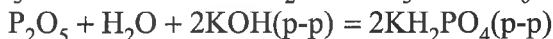
масса конечного раствора равна сумме масс Na_2SO_4 и воды, которая присутствует в исходных растворах Na_2S и H_2SO_4 .

Следует учесть, что если одно из реагирующих веществ находится в избытке, то его массу прибавляют к массе конечного раствора.

Главным образом из-за необходимости рассчитывать массу воды данный способ нахождения $m(\text{p-ра})_{\text{конечн.}}$ считается неудобным. Это неудобство усугубляется еще и тем, что иногда приходится учитывать не только воду в исходных растворах, но также воду полученную (ее массу прибавляют):



или израсходованную (ее массу вычитают):



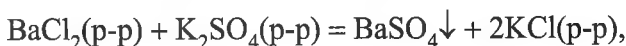
в процессе образования раствора.

Способ 2.

В этом случае нет необходимости знать массы веществ и воды в конечном растворе, потому что:

Масса конечного раствора равна сумме масс смешиваемых компонентов (растворов; растворов и веществ) за вычетом массы осадка и газа.

Если, например, смешиваются раствор BaCl_2 массой 50 г и раствор K_2SO_4 массой 100 г:

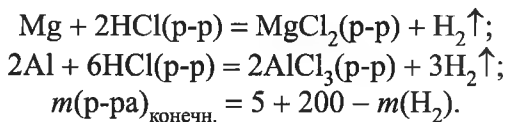


то

$$m(\text{p-ра})_{\text{конечн.}} = 50 + 100 - m(\text{BaSO}_4).$$

При этом нас не интересуют ни масса воды, ни масса KCl , ни масса (возможно) избыточного реагента. Не правда ли — удобно?

Другой пример. В случае полного растворения сплава Mg и Al массой 5 г в соляной кислоте массой 200 г протекают реакции:



Пример 19.1. В воде массой 80,0 г растворили P_2O_5 массой 14,2 г. Найдите $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ в полученном растворе.

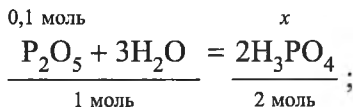
Дано:

$$\begin{aligned}m(\text{H}_2\text{O}) &= 80,0 \text{ г} \\ m(\text{P}_2\text{O}_5) &= 14,2 \text{ г}\end{aligned}$$

$$w(\text{H}_3\text{PO}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

По уравнению реакции находим массу образовавшейся кислоты:



$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ г/моль}; M(\text{P}_2\text{O}_5) = 142 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{m}{M} = \frac{14,2}{142} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$\frac{0,1}{1} = \frac{x}{2};$$

$$x = n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{0,1 \cdot 2}{1} = 0,2 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n \cdot M = 0,2 \cdot 98 = 19,6 \text{ (г)}.$$

Масса раствора равна сумме масс смешиваемых веществ P_2O_5 и H_2O :

$$m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4) = 80 + 14,2 = 94,2 \text{ (г)}.$$

Находим:

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4)} = \frac{19,6}{94,2} = 0,208 \text{ (20,8 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 20,8 \%$.

Пример 19.2. Какие массы P_2O_5 и H_2O надо взять для приготовления раствора массой 108,2 г с $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 35,8 \%$?

Дано:

$$m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4) =$$

$$= 108,2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 35,8 \%$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) — ?$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) — ?$$

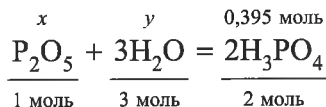
Решение:

Находим массу H_3PO_4 в растворе:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4) \cdot \omega(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 108,2 \cdot 0,358 = 38,74 \text{ (г)}.$$

Рассчитаем химическое количество кислоты и по уравнению реакции



находим массу P_2O_5 :

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m}{M} = \frac{38,74}{98} = 0,395 \text{ (моль)};$$

$$\frac{x}{1} = \frac{0,395}{2};$$

$$x = n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{0,395 \cdot 1}{2} = 0,197 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = n \cdot M = 0,197 \cdot 142 = 28,0 \text{ (г)}.$$

В подобных задачах проблемы возникают с нахождением массы воды.

Правильное решение.

Поскольку

$$m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4) = m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{H}_2\text{O}),$$

Находим химическое количество HNO_3 в исходном растворе $[M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ г/моль}]$:

$$m(\text{HNO}_3) = m(\text{р-ра } \text{HNO}_3) \cdot \omega(\text{HNO}_3) = 112,4 \cdot 0,63 = 70,812 \text{ (г)};$$

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{70,812}{63} = 1,124 \text{ (моль)}.$$

В реакции со щелочью кислота взята с избытком. Дальнейшее решение задачи удобно проводить, обозначая массу требуемого раствора NaOH как x (г). Тогда $m(\text{NaOH}) = m(\text{р-ра } \text{NaOH}) \cdot \omega(\text{NaOH}) = x \cdot 0,2$ или $n(\text{NaOH}) = m/M = 0,2x/40 = 0,005x$ (моль).

Из уравнения реакции видно, что химическое количество вступившей в реакцию кислоты тоже равно $0,005x$ (моль). Следовательно, химическое количество непрореагировавшей HNO_3 равно $1,124 - 0,005x$ (моль), а масса ее составляет:

$$m(\text{HNO}_3)_{\text{непрореаг.}} = 63(1,124 - 0,005x) = 70,812 - 0,315x \text{ (г)}.$$

Масса раствора, в которой находится такая масса HNO_3 , равна сумме масс исходного раствора кислоты и добавленного раствора щелочи:

$$m(\text{р-ра } \text{HNO}_3)_{\text{конечн.}} = 112,4 + x.$$

Составляем и решаем выражение для массовой доли HNO_3 в конечном растворе:

$$0,28 = \frac{70,812 - 0,315x}{112,4 + x};$$

$$x = 61,1 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{р-ра } \text{NaOH}) = 61,1 \text{ г}$.

- 
1. В воде объемом $85,8 \text{ см}^3$ растворили N_2O_5 массой $10,2 \text{ г}$. Рассчитайте $\omega(\text{HNO}_3)$ в полученном растворе.
 2. Какую массу P_2O_5 нужно растворить в воде, чтобы получить раствор H_3PO_4 массой $75,2 \text{ г}$ с $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 6,8 \%$?

3. В раствор KOH массой 91,7 г пропустили хлороводород объемом (н. у.) $2,688 \text{ дм}^3$. Определите $w(\text{KOH})$ в исходном растворе, если в конечном она стала равной 18,18 %.
4. Какой объем (н. у.) NH_3 надо пропустить в раствор HNO_3 объемом $84,4 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,115 \text{ г/дм}^3$) с молярной концентрацией кислоты $3,54 \text{ моль/дм}^3$, чтобы массовая доля кислоты снизилась в четыре раза?
5. В раствор H_2SO_4 массой 120 г с массовой долей кислоты 9,8 % прибавили некоторую порцию SO_3 , в результате массовая доля кислоты возросла до 19,2 %. Найдите массу добавленного оксида серы(VI).
6. К раствору KOH массой 75,4 г с $w(\text{KOH}) = 16,8 \%$ прибавили оксид калия массой 9,4 г. Найдите $w(\text{KOH})$ в образовавшемся растворе.
7. В соляной кислоте объемом 120 см^3 ($\rho = 1,109 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 25,4 \%$ растворили NH_3 объемом (н. у.) $9,63 \text{ дм}^3$. Найдите $w(\text{HCl})$ в растворе после реакции.
8. Какие массы P_2O_5 и раствора с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5,0 \%$ потребуются для приготовления раствора массой 500 г с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 17 \%$?
9. После растворения SO_3 массой 32,0 г в растворе H_2SO_4 массой 120 г массовая доля кислоты возросла вдвое. Рассчитайте $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в исходном растворе.
10. Рассчитайте массу раствора с $w(\text{NaOH}) = 10 \%$, который следует добавить к раствору H_2SO_4 массой 500 г с массовой долей кислоты 10 %, чтобы получить раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,0 \%$ (в результате реакции образуется средняя соль).
11. Оксид щелочного металла массой 7,05 г растворили в воде массой 76,4 г и получили раствор щелочи с массовой долей ее 9,0 %. Определите формулу оксида.
12. В растворе H_3PO_4 массой 400,0 г растворили весь P_2O_5 , полученный с выходом 80 % из фосфорита массой 100 г

- с $w[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 90\%$. Определите $w(\text{H}_3\text{PO}_4)$ в исходном растворе, если в конечном она стала равной $75,0\%$.
13. К раствору KOH массой 100 г с $w(\text{KOH}) = 30,2\%$ добавили соляную кислоту массой 50,0 г с $w(\text{HCl}) = 0,146$ и получили раствор плотностью $1,13 \text{ г/см}^3$. Рассчитайте молярную концентрацию вещества в конечном растворе.
14. На нейтрализацию раствора KOH понадобился раствор HNO_3 массой 44 г. После нейтрализации образовался раствор с $w(\text{KNO}_3) = 20,3\%$. Рассчитайте массовые доли кислоты и щелочи в исходных растворах.
15. Раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20,8\%$ нейтрализовали раствором с $w(\text{KOH}) = 40,6\%$ (образуется средняя соль). Найдите массовую долю соли в образовавшемся растворе.

Рассмотрим примеры решения задач, в которых образование растворов сопровождается выделением газа или выпадением осадка.

Пример 19.4. К раствору CaCl_2 массой 120 г с массовой долей соли $18,5\%$ добавили раствор Na_2CO_3 массой 132,5 г с массовой долей соли $20,0\%$. Найдите массовые доли солей в полученном растворе.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{CaCl}_2) = 120 \text{ г}$$

$$w(\text{CaCl}_2) = 18,5\%$$

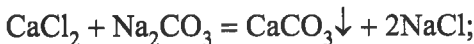
$$m(\text{р-ра } \text{Na}_2\text{CO}_3) = 132,5 \text{ г}$$

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 20,0\%$$

$$w(\text{солей}) = ?$$

Решение:

При смешивании растворов протекает химическая реакция, в результате которой образуется осадок:



$$M(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ г/моль}; M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}; M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ г/моль}.$$

В конечном растворе будут находиться NaCl и (возможно) часть исходной соли, взятой с избытком. Масса конечного раствора будет меньше суммарной массы растворов CaCl_2 и Na_2CO_3 на массу выпавшего осадка CaCO_3 .

Проводим расчеты:

$$m(\text{CaCl}_2) = m(\text{р-ра } \text{CaCl}_2) \cdot w(\text{CaCl}_2) = 120 \cdot 0,185 = 22,2 \text{ (г)};$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{22,2}{111} = 0,2 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{р-ра } \text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 132,5 \cdot 0,2 = 26,5 \text{ (г)};$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{26,5}{106} = 0,25 \text{ (моль)}.$$

При равенстве стехиометрических коэффициентов проблема избытка—недостатка решается просто: с избытком взято то вещество, химическое количество которого больше, в данном случае это Na_2CO_3 . Расчеты ведем по CaCl_2 (по недостатку).

В реакцию с CaCl_2 вступил Na_2CO_3 химическим количеством 0,2 моль, следовательно, избыток Na_2CO_3 составляет

$$0,25 - 0,20 = 0,05 \text{ (моль)} \text{ или } 0,05 \cdot 106 = 5,3 \text{ (г)}.$$

Из осадок выпал CaCO_3 химическим количеством 0,2 моль или массой $100 \cdot 0,2 = 20 \text{ (г)}$.

Масса конечного раствора равна сумме масс растворов исходных солей за вычетом массы CaCO_3 :

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = 120 + 132,5 - 20 = 232,5 \text{ (г)}.$$

В результате реакции образовался NaCl количеством $2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ (моль)}$ или массой $0,4 \cdot 58,5 = 23,4 \text{ (г)}$.

Находим массовые доли солей в конечном растворе:

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{5,3}{232,5} = 0,023 \text{ (2,3 \%)};$$

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{p-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{23,4}{232,5} = 0,101 \text{ (10,1 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2,3 \text{ \%}$; $w(\text{NaCl}) = 10,1 \text{ \%}$.

Пример 19.5. В растворе гидроксида лития массой 50 г с массовой долей щелочи 5,2 % растворили литий массой 1,8 г. Определите массовую долю щелочи в растворе.

Дано:

$$m(\text{p-ра LiOH}) = 50 \text{ г}$$

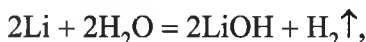
$$w_1(\text{LiOH}) = 5,2 \text{ \%}$$

$$m(\text{Li}) = 1,8 \text{ г}$$

$$w_2(\text{LiOH}) \text{ — ?}$$

Решение:

При добавлении лития в раствор протекает реакция:



в результате которой образуется новая порция щелочи и выделяется газ.

Находим массу LiOH в исходном растворе:

$$\begin{aligned} m_1(\text{LiOH}) &= m_1(\text{p-ра LiOH}) \cdot w_1(\text{LiOH}) = \\ &= 50 \cdot 0,052 = 2,6 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Находим химическое количество лития и рассчитываем массу LiOH, образовавшегося в реакции:

$$M(\text{Li}) = 7 \text{ г/моль}; M(\text{LiOH}) = 24 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Li}) = \frac{m(\text{Li})}{M(\text{Li})} = \frac{1,8}{7} = 0,257 \text{ (моль)}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{LiOH}) = n(\text{Li}) = 0,257 \text{ моль};$$

$$m_2(\text{LiOH}) = n(\text{LiOH}) \cdot M(\text{LiOH}) = 0,257 \cdot 24 = 6,2 \text{ (г)}.$$

Определяем массу LiOH в конечном растворе:

$$m(\text{LiOH}) = m_1(\text{LiOH}) + m_2(\text{LiOH}) = 2,6 + 6,2 = 8,8 \text{ (г)}.$$

Находим массу конечного раствора. Она равна сумме масс исходного раствора LiOH (50 г) и лития (1,8 г) за вычетом массы выделившегося водорода.

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{Li}) = \frac{1}{2} \cdot 0,257 = 0,129 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 0,129 \cdot 2 = 0,258 \text{ (г).}$$

Тогда

$$m(\text{р-ра LiOH}) = 50 + 1,8 - 0,258 = 51,5 \text{ (г).}$$

Рассчитываем массовую долю щелочи в конечном растворе:

$$\omega(\text{LiOH}) = \frac{m(\text{LiOH})}{m(\text{р-ра LiOH})_{\text{конечн.}}} = \frac{8,8}{51,5} = 0,171 \text{ (17,1 \%)}.$$

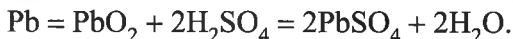
Ответ: $\omega_2(\text{LiOH}) = 17,1 \%$.

- !** 16. Смешали раствор массой 51,2 г, содержащий 3,5 г CuSO_4 , с раствором массой 41,8 г с $\omega(\text{KOH}) = 6,22 \%$. Рассчитайте массовые доли веществ в образовавшемся растворе.
17. В воде объемом 20,0 см³ растворили гидрид натрия массой 8,0 г. Найдите массовую долю вещества в образовавшемся растворе.
18. К раствору массой 100,0 г с $\omega(\text{AgNO}_3) = 17,0 \%$ добавили соляную кислоту массой 100 г с молярной концентрацией HCl, равной 5,5 моль/дм³ ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$). Рассчитайте массовые доли и молярные концентрации веществ в конечном растворе, плотность которого равна 1,02 г/см³.
19. К раствору H_2SO_4 массой 300 г с $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 16 \%$ прибавили раствор BaI_2 массой 100 г. В результате $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ уменьшилась до 9 %. Рассчитайте $\omega(\text{BaI}_2)$ в добавленном растворе.

20. В растворе с $w(\text{NaOH}) = 12,5\%$ растворили NaH массой 3,6 г и получили раствор с $w(\text{NaOH}) = 18,74\%$. Найдите массу первоначального раствора NaOH .
21. Какие массы KH и H_2O необходимо взять для приготовления раствора KOH массой 250 г с $w(\text{KOH}) = 35,0\%$?
22. В растворе KOH массой 102,8 г с $w(\text{KOH}) = 5,2\%$ растворили смесь K и K_2O массой 8,76 г. В результате образовался раствор с $w(\text{KOH}) = 14,84\%$. Найдите $w(\text{K}_2\text{O})$ в его смеси с калием.
23. Смесь NaH и KH растворили в H_2O объемом 172 см³. Образовался раствор с суммарной массовой долей щелочи 4,78 %, а масса раствора оказалась на 0,36 г меньше суммы масс взятой воды и гидридов. Найдите $w(\text{NaH})$ в исходной смеси гидридов.
24. Алюминий массой 7,56 г полностью растворили в растворе объемом 100 см³ с $w(\text{KOH}) = 48,25\%$ ($\rho = 1,3$ г/см³). Рассчитайте массовые доли веществ в растворе после реакции.
25. Какую массу раствора с $w(\text{BaOH}_2) = 12,0\%$ следует прибавить к раствору H_2SO_4 массой 89,2 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 21,2\%$, чтобы массовая доля кислоты понизилась в 1,8 раза?
26. К соляной кислоте массой 80 г с $w(\text{HCl}) = 30,0\%$ прибавили раствор AgNO_3 массой 140 г. Какова $w(\text{HNO}_3)$ в полученном растворе, если $w(\text{HCl})$ в нем равна 10 %?
27. Какую массу натрия следует добавить к раствору массой 220 г с $w(\text{NaOH}) = 10,0\%$, чтобы получить раствор с $w(\text{NaOH}) = 20\%$?
28. К раствору NH_4NO_3 объемом 45,45 см³ ($\rho = 1,1$ г/см³) с $w(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 24,0\%$ прибавили раствор KOH массой 80 г с $w(\text{KOH}) = 8,4\%$. Полученный раствор прокипятили до полного удаления аммиака, при этом также испарилась вода массой 11,2 г. Найдите массовые доли веществ в растворе после его кипячения.

29. В соляную кислоту массой 76,4 г с $w(\text{HCl}) = 32,8\%$ добавили некоторую порцию раствора с $w(\text{AgNO}_3) = 10,2\%$. В результате реакции $w(\text{HCl})$ снизилась до 6,69 %. Найдите массу добавленного раствора AgNO_3 . Чему равна массовая доля другого электролита в конечном растворе?
30. В соляную кислоту погрузили металлическую пластинку массой 6,75 г. После того как выделился водород объемом (н. у.) 4,032 дм³, масса пластинки уменьшилась на 80 %. Определите металл, если известно, что его степень окисления в хлориде равна +3.
31. В стакан, содержащий 108,6 г раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 18,4\%$, на некоторое время опустили магниевую пластинку. Когда ее вынули, масса пластинки оказалась на 2,4 г меньше, чем до погружения в раствор кислоты. Найдите массовые доли веществ в конечном растворе.
32. Оксид состава Me_2O_3 массой 16,3 г растворили в соляной кислоте массой 115,8 г с $w(\text{HCl}) = 26,8\%$. Массовая доля HCl в растворе после реакции составила 15,13 % (хлорид металла растворим в воде). Определите металл и массовую долю хлорида в конечном растворе.
33. В бромоводородной кислоте массой 105,8 г с $w(\text{HBr}) = 31,2\%$ полностью растворили сплав Mg и Al массой 3,94 г, при этом выделился газ объемом (н. у.) 8,96 дм³. Рассчитайте: а) массовые доли веществ в конечном растворе; б) массовую долю Mg в смеси металлов.
34. В разбавленной серной кислоте массой 120 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20\%$ растворили образец гидрида бария массой 13,9 г. Найдите массовую долю H_2SO_4 в полученном растворе (кислая соль не образовалась).
35. Смешали горячие растворы $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ массой 200 г с $w[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] = 0,35$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ массой 100 г с $w[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 5,3\%$. Найдите массовую долю вещества в образовавшемся растворе (вода не испарялась).

36. В соляную кислоту массой 62,4 г с $w(\text{HCl}) = 35,2 \%$ внесли образец LiH массой 1,6 г. Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе.
37. В серной кислоте массой 600 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20,0 \%$ полностью растворили Al_4C_3 , при этом выделился газ объемом (н. у.) $6,72 \text{ дм}^3$. Рассчитайте $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в полученном растворе.
38. В свинцовом аккумуляторе протекает реакция:



- Сухой аккумулятор заправили раствором H_2SO_4 массой 2000,0 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 40 \%$. В ходе работы аккумулятора $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ уменьшилась до 25 %. Найдите массу образовавшегося при этом сульфата свинца(II).
39. В раствор BaCl_2 массой 70,0 г с массовой долей соли 7,2 % добавили раствор H_2SO_4 объемом 300 см^3 ($\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$) с молярной концентрацией кислоты $0,10 \text{ моль/дм}^3$. Найдите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.
40. Zn растворили в HCl (р-р) массой 78,2 г с $w(\text{HCl}) = 0,216$. Массовая доля HCl в конечном растворе стала в 1,9 раза меньше, чем в исходном. Найдите $w(\text{ZnCl}_2)$ в конечном растворе.
41. В раствор NaOH прибавили 8,1 г Al . В результате $w(\text{NaOH})$ снизилась с 28,00 % до 7,55 %. Найдите массу исходного раствора NaOH .
42. Какую массу Al требуется прибавить к раствору серной кислоты с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 28,00 \%$, чтобы $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в конечном растворе составила 11,36 %?
43. Раствор массой 80,0 г с $w(\text{LiOH}) = 10,0 \%$ был приготовлен растворением лития в воде. Какая масса воды при этом была затрачена?
44. К раствору серной кислоты массой 160 г добавили некоторое количество нитрата бария. Образовался раствор

двух кислот, в котором $w(\text{HNO}_3) = 9,26\%$. Рассчитайте:
а) массу добавленной соли; б) массовую долю H_2SO_4 в исходном и конечном растворах.

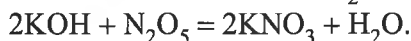
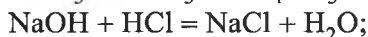
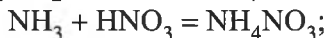
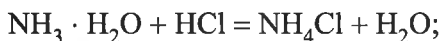
45. К раствору H_2SO_4 массой 22,4 г добавили смесь $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. За счет протекания реакций масса раствора возросла на 4,2 г, а массовые доли кислот в растворе уравнились. Найдите $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в исходном растворе.
46. Для нейтрализации 3,0 г раствора, содержащего HBr и NaBr , требуется 65 см³ раствора с молярной концентрацией KOH 0,1 моль/дм³. Для полного осаждения всех ионов Br^- в полученном растворе необходимо прибавить 80,4 см³ раствора с молярной концентрацией AgNO_3 0,1 моль/дм³. Рассчитайте $w(\text{NaBr})$ в исходном растворе.

ГЛАВА 20

Образование солей различного состава

20.1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ

Если в водном растворе между собой взаимодействуют аммиак или однокислотная щелочь, с одной стороны, и одноосновная кислота или ее ангидрид, с другой, то продуктом реакции всегда будет только средняя соль. Например:

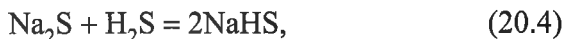


Однако с участием многоосновных кислот или их ангидридов реакция может протекать с образованием как средней, так и кислой соли. Состав соли целиком определяется полным соотношением реагентов. Приведем примеры наиболее характерных реакций.

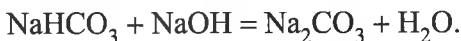
- Однокислотная щелочь (KOH , NaOH) + $\text{CO}_2(\text{SO}_2)$:
 $2\text{KOH} + \text{CO}_2(\text{SO}_2) = \text{K}_2\text{CO}_3(\text{K}_2\text{SO}_3) + \text{H}_2\text{O}; \quad (20.1)$
 $\text{KOH} + \text{CO}_2(\text{SO}_2) = \text{KHCO}_3(\text{KHSO}_3). \quad (20.2)$
- Двухкислотная щелочь [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$] + $\text{CO}_2(\text{SO}_2)$:
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2(\text{SO}_2) = \text{CaCO}_3(\text{CaSO}_3)\downarrow + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{CO}_2(2\text{SO}_2) = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ или } \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2.$
- Однокислотная щелочь + P_2O_5 :
 $2\text{KOH} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{KH}_2\text{PO}_4;$
 $4\text{KOH} + \text{P}_2\text{O}_5 = 2\text{K}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}; \quad (20.3)$
 $6\text{KOH} + \text{P}_2\text{O}_5 = 2\text{K}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}.$

- Двухкислотная щелочь + P_2O_5 :
 $Ca(OH)_2 + P_2O_5 + H_2O = Ca(H_2PO_4)_2$;
 $2Ca(OH)_2 + P_2O_5 = 2CaHPO_4 \downarrow + H_2O$;
 $3Ca(OH)_2 + P_2O_5 = Ca_3(PO_4)_2 \downarrow + 3H_2O$.
- Однокислотная щелочь + $H_2S(H_2SO_4)$:
 $2NaOH + H_2S = Na_2S + 2H_2O$;
 $NaOH + H_2S = NaHS + H_2O$.
- Двухкислотная щелочь + $H_2S(H_2SO_4)$:
 $Ca(OH)_2 + H_2S = CaS + 2H_2O$;
 $Ca(OH)_2 + 2H_2S = Ca(HS)_2 + 2H_2O$.
- Однокислотная щелочь + H_3PO_4 :
 $KOH + H_3PO_4 = KH_2PO_4 + H_2O$;
 $2KOH + H_3PO_4 = K_2HPO_4 + 2H_2O$;
 $3KOH + H_3PO_4 = K_3PO_4 + 3H_2O$.
- Двухкислотная щелочь + H_3PO_4 :
 $Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O$;
 $Ca(OH)_2 + H_3PO_4 = CaHPO_4 \downarrow + 2H_2O$;
 $3Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$.
- Аммиак (или его водные растворы) + $CO_2(SO_2, P_2O_5)$:
 $2NH_3 + H_2O + CO_2 = (NH_4)_2CO_3$;
 $NH_3 \cdot H_2O + CO_2 = NH_4HCO_3$.
- Аммиак (или его водные растворы) + $H_3PO_4(H_2SO_4, H_2S)$:
 $NH_3 + H_3PO_4 = NH_4H_2PO_4$;
 $2NH_3 + H_3PO_4 = (NH_4)_2HPO_4$;
 $2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$;
 $NH_3 + H_2SO_4 = NH_4HSO_4$.

Кроме того, кислые соли образуются в реакциях средних солей с кислотами, например:



а средние — в реакциях кислых солей со щелочью:



20.2. ОБРАЗОВАНИЕ СОЛИ ОДНОГО СОСТАВА

Рассмотрим конкретный пример.

Пример 20.1. Через раствор NaOH объемом 381 см^3 ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 5,0 \%$ пропустили углекислый газ, полученный при сжигании $6,0 \text{ г}$ углерода в избытке кислорода. Рассчитайте состав и массовую долю соли в полученном растворе.

Дано:

$$V(\text{р-ра NaOH}) = 381 \text{ см}^3$$

$$\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$$

$$w(\text{NaOH}) = 5,0 \%$$

$$m(\text{C}) = 6,0 \text{ г}$$

$$w(\text{соли}) = ?$$

Решение:

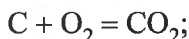
Наша задача состоит в том, чтобы найти количества (моль) NaOH и CO_2 из уравнений (20.1) и (20.2) выбрать то, по которому протекает реакция.

Находим [$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$]:

$$m(\text{р-ра NaOH}) = V \cdot \rho = 381 \cdot 1,05 = 400 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaOH}) = m(\text{р-ра}) \cdot w = 400 \cdot 0,05 = 20 \text{ (г)};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M} = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ (моль)};$$



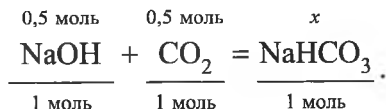
$$n(\text{C}) = \frac{m}{M} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{C}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Находим мольное отношение NaOH и CO_2 :

$$n(\text{NaOH}) : n(\text{CO}_2) = 0,5 : 0,5 = 1 : 1.$$

Реакция протекает по уравнению (20.2), образуется кислая соль:



Находим массу кислой соли [$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль}$]:

$$x = n(\text{NaHCO}_3) = 0,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = n \cdot M = 0,5 \cdot 84 = 42 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массу конечного раствора. Очевидно, что она равна сумме масс исходного раствора щелочи (400 г) и поглощенного CO_2 [$m(\text{CO}_2) = n \cdot M = 0,5 \cdot 44 = 22 \text{ г}$]:

$$m(\text{р-ра NaHCO}_3) = 400 + 22 = 422 \text{ (г)}.$$

Получаем:

$$w(\text{NaHCO}_3) = \frac{m(\text{NaHCO}_3)}{m(\text{р-ра NaHCO}_3)} = \frac{42}{422} = 0,0995 \text{ (9,95 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{NaHCO}_3) = 9,95 \%$.

Пример 20.2. Оксид фосфора(V) массой 7,1 г полностью растворили в растворе гидроксида калия массой 56 г с массовой долей щелочи 20 %. Найдите состав и массовую долю соли в полученном растворе.

Дано:

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = 7,1 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра KOH}) = 56 \text{ г}$$

$$w(\text{KOH}) = 20 \%$$

$$w(\text{соли}) = ?$$

Решение:

$$M(\text{P}_2\text{O}_5) = 142 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{m(\text{P}_2\text{O}_5)}{M(\text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{7,1}{142} = 0,05 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{KOH}) = m(\text{р-ра KOH}) \cdot w(\text{KOH}) = 56 \cdot 0,2 = 11,2 \text{ (г)};$$

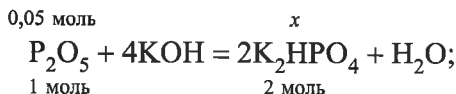
$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{11,2}{56} = 0,2 \text{ (моль)}.$$

Согласно данным задачи, находим отношение химических количеств щелочи и оксида:

$$n(\text{KOH}) : n(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,2 : 0,05 = 4 : 1.$$

Как видим, такое отношение отвечает стехиометрическим коэффициентам для КОН и P_2O_5 в уравнении (20.3). Следовательно, образуется гидрофосфат калия.

Находим массу и массовую долю соли в растворе [$M(K_2HPO_4) = 174$ г/моль]:



$$x = n(K_2HPO_4) = \frac{0,05 \cdot 2}{1} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$m(K_2HPO_4) = n(K_2HPO_4) \cdot M(K_2HPO_4) = 0,1 \cdot 174 = 17,2 \text{ (г)};$$

$$m(\text{р-ра } K_2HPO_4) = m(\text{р-ра } KOH) + m(P_2O_5) = 56 + 7,1 = 63,1 \text{ (г)};$$

$$\omega(K_2HPO_4) = \frac{m(K_2HPO_4)}{m(\text{р-ра } K_2HPO_4)} = \frac{17,2}{63,1} = 0,276 \text{ (27,6\%)}.$$

Ответ: $\omega(K_2HPO_4) = 27,6 \%$.

В некоторых случаях вывод о составе соли можно сделать из условия задачи.

Запомним. В избытке щелочи (или водного раствора аммиака) образуется *средняя* соль, а в избытке кислоты или кислотного оксида — *кислая* соль.

Такая фраза, как «в раствор NaOH пропускали CO_2 до прекращения реакции», однозначно указывает на образование кислой соли $NaHCO_3$, а выражение «сернистый газ пропустили в избыток раствора КОН» — на образование средней соли K_2SO_3 .

В предлагаемых для самостоятельного решения задачах № 1—8 образуется только одна соль (кислая или средняя), которую вы устанавливаете, как показано в примерах (20.1)

и (20.2), с помощью уравнений, приведенных в начале главы. В задачах № 6—8 из двух вариантов (кислая или средняя соль) надо выбрать тот, который удовлетворяет условию задачи.

1. Газ, полученный при сжигании метана объемом (н. у.) $44,8 \text{ дм}^3$, пропустили в раствор NaOH объемом 500 см^3 ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 25 \%$. Определите состав и массовую долю соли в полученном растворе.
2. Фосфор массой $6,2 \text{ г}$ сожгли в избытке кислорода, образовавшийся оксид фосфора(V) поглотили раствором NaOH массой 160 г с $w(\text{NaOH}) = 5,0 \%$. Рассчитайте состав и массовую долю соли в конечном растворе.
3. Газ, выделившийся при нагревании нитрата аммония массой $16,0 \text{ г}$ с избытком KOH , пропустили в раствор, содержащий H_3PO_4 массой $19,6 \text{ г}$. Найдите состав и массу полученной соли.
4. Газ (н. у.), полученный при обжиге FeS_2 массой 120 г в избытке кислорода, был поглощен раствором NaOH объемом $285,7 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 40 \%$. Определите состав и массовую долю соли в полученном растворе.
5. Оксид фосфора(V), полученный из фосфата кальция массой $7,75 \text{ г}$, пропущен в раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ объемом $3,7 \text{ дм}^3$ ($\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$) с массовой долей щелочи $0,1 \%$. Найдите массу полученной соли.
6. Какой минимальный объем (н. у.) сернистого газа надо пропустить через 200 см^3 раствора с $w(\text{NaOH}) = 0,1 \%$ ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$), чтобы получить кислую соль?
7. Какой максимальный объем (н. у.) углекислого газа может поглотить раствор объемом 25 см^3 с $w(\text{NaOH}) = 25 \%$ ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$)?
8. Каким минимальным объемом раствора с $w(\text{KOH}) = 20 \%$ ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$) можно поглотить весь CO_2 , полученный при восстановлении Fe_3O_4 массой $23,2 \text{ г}$ оксидом углерода(II)?

20.3. ОБРАЗОВАНИЕ СМЕСИ СОЛЕЙ

Решим на первый взгляд несложную задачу.

Пример 20.3. В раствор NaOH объемом $72,1 \text{ см}^3$ ($\rho = 1,33 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 29,2 \%$ пропустили сероводород объемом (н. у.) $11,2 \text{ дм}^3$. Найдите массовые доли веществ в конечном растворе.

Дано:

$$V(\text{р-ра NaOH}) = 72,1 \text{ см}^3$$

$$\rho = 1,33 \text{ г/см}^3$$

$$w(\text{NaOH}) = 29,2 \%$$

$$V(\text{H}_2\text{S}) = 11,2 \text{ дм}^3$$

$$w(\text{продуктов}) \text{ — ?}$$

Решение:

Находим химические количества:

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

$$= 72,1 \cdot 1,33 = 95,9 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaOH}) = m(\text{р-ра}) \cdot w =$$

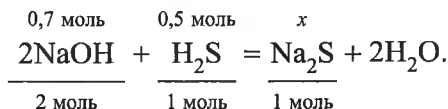
$$= 95,9 \cdot 0,292 = 28 \text{ (г)};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{28}{40} = 0,7 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{V}{V_m} = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ (моль)}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



Поскольку $\frac{0,7}{2} < \frac{0,5}{1}$, делаем вывод: сероводород взят

с избытком, массу Na_2S находим по NaOH:

$$\frac{0,7}{2} = \frac{x}{1}; x = n(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{0,7 \cdot 1}{2} = 0,35 \text{ (моль)};$$

$$M(\text{Na}_2\text{S}) = 78 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,35 \cdot 78 = 27,3 \text{ (г)}.$$

Другое вещество, которое находится в растворе, — это непрореагировавший сероводород.

В реакцию с NaOH вступил H_2S количеством $0,7/2 = 0,35$ (моль), следовательно, количество и масса избыточного сероводорода составляют [$M(\text{H}_2\text{S}) = 34$ г/моль]:

$$n(\text{H}_2\text{S})_{\text{непрореаг.}} = 0,5 - 0,35 = 0,15 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{H}_2\text{S})_{\text{непрореаг.}} = 0,15 \cdot 34 = 5,1 \text{ (г).}$$

Находим массу конечного раствора. Она равна сумме масс исходного раствора щелочи и всего поглощенного сероводорода:

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = m(\text{р-ра NaOH})_{\text{исх.}} + m(\text{H}_2\text{S}).$$

Рассчитываем

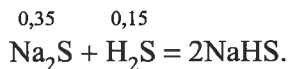
$$m(\text{H}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 34 = 17 \text{ (г);}$$

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = 95,9 + 17 = 112,9 \text{ г;}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{S})}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{27,3}{112,9} = 0,242 \text{ (24,2 \%);}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{S}) = \frac{m(\text{H}_2\text{S})}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{17}{112,9} = 0,151 \text{ (15,1 \%)}.$$

Если вы думаете, что задача решена правильно, должны вас разочаровать (верно найдена только масса конечного раствора). Ошибка состоит в том, что мы не учли реакцию средней соли с избыточным сероводородом, в результате которой образуется кислая соль (см. уравнение (20.4)):



В этом случае реагируют 0,35 моль Na_2S и избыточный H_2S количеством 0,15 моль, в избытке находится сульфид натрия.

Видно, что в данной реакции образуется $2 \cdot 0,15 = 0,3$ моль NaHS , а в избытке остается Na_2S количеством $0,35 - 0,15 = 0,2$ (моль).

Находим массы Na_2S (непрореаг.) и NaHS [$M(\text{NaHS}) = 56$ г/моль]:

$$m(\text{Na}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,2 \cdot 78 = 15,6 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaHS}) = n \cdot M = 0,3 \cdot 56 = 16,8 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массовые доли солей:

$$w(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{15,6}{112,9} = 0,138 \text{ (13,8 \%)};$$

$$w(\text{NaHS}) = \frac{16,8}{112,9} = 0,149 \text{ (14,9 \%)}.$$

Это правильное решение.

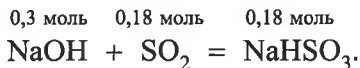
Ответ: $w(\text{Na}_2\text{S}) = 13,8 \%$; $w(\text{NaHS}) = 14,9 \%$.

Возникает закономерный вопрос: а существует ли общий подход к решению задач на определение состава солей в обменных реакциях?

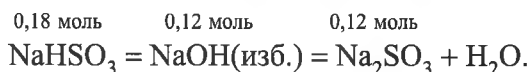
Таких подходов разработано два. Ниже рассматривается только один из них, по мнению автора, — наиболее рациональный (второй способ показан в Приложении 9.)

Главное положение данного подхода состоит в том, что *первое уравнение реакции между веществами записывается так, чтобы мольное отношение реагентов было 1 : 1*. Почему? Дело в том, что в этом случае легко устанавливается избыток—недостаток и характер дальнейшего протекания процесса, а вычисления проводятся непосредственно под формулами веществ.

Например, взаимодействуют NaOH химическим количеством 0,3 моль и SO_2 химическим количеством 0,18 моль (мольное отношение $0,3 : 0,18 = 1,67 : 1$ не удовлетворяет ни одному из уравнений (20.1) или (20.2)). Первое уравнение реакции запишем так (мольное отношение реагентов равно 1:1):

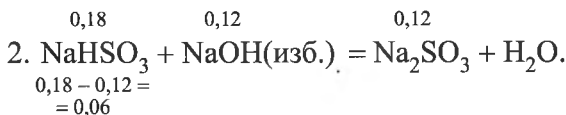
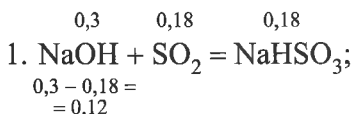


Очевидно, что щелочь — в избытке ($0,3 > 0,18$), расчет ведем по SO_2 . Образуется $0,18$ моль NaHSO_3 , а в избытке остается $0,3 - 0,18 = 0,12$ моль NaOH . Обратите особое внимание на дальнейшую судьбу избыточной щелочи. В данном случае кислая соль реагирует с непрореагировавшей щелочью, протекает вторая реакция и образуется средняя соль:



В этой реакции в недостатке находится уже NaOH , образуется $0,12$ моль средней соли Na_2SO_3 , и $0,18 - 0,12 = 0,06$ моль кислой соли NaHSO_3 останется непрореагировавшей. На этой стадии химический процесс заканчивается, так как вся щелочь израсходовалась. В итоге в растворе будет находиться смесь средней и кислой солей химическим количеством соответственно $0,12$ моль и $0,06$ моль.

Показанные вычисления рекомендуется проводить непосредственно под формулами веществ (так мы в дальнейшем и будем делать), для краткости опуская после цифр слово «моль»:



Результат: $0,12$ моль Na_2SO_3 и $0,06$ моль NaHSO_3 .

Кратко рассмотрим применение описанного метода к различным случаям взаимодействия веществ.

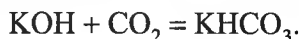
- *Однокислотная щелочь* (NaOH , KOH и т. д.) + $\text{CO}_2(\text{SO}_2)$.

Пример 20.4. В растворе с KOH химическим количеством $0,2$ моль реагирует CO_2 химическим количеством (моль):

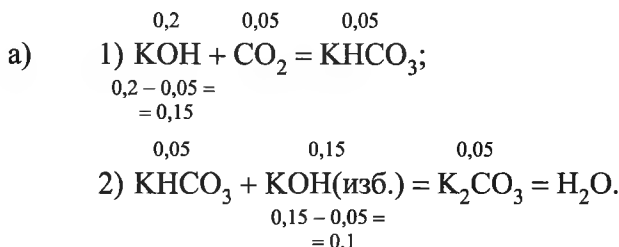
а) 0,05; б) 0,1; в) 0,15; г) 0,3. Для всех случаев рассчитайте состав и химическое количество веществ в конечном растворе.

Решение:

В данном случае первое уравнение реакции запишем так:

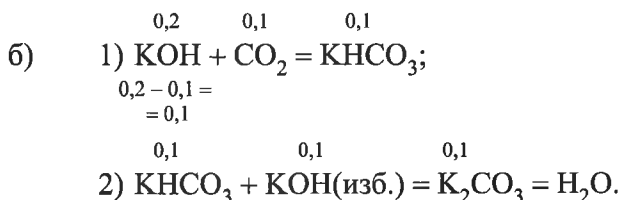


Проводим расчеты:

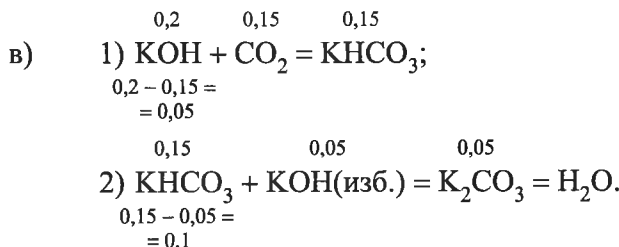


Дальше реакция не протекает, так как K_2CO_3 и KOH между собой не реагируют.

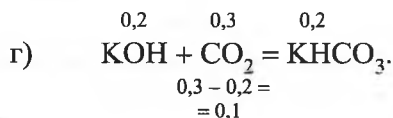
Ответ: 0,05 моль K_2CO_3 и 0,1 моль KOH .



Ответ: 0,1 моль K_2CO_3 .



Ответ: 0,05 моль K_2CO_3 и 0,1 моль KHSO_3 .



Избыточный CO_2 с кислой солью не реагирует.

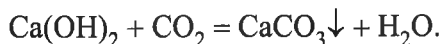
Ответ: 0,2 моль KHCO_3 и 0,1 моль CO_2 , который частично превращается в кислоту H_2CO_3 .

• *Двухкислотная щелочь* $(\text{Ca}(\text{OH})_2, \text{Ba}(\text{OH})_2) + \text{CO}_2(\text{SO}_2)$.

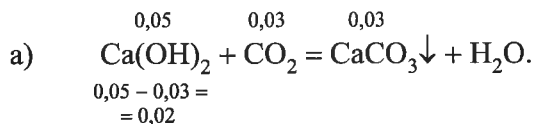
Пример 20.5. В водном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ химическим количеством 0,05 моль реагирует с CO_2 химическим количеством (моль): а) 0,03; б) 0,07; в) 0,12. Рассчитайте состав и химическое количество полученных веществ.

Решение:

В данном случае первая химическая реакция запишется так:

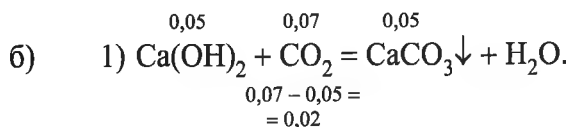


Проводим расчеты:

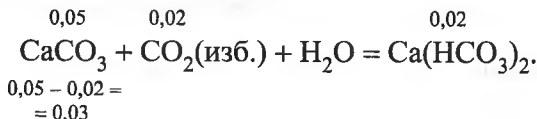


На этом химический процесс останавливается, так как CaCO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ между собой не взаимодействуют. В растворе будет находиться 0,02 моль избыточного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а в осадок выпадет 0,03 моль CaCO_3 .

Ответ: 0,02 моль $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и 0,03 моль CaCO_3 .

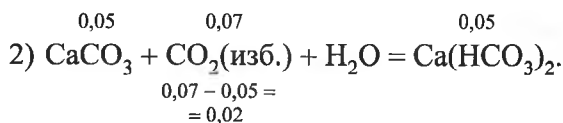
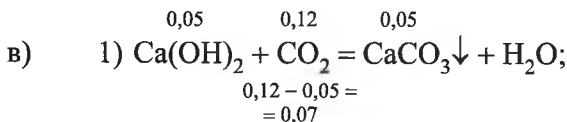


- 2) в водном растворе CaCO_3 реагирует с углекислым газом, в результате чего осадок растворяется (гидрокарбонаты и гидросульфаты растворимы в воде):



Как видим, осадок растворился не полностью.

Ответ: 0,02 моль $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и 0,03 моль CaCO_3 .



При таком мольном соотношении осадок CaCO_3 полностью растворился с образованием кислой соли.

Ответ: 0,05 моль $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и 0,02 моль CO_2 .

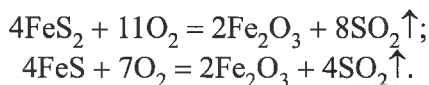
Учтите, что при нахождении массы конечного раствора для пункта б) из суммы масс CO_2 ($0,07 \cdot 44 = 3,08$ г) и исходного раствора щелочи следует вычесть массу избыточного CaCO_3 ($0,03 \cdot 100 = 3$ г):

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = m(\text{CO}_2) + m(\text{р-ра } \text{Ca}(\text{OH})_2)_{\text{исх.}} - m(\text{CaCO}_3)_{\text{изб.}}$$



9. Углекислый газ объемом $1,568 \text{ дм}^3$ (н. у.) пропускают через раствор, содержащий 3,2 г гидроксида натрия. Определите состав и химические количества полученных солей.

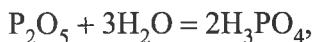
10. Через суспензию, содержащую 7,4 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$, пропустили 8 дм³ (н. у.) газовой смеси, содержащей 39,2 % углекислого газа по объему. Найдите химическое количество полученного карбоната кальция.
11. Полностью сожгли бутан объемом (н. у.) 5,6 дм³ и полученный газ пропустили в раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$ массой 520 г с массовой долей щелочи 19,7 %. Рассчитайте массовую долю вещества в полученном растворе.
12. Газ, полученный действием избытка серной кислоты на раствор K_2CO_3 объемом 36,6 см³ ($\rho = 1,414 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 40 \%$, пропустили в раствор, содержащий $\text{Ca}(\text{OH})_2$ массой 7,4 г. Определите массу образовавшегося осадка.
13. Газ, полученный при полном обжиге в избытке кислорода смеси пирита и сульфида $\text{Fe}(\text{II})$ массой 20,8 г, пропустили через раствор гидроксида калия массой 200 г и получили раствор с массовой долей средней соли 21,63 %. Найдите массовые доли веществ в исходной смеси, учитывая, что кислая соль не образовалась. Уравнения обжига:



14. Продукты полного сгорания 4,48 дм³ сероводорода (н. у.) в избытке кислорода поглощены раствором NaOH объемом 53 см³ ($w = 16 \%$, $\rho = 1,18 \text{ г/см}^3$). Найдите массовые доли веществ в полученном растворе и массу осадка, который выделится при обработке полученного раствора избытком гидроксида бария.

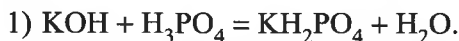
• *Однокислотная щелочь* + P_2O_5 .

Настоятельно рекомендуем оксид фосфора(V) перевести в фосфорную кислоту:

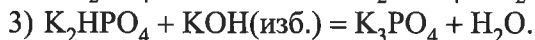
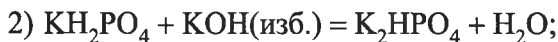


потому что уравнения реакций гораздо удобнее записывать с формулой H_3PO_4 , чем с формулой P_2O_5 (кроме того, это правильное и с химической точки зрения: в водном растворе P_2O_5 превращается в H_3PO_4).

В этом случае ряд последовательных реакций выглядит так:



Если H_3PO_4 в избытке, процесс прекращается. В избытке щелочи реакции продолжают до полного исчезновения одного из реагентов:



В результате можно получить:

смесь KH_2PO_4 и H_3PO_4 ;

смесь K_2HPO_4 и KH_2PO_4 ;

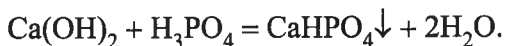
смесь K_2HPO_4 и K_3PO_4 ;

смесь K_3PO_4 и KOH .

Конечно, при соответствующем мольном соотношении возможны случаи образования только одной соли: KH_2PO_4 , K_2HPO_4 или K_3PO_4 .

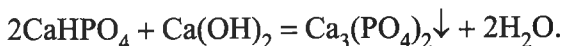
• *Двухкислотная щелочь* + P_2O_5 .

С учетом образования H_3PO_4 уравнение первой реакции запишем так:



Дальнейшие химические превращения зависят от того, что находится в избытке.

В избытке щелочь:



В зависимости от мольного соотношения реагентов в этой реакции может образоваться: а) только $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; б) смесь CaHPO_4 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; в) смесь $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В избытке кислота:



Могут образоваться: а) только $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; б) смесь CaHPO_4 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; в) смесь H_3PO_4 и $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Рассмотрим конкретные примеры.

Пример 20.6. К раствору фосфорной кислоты массой 138 г с массовой долей ее 25 % добавили оксид калия массой 41,4 г. Рассчитайте массовые доли солей в полученном растворе.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{H}_3\text{PO}_4) = 138 \text{ г}$$

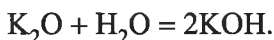
$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 25 \%$$

$$m(\text{K}_2\text{O}) = 41,4 \text{ г}$$

$$\omega(\text{солей}) = ?$$

Решение:

Удобно записывать уравнение реакции с участием не K_2O , а KOH , который образуется при взаимодействии оксида калия с водой:



Находим химическое количество щелочи:

$$M(\text{K}_2\text{O}) = 94 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{K}_2\text{O}) = \frac{m(\text{K}_2\text{O})}{M(\text{K}_2\text{O})} = \frac{41,4}{94} = 0,44 \text{ (моль)}.$$

Из уравнения реакции

$$n(\text{KOH}) = 2n(\text{K}_2\text{O}) = 0,88 \text{ моль}.$$

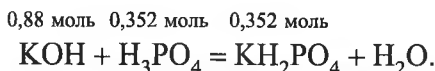
Рассчитываем химическое количество кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m(\text{р-ра } \text{H}_3\text{PO}_4) \cdot \omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 138 \cdot 0,25 = 34,5 \text{ (г)};$$

$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ г/моль};$$

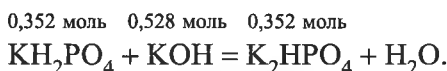
$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{34,5}{98} = 0,352 \text{ (моль)}.$$

Записываем уравнение реакции при мольном отношении реагентов 1 : 1:



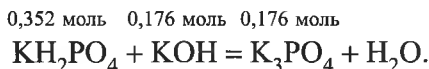
Как видим, щелочь взята с избытком: образовалось 0,352 моль KH_2PO_4 , а $0,88 - 0,352 = 0,528$ (моль) KOH осталось в избытке.

Известно, что кислые соли реагируют со щелочами. Записываем второе уравнение опять же для мольного отношения 1 : 1:



Находим, что образовалось 0,352 моль K_2HPO_4 , а $0,528 - 0,352 = 0,176$ (моль) KOH осталось в избытке.

Протекает третья реакция:



Продукты реакции:

0,176 моль K_3PO_4 и $0,352 - 0,176 = 0,176$ (моль) K_2HPO_4 .

Находим массовые доли этих солей:

$$\begin{aligned} M(\text{K}_3\text{PO}_4) &= 212 \text{ г/моль}; \quad M(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 174 \text{ г/моль}; \\ m(\text{K}_3\text{PO}_4) &= n(\text{K}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0,176 \cdot 212 = 37,3 \text{ (г)}; \\ m(\text{K}_2\text{HPO}_4) &= n(\text{K}_2\text{HPO}_4) \cdot M(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 0,176 \cdot 174 = 30,6 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Очевидно, что:

$$\begin{aligned} m(\text{p-ра})_{\text{конечн.}} &= m(\text{p-ра H}_3\text{PO}_4) + m(\text{K}_2\text{O}); \\ m(\text{p-ра})_{\text{конечн.}} &= 138 + 41,4 = 179,4 \text{ (г)}; \end{aligned}$$

$$w(\text{K}_3\text{PO}_4) = \frac{37,3}{179,4} = 0,208 \text{ (20,8 \%)};$$

$$w(\text{K}_2\text{HPO}_4) = \frac{30,6}{179,4} = 0,171 \text{ (17,1 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{K}_3\text{PO}_4) = 20,8 \%$; $w(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 17,1 \%$.

В данной задаче химическое количество щелочи было достаточно большим по сравнению с кислотой, поэтому образовалась смесь фосфата калия и гидрофосфата калия. Понятно, что при других соотношениях химических количеств реагентов может образоваться только KH_2PO_4 , или смесь KH_2PO_4 и K_2HPO_4 , или же только K_3PO_4 .

Пример 20.7. К раствору $\text{Ba}(\text{OH})_2$ массой 174 г с массовой долей щелочи 15 % добавили P_2O_5 массой 12,8 г. Установите качественный и количественный состав полученной соли (солей).

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{Ba}(\text{OH})_2) = 174 \text{ г}$$

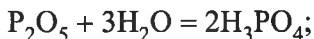
$$w[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 15 \%$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = 12,8 \text{ г}$$

$$w(\text{солей}) = ?$$

Решение:

Находим химическое количество кислоты H_3PO_4 , полученной при взаимодействии P_2O_5 и H_2O :



$$M(\text{P}_2\text{O}_5) = 142 \text{ г/моль}; M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171 \text{ г/моль};$$

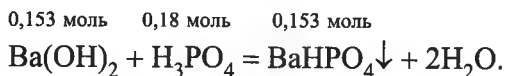
$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{12,8}{142} = 0,09 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2n(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,18 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 174 \cdot 0,15 = 26,1 \text{ (г)};$$

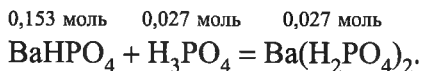
$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{26,1}{171} = 0,153 \text{ (моль)}.$$

Записываем уравнение реакции между H_3PO_4 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$ при мольном отношении реагентов 1 : 1:



Кислота взята с избытком, поэтому образовался BaHPO_4 химическим количеством 0,153 моль и не прореагировала кислота химическим количеством $0,18 - 0,153 = 0,027$ (моль).

Известно, что гидрофосфаты могут реагировать с H_3PO_4 , превращаясь в дигидрофосфаты:



Легко устанавливаем, что образовался дигидрофосфат бария химическим количеством 0,027 моль и остался в избытке гидрофосфат бария химическим количеством $0,153 - 0,027 = 0,126$ (моль).

Ответ: 0,027 моль $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; 0,126 моль BaHPO_4 .

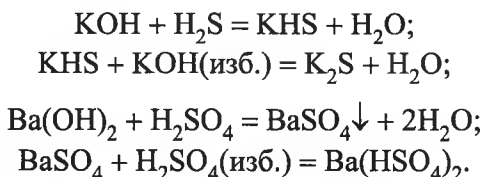
Обратите внимание: химические реакции в растворах протекают до полного расходования одного из реагентов — кислоты или щелочи.



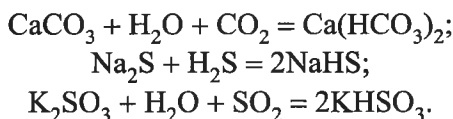
15. Смешали растворы, содержащие 5,88 г H_3PO_4 и 8,4 г КОН. Определите состав и химическое количество полученных солей.
16. Реагируют 0,05 моль P_2O_5 и 0,08 моль NaOH. Найдите состав и химическое количество полученной соли.
17. Определите состав и химическое количество солей, образовавшихся при добавлении к раствору, содержащему 32 г NaOH, оксида фосфора(V) массой 42,6 г.
18. Определите состав и массовую долю соли в растворе, полученном при взаимодействии 13,77 г BaO со 100 см³ раствора с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 16,18\%$ ($\rho = 1,09$ г/см³).

19. К насыщенному раствору $\text{Ba}(\text{OH})_2$ массой 10,0 г (растворимость щелочи 3,89 г на 100 г воды) прибавили 0,500 см³ раствора с молярной концентрацией H_3PO_4 6,00 моль/дм³. Найдите химические количества (ммоль) полученных солей бария.

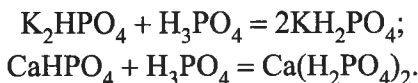
По аналогии с H_3PO_4 можно записать уравнения химических реакций для других кислот. Например:



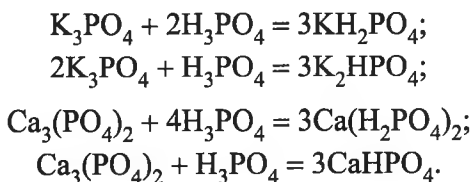
Мы уже установили, что средние соли могут реагировать с кислотами:



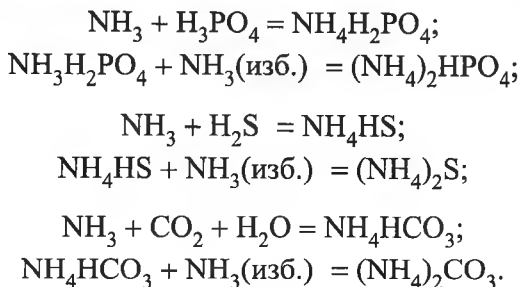
Кроме того, гидрофосфаты под действием H_3PO_4 превращаются в дигидрофосфаты:



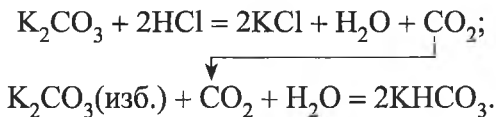
Фосфаты под действием H_3PO_4 могут превращаться в гидро- или дигидрофосфаты. К сожалению, в этом случае не всегда удастся написать первое уравнение реакции с мольным отношением реагентов 1 : 1:



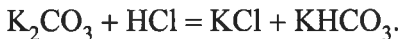
Уравнения реакций с участием аммиака отличаются некоторой специфичностью:



Следует иметь в виду, что кислые соли могут образовываться не только в реакциях средних солей со «своими» кислотами (т. е. кислотами, остатки которых входят в состав солей), но и с «чужими» кислотами. Например, если в реакции между K_2CO_3 и HCl соль взята с избытком, возможно протекание реакций:

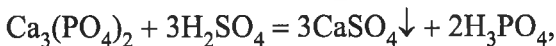


Первое уравнение удобно записать так:

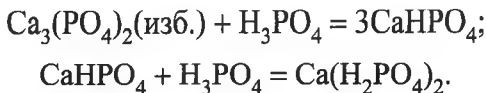


В результате в растворе могут присутствовать три соли (KCl , KHCO_3 и K_2CO_3) или их попарные сочетания.

Еще пример. Если в реакции, уравнение которой



в избытке находится фосфат кальция, то процесс протекает дальше с образованием или одной кислой соли, или их смеси:



- 20.** Сероводород объемом $11,2 \text{ дм}^3$ (н. у.) пропускают через раствор, содержащий 40 г KOH . Найдите состав и массы полученных веществ.
- 21.** Хлорид натрия массой 117 г обработали при нагреве концентрированной серной кислотой, содержащей $147 \text{ г H}_2\text{SO}_4$. Определите химическое количество солей в смеси после реакции.
- 22.** Аммиак объемом $8,96 \text{ дм}^3$ (н. у.) пропустили через 250 г раствора с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 10 \%$. Определите состав и химические количества полученных солей.
- 23.** В растворе массой 200 г с массовой долей дигидрофосфата аммония 23% пропущен аммиак, полученный при взаимодействии $10,7 \text{ г NH}_4\text{Cl}$ с избытком Ca(OH)_2 . Определите массовые доли солей в полученном растворе.
- 24.** Смесь K_3PO_4 и P_2O_5 массой $14,15 \text{ г}$, в которой $w(\text{P}) = 21,91 \%$, растворили в воде. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе после завершения всех реакций.
- 25.** В раствор Na_2CO_3 объемом 500 см^3 ($\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 6,145 \%$ пропустили HBr объемом (н. у.) $11,2 \text{ дм}^3$. Определите массовые доли веществ в конечном растворе. (Углекислый газ из раствора не выделялся.)
- 26.** К смеси K_2HPO_4 и KH_2PO_4 массой $2,0 \text{ г}$, в которой $w(\text{P}) = 20 \%$, добавили 20 г раствора H_3PO_4 с массовой долей кислоты $2,0 \%$. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.
- 27.** Установите химические количества солей, которые образуются в реакции $0,05 \text{ моль Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $0,12 \text{ моль H}_2\text{SO}_4$.

ГЛАВА 21

Кристаллогидраты

Кристаллогидраты (Кг) — твердые вещества (как правило, соли, но не только), в состав которых входит вода. Такую воду называют *кристаллизационной*. Состав Кг представляют формулой соли, указывая через точку число молекул воды: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и т. д.

В условии задачи состав Кг может указываться с использованием греческих числительных:

H_2O — моногидрат;

$2\text{H}_2\text{O}$ — дигидрат;

$3\text{H}_2\text{O}$ — тригидрат;

$5\text{H}_2\text{O}$ — пентагидрат;

$6\text{H}_2\text{O}$ — гексагидрат;

$7\text{H}_2\text{O}$ — гептагидрат;

$10\text{H}_2\text{O}$ — декагидрат.

Например, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — декагидрат карбоната натрия.

Кристаллогидраты сульфатов металлов называют купоросами: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — медный купорос, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — железный купорос. Примеры технических названий других Кг:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — гипс;

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — горькая (английская) соль;

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — глауберова соль (мирабилит);

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — кристаллическая сода.

Молярная масса Кг равна сумме молярных масс безводной соли и воды с учетом химического количества воды в формульной единице Кг; например:

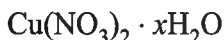
$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = M(\text{Na}_2\text{CO}_3) + 10M(\text{H}_2\text{O});$$
$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 106 + 10 \cdot 18 = 286 \text{ (г/моль)}.$$

Рассмотрим пример решения задачи на определение формулы Кг.

Пример 21.1. Массовая доля воды в составе кристаллогидрата $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ равна 22,31 %. Определите формулу Кг.

Дано:

Кг состава



$$w(\text{H}_2\text{O}) = 22,31 \%$$

Формула Кг — ?

Решение:

Используем формулу:

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{N(\text{H}_2\text{O}) \cdot M_r(\text{H}_2\text{O})}{M_r[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}]}$$

Находим:

$$M_r[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}] = 188 + 18x;$$

$$0,2231 = \frac{x \cdot 18}{188 + 18x};$$

$$x = 3.$$

Ответ: формула Кг — $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

- 
1. Массовая доля безводной соли в кристаллогидрате $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ равна 84,2 %. Установите формулу Кг.
 2. Массовая доля атомов кислорода в кристаллогидрате $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ равна 71,3 %. Найдите число молекул H_2O в составе формульной единицы Кг.
 3. В кристаллогидрате $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ $w(\text{H}) = 6,316 \%$. Установите формулу Кг.

В задачах с участием кристаллогидратов расчеты можно проводить как «по массам», так и «по молям». В первом случае под формулами веществ в стехиометрической схеме проставляют массы (с учетом химического количества), а над

формулами — массы из условия задачи. Покажем два способа расчетов на конкретном примере.

Пример 21.2. Рассчитайте массу кристаллизационной воды в составе медного купороса массой 10,0 г.

Дано: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 10,0 \text{ г}$ $m(\text{H}_2\text{O}) = ?$	Решение: $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = M(\text{CuSO}_4) + 5M(\text{H}_2\text{O});$ $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль};$ $M(\text{CuSO}_4) = 160 + 5 \cdot 18 = 250 \text{ (г/моль)}.$
--	---

● «По массам»

$$\frac{\overset{10,0 \text{ г}}{1\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{\underset{\substack{n = 1 \text{ моль} \\ m = 1 \cdot M(\text{Kr}) \\ m = 250 \text{ г}}}{}} \rightarrow \frac{\overset{x \text{ г}}{5\text{H}_2\text{O}}}{\underset{\substack{n = 5 \text{ моль} \\ m = 5 \cdot M(\text{H}_2\text{O}) \\ m = 90 \text{ г}}}{}};$$

$$x = m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{10 \cdot 90}{250} = 3,6 \text{ (г)}.$$

● «По молям»

$$\frac{\overset{0,04 \text{ моль}}{1\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{\underset{1 \text{ моль}}{}} \rightarrow \frac{\overset{x}{5\text{H}_2\text{O}}}{\underset{5 \text{ моль}}{}};$$

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{10,0}{250} = 0,04 \text{ (моль)};$$

$$\frac{0,04}{1} = \frac{x}{5};$$

$$x = n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5 \cdot 0,04}{1} = 0,2 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M;$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 \text{ г}$.

Массу кристаллизационной воды следует учитывать при образовании растворов с использованием Кг.

Пример 21.3. В воде массой 78,2 г растворили кристаллическую соду массой 10,8 г. Рассчитайте $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ в полученном растворе.

Дано:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 78,2 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \\ = 10,8 \text{ г}$$

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Масса конечного раствора равна сумме масс H_2O и Кг:

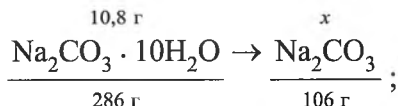
$$m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3) = 78,2 + 10,8 = 89,0 \text{ (г)};$$

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

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}.$$

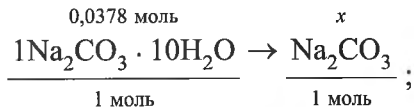
Рассчитываем массу безводной соли в Кг.

- «По массам»



$$x = m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{10,8 \cdot 106}{286} = 4,0 \text{ (г)}.$$

- «По молям»



$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{10,8}{286} = 0,0378 \text{ (моль)};$$

$$\frac{0,0378}{1} = \frac{x}{1};$$

$$x = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,0378 \text{ моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n \cdot M = 106 \cdot 0,0378 = 4,0 \text{ (г)};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{p-па Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{4,0}{89,0} = 0,0449 \text{ (4,49 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 4,49 \%$.

Пример 21.4. Какую массу медного купороса надо растворить в воде объемом $56,7 \text{ см}^3$, чтобы получить раствор с $w(\text{CuSO}_4) = 5,2 \%$?

Дано:

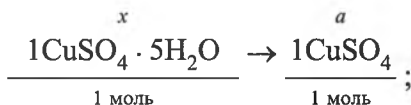
$$V(\text{H}_2\text{O}) = 56,7 \text{ см}^3$$

$$w(\text{CuSO}_4) = 5,2 \%$$

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

Решение:

Данная задача обратна предыдущей. Пусть необходимое химическое количество Kr равно x (моль). По стехиометрической схеме находим химическое количество безводной соли:



$$a = n(\text{CuSO}_4) = x(\text{моль}); M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{CuSO}_4) = n \cdot M = x \cdot 160 \text{ (г)};$$

$$m(\text{p-па CuSO}_4) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(Kr);$$

$$m(\text{p-па CuSO}_4) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) + m(Kr);$$

$$m(\text{p-па CuSO}_4) = 56,7 \cdot 1 + 160x = 56,7 + 160x.$$

Для массовой доли безводной соли имеем:

$$0,052 = \frac{x \cdot 160}{56,7 + 160x};$$

$$160x = 0,052(56,7 + 160x);$$

$$160x = 2,948 + 8,32x;$$

$$160x - 8,32x = 2,948;$$

$$151,68x = 2,948;$$

$$x = \frac{2,948}{151,68} = 0,0194 \text{ (моль)}.$$

Находим:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,0194 \cdot 250 = 4,85 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 4,85 \text{ (г)}.$

- !**
- Какая масса H_2O потребуется для растворения 14,3 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, если образуется раствор с $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 5,3 \%$?
 - В воде массой 121,8 г растворили 10,7 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Найдите $w(\text{FeSO}_4)$ в полученном растворе.
 - Какую массу кристаллической соды следует растворить в воде объемом 150,6 см³ для получения раствора с $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 6,7 \%$?
 - В растворе массой 25,2 г с $w(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 12,8 \%$ растворили 6,4 г $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Рассчитайте $w(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ в образовавшемся растворе.
 - В какой массе раствора с $w(\text{CuSO}_4) = 7,5 \%$ надо растворить 14,8 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, чтобы получить раствор с $w(\text{CuSO}_4) = 10,6 \%$?
 - Какую массу $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ нужно прибавить к раствору $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ массой 267,5 г с $w\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 8,0 \%$, чтобы получить раствор с $w\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 20,0 \%$?
 - К раствору Na_2SO_4 массой 300 г добавили 20,0 г $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и получили раствор с $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 6,0 \%$. Какова была $w(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ в исходном растворе?
 - Какую массу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ необходимо растворить в воде массой 250 г, чтобы каждый грамм полученного раствора содержал 0,1 г безводной соли?
 - В какой массе воды следует растворить 10,0 г медного купороса, чтобы получить раствор, в каждом грамме которого содержалось бы 0,01 г ионов Cu^{2+} ?
 - Какая масса ионов Ca^{2+} находится в 15 см³ раствора, который в 1 см³ содержит 0,05 г $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$?
 - Какую массу квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ необходимо добавить к раствору массой 1000 г с $w(\text{K}_2\text{SO}_4) = 5,0 \%$, чтобы получить раствор с $w(\text{K}_2\text{SO}_4) = 10,0 \%$?

15. В каком массовом отношении следует соответственно смешать раствор с $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 5,0\%$ и $\text{Кг } \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, чтобы получить раствор с $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2,0\%$?

Рассмотрим примеры решения двух задач на определение формул кристаллогидрата.

Пример 21.5. Кристаллогидрат $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массой 5,16 г растворили в воде и получили раствор массой 78,0 г с $w[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 5,00\%$. Определите формулу кристаллогидрата.

Дано:

$$m[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}] = 5,16 \text{ г}$$

$$m[\text{р-ра } \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 78,0 \text{ г}$$

$$w[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 5,00\%$$

Формула Кг — ?

Решение:

Чтобы найти формулу Кг, надо определить молярное отношение $n[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] : n(\text{H}_2\text{O})$ в составе Кг.

Находим массу безводной соли в растворе:

$$m[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = m(\text{р-ра}) \cdot w = 78 \cdot 0,05 = 3,9 \text{ (г)}.$$

Следовательно, масса H_2O в составе Кг равна:

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{Кг}} = m(\text{Кг}) - m[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3];$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 5,16 - 3,9 = 1,26 \text{ (г)}.$$

Находим химическое количество H_2O и $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; M[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 390 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{1,26}{18} = 0,07 \text{ (моль)};$$

$$n[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = \frac{m}{M} = \frac{3,9}{390} = 0,01 \text{ (моль)}.$$

Отсюда следует:

$$n[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] : n(\text{H}_2\text{O}) = 0,01 : 0,07 = 1 : 7.$$

Формула кристаллогидрата — $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Пример. 21.6. После прокаливания до постоянной массы кристаллогидрата $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массой 12,1 г масса твердого остатка составила 4,0 г. Найдите формулу кристаллогидрата.

Дано:

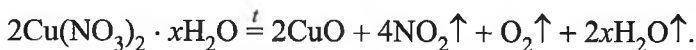
$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}] = 12,1 \text{ г}$$

$$m(\text{тв. остатка}) = 4,0 \text{ г}$$

Формула Кг — ?

Решение:

Записываем уравнение реакции, протекающей при прокаливании Кг:



Твердый остаток — это CuO. Находим химическое количество оксида меди ($M(\text{CuO}) = 80 \text{ г/моль}$):

$$n(\text{CuO}) = \frac{m}{M} = \frac{4,0}{80} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Очевидно, что

$$n[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}] = n(\text{CuO}) = 0,05 \text{ моль}.$$

Тогда

$$M[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}] = \frac{m}{n} = \frac{12,1}{0,05} = 242 \text{ (г/моль)}.$$

Находим:

$$M(\text{Кг}) = M[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] + 5M(\text{H}_2\text{O}) = 188 + 18x = 242 \text{ г/моль};$$

$$x = 3.$$

Формула Кг — $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

16. Кристаллогидрат $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массой 5,38 г растворили в воде объемом 92 см³ и получили раствор с $w(\text{ZnSO}_4) = 3,3 \%$. Определите формулу кристаллогидрата.

17. В кристаллогидрате $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ число атомов О в 1,5 раза больше числа атомов Н. Рассчитайте молярную массу Кг.

18. Установите формулу кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, если при полном его обезвоживании потеря массы составила 48,65 % от массы Кг.
19. При прокаливании до постоянной массы кристаллогидрата $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массой 63,0 г его масса уменьшилась на 16,2 г. Установите формулу Кг.
20. В порции $\text{CH}_3\text{COOK} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ содержится $3,612 \cdot 10^{23}$ атомов С и $1,084 \cdot 10^{24}$ атомов Н. Найдите число атомов О в этой порции кристаллогидрата.
21. В смеси NaCl и $\text{NaBr} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ химические количества этих солей одинаковы, а $w(\text{NaCl}) = 29,6 \%$. Установите формулу Кг.
22. После добавления 5,0 г $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ к 100 г раствора с $w(\text{Bi}(\text{NO}_3)_3) = 40 \%$ массовая доля $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ стала равной 7,69 %. Установите формулу Кг.
23. Магний массой 0,96 г растворили в азотной кислоте и из полученного раствора выделили 10,24 г кристаллогидрата $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Установите формулу Кг.
24. Кристаллогидрат состава $\text{MeBr}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массой 30,0 г растворили в 335 г воды и получили раствор с $w(\text{MeBr}_3) = 6,0 \%$. При добавлении к этому раствору избытка аммиака выпал осадок гидроксида массой 7,725 г. Установите формулу кристаллогидрата.

В экзаменационных заданиях встречаются задачи на определение массовой доли безводной соли, оставшейся в растворе после выпадения в осадок определенной массы кристаллогидрата.

Пример 21.7. Из раствора Na_2CO_3 массой 340 г с $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 23,2 \%$ при охлаждении выпал осадок $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, а $w(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ в растворе после охлаждения стала равной 11,8 %. Рассчитайте массу выпавшего в осадок кристаллогидрата.

Дано:

$$m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3) = 340 \text{ г}$$

$$w_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 23,2 \%$$

$$w_2(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 11,8 \%$$

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

Решение:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

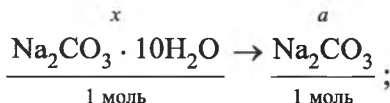
$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{р-ра}) \cdot w = \\ = 340 \cdot 0,232 = 78,88 \text{ (г)}.$$

Обратите внимание. При выпадении в осадок Кг масса раствора уменьшается на массу всего Кг, а масса безводной соли уменьшается только на ту массу Na_2CO_3 , которая входит в состав Кг.

Пусть при охлаждении в осадок выпал Кг количеством x (моль), его масса равна $286 \cdot x$ (г). Тогда масса раствора после охлаждения составит $340 - 286x$.

Находим массу Na_2CO_3 в составе Кг количеством x (моль):



$$a = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = x(\text{моль});$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n \cdot M = x \cdot 106.$$

Тогда в растворе после охлаждения остался карбонат натрия массой $78,8 - 106x$.

Для массовой доли Na_2CO_3 в конечном растворе имеем:

$$0,118 = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \text{ оставшаяся}}{m(\text{р-ра после охлаждения})};$$

$$0,118 = \frac{78,8 - 106x}{340 - x \cdot 286}.$$

Находим:

$$x = 0,535 \text{ моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,535 \cdot 286 = 153 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 153 \text{ г}.$

- !** 25. Раствор Na_2CO_3 массой 640 г с $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 32\%$ охладили, в результате чего в осадок выпал декагидрат карбоната натрия массой 404,4 г. Определите массовую долю соли в оставшемся растворе.
26. Оксид магния, полученный при нагревании MgCO_3 массой 50,4 г, растворили в строго необходимом количестве раствора H_2SO_4 с массовой долей ее 25 %. Полученный раствор охладили, при этом в осадок выпал гептагидрат сульфата магния, а $w(\text{MgSO}_4)$ в образовавшемся растворе стала равной 26,2 %. Рассчитайте массу выпавшего кристаллогидрата.
27. Из раствора массой 500 г с $w(\text{FeSO}_4) = 40\%$ при охлаждении в осадок выпал железный купорос массой 100 г. Какова массовая доля соли в растворе после охлаждения?

ГЛАВА 22

Растворимость

Под растворимостью следует понимать способность растворяться в том или ином растворителе (в дальнейшем в качестве растворителя будем рассматривать только воду).

Задачи на эту тему отличаются некоторой специфичностью, поэтому будет целесообразным рассмотреть их отдельно.

Количественно способность вещества к растворению характеризуется: 1) коэффициентом растворимости s ; 2) массовой долей w его насыщенного водного раствора, т. е. раствора, в котором вещество при данных условиях больше не растворяется.

Коэффициент растворимости (часто говорят просто — растворимость) показывает, какая масса вещества может раствориться в 100 г воды. Его можно найти по формуле:

$$s = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100. \quad (22.1)$$

Массовая доля насыщенного раствора находится обычно следующим образом:

$$w = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} (100 \%) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра}) + m(\text{H}_2\text{O})} (100 \%). \quad (22.2)$$

Обратите внимание на различное значение знаменателя в формулах (22.1) и (22.2): s относится только к массе воды, а w — к суммарной массе воды и вещества. Поэтому всегда $w (\%) < s$.

Между значениями s и w существует связь:

$$w = \frac{s}{100 + s} (100); \quad (22.3)$$

$$s = \frac{100 \cdot w}{1 - w}. \quad (22.4)$$

В выражении (22.4) массовая доля выражена в долях единицы.

Растворимость веществ зависит от температуры, поэтому, указывая значения s и w , следует (если это необходимо) помечать температуру. Например, запись $s^{20}(\text{K}_2\text{SO}_4) = 11,1$ означает, что при температуре 20°C в 100 г воды растворяется сульфат калия массой 11,1 г. Или запись $w^0(\text{K}_3\text{PO}_4) = 44,2\%$ показывает, что массовая доля фосфата калия в его насыщенном при 0°C растворе равна 44,2 %.

Необходимо уметь по значению w находить значение s (и наоборот).

Пример 22.1. В насыщенном (при 60°C) растворе K_2SO_4 массой 500 г содержится соль массой 77 г. Найдите: а) коэффициент растворимости соли; б) массовую долю насыщенного раствора соли.

Дано:

$m(\text{p-ра}) = 500 \text{ г}$

$m(\text{в-ва}) = 77 \text{ г}$

$s(\text{соли}) = ?$

$w(\text{p-ра}) = ?$

Решение:

Используя формулу (22.2), находим w :

$$w = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{p-ра})} = \frac{77}{500} = 0,154 \text{ (15,4 \%)}.$$

Значение s можно найти по-разному.

Вариант 1.

Используем метод рассуждений.

Найдем массу воды в растворе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{в-ва}) = 500 - 77 = 423 \text{ (г)}.$$

Составим пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} \text{в 423 воды} & \xrightarrow{\text{растворяется}} & 77 \text{ K}_2\text{SO}_4; \\ 100 \text{ г} & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & s; \end{array}$$

$$s = \frac{100 \cdot 77}{423} = 18,2 \text{ (г)}.$$

Вариант 2.

Используем формулу (22.4), которая связывает значения w и s :

$$s = \frac{100 \cdot w}{1 - w} = \frac{100 \cdot 0,154}{1 - 0,154} = 18,2 \text{ (г)}.$$

Вариант 3.

Согласно выражению (22.1):

$$s = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100;$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 423 \text{ г (см. вариант 1);}$$

$$s = \frac{77 \cdot 100}{423} = 18,2 \text{ (г)}.$$

Ответ: а) $s = 18,2$; б) $w = 15,4 \%$.

Пример 22.2. Коэффициент растворимости нитрата калия при температуре 20°C равен 307. Какова массовая доля соли в ее насыщенном растворе при этой температуре?

Дано:

$$s^{20}(\text{KNO}_3) = 307$$

$$w^{20}(\text{KNO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

В соответствии с выражением (22.3) получаем:

$$w = \frac{s}{s + 100} = \frac{307}{307 + 100} = 0,754 \text{ (75,4 \%)}.$$

Можно использовать метод рассуждений. При растворении 307 г KNO_3 в 100 г H_2O (именно так трактуется значе-

ние s) получаем раствор массой $307 + 100 = 407$ (г). Тогда по формуле (22.2) находим:

$$w = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} = \frac{307}{407} = 0,754 \text{ (75,4 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{KNO}_3) = 75,4 \%$.

Пример 22.3. Коэффициент растворимости NH_4HCO_3 при 20°C равен 21,7. Какие массы соли и воды необходимо взять для приготовления насыщенного при этой температуре раствора соли массой 300,0 г?

Дано:

$$s(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = 21,7$$

$$m(\text{р-ра NH}_4\text{HCO}_3) = 300,0 \text{ г}$$

$$m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) \text{ — ?}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Решение:

Рассмотрим два варианта решения задачи.

Вариант 1 (с использованием пропорции).

При растворении 21,7 г соли в 100 г H_2O образуется раствор массой $21,7 + 100 = 121,7$ (г).

Составляем и решаем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{в } 121,7 \text{ г раствора} & \xrightarrow{\text{находится}} & 21,7 \text{ г соли;} \\ 300 \text{ г} & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & x; \end{array}$$

$$m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = x = \frac{300 \cdot 21,7}{121,7} = 53,5 \text{ (г)}.$$

Тогда

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = 300 - 53,5 = 246,5 \text{ (г)}.$$

Вариант 2 (с использованием массовой доли).

Находим массовую долю насыщенного раствора NH_4HCO_3 :

$$w = \frac{s}{100 + s} = \frac{21,7}{100 + 21,7} = 0,1783.$$

Тогда

$$m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = m(\text{p-ра}) \cdot w = 300 \cdot 0,1783 = 53,5 \text{ (г)};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = 300 - 53,5 = 246,5 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = 53,5 \text{ (г)}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 246,5 \text{ (г)}$.

Рассмотрим пример решения задачи, связанной с влиянием температуры на растворимость.

Пример 22.4. Коэффициент растворимости NaOH при температурах 0 °C и 25 °C равен соответственно 41,8 и 113. Рассчитайте, какую массу щелочи можно дополнительно растворить при 25 °C в растворе массой 500 г, который был насыщен при 0 °C.

Дано:

$$s^0(\text{NaOH}) = 41,8$$

$$s^{25}(\text{NaOH}) = 113$$

$$m^0(\text{p-ра}) = 500 \text{ г}$$

$$m^{25}(\text{NaOH}) \text{ — ?}$$

Решение:

Задачу удобнее всего решать с использованием массовой доли. Находим:

$$w^0 = \frac{41,8}{41,8 + 100} = 0,295;$$

$$w^{25} = \frac{113}{113 + 100} = 0,531.$$

Находим массу щелочи в растворе массой 500 г, насыщенном при 0 °C:

$$m^0(\text{NaOH}) = m^0(\text{p-ра NaOH}) \cdot w^0(\text{NaOH}) = 500 \cdot 0,295 = 147,5 \text{ (г)}.$$

Обозначим буквой x массу NaOH, которую можно дополнительно растворить при повышении температуры до 25 °C. Эта масса связана с массовой долей раствора при 25 °C.

При температуре 25 °C

$$m^{25}(\text{NaOH}) = m^0(\text{NaOH}) + x = 147,5 + x;$$

$$m^{25}(\text{p-ра NaOH}) = m^0(\text{p-ра NaOH}) + x = 500 + x.$$

Для массовой доли раствора при 25 °С имеем:

$$w^{25}(\text{NaOH}) = 0,531 = \frac{m^{25}(\text{NaOH})}{m^{25}(\text{р-ра NaOH})} = \frac{147,5 + x}{500 + x}.$$

Находим:

$$0,531(500 + x) = 147,5 + x;$$

$$118 = 0,469x;$$

$$x = 251,6 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m^{25}(\text{NaOH}) = 251,6 \text{ г}$.

- 
1. В насыщенном растворе нитрата калия массой 600 г содержится соль массой 164,9 г. Рассчитайте: а) коэффициент растворимости соли; б) массовую долю соли в насыщенном растворе.
 2. Коэффициент растворимости КОН при 20 °С равен 112,4. Найдите: а) массовую долю щелочи в ее насыщенном при этой температуре растворе; б) массу щелочи в ее насыщенном при 20 °С растворе массой 250 г.
 3. Коэффициент растворимости гидрокарбоната калия KHCO_3 при температуре 20 °С равен 33,3. Рассчитайте массы соли и воды, которые необходимо взять для приготовления при 20 °С насыщенного раствора этой соли массой 2000 г.
 4. Коэффициент растворимости $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ при 60 °С равен 20,3. Будет ли насыщенным при этой температуре раствор с массовой долей этой соли 15,2 %.
 5. Массовая доля $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в насыщенном при 80 °С растворе равна 50,3%. Найдите, какая масса щелочи может раствориться при этой температуре в воде массой 150,0 г.
 6. Коэффициент растворимости AlCl_3 при 0 °С равен 44,9, а массовая доля этой соли в насыщенном при 60 °С растворе составляет 31,74 %. Насыщенный при 0 °С раствор AlCl_3 массой 2 кг нагрели. Какую массу соли можно дополнительно растворить в нагретом растворе?

7. Массовая доля соли в насыщенном растворе соли равна 36,2 %. Для получения насыщенного раствора были взяты 60 г соли и 80 см³ воды. Какая масса соли при этом не растворится?
8. Коэффициент растворимости сульфата меди(II) при 20°C равен 20,7. Какую массу соли нужно дополнительно растворить в растворе массой 200 г с $w(\text{CuSO}_4) = 15\%$?

В случае кристаллогидратов в расчетах следует учитывать кристаллизационную воду.

Пример 22.5. Коэффициент растворимости Na_2CO_3 при 20 °C равен 21,8. Какая минимальная масса воды потребуется для растворения при этой температуре кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ массой 38,5 г?

Дано:

$$s^{20}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 21,8$$

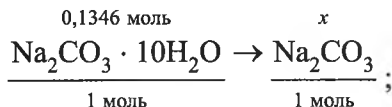
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 38,5 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Решение:

Покажем наиболее рациональный способ решения подобных задач.

1. Прежде всего находим массу безводной соли в кристаллогидрате:



$$M(\text{Kг}) = 286 \text{ г/моль}; M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Kг}) = \frac{m(\text{Kг})}{M(\text{Kг})} = \frac{38,5}{286} = 0,1346 \text{ (моль)};$$

$$x = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Kг}) = 0,1346;$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n \cdot M = 0,1346 \cdot 106 = 14,27 \text{ (г)}.$$

2. Рассчитываем массовую долю насыщенного раствора Na_2CO_3 :

$$w = \frac{s}{100 + s} = \frac{21,8}{100 + 21,8} = 0,179.$$

3. Обозначим массу требуемой воды как x (г). Тогда для массовой доли насыщенного раствора имеем:

$$w = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{р-ра})} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{Кг}) + m(\text{H}_2\text{O})};$$

$$0,179 = \frac{14,27}{38,5 + x}.$$

Отсюда $x = 41,2$ г.

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 41,2$ г.

! 9. Коэффициент растворимости Na_2SO_4 при 30°C равен 40,8. Какую массу воды нужно взять для приготовления насыщенного при 30°C раствора Na_2SO_4 , имея навеску $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ массой 161 г?

Растворимость веществ следует учитывать при расчете масс продуктов химической реакции.

Пример 22.6. Через раствор массой 293 г, содержащий NaOH массой 22,0 г, пропустили избыток CO_2 до прекращения реакции. Найдите массу полученного осадка, если коэффициент растворимости продукта реакции в условиях опыта равна 6,9.

Дано:

$$m(\text{NaOH}) = 22,0 \text{ г}$$

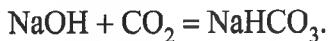
$$s(\text{продукта}) = 6,9$$

$$m(\text{р-ра NaOH}) = 293 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$

Решение:

При избытке CO_2 образуется кислая соль:



По условию задачи коэффициент растворимости этой соли равен 6,9. Если масса NaHCO_3 больше, чем ее содержится в насыщенном растворе, то часть соли выпадет в осадок.

Находим массу полученного гидрокарбоната натрия:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M} = \frac{22}{40} = 0,55 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{NaOH}) \text{ (см. уравнение реакции);}$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г/моль;}$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0,55 \cdot 84 = 46,2 \text{ (г).}$$

Масса воды в ходе реакции не изменялась, найдем ее:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра NaOH}) - m(\text{NaOH}) = 293 - 22 = 271 \text{ (г).}$$

Теперь можно найти массу NaHCO_3 , которая растворится в такой массе воды:

$$\begin{array}{lcl} \text{в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O} & \xrightarrow{\text{растворяется}} & 6,9 \text{ г } \text{NaHCO}_3; \\ 271 \text{ г} & \xrightarrow{\quad\quad\quad} & x; \\ x = \frac{271 \cdot 6,9}{100} & = & 18,7 \text{ (г).} \end{array}$$

Следовательно, из полученных 46,2 г NaHCO_3 растворится только 18,7 г. Находим массу осадка:

$$m(\text{NaHCO}_3)_{\text{нераств.}} = 46,2 - 18,7 = 27,5 \text{ (г).}$$

Ответ: $m(\text{осадка}) = 27,5 \text{ г.}$

- !** 10. В раствор объемом 100 см³ ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 20 \%$ пропустили 11,2 дм³ (н. у.) CO_2 . Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в образовавшемся растворе (коэффициент растворимости кислой соли в условиях опыта равен 9).
11. При 90 °С коэффициент растворимости соли равен 60,00. Если раствор массой 450 г, насыщенный при 90 °С,

- охладить до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, то из него выпадет осадок соли массой 68,75 г. Найдите коэффициент растворимости соли при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
12. Сожгли бутан объемом (н. у.) $7,00\text{ дм}^3$ и образовавшиеся CO_2 и H_2O растворили в растворе NaOH объемом 100 см^3 ($\rho = 1,4\text{ г/см}^3$) с $w(\text{NaOH}) = 40\%$. Рассчитайте массу осадка и массовые доли солей в оставшемся растворе, если известно, что значения s для Na_2CO_3 и NaHCO_3 в условиях опыта равны соответственно 22,0 и 9,5.
13. Смешали насыщенные при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ растворы LiCl ($s = 68,3$) и K_2CO_3 ($s = 107$). Найдите массы выпавших осадков, если для Li_2CO_3 и KCl коэффициенты растворимости при этой температуре соответственно равны 1,53 и 28.

ГЛАВА 23

Выпадение веществ в осадок при охлаждении растворов

23.1. ВЫПАДЕНИЕ В ОСАДОК БЕЗВОДНЫХ СОЛЕЙ

Как уже отмечалось, растворимость веществ зависит от температуры. Если с повышением температуры растворимость возрастает, то при охлаждении насыщенного при более высокой температуре раствора часть вещества выпадает в осадок. Возможна и обратная ситуация: если растворимость вещества с ростом температуры уменьшается, то осадок будет выпадать при повышении температуры.

В этой главе рассматриваются способы решения задач, в которых в осадок выпадает безводная соль.

Пример 23.1. Коэффициент растворимости K_2SO_4 при $80\text{ }^\circ\text{C}$ и $10\text{ }^\circ\text{C}$ равен соответственно 21,4 и 9,30. Рассчитайте, какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении до $10\text{ }^\circ\text{C}$ раствора массой 60,7 г, насыщенного при $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Дано:

$$s^{80}(K_2SO_4) = 21,4$$

$$s^{10}(K_2SO_4) = 9,3$$

$$m^{80}(\text{р-ра } K_2SO_4) = 60,7 \text{ г}$$

$$m^{10}(K_2SO_4)_{\text{осадок}} \text{ — ?}$$

Решение:

Рассмотрим три варианта решения таких задач.

Вариант 1 (с использованием массовой доли).

Задача решается в три этапа.

Вариант 1.

1. Находим массовые доли насыщенных при $80\text{ }^\circ\text{C}$ и $10\text{ }^\circ\text{C}$ растворов:

$$w^{80} = \frac{21,4}{21,4 + 100} = 0,176;$$

$$w^{10} = \frac{9,3}{9,3 + 100} = 0,085.$$

2. Определяем массу соли в насыщенном при 80 °С растворе:

$$\begin{aligned} m^{80}(\text{K}_2\text{SO}_4) &= m^{80}(\text{р-ра } \text{K}_2\text{SO}_4) \cdot w^{80}(\text{K}_2\text{SO}_4) = \\ &= 60,7 \cdot 0,176 = 10,68 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

3. Обозначаем массу осадка как x (г) и составляем выражение для массовой доли насыщенного при 10 °С раствора. Учтем, что и масса вещества, и масса раствора уменьшились на x (г), получим:

$$w^{10}(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,085 = \frac{m^{10}(\text{K}_2\text{SO}_4)}{m^{10}(\text{р-ра } \text{K}_2\text{SO}_4)} = \frac{10,68 - x}{60,70 - x}.$$

Отсюда $x = 6,05$ (г).

Вариант 2.

Если в 100 г H_2O при 80 °С растворяется 21,4 г соли, то масса насыщенного при этой температуре раствора равна $100 + 21,4 = 121,4$ (г). При охлаждении до 10 °С в этом растворе останется только 9,3 г соли, а $21,4 - 9,3 = 12,1$ г соли выпадет в осадок.

Составляем и решаем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{при охлаждении } 121,4 \text{ г р-ра} & \xrightarrow{\text{в осадок выпадает}} & 12,1 \text{ г;} \\ & 60,7 & \text{-----} x; \end{array}$$

$$x = \frac{60,7 \cdot 12,1}{121,4} = 6,05 \text{ (г)}.$$

Вариант 3.

При 80 °С в растворе массой 60,7 г содержится соль массой 10,68 г (см. вариант 1). Тогда масса воды в этом растворе равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 60,7 - 10,86 = 50,02 \text{ (г)}.$$

Такая же масса воды содержится и в растворе при 10 °С. Составляем и решаем пропорцию:

$$\begin{array}{lcl} \text{при } 10^\circ\text{С в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O} & \xrightarrow{\text{растворяется соль массой}} & 9,3 \text{ г;} \\ 50,02 & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & x; \\ x = & & 4,65 \text{ г.} \end{array}$$

Таким образом, в H_2O массой 50,02 г при 10 °С может раствориться только 4,65 г из 10,68 г соли. В осадок выпадает соль массой:

$$m^{10}(\text{K}_2\text{SO}_4)_{\text{осадок}} = 10,68 - 4,65 = 6,03 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m^{10}(\text{K}_2\text{SO}_4)_{\text{осадок}} \approx 6,03 \text{ г}.$

Пример 23.2. Для AgNO_3 массовая доля насыщенного раствора при 80 °С равна 82 %. При охлаждении 140 г этого раствора до 10 °С в осадок выпало 71,2 г соли. Найдите: а) коэффициент растворимости AgNO_3 при 10 °С; б) массовую долю AgNO_3 в растворе при 10 °С.

Дано:

$$w^{80}(\text{AgNO}_3) = 82 \%$$

$$m^{80}(\text{р-ра}) = 140 \text{ г}$$

$$m^{10}(\text{осадка}) = 71,2 \text{ г}$$

$$s^{10}(\text{AgNO}_3) = ?$$

$$w^{10}(\text{AgNO}_3) = ?$$

Решение:

Находим массу соли в растворе при 80 °С:

$$\begin{aligned} m^{80}(\text{AgNO}_3) &= m(\text{р-ра}) \cdot w = \\ &= 140 \cdot 0,82 = 114,8 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Тогда

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 140,0 - 114,8 = 25,2 \text{ (г)}.$$

При 10 °С в растворе осталось соли:

$$m^{10}(\text{AgNO}_3) = 114,8 - 71,2 = 43,6 \text{ (г)}.$$

Масса H_2O в растворе при 80 °С и 10 °С одинакова (вода в осадок не выпадала) и равна 25,2 г.

Находим значение s^{10} :

$$s^{10} = \frac{m(\text{AgNO}_3) \cdot 100}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{43,6 \cdot 100}{25,2} = 173.$$

Рассчитываем значение $w(\text{AgNO}_3)$ при 10 °C:

$$m^{10}(\text{p-ра}) = 140 - 71,2 = 68,8 \text{ (г)};$$

$$m^{10}(\text{AgNO}_3) = 43,6 \text{ г};$$

$$w^{10}(\text{AgNO}_3) = \frac{43,6}{68,8} = 0,634 \text{ (63,4 \%)}.$$

Ответ: $s^{10}(\text{AgNO}_3) = 173$; $w^{10}(\text{AgNO}_3) = 63,4 \%$.

- !**
1. Массовая доля соли в ее насыщенных при 80 °C и 10 °C растворах соответственно равна 45 % и 20 %. Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении до 10 °C насыщенного при 80 °C раствора массой 230 г?
 2. Коэффициент растворимости KBr при 20 °C и 80 °C соответственно равен 65 и 95. Найдите массу насыщенного при 80 °C раствора, при охлаждении которого до 20 °C можно выделить 150 г соли.
 3. Коэффициент растворимости хлорида аммония при 100 °C и 0 °C соответственно равен 77 и 37. Какая масса NH_4Cl выпадет в осадок из насыщенного при 100 °C раствора, содержащего 50 г воды, при охлаждении его до 0 °C?
 4. Массовая доля соли в ее насыщенном при 20 °C растворе равна 20 %. Найдите массу выпавшей в осадок соли при охлаждении до 20 °C раствора массой 250 г с массовой долей соли 30 %.
 5. К раствору HNO_3 объемом 40,3 см³ ($\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HNO}_3) = 37,8 \%$ приливали раствор KOH с массовой долей щелочи 33,6 % до полной нейтрализации. Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении раствора до 0 °C, если при этой температуре массовая доля насыщенного раствора KNO_3 равна 11,6 %?

6. Из раствора объемом 200 см^3 ($\rho = 1,35 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{KNO}_3) = 63 \%$, насыщенного при 80°C , при охлаждении до 25°C выпал осадок массой 120 г . Укажите массовую долю соли в растворе при 25°C .
7. Раствор с $w(\text{AgNO}_3) = 0,82$ массой 140 г насыщен при 60°C . При его охлаждении до 10°C в осадок выпадает соль массой $71,2 \text{ г}$. Найдите коэффициент растворимости AgNO_3 при 10°C .

23.2. РАСТВОРИМОСТЬ И КРИСТАЛЛОГИДРАТЫ

Рассмотрим пример решения задачи, в которой по данным для кристаллогидрата надо определить коэффициент растворимости соли.

Пример 23.3. Из $12,86 \text{ г}$ насыщенного при 15°C раствора BaCl_2 при полном выпаривании получили $4,11 \text{ г}$ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Каков коэффициент растворимости BaCl_2 при 15°C ?

Дано:

$$m^{15}(\text{p-ра}) = 12,86 \text{ г}$$

$$m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 4,11 \text{ г}$$

$$s^{15}(\text{BaCl}_2) = ?$$

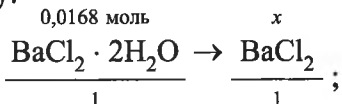
Решение:

Для расчета значения s надо определить для 15°C массу BaCl_2 и массу H_2O в растворе массой $12,86 \text{ г}$.

Очевидно, что

$$m^{15}(\text{p-ра}) = m(\text{BaCl}_2) + m(\text{H}_2\text{O}). \quad (23.1)$$

По массе кристаллогидрата найдем массу безводной соли. Составляем схему:



$$M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 244 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{BaCl}_2) = 208 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{4,11}{244} = 0,0168 \text{ (моль);}$$

$$x = n(\text{BaCl}_2) = n(\text{Kг}) = 0,0168 \text{ моль (см. схему);}$$

$$m(\text{BaCl}_2) = 0,0168 \cdot 208 = 3,49 \text{ (г).}$$

Тогда в соответствии с выражением (23.1) получаем:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m^{15}(\text{р-ра}) - m(\text{BaCl}_2) = 12,86 - 3,49 = 9,37 \text{ (г).}$$

Находим значение s^{15} :

$$s^{15} = \frac{m(\text{BaCl}_2)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 = \frac{3,49 \cdot 100}{9,37} = 37,2.$$

Ответ: $s^{15}(\text{BaCl}_2) = 37,2.$

Рассмотрим пример решения задачи на определение массы выпавшего в осадок при охлаждении раствора кристаллогидрата. В этом случае надо иметь в виду, что при охлаждении раствора его масса уменьшается на массу всего выпавшего в осадок Кг, а масса безводной соли — только на ту ее часть, которая входит в состав Кг.

Пример 23.4. Какая масса $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ выпадет в осадок при охлаждении до 20 °С насыщенного при 100 °С раствора массой 800 г, если $s^{100}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = 300,0$ и $s^{20}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = 67,5$?

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 800 \text{ г}$$

$$s^{100}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = 300$$

$$s^{20}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = 67,5$$

$$m[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]_{\text{осадок}} = ?$$

Решение:

1. Находим массовые доли соли $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$ в насыщенных растворах при 100 °С и 20 °С:

$$w^{100} = \frac{300}{300 + 100} = 0,750;$$

$$w^{20} = \frac{67,5}{67,5 + 100} = 0,403.$$

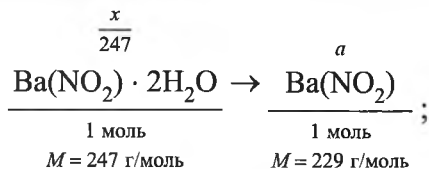
2. Находим массу безводной соли в растворе массой 800 г при 100 °С:

$$m^{100}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = m(\text{р-ра}) \cdot w = 800 \cdot 0,75 = 600 \text{ (г)}.$$

3. Пусть при охлаждении раствора до 20 °С в осадок выпал Кг массой x (г). Тогда масса раствора при 20 °С равна:

$$m^{20}(\text{р-ра}) = 800 - x \text{ (г)}.$$

4. Находим массу безводной соли в порции Кг массой x (г):



$$n(\text{Кг}) = \frac{m}{M} = \frac{x}{247};$$

$$n[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = a = \frac{x}{247} \text{ (моль)};$$

$$m[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = n \cdot M = \frac{x}{247} \cdot 229 = 0,927 \text{ (г)}.$$

Тогда масса безводной соли в растворе при 20 °С равна:

$$m^{20}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] = m^{100}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2] - 0,927x = 600 - 0,927x \text{ (г)}.$$

5. Составляем и решаем выражения для массовой доли $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$ в насыщенном при 20 °С растворе:

$$w^{20} = \frac{m^{20}[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2]}{m^{20}(\text{р-ра} [\text{Ba}(\text{NO}_2)_2])};$$

$$0,403 = \frac{600 - 0,927x}{800 - x};$$

$$x = 529,7 \text{ г}.$$

Ответ: $m[\text{Ba}(\text{NO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]_{\text{осадок}} = 529,7 \text{ г}.$

Приведем пример решения обратной задачи.

Пример 23.5. Рассчитайте массу насыщенного при 70 °С раствора MgSO_4 , охлаждая который до 20 °С можно получить осадок $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ массой 460 г. Для MgSO_4 $s^{70} = 59,0$ и $s^{20} = 44,5$.

Дано:

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 460 \text{ г}$$

$$s^{70}(\text{MgSO}_4) = 59,0$$

$$s^{20}(\text{MgSO}_4) = 44,5$$

$$m^{70}(\text{р-ра } \text{MgSO}_4) = ?$$

Решение:

1. Находим массовые доли насыщенных при 70 °С и 20 °С растворов MgSO_4 :

$$w^{70} = \frac{59}{59 + 100} = 0,371;$$

$$w^{20} = \frac{44,5}{44,5 + 100} = 0,308.$$

2. Обозначаем требуемую массу раствора x (г).

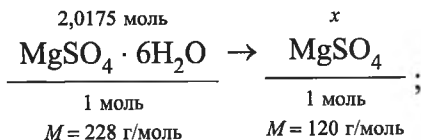
В нем находится безводная соль массой:

$$m^{70}(\text{MgSO}_4) = m^{70}(\text{р-ра}) \cdot w^{70} = x \cdot 0,371 \text{ (г)}.$$

При охлаждении масса раствора уменьшается на массу всего Кг:

$$m^{20}(\text{р-ра } \text{MgSO}_4) = x - 460 \text{ (г)}.$$

3. Находим массу безводной соли в составе Кг массой 460 г:



$$n(\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{460}{228} = 2,0175 \text{ (моль)};$$

$$x = n(\text{MgSO}_4) = 2,0175 \text{ моль};$$

$$m(\text{MgSO}_4) = n \cdot M = 2,0175 \cdot 120 = 242 \text{ (г)}.$$

Тогда масса MgSO_4 в растворе при 20 °С равна:

$$m^{20}(\text{MgSO}_4) = m^{70}(\text{MgSO}_4) - 242 = 0,371x - 242.$$

4. Составляем и решаем выражение для массовой доли насыщенного при 20 °С раствора:

$$0,308 = \frac{0,371x - 242}{x - 460};$$

$$x = 1592 \text{ г}.$$

Ответ: $m^{70}(\text{р-ра } \text{MgSO}_4) = 1592 \text{ г}.$

- !**
8. Насыщенный при 100 °С раствор ZnSO_4 массой 300 г охладили до 10 °С. Какая масса гептагидрата сульфата цинка при этом выпадет в осадок, если коэффициент растворимости ZnSO_4 при 100 °С равен 60,5, а при 10 °С массовая доля насыщенного раствора ZnSO_4 равна 32,2 %?
 9. Рассчитайте массу насыщенного при 60 °С раствора K_3PO_4 , охлаждая который до 0 °С можно получить осадок кристаллогидрата $\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ массой 120 г. Коэффициент растворимости K_3PO_4 при 60 °С и 0 °С равен соответственно 170 и 79.
 10. Коэффициент растворимости CuSO_4 при 80 °С равен 55. При охлаждении насыщенного при 80 °С раствора соли массой 155 г в осадок выпал медный купорос массой 53,6 г. Найдите $w(\text{CuSO}_4)$ в оставшемся при 20 °С растворе.
 11. Из насыщенного при 15 °С раствора BaCl_2 массой 12,86 г путем выпаривания получен кристаллогидрат $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ массой 4,11 г. Найдите коэффициент растворимости BaCl_2 при 15 °С.
 12. Из насыщенного при 40 °С раствора ZnCl_2 массой 300 г при охлаждении до 0 °С выпал осадок кри-

сталлогидрата массой 254 г, а массовая доля соли в растворе понизилась до 73,1 %. Установите формулу кристаллогидрата, если известно, что коэффициент растворимости ZnCl_2 при 40 °С равен 452,5.

13. Растворимость Na_2CO_3 при 20 °С равна 21,8 на 100 г H_2O . Рассчитайте массу кристаллической соды, которую надо растворить в воде массой 400 г, чтобы получить насыщенный при 20 °С раствор Na_2CO_3 .
14. Растворимость MgSO_4 при 10 °С равна 60 г на 100 г H_2O . Какую максимальную массу $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ можно растворить при этой температуре в воде массой 50 г?
15. Под стеклянным колпаком при 25 °С в двух открытых сосудах находятся насыщенный раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ массой 302,2 г и кальцинированная сода Na_2CO_3 массой 15,31 г. В результате поглощения воды из раствора сульфата алюминия карбонат натрия полностью превращается в свой декагидрат. Рассчитайте массу кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, который при этом выпал в осадок. Коэффициент растворимости $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ при 25 °С равен 38,5.

ГЛАВА 24

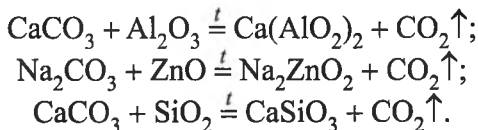
Основные классы соединений

Приемы решения задач в данной главе такие же, как и в предыдущих. Выделение их в отдельную главу обусловлено следующим: если раньше в задачах основное внимание обращалось на математическую сторону химии (введение правильных мольных обозначений, корректное составление и решение системы двух уравнений), то в задачах этой главы основной упор делается на химизм явления (т. е. правильное написание уравнений реакций). Некоторые наиболее существенные химические свойства классов соединений охарактеризованы ниже.

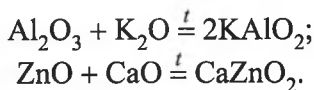
24.1. ОКСИДЫ

Из основных оксидов в воде растворяются только оксиды щелочных и щелочноземельных металлов. Амфотерные оксиды (Al_2O_3 , ZnO , Cr_2O_3 , Fe_2O_3) в воде нерастворимы. Большинство кислотных оксидов в воде растворимы, нерастворим SiO_2 .

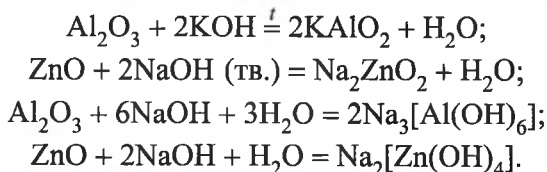
Амфотерные оксиды и оксид кремния(IV) при сплавлении вытесняют CO_2 из карбонатов:



Амфотерные оксиды взаимодействуют как с кислотными, так и с основными оксидами:

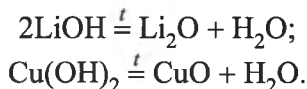


Амфотерные оксиды взаимодействуют с твердыми щелочами при сплавлении, а также с растворами щелочей. В последнем случае образуются комплексные гидроксосоли:



24.2. ОСНОВАНИЯ

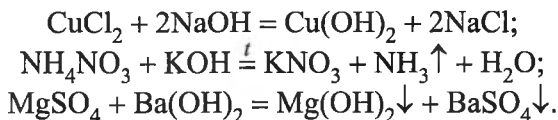
Все основания, кроме NaOH и KOH, при нагревании разлагаются:



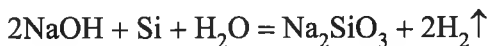
Нерастворимые основания с солями не реагируют, в случае щелочей реакция возможна только при одновременном соблюдении следующих условий:

- а) исходная соль должна быть растворима;
- б) в результате реакции должен образоваться либо осадок, либо газ, либо слабый электролит (например, вода).

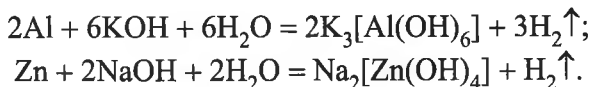
Примеры протекающих реакций:



Щелочи (основания щелочных и щелочноземельных металлов) взаимодействуют с некоторыми неметаллами:



и металлами (Al, Zn, Be):

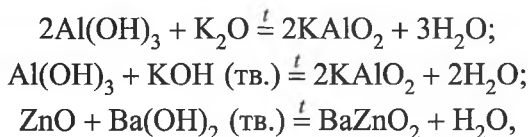


24.3. АМФОТЕРНЫЕ ГИДРОКСИДЫ

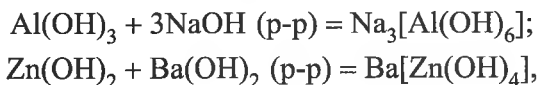
При нагревании амфотерные гидроксиды разлагаются на оксид металла и воду:



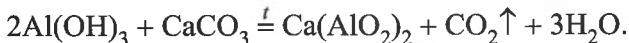
Они взаимодействуют при сплавлении с основными оксидами и твердыми щелочами:



а также с растворами щелочей:



вытесняют CO_2 из карбонатов:



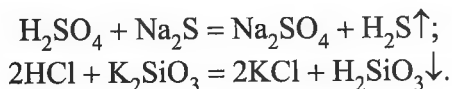
24.4. КИСЛОТЫ

Такие кислоты, как соляная, H_2SO_4 (разб.), реагируют только с теми металлами, которые в ряду активности металлов расположены до водорода (исключение составляет Pb — не реагирует с H_2SO_4 (разб.)).

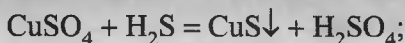
Сильные кислоты: HCl , HBr , HI , HNO_3 , H_2SO_4 (разб.), HClO_4 .

Слабые кислоты: H_2S , H_2CO_3 , H_2SO_3 , H_2SiO_3 , H_3PO_4 , HF , HNO_2 , CH_3COOH .

Сильные кислоты практически всегда вытесняют слабые кислоты из растворов солей:



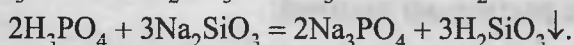
Исключение. H_2S вытесняет сильные кислоты из растворов солей меди(II):



поэтому CuS не растворяется в разбавленных сильных кислотах. Сила слабых кислот падает слева направо в ряду:



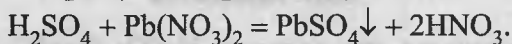
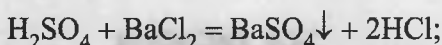
В этом ряду более сильная кислота вытесняет более слабую из растворов солей:



Как правило, сильные кислоты не вытесняют друг друга из солей.

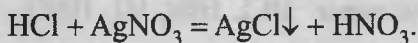
Исключения:

а) H_2SO_4 (разб.) вытесняет сильные кислоты из солей Ca , Ba и Pb(II) :



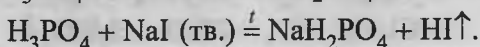
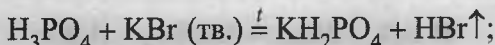
Поэтому CaSO_4 , BaSO_4 , PbSO_4 не растворяются в разбавленных сильных кислотах.

б) HCl , HBr и HI вытесняют HNO_3 из раствора AgNO_3 :

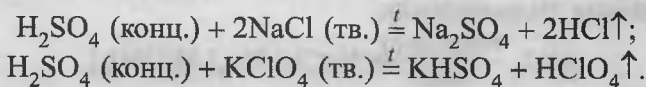


Обратите внимание:

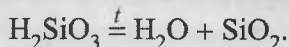
• Фосфорная кислота в силу своей летучести и термической устойчивости вытесняет летучие кислоты HCl , HBr , HI из твердых галогенидов:



• H_2SO_4 (конц.) в силу своей летучести и термической устойчивости вытесняет *все* сильные кислоты из *твердых* солей:

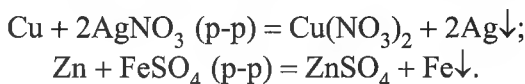


• Кремниевая кислота легко разлагается при нагревании:

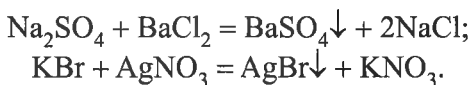


24.5. СОЛИ (СРЕДНИЕ)

Соли взаимодействуют с металлами, причем соль должна быть растворима, а взаимодействующий металл должен быть более активен, чем металл, входящий в состав соли:



Растворимые соли взаимодействуют друг с другом только в случае, если в результате реакции образуется осадок:

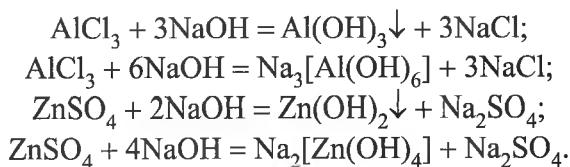


Отношение солей к нагреванию охарактеризовано в Приложении 7.

Сульфид алюминия полностью разлагается водой:



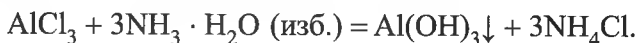
Состав продуктов взаимодействия растворимых солей Al, Zn и Be с растворами щелочей зависит от мольного соотношения реагентов; в избытке щелочи образуются комплексные гидроксосоли:



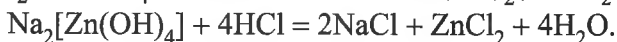
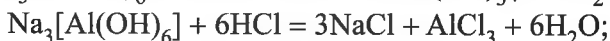
Если в задаче указано, что раствор соли Al (Zn, Be) обрабатывали избытком щелочи, то имейте в виду, что образуется комплексная гидроксо соль:



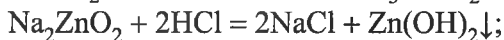
Однако в избытке аммиака соли алюминия образуют $\text{Al}(\text{OH})_3$:



Комплексные гидроксо соли разлагаются кислотами. Состав продуктов зависит от мольного соотношения реагентов:



Аналогично:



Учтите, что комплексные гидроксо соли растворимы в воде. Рассмотрим пример типовой задачи.

Пример 24.1. К водному раствору, содержащему AlCl_3 химическим количеством 0,1 моль, прилили раствор, содержащий KOH массой 28,0 г. Найдите массу осадка, который образуется после завершения химического процесса.

Дано:

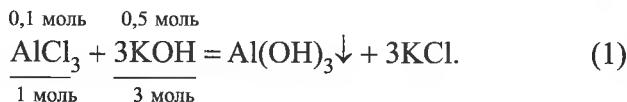
$$n(\text{AlCl}_3) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{KOH}) = 28,0 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$

Решение:

При смешивании растворов вначале протекает реакция образования гидроксида алюминия:



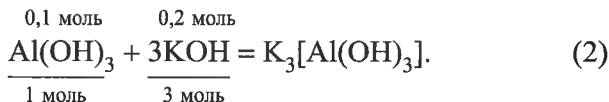
Находим химическое количество KOH ($m(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}$):

$$n(\text{KOH}) = \frac{m}{M} = \frac{28}{56} = 0,5 \text{ (моль)}.$$

В реакции (1) KOH взят с избытком, потому что

$$\frac{0,5}{3} > \frac{0,1}{1} = (0,167 > 0,1).$$

В избытке щелочи протекает вторая реакция (Al(OH)_3 — амфотерный гидроксид):



Al(OH)_3 образовалось 0,1 моль, а с AlCl_3 вступил в реакцию KOH химическим количеством $0,1 \cdot 3 = 0,3$ моль. Следовательно, осталось $0,5 - 0,3 = 0,2$ (моль) KOH, который и будет реагировать с 0,1 моль Al(OH)_3 (реакция 2).

В реакции (2) Al(OH)_3 взят с избытком ($0,1 > \frac{0,2}{3}$): вступило в реакцию с KOH $\frac{0,2}{3} = 0,0667$ моль Al(OH)_3 , а осталось $0,1 - 0,0667 = 0,0333$ (моль) гидроксида алюминия. Это и будет искомый осадок, масса которого равна ($m(\text{Al(OH)}_3) = 78 \text{ г/моль}$) $0,0333 \cdot 78 = 2,6 \text{ (г)}$.

Ответ: $m(\text{осадка}) = 2,6 \text{ г}$.

1. Соль какой массы образуется при взаимодействии смеси CuO и Al_2O_3 массой 20,0 г с $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 25,0 \%$ с избытком водного раствора KOH?
2. Оксид цинка массой 6,5 г реагирует с водным раствором, содержащим 6,0 г NaOH. Найдите массу полученной соли.

3. Оксид алюминия массой 1,02 г реагирует с карбонатом кальция массой 1,5 г. Найдите массу полученной соли.
4. Смесь Al_2O_3 и ZnO массой 26,4 г, в которой $w(\text{O}) = 30,3 \%$, обработали избытком водного раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Найдите суммарную массу полученных солей.
5. Технический карбонат кальция массой 120,0 г прокалили, а твердый продукт реакции смешали с Al_2O_3 (избыток) и нагрели. В результате последней операции получили соль массой 173,8 г. Рассчитайте массовую долю (%) примесей в техническом карбонате кальция.
6. Раствор, содержащий сульфат цинка массой 4,025 г, обработали раствором, содержащим гидроксид калия химическим количеством 0,070 моль. Найдите массу (мг) образовавшегося при этом осадка.
7. Оксид алюминия массой 5,1 г сплавляли с карбонатом кальция массой 6,0 г. Найдите массу полученной соли.
8. При нагревании смеси NaOH и $\text{Al}(\text{OH})_3$ была получена соль массой 1,23 г. Рассчитайте суммарную массу вступивших в реакцию реагентов.
9. Смесь гидроксидов лития и калия массой 21,6 г нагревали до постоянной массы. Масса твердого остатка после нагревания составила 19,8 г. Определите $w(\text{KOH})$ в исходной смеси.
10. Смесь NaNO_3 и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ массой 37,9 г обработали избытком разбавленного раствора щелочи. Выпавший осадок отфильтровали, прокалили и получили твердый остаток массой 12,5 г. Найдите $w(\text{NaNO}_3)$ в исходной смеси.
11. Нитрат алюминия массой 21,3 г обработали избытком раствора KOH . Рассчитайте массу полученной соли.
12. Смесь $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Cu}(\text{OH})_2$ массой 6,26 г прокалили и получили воду массой 1,53 г. Найдите массовую долю атомов Al в исходной смеси.
13. При обработке смеси CaCO_3 и CuSO_4 избытком разбавленного раствора щелочи образовалась смесь твердых

- веществ массой 2,98 г. Эту смесь отфильтровали, прокалили и получили газ (н. у.) массой 0,88 г. Найдите $w(\text{CaCO}_3)$ в смеси.
14. На полный обжиг смеси сульфидов меди(II) и цинка массой 29,0 г был затрачен кислород объемом (н. у.) $10,08 \text{ дм}^3$. Полученный с выходом 90 % газ пропустили в раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$ объемом 215 см^3 ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$) с массовой долей щелочи 26,15 %. Найдите массу полученной в последней реакции соли.
15. Газ, выделившийся при полном растворении кремния массой 1,4 г в растворе $\text{Ba}(\text{OH})_2$, пропустили над оксидом меди(II) массой 4,0 г. Рассчитайте массу полученной при этом меди.
16. Смесь Al и Zn массой 4,87 г растворили в избытке раствора KOH и получили смесь солей массой 25,31 г. Выделившийся при этом газ смешали с азотом объемом 1000 см^3 и смесь пропустили над нагретым катализатором, реакция прошла с выходом 30 %. Найдите объем (н. у., см^3) полученного при этом продукта.
17. В воде растворили смесь KBr, NaCl и BaCl_2 массой 3,855 г. Полученный раствор обработали необходимым для реакции количеством AgNO_3 и получили осадок массой 6,185 г. Осадок отделили, а фильтрат обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили новый осадок массой 2,33 г. Найдите $w(\text{KBr})$ в исходной смеси солей.
18. К смеси сульфатов бария, меди(II) и натрия массой 30,0 г добавили избыток воды. Масса нерастворившегося остатка составила 10,0 г. Надосадочную жидкость отделили и через нее пропустили избыток сероводорода, получили осадок массой 9,6 г. Определите массу сульфата натрия в исходной смеси.
19. Смесь $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$, $(\text{CuOH})_2$ и CuCO_3 массой 38,4 г прокалили до постоянной массы, которая составила 28,8 %. Чему равна массовая доля атомов меди в исходной смеси?

20. Смесь Al и Fe разделили на две равные части. Одну из них обработали избытком H_2SO_4 (разб.), а другую — избытком соляной кислоты. Оказалось, что суммарная масса солей, полученных в первом случае, в 1,036 раза больше суммарной массы солей, полученных во втором случае. Найдите $w(\text{Al})$ в смеси металлов.
21. Смесь газообразных хлора и хлороводорода объемом (н. у.) $22,4 \text{ дм}^3$ пропустили над нагретыми железными опилками. В результате реакции масса опилок возросла на 42,6 г. Найдите объем (н. у.) хлора в его смеси с хлороводородом.
22. Имеется смесь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 и BaSO_4 массой 10,5 г. При обработке смеси избытком соляной кислоты выделился газ объемом (н. у.) 672 см^3 , а в реакцию вступила кислота массой 71,2 г с $w(\text{HCl}) = 10,0 \%$. Определите массу BaSO_4 в исходной смеси.
23. К раствору, содержащему сульфат алюминия массой 6,84 г, прилили раствор, содержащий KOH массой 11,76 г. Полученный осадок отделили от раствора и прокалили до постоянной массы. Рассчитайте массу твердого остатка после прокаливания.
24. При полном электролизе водного раствора KCl на электродах выделилось в сумме $7,84 \text{ дм}^3$ (н. у.) газов. Какая масса Zn может максимально прореагировать с раствором вещества, которое образовалось в катодном пространстве?
25. Смесь опилок Zn и Cu обработали избытком раствора KOH, выделился газ объемом (н. у.) $2,24 \text{ дм}^3$. Для полного хлорирования такой же смеси металлов потребовался хлор объемом (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$. Найдите $w(\text{Cu})$ в смеси металлов.
26. Образец смеси Zn и Al массой 17,3 г, в котором число атомов Al в 4 раза больше атомов Zn, растворили в избытке раствора щелочи. Выделившийся газ пропустили над нагретым оксидом меди(II) массой 64,0 г. Найдите

массовую долю сложного вещества в твердом остатке после завершения второй реакции.

27. Смешали раствор KOH массой 756 г с $w(\text{KOH}) = 20,0 \%$ и раствор $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ массой 300 г с $w[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 35,5 \%$. Найдите массовые доли веществ в растворе после завершения реакции с точностью до сотых долей процента.
28. Имеется смесь Al и Fe_3O_4 . Эту смесь нагрели и получили новую смесь веществ, которую обработали избытком раствора KOH и получили газ объемом (н. у.) $1,344 \text{ дм}^3$. Если же эту новую смесь обработать избытком соляной кислоты, то можно получить газ объемом (н. у.) $5,376 \text{ дм}^3$. Найдите массовые доли веществ в исходной смеси Al и Fe_3O_4 .
29. Имеется два одинаковых раствора (каждый массой 102,8 г) смеси солей $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ и CuSO_4 . Один из них обработали избытком H_2S и получили осадок 9,6 г. На полное взаимодействие со вторым раствором израсходовали раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$ объемом 520 см^3 ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$) с массовой долей щелочи 5,872 %. Рассчитайте массовые доли солей в исходных растворах.
30. Раствор массой 75,6 г содержит соли Na_2S и Na_2CO_3 . Сначала в раствор пропускали HCl до прекращения выделения газа, которого было получено $3,136 \text{ дм}^3$. Затем в образовавшийся раствор приливали раствор AgNO_3 до прекращения выпадения осадка; всего израсходовано 190,4 г раствора с $w(\text{AgNO}_3) = 25,0 \%$. Найдите: а) массовые доли солей в исходном растворе; б) массовую долю вещества в конечном растворе после добавления AgNO_3 .
31. Раствор массой 112,6 г содержит сульфаты меди(II) и цинка. Этот раствор может максимально прореагировать или с железом массой 4,48 г, или с раствором, содержащим 35,84 г KOH . Найдите массовые доли солей в исходном растворе.

32. Смесь Cu , Al и Fe обработали избытком H_2SO_4 (разб.) и получили газ объемом (н. у.) $2,128 \text{ дм}^3$. При взаимодействии такой же смеси металлов с избытком раствора KOH получили соль массой $12,3 \text{ г}$. Найдите $w(\text{Cu})$ в смеси металлов, если известно, что масса этой смеси равна $6,31 \text{ г}$.
33. На смесь массой $38,825 \text{ г}$ твердых солей KNO_3 и KCl действовали H_2SO_4 (конц.). Выделившийся газ полностью поглощен водой. На нейтрализацию образовавшегося раствора затратили $0,225 \text{ моль Ba(OH)}_2$. Найдите $w(\text{KNO}_3)$ в исходной смеси солей.
34. Раствор массой $50,2 \text{ г}$, содержащий BaCl_2 и HNO_3 , обработали H_2SO_4 (разб.) до прекращения выпадения осадка, масса которого составила $3,495 \text{ г}$. Осадок отфильтровали, а на нейтрализацию фильтрата затратили $0,03 \text{ моль Ba(OH)}_2$. Рассчитайте массовые доли кислот в исходном веществе.
35. К смеси оксидов K_2O и CuO массой $44,2 \text{ г}$ прибавили необходимое для реакции количество Al(OH)_3 и смесь прокалили. Получили твердую смесь массой $74,8 \text{ г}$. Найдите: а) $w(\text{CuO})$ в исходной смеси; б) массу вступившего в реакцию Al(OH)_3 .
36. При обработке смеси Mg(OH)_2 и Zn(OH)_2 избытком соляной кислоты образовалась смесь хлоридов массой $16,3 \text{ г}$. Если на эту смесь гидроксидов действовать избытком раствора KOH , то можно получить соль массой $10,55 \text{ г}$. Рассчитайте $w[\text{Mg(OH)}_2]$ в исходной смеси.
37. Имеется смесь оксидов Al_2O_3 и FeO , при обработке которой избытком раствора NaOH ее масса уменьшается на $15,3 \text{ г}$. При обработке исходной смеси оксидов избытком H_2SO_4 (разб.) получили $81,7 \text{ г}$ смеси сульфатов. Найдите $w(\text{FeO})$ в смеси.
38. Смесь CuCl_2 и AlCl_3 массой $9,42 \text{ г}$ обработали избытком разбавленного раствора NaOH . Осадок отфильтровали,

- прокалили и получили твердый остаток массой 4,0 г. Рассчитайте $w(\text{AlCl}_3)$ в исходной смеси.
39. Смесь солей AgNO_3 , BaCO_3 и CaSO_4 обработали избытком соляной кислоты и получили газ объемом (н. у.) 448 см^3 и осадок массой 8,235 г. На реакцию затрачено 0,05 моль HCl . Найдите $w(\text{CaSO}_4)$ в исходной смеси.
40. Имеется 85,0 г раствора солей CuSO_4 , ZnSO_4 и KNO_3 , общая масса солей равна 7,85 г. В этот раствор пропустили H_2S до прекращения выпадения осадка, который отфильтровали, его масса равна 0,96 г. В фильтрат по каплям добавляли раствор KOH до полной нейтрализации фильтрата и растворения первоначально выпавшего осадка. Всего было затрачено 0,1 моль KOH . Найдите $w(\text{KNO}_3)$ в исходном растворе.
41. Смесь ZnO и Al_2O_3 массой 28,5 г обработали избытком раствора NaOH . В полученный раствор по каплям добавляли H_2SO_4 (разб.) до прекращения выпадения осадка, масса которого оказалась равной 41,1 г. Рассчитайте: а) $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ в исходной смеси; б) объем израсходованного раствора кислоты с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 12,1 \%$ ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$).

ГЛАВА 25

Электролитическая диссоциация рН раствора. Ионные уравнения реакций

25.1. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

Напомним, что электролитической диссоциацией называется процесс распада электролита в водном растворе или в расплаве на ионы. При этом, если вещества полностью распадаются на ионы, то их называют **сильными электролитами**. К сильным электролитам относятся соли, щелочи и сильные кислоты. В этом случае расчеты по уравнениям электролитической диссоциации (далее — просто диссоциации) проводятся обычным образом с учетом стехиометрических коэффициентов.

Пример 25.1. Рассчитайте по отдельности число катионов и анионов соли в растворе, который получили растворением в избытке воды сульфата алюминия массой 3,42 г. (Соль диссоциирует полностью.)

Дано:

$$m[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = 3,42 \text{ г}$$

N (катионов) — ?

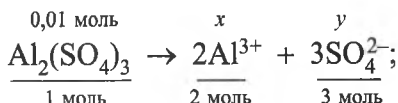
N (анионов) — ?

Решение:

$$M[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = 342 \text{ г/моль};$$

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

Записываем уравнение диссоциации и проводим расчеты:



$$n[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = \frac{m}{M} = \frac{3,42}{342} = 0,01 \text{ (моль)}.$$

Катионы:

$$x = n(\text{Al}^{3+}) = \frac{0,01 \cdot 2}{1} = 0,02 \text{ (моль)};$$

$$N(\text{Al}^{3+}) = n \cdot N_A = 0,02 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,1204 \cdot 10^{23} = 1,204 \cdot 10^{22}.$$

Анионы:

$$y = n(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{0,01 \cdot 3}{1} = 0,03 \text{ (моль)};$$

$$N(\text{SO}_4^{2-}) = n \cdot N_A = 0,03 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,1806 \cdot 10^{23} = 1,806 \cdot 10^{22}.$$

Ответ: N (катионов) = $1,204 \cdot 10^{22}$; N (анионов) = $1,806 \cdot 10^{22}$.

1. Рассчитайте массу катионов соли в водном растворе, содержащем фосфат аммония массой 29,8 г.
2. В водном растворе сульфата железа(III) находятся катионы железа массой 1,4 г. Найдите: а) массу сульфат-ионов в этом растворе; б) массу растворенной соли.
3. В растворе содержатся ионы алюминия, калия и сульфат-ионы. Химические количества ионов Al^{3+} и K^+ соответственно равны 0,020 моль и 0,030 моль. Рассчитайте массу сульфат-ионов в этом растворе.
4. Считая диссоциацию $\text{Ba}(\text{OH})_2$ полной, найдите число ионов OH^- в 500 см³ раствора с молярной концентрацией щелочи 0,3 моль/дм³.
5. В растворе соли массой 329 г с $w(\text{MeBr}_3) = 1,0 \%$ содержится в сумме $2,408 \cdot 10^{22}$ ионов Me^{3+} и Br^- . Установите металл.
6. В воде объемом 78,6 см³ растворили сульфат алюминия массой 4,104 г и получили раствор с плотностью 1,02 г/см³. Рассчитайте молярную концентрацию сульфат-ионов в полученном растворе.

7. Раствор содержит 0,1 моль ионов Al^{3+} , 0,48 г ионов Mg^{2+} , 0,04 моль в сумме катионов K^+ и Na^+ , 2,48 г ионов NO_3^- , 0,04 моль в сумме анионов Cl^- и CH_3COO^- , а также сульфат-ионы. Рассчитайте массу ионов SO_4^{2-} в этом растворе. (См. пример 25.5.)
8. Необходимо приготовить раствор объемом 250 см³, в котором молярная концентрация нитрат-ионов равна 0,26 моль/дм³. Какую массу нитрата железа(III) нужно взять для этого?

Слабые электролиты в растворе распадаются на ионы не полностью. В этом случае расчеты проводятся с использованием степени электролитической диссоциации α . Эта физическая величина равна отношению числа распавшихся (продиссоциировавших) на ионы молекул или формульных единиц (ФЕ) к общему числу молекул или формульных единиц:

$$\alpha = \frac{N(\text{прод.})}{N(\text{общ.})} (100 \%). \quad (25.1)$$

Значение α можно выразить через химическое количество:

$$\alpha = \frac{n(\text{прод.})}{n(\text{общ.})} (100 \%). \quad (25.2)$$

Если, например, значение α равно 30 %, то это означает, что из каждых 100 молекул (ФЕ) электролита на ионы распадается только 30.

Пример 25.2. Считая диссоциацию полной, рассчитайте химическое количество ионов водорода в 250 см³ раствора с молярной концентрацией H_2SO_4 1,5 моль/дм³.

Дано:

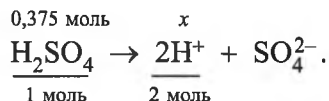
$$V(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 250 \text{ см}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,5 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$$

$$n(\text{H}^+) \text{ — ?}$$

Решение:

Записываем уравнение диссоциации и проводим расчеты:



Из формулы для молярной концентрации

$$c = \frac{n}{V}$$

находим: $n = c \cdot V$, где объем раствора нужно брать в дм^3 ($250 \text{ см}^3 = 0,25 \text{ дм}^3$):

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V (\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 1,5 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ (моль)}.$$

Из уравнения диссоциации рассчитываем химическое количество ионов водорода:

$$\frac{0,375}{1} = \frac{x}{2}; x = n(\text{H}^+) = \frac{0,375 \cdot 2}{1} = 0,75 \text{ (моль)}.$$

Ответ: $n(\text{H}^+) = 0,75 \text{ моль}$.

Пример 25.3. В воде растворили хлороводород массой 0,438 г и получили раствор объемом 250 см^3 . Рассчитайте молярную концентрацию ионов H^+ в растворе.

Дано:

$$m(\text{HCl}) = 0,438 \text{ г}$$

$$V (\text{р-ра}) = 250 \text{ см}^3$$

$$c(\text{H}^+) = ?$$

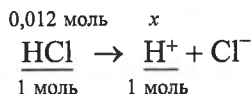
Решение:

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

$$V (\text{р-ра}) = 250 \text{ см}^3 = 0,25 \text{ дм}^3;$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{m}{M} = \frac{0,438}{36,5} = 0,012 \text{ (моль)}.$$

Из уравнения диссоциации (HCl — сильный электролит)



следует: $x = n(\text{H}^+) = 0,012 \text{ моль};$

$$c(\text{H}^+) = \frac{n(\text{H}^+)}{V (\text{р-ра})} = \frac{0,012}{0,25} = 0,048 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $c(\text{H}^+) = 0,048 \text{ моль/дм}^3$.

Пример 25.4. В растворе массой 284 г с массовой долей соли $\text{Me}_2(\text{SO}_4)_3$ 1,38 % содержится в сумме $3,01 \cdot 10^{22}$ ионов Me^{3+} и SO_4^{2-} . Определите металл.

Дано:

$$m \text{ (р-ра)} = 284 \text{ г}$$

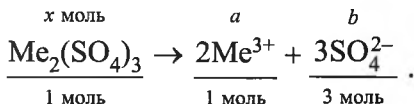
$$w[\text{Me}_2(\text{SO}_4)_3] = 1,38 \%$$

$$N(\text{Me}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}) = 3,01 \cdot 10^{22}$$

$\text{Me} \text{ — ?}$

Решение:

Уравнение диссоциации соли имеет вид:



Находим общее химическое количество ионов соли:

$$n(\text{Me}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}) = \frac{N}{N_A} = \frac{3,01 \cdot 10^{22}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Пусть химическое количество соли равно x моль.

Тогда

$$a = n(\text{Me}^{3+}) = 2x \text{ моль};$$

$$b = n(\text{SO}_4^{2-}) = 3x \text{ моль};$$

$$a + b = 0,05 \text{ моль};$$

$$x = 0,01 \text{ моль}.$$

Находим массу и молярную массу соли:

$$m(\text{Me}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}) = m \text{ (р-ра)} \cdot w = 284 \cdot 0,0138 = 3,92 \text{ (г)};$$

$$M[\text{Me}_2(\text{SO}_4)_3] = \frac{m}{n} = \frac{3,92}{0,01} = 392 \text{ (г/моль)}.$$

Отсюда

$$M(\text{Me}) = \frac{392 - 3M(\text{SO}_4^{2-})}{2} = \frac{392 - 3 \cdot 96}{2} = 52 \text{ (г/моль)}.$$

Это хром.

Ответ: хром.

Пример 25.5. В растворе содержатся в сумме 0,06 моль катионов NH_4^+ и K^+ , 0,03 моль катионов Al^{3+} , 0,03 моль анионов SO_4^{2-} и нитрат-ионы NO_3^- . Найдите массу нитрат-ионов в этом растворе.

Дано:

$$n(\text{NH}_4^+ + \text{K}^+) =$$

$$= 0,06 \text{ моль}$$

$$n(\text{Al}^{3+}) = 0,03 \text{ моль}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 0,03 \text{ моль}$$

$$m(\text{NO}_3^-) = ?$$

Решение:

Поскольку раствор электролита электронеутрален, то суммарный заряд катионов с учетом их количества (моль) должен быть по абсолютной величине равен суммарному заряду анионов NO_3^- (с учетом их количества).

Пусть x — химическое количество ионов NO_3^- . Имеем:

$$\underbrace{0,06 \cdot 1 + 0,03 \cdot 3}_{\text{катионы}} = \underbrace{|0,03(-2) + x(-1)|}_{\text{анионы}};$$

$$0,06 + 0,09 = 0,06 + x; x = 0,09 \text{ моль};$$

$$M(\text{NO}_3^-) = 62 \text{ г/моль}; m(\text{NO}_3^-) = m \cdot M = 0,09 \cdot 62 = 5,58 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{NO}_3^-) = 5,58 \text{ г}$.

Пример 25.6. В воде растворили 0,05 моль уксусной кислоты. Рассчитайте число ацетат-ионов в растворе, если степень диссоциации кислоты равна 10 %.

Дано:

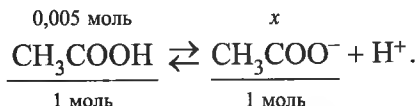
$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,05 \text{ моль}$$

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10 \%$$

$$N(\text{CH}_3\text{COO}^-) = ?$$

Решение:

Запишем уравнение диссоциации CH_3COOH :



Из формулы (25.2) рассчитаем химическое количество распавшихся на ионы молекул кислоты:

$$n(\text{прод.}) = n(\text{общ.}) \cdot \alpha;$$

$$n(\text{прод.}) = 0,05 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ моль.}$$

Из уравнения диссоциации кислоты следует:

$$x = n(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,005 \text{ моль};$$

$$N(\text{CH}_3\text{COO}^-) = n \cdot N_A = 0,005 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,0301 \cdot 10^{23} =$$

$$= 3,01 \cdot 10^{21}.$$

Ответ: $N(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 3,01 \cdot 10^{21}$ моль.

Пример 25.7. В растворе плавиковой кислоты HF содержатся ионы F^- и H^+ общим химическим количеством 0,2 моль и молекулы HF химическим количеством 0,9 моль. Рассчитайте степень диссоциации HF в этом растворе.

Дано:

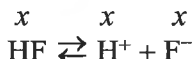
$$n(\text{H}^+ + \text{F}^-) = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{HF})_{\text{нерасп.}} = 0,9 \text{ моль}$$

$$\alpha(\text{HF}) \text{ — ?}$$

Решение:

По уравнению диссоциации кислоты



найдем химическое количество x распавшихся молекул HF.

Очевидно, что

$$n(\text{H}^+ + \text{F}^-) = 2x;$$

$$2x = 0,2;$$

$$x = 0,1 \text{ моль.}$$

Общее химическое количество растворенных молекул равно сумме количеств (моль) распавшихся и нераспавшихся молекул:

$$n(\text{общ.}) = 0,1 + 0,9 = 1,0 \text{ моль.}$$

Согласно формуле (25.2):

$$\alpha = \frac{n(\text{прод.})}{n(\text{общ.})} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ (10 \%)}.$$

Ответ: $\alpha(\text{HF}) = 10 \%$.

9. Найдите степень диссоциации метановой кислоты, содержащей в некотором объеме $5,418 \cdot 10^{22}$ ее молекул и $1,204 \cdot 10^{22}$ ионов H^+ и HCOO^- в сумме.
10. Рассчитайте химическое количество нераспавшихся молекул HNO_2 , содержащихся в 50 см^3 ее раствора ($\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$), если $\alpha = 6,2 \%$, а $w(\text{HNO}_2) = 12,5 \%$.
11. Определите число ионов H^+ в 500 см^3 раствора HF ($w = 0,15$, $\rho = 1 \text{ г/см}^3$), если $\alpha = 8,5 \%$.
12. В воде объемом 500 см^3 на ионы распадается $3,0 \cdot 10^{16}$ ее молекул. Рассчитайте степень диссоциации воды.
13. В воде растворили $1,15 \text{ г}$ муравьиной кислоты, степень диссоциации кислоты равна $3,5 \%$. Найдите для этого раствора: а) общее число ионов кислоты; б) число нераспавшихся на ионы молекул кислоты.
14. В воде растворили азотистую кислоту массой $4,7 \text{ г}$. В полученном растворе общее число ионов H^+ , NO_2^- и молекул HNO_2 равно $6,4 \cdot 10^{22}$. Определите степень диссоциации кислоты.

25.2. ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ pH

Численное значение pH равно отрицательному десятичному логарифму молярной концентрации водорода:

$$\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+).$$

В случае, когда $c(\text{H}^+) = 10^{-a}$:

$$\text{pH} = -\lg 10^{-a} = a. \quad (25.3)$$

Таким образом, чтобы определить pH раствора, надо предварительно найти в нем молярную концентрацию ионов водорода:

$$c(\text{H}^+) = \frac{n(\text{H}^+)}{V(\text{p-ра})}. \quad (25.4)$$

Из формулы (25.4) следуют выражения для расчета объема раствора и химического количества в нем ионов водорода:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{n(\text{H}^+)}{c(\text{H}^+)}; \quad (25.5)$$

$$n(\text{H}^+) = c(\text{H}^+) \cdot V(\text{р-ра}). \quad (25.6)$$

Пример 25.8. В воде растворили хлороводород объемом (н. у.) 56 см^3 и получили раствор объемом 250 см^3 . Найдите pH раствора.

Дано:

$$V(\text{HCl}) = 56 \text{ см}^3$$

$$V(\text{р-ра}) = 250 \text{ см}^3$$

pH (р-ра) — ?

Решение:

Из уравнения диссоциации (HCl — сильный электролит)



следует, что химическое количество ионов H^+ равно химическому количеству хлороводорода:

$$n(\text{H}^+) = n(\text{HCl}) = \frac{V(\text{HCl})}{V_m} = \frac{0,056}{22,4} = 0,0025 \text{ (моль)}.$$

Находим молярную концентрацию ионов водорода и значение pH раствора:

$$c(\text{H}^+) = \frac{n(\text{H}^+)}{V(\text{р-ра})} = \frac{0,0025}{0,25} = 0,01 = 10^{-2} \text{ (моль/дм}^3\text{)};$$

$$\text{pH} = -\lg 10^{-2} = 2.$$

Ответ: pH (р-ра) = 2.

В случае слабых электролитов расчеты следует проводить с использованием значения степени диссоциации.

Пример 25.9. В воде растворили уксусную кислоту массой $7,5 \text{ мг}$ и получили раствор объемом 125 см^3 , в котором степень диссоциации кислоты равна 10% . Рассчитайте pH раствора.

Дано:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 7,5 \text{ мг}$$

$$V(\text{p-ра}) = 125 \text{ см}^3$$

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = 10 \%$$

$$\text{pH}(\text{p-ра}) = ?$$

Решение:

Находим общее химическое количество кислоты ($M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ г/моль}$), учитывая, что $7,5 \text{ мг} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ г}$:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m}{M} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{60} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ (моль)}.$$

Исходя из формулы (25.2), рассчитываем химическое количество кислоты, распавшейся на ионы:

$$n(\text{прод.}) = n(\text{общ.}) \cdot \alpha = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ (моль)}.$$

По выражению (25.4) находим молярную концентрацию ионов водорода ($V(\text{p-ра}) = 125 \text{ см}^3 = 0,125 \text{ дм}^3$):

$$c(\text{H}^+) = \frac{n(\text{H}^+)}{V(\text{p-ра})},$$

$$c(\text{H}^+) = \frac{1,25 \cdot 10^{-5}}{0,125} = 10^{-4} \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Следовательно: $\text{pH} = 4$.

Ответ: $\text{pH}(\text{p-ра}) = 4$.

15. Чему равен водородный показатель, если в растворе объемом 400 см^3 содержится $2,408 \cdot 10^{21}$ ионов H^+ ?
16. Рассчитайте молярную концентрацию HBr в растворе, если известно, что pH раствора 1.
17. Вычислите pH в растворе H_2S с молярной концентрацией $0,1 \text{ моль/дм}^3$, если степень диссоциации по первой ступени равна $0,1 \%$. (Диссоциацией по второй стадии можно пренебречь.)
18. Какая масса H_2SO_4 нужна для приготовления раствора объемом 400 см^3 с $\text{pH} = 2$ (изменением объема и плотности при смешивании H_2O и H_2SO_4 можно пренебречь, диссоциация полная по обеим стадиям)?

19. Водородный показатель раствора равен 3. Рассчитайте число ионов водорода в растворе объемом 70 см^3 .
20. Химическое количество ионов водорода в растворе, рН которого равен 3, составляет 0,0012 моль. Найдите объем раствора.
21. В воде растворили 1,176 г H_2SO_4 и получили раствор объемом 240 см^3 . Считая, что диссоциация кислоты полная по обеим стадиям, найдите рН раствора.

25.3. СОСТАВЛЕНИЕ ИОННЫХ УРАВНЕНИЙ РЕАКЦИЙ

Напомним, что составление ионного уравнения реакции включает три этапа.

1-й этап. Записывают молекулярное уравнение реакции.

2-й этап. Записывают полное ионное уравнение реакции.

В виде ионов записывают формулы:

а) сильных кислот: HCl , HBr , HI , HNO_3 , H_2SO_4 (разб.), HClO_4 , HClO_3 ;

б) щелочей: LiOH , NaOH , KOH , RbOH , CsOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (разб.), $\text{Sr}(\text{OH})_2$;

в) растворимых солей: KNO_3 , $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$, $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$, CuSO_4 , NaCl и т. д.

На ионы не расписывают формулы:

а) слабых кислот: HF , CH_3COOH , HNO_2 , H_3PO_4 , H_2SiO_3 , H_2S , H_2CO_3 ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), H_2SO_3 ;

б) слабых оснований: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и т. д.;

в) амфотерных гидроксидов: $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Be}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и т. д.;

г) нерастворимых солей: BaSO_4 , CaCO_3 , CuS и т. д.;

д) «кислые» остатки слабых многоосновных кислот: HS^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , HCO_3^- , HSO_3^- и т. д.;

е) простых веществ: N_2 , Cl_2 и т. д.

3-й этап. Формулы одинаковых ионов, которые содержатся как в левой, так и в правой частях полного ионного уравнения, убирают и получают краткое (сокращенное) ионное уравнение реакции.

Пример 25.10. Составьте краткое ионное уравнение реакции взаимодействия CuCl_2 с избытком разбавленного раствора KOH .

Решение:

1-й этап:

$\text{CuCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaCl}$ — молекулярное уравнение реакции.

2-й этап:

$\text{Cu}^{2+} + \underline{2\text{Cl}^-} + \underline{2\text{Na}^+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + \underline{2\text{Na}^+} + \underline{2\text{Cl}^-}$ — полное ионное уравнение реакции (формулы одинаковых ионов подчеркнуты).

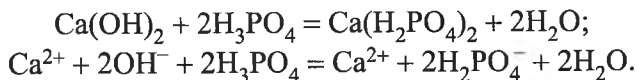
3-й этап:

$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow$ — краткое ионное уравнение.

Пример 25.11. Составьте краткое ионное уравнение реакции разбавленного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с избытком H_3PO_4 .

Решение:

В случае раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ расписываем на ионы. В избытке H_3PO_4 образуется растворимый дигидрофосфат кальция. Записываем:



В данном случае полное ионное уравнение реакции одновременно является кратким.

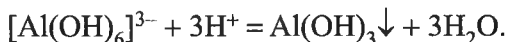
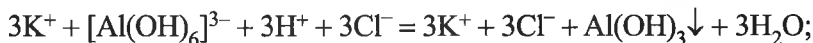
Пример 25.12. К раствору, полученному при взаимодействии $\text{Al}(\text{OH})_3$ с избытком раствора KOH , по каплям добавляли соляную кислоту до прекращения выпадения осадка. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций протекающих процессов.

Решение:

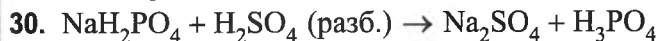
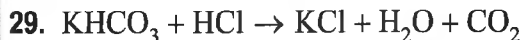
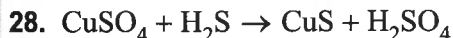
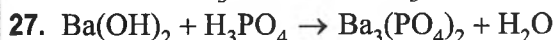
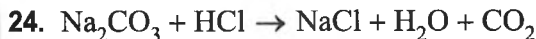
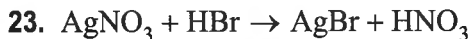
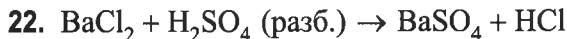
Гидроксид алюминия растворяется в избытке раствора KOH с образованием комплексной гидроксосоли:



При постепенном добавлении кислот в раствор комплексной соли выпадает осадок амфотерного гидроксида:



Составьте полные и краткие ионные уравнения для реакций, протекающих по схемам:



31. $\text{NaOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
32. $\text{FeSO}_4 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
33. $\text{KNO}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{HNO}_2$
34. $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (разб.)} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
35. $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{Zn}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$
36. $\text{KHS} + \text{HBr} \rightarrow \text{KBr} + \text{H}_2\text{S}$
37. $\text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{KHS}$
38. $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (разб.)} \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
39. $\text{KHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
40. $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SiO}_3$
41. $\text{ZnCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$
42. $\text{Be}(\text{OH})_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}[\text{Be}(\text{OH})_4]$
43. $\text{KHSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (разб.)} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_3$
44. $\text{K}_2\text{HPO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_3\text{PO}_4$
45. $\text{KHCO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

ГЛАВА 26

Электрохимический ряд напряжений металлов («пластинки металлов»)

Задачи на эту тему связаны с особенностями поведения металлов при их погружении в водный раствор какой-нибудь соли другого металла. Известно, что при этом более активный металл (расположенный в электрохимическом ряду напряжений металлов левее) вытесняет из соли менее активный металл. Масса пластинки, изготовленной из более активного металла, будет при этом изменяться. Следует иметь в виду, что изменение массы пластинки связано с двумя процессами (рис. 26.1):

- растворением металла пластинки (за счет этого процесса масса пластинки уменьшается);
- осаждением на пластинке менее активного металла (в зависимости от молярных масс металлов этот процесс может привести как к увеличению, так и к уменьшению массы пластинки).



Рис. 26.1. К изменению массы пластинки, изготовленной из металла **Me(1)**, опущенной в водный раствор соли **Me(2)**

Рассмотрим конкретный пример.

Пример 26.1. В водный раствор сульфата меди(II) массой 200 г с массовой долей соли 15,0 % опустили тонкую железную пластинку массой 3,6 г. После окончания реакции пластинку извлекли из раствора, промыли, высушили и взвесили. Какой стала масса пластинки?

Дано:

$$m(\text{р-ра CuSO}_4) = 200 \text{ г}$$

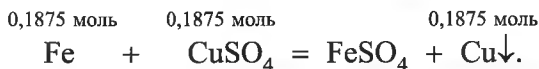
$$\omega(\text{р-ра}) = 15 \%$$

$$m(\text{Fe}) = 3,6 \text{ г}$$

$$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = ?$$

Решение:

При погружении железной пластинки в водный раствор сульфата меди(II) протекает реакция замещения, так как железо является более активным металлом, чем медь:



Часть железа при этом растворяется и за счет этого процесса масса пластинки уменьшается. Одновременно на железной пластинке осаждается медь, этот процесс приводит к возрастанию массы пластинки, так как $M(\text{Cu}) > M(\text{Fe})$.

Следовательно, изменение массы железной пластинки можно представить в виде разности масс осадившейся меди и растворившегося железа:

$$\Delta m(\text{пл.}) = m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}).$$

Из уравнения реакции видим, что при растворении 1 моль Fe (т. е. 56 г) на пластинке осаждается 1 моль Cu (т. е. 64 г), поэтому для 1 моль железа изменение массы пластинки составляет:

$$\Delta m(\text{пл.}) = 64 - 56 = 8 \text{ (г)}.$$

Находим химическое количество CuSO_4 и массу Fe:

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

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{р-ра CuSO}_4) \cdot \omega(\text{CuSO}_4) = 200 \cdot 0,15 = 30 \text{ (г)};$$

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{30}{160} = 0,1875 \text{ (моль)}.$$

Очевидно, что

$$n(\text{Fe}) = n(\text{CuSO}_4) = 0,1875 \text{ моль}; M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,1875 \cdot 56 = 10,5 \text{ (г)}.$$

Можно составить пропорцию:

$$\text{если реагирует } 56 \text{ г Fe} \frac{\text{изменение}}{\text{массы пластинки}} 8 \text{ г}$$

$$10,5 \text{ г} \text{ ————— } x;$$

$$x = \Delta m(\text{пл.}) = \frac{10,5 \cdot 8}{56} = 1,5 \text{ (г)}.$$

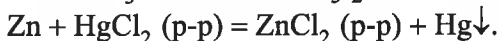
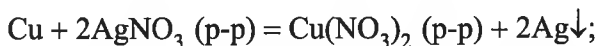
Таким образом, масса пластинки после реакции станет равной $3,6 + 1,5 = 5,1 \text{ (г)}$.

Изменение массы пластинки можно рассчитать и по-другому (по «молям»). Ранее (см. выше) было найдено, что прореагировала соль химическим количеством 0,1875 моль, растворилось 0,1875 моль Fe, осадилось на пластинке 0,1875 моль Cu. Находим:

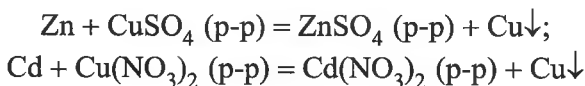
$$\begin{aligned} \Delta m(\text{пл.}) &= m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) - n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = \\ &= 0,1875 \cdot 64 - 0,1875 \cdot 56 = 1,5 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{пл.}) = 1,5 \text{ г}$.

В рассмотренном выше примере масса пластинки после реакции возросла, поскольку на пластинке осаждался металл (Cu), у которого молярная масса больше, чем у растворяющегося металла (Fe). Масса пластинки будет возрастать и в следующих процессах:



Однако для процессов



масса пластинки будет уменьшаться ($\Delta m(\text{пл.}) < 0$), так как $M(\text{Cu}) < M(\text{Zn})$ и $M(\text{Cu}) < M(\text{Cd})$.

Еще один нюанс, который необходимо учитывать при решении задач на эту тему, связан с нахождением массы раствора после того, как из него извлекли пластинку (масса конечного раствора). Необходимо иметь в виду, что в результате протекания реакции замещения масса раствора изменяется.

Запомним: изменения масс раствора и пластинки равны по величине, но противоположны по знаку.

Иными словами: на какую величину масса пластинки возросла (уменьшилась), на такую же величину масса конечного раствора уменьшилась (возросла).

Некоторые из перечисленных особенностей рассматриваются ниже.

Пример 26.2. После погружения железной пластинки в раствор CuSO_4 объемом 100 см^3 ($\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$) с массовой долей соли $14,5 \%$ ее масса возросла на $0,39 \text{ г}$. Рассчитайте массовые доли солей в растворе после реакции.

Дано:

$$V(\text{р-ра } \text{CuSO}_4) = 100 \text{ см}^3$$

$$\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$$

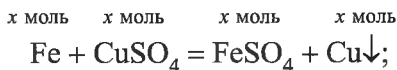
$$\omega(\text{CuSO}_4) = 14,5 \%$$

$$\Delta m(\text{пл.}) = 0,39 \text{ г}$$

ω (солей) — ?

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$\begin{aligned}M(\text{Fe}) &= 56 \text{ г/моль}; \quad M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль}; \\ M(\text{CuSO}_4) &= 160 \text{ г/моль}; \quad M(\text{FeSO}_4) = 152 \text{ г/моль}.\end{aligned}$$

Пусть в реакцию вступило железо химическим количеством x моль. Тогда

$$\begin{aligned}\Delta m(\text{пл.}) &= m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}); \\ m(\text{Cu}) &= x \cdot M(\text{Cu}) = x \cdot 64; \\ m(\text{Fe}) &= x \cdot M(\text{Fe}) = x \cdot 56; \\ \Delta m(\text{пл.}) &= 64x - 56x = 8x; \\ 0,39 &= 8x; \\ x &= 0,0488 \text{ (моль)},\end{aligned}$$

то есть в реакцию вступило 0,0488 моль CuSO_4 и в результате образовалось 0,0488 моль FeSO_4 .

Имеем:

$$m(\text{FeSO}_4) = n(\text{FeSO}_4) \cdot M(\text{FeSO}_4) = 0,0488 \cdot 152 = 7,42 \text{ (г)}.$$

Рассчитаем массу CuSO_4 в конечном растворе. В исходном растворе

$$\begin{aligned}m(\text{CuSO}_4)_{\text{исх.}} &= m(\text{р-ра CuSO}_4) \cdot w(\text{CuSO}_4); \\ m(\text{р-ра CuSO}_4) &= V \cdot \rho = 100 \cdot 1,10 = 110 \text{ (г)}; \\ m(\text{CuSO}_4)_{\text{исх.}} &= 110 \cdot 0,145 = 15,95 \text{ (г)}.\end{aligned}$$

Прореагировал сульфат меди(II) массой $0,0488 \cdot 160 = 7,81$ (г), поэтому в конечном растворе $m(\text{CuSO}_4)_{\text{исх.}}$ составляет $15,95 - 7,81 = 8,14$ (г).

Масса конечного раствора меньше массы исходного на $\Delta m(\text{пл.})$. Поскольку $\Delta m(\text{пл.}) = 0,39$ г, то

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = 110 - 0,39 = 109,61 \text{ (г)}.$$

Находим массовые доли солей:

$$\begin{aligned}w(\text{FeSO}_4) &= \frac{m(\text{FeSO}_4)}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{7,42}{109,61} = 0,0678 \text{ (6,78 \%)}; \\ w(\text{CuSO}_4) &= \frac{m(\text{CuSO}_4)_{\text{конечн.}}}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{8,14}{109,61} = 0,0741 \text{ (7,41 \%)}.\end{aligned}$$

Ответ: $w(\text{FeSO}_4) = 6,78 \%$; $w(\text{CuSO}_4) = 7,41 \%$.

1. В раствор нитрата серебра(I) массой 100 г с массовой долей соли 17,0 % опустили цинковые опилки массой 12,0 г. Определите массу выделившегося серебра.
2. Цинковую пластинку опустили в раствор сульфата ртути(II). Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 13,6 г. Определите массу образовавшейся ртути.
3. Железную пластинку массой 8,0 г некоторое время выдержали в растворе массой 200 г с $w(\text{CuSO}_4) = 15\%$, после чего масса пластинки составила 8,8 г. Рассчитайте $w(\text{CuSO}_4)$ в растворе после реакции.
4. Железная пластинка массой 5,0 г длительное время выдерживалась в растворе, содержащем сульфат меди(II) массой 1,60 г. Рассчитайте массу пластинки после реакции.
5. Масса железного стержня после его выдерживания в растворе $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ увеличилась на 1,6 г и составила 23,2 г. Найдите состав стержня по массе после реакции (образуется нитрат железа(II)).
6. Медную пластинку массой 20,0 г выдерживали в растворе AgNO_3 до полного окончания реакции, после чего масса пластинки выросла на 19 %. Найдите массу AgNO_3 в исходном растворе.
7. Железную пластинку массой 8,0 г выдерживали в растворе CuSO_4 массой 250 г с $w(\text{CuSO}_4) = 15\%$, после чего масса пластинки составила 8,8 г. Найдите массовую долю FeSO_4 в растворе после реакции.
8. В раствор SnCl_2 массой 131,79 г опустили алюминиевую пластинку. Через некоторое время масса пластинки изменилась на 9,09 г. Найдите $w(\text{AlCl}_3)$ в растворе после реакции.
9. Железная пластинка массой 5,0 г длительное время выдерживалась в растворе, содержащем CuSO_4 массой 1,60 г. Какой стала масса пластинки после окончания реакции?

10. Цинковую пластинку массой 20,0 г погрузили в раствор массой 340 г с $w(\text{AgNO}_3) = 2,0 \%$. Рассчитайте массу пластинки после завершения реакции.
11. Масса железной пластинки, которая на некоторое время была опущена в раствор массой 200 г с $w(\text{CuSO}_4) = 20,0 \%$, изменилась на 0,800 г. Найдите массовые доли солей в растворе после реакции.
12. В раствор AgNO_3 поместили медную пластинку массой 80,0 г. После полного вытеснения серебра масса пластинки возросла на 3,8 %. Рассчитайте массу соли в исходном растворе.

Рассмотрим решение задачи на эту тему, в которой надо установить металл.

Пример 26.3. В водный раствор соли MeSO_4 массой 500 г поместили железную пластинку. Через некоторое время массовая доля FeSO_4 стала равной 16,87 %, а масса пластинки возросла на 4,4 г. Установите металл.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 500 \text{ г}$$

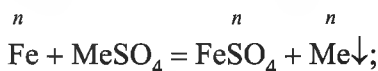
$$w(\text{FeSO}_4) = 16,87 \%$$

$$\Delta m(\text{пл.}) = 4,4 \text{ г}$$

Установите металл

Решение:

Записываем уравнение реакции:



$$M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{FeSO}_4) = 152 \text{ г/моль}; M(\text{Me}) = X \text{ (г/моль)}.$$

Масса конечного раствора уменьшилась на $\Delta m(\text{пл.})$, т. е. стала равной $500 - 4,4 = 495,6$ (г). Масса FeSO_4 в этом же растворе составляет $495,6 \cdot 0,1687 = 83,6$ (г).

Из уравнения реакции видно, что

$$m(\text{FeSO}_4) = n \cdot 152,$$

где n — химическое количество вступившего в реакцию железа, а соответственно, и выделившегося металла.

Таким образом,

$$\begin{aligned} 83,6 &= n \cdot 152; \\ n &= 0,55 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Обозначив молярную массу неизвестного металла как X , для $\Delta m(\text{пл.}) = 4,4$ г имеем:

$$\begin{aligned} 4,4 &= n \cdot X - 56n; \\ 4,4 &= 0,55X - 56 \cdot 0,55; \\ X &= 64 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

Это медь (Cu).

Ответ: медь (Cu).

13. Цинковая пластинка помещена в раствор сульфата двухвалентного металла, масса раствора 50,0 г. Через некоторое время масса пластинки возросла на 1,08 г, а массовая доля ZnSO_4 в растворе стала равной 6,58 %. Какой металл выделялся на цинковой пластинке?
14. В раствор хлорида двухвалентного металла, содержащего 3,2 г ионов металла, погрузили железную пластинку массой 50,0 г. После полного выделения металла масса пластинки возросла на 0,8 %. Определите формулу хлорида металла.
15. Раствор сульфата двухвалентного металла содержит 1,120 г металла в виде ионов. В раствор погрузили цинковую пластинку. После полного выделения металла на пластинке масса ее увеличилась на 0,470 г. Определите неизвестный металл.
16. В растворе массой 50 г с $w(\text{HCl}) = 12$ % некоторое время выдерживали пластинку металла массой 4,0 г, который образует соль MeCl_2 . В результате реакции масса пластинки уменьшилась на 42 % и выделился газ объемом (н. у.) 672 см^3 . Установите неизвестный металл.
17. Цинковую пластинку опустили в раствор соли MeCl_2 объемом 120 см^3 ($\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$). Через некоторое вре-

мя масса пластинки уменьшилась на 0,2 г, а $w(\text{ZnCl}_2)$ в растворе стала равной 19,74 %. Определите, хлорид какого металла был взят.

18. Магний массой 20 г опустили в раствор сульфата неизвестного металла, проявляющего в соединениях степень окисления +2. Через некоторое время масса пластинки стала равной 23,2 г и образовался сульфат магния массой 12 г. Определите неизвестный металл.
19. Пластинку неизвестного двухвалентного металла опустили в раствор массой 500 г с $w(\text{FeSO}_4) = 15,2\%$. Через некоторое время $w(\text{FeSO}_4)$ уменьшилась на 6,11 %, а масса пластинки уменьшилась на 1,8 г. Определите металл пластинки.

Рассмотрим решение еще нескольких достаточно сложных задач на данную тему.

Пример 26.4. Тонкую медную пластинку массой 0,73 г опустили в раствор нитрата серебра(I) массой 85,0 г с массовой долей соли 0,2 % и извлекли из него в тот момент, когда массовые доли сильных электролитов в растворе сравнялись. Какой стала масса пластинки к этому моменту времени?

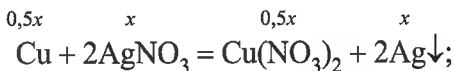
Дано:

$m(\text{пл.})_{\text{исх.}} = 0,73 \text{ г}$
 $m(\text{р-ра AgNO}_3) = 85,0 \text{ г}$
 $w(\text{AgNO}_3) = 0,2\%$
 $w(\text{электролитов})$ сравнялись

$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = ?$

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль};$

$M(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль};$

$M(\text{AgNO}_3) = 170 \text{ г/моль}; M[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 188 \text{ г/моль};$

$m(\text{AgNO}_3) = m(\text{р-ра AgNO}_3) \cdot w(\text{AgNO}_3) = 85 \cdot 0,002 = 0,17 \text{ (г)};$

$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)} = \frac{0,17}{170} = 10^{-3} \text{ (моль)}.$$

Пусть прореагировал нитрат серебра(I) химическим количеством x (моль). Тогда образовался нитрат меди(II) химическим количеством $0,5x$ (моль), а химическое количество непрореагировавшего (избыточного) нитрата серебра(I) составило $0,001 - x$ (моль). По условию $w[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = w(\text{AgNO}_3)$. А если массовые доли веществ в растворе равны, то равны и их массы:

$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = m(\text{AgNO}_3)_{\text{изб.}};$$

$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = n[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] \cdot M[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 0,5x \cdot 188 = 94x \text{ (г)};$$

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{изб.}} = n(\text{AgNO}_3)_{\text{изб.}} \cdot M(\text{AgNO}_3) = (0,001 - x) \cdot 170 \text{ (г)}.$$

Таким образом:

$$94x = (0,001 - x)170;$$

$$x = 6,44 \cdot 10^{-4}.$$

Рассчитываем изменение массы пластинки:

$$\Delta m(\text{пл.}) = m(\text{Ag}) - m(\text{Cu}) = n(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) - n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu});$$

$$n(\text{Ag}) = x = 6,44 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$n(\text{Cu}) = 0,5x = 0,5 \cdot 6,44 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$\Delta m(\text{пл.}) = 6,44 \cdot 10^{-4} \cdot 108 - 0,5 \cdot 6,44 \cdot 10^{-4} \cdot 64 = 0,05 \text{ (г)}.$$

Находим конечную массу пластинки:

$$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = m(\text{пл.})_{\text{исх.}} + \Delta m(\text{пл.}) = 0,73 + 0,05 = 0,78 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{пл.}) = 0,78 \text{ г}$.

Пример 26.5. Медную пластинку вначале опустили в раствор азотной кислоты объемом 85 см^3 ($\rho = 1,43 \text{ г/см}^3$) с массовой долей кислоты 75 %. При этом выделился газ объемом (н. у.) $3,26 \text{ дм}^3$. Затем пластинку извлекли из раствора азотной кислоты и погрузили в раствор нитрата серебра(I). В результате этих двух операций масса пластинки не изменилась. Какой объем раствора серной кислоты с массовой долей ее 78 % ($\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$) потребуется для снятия серебряного покрытия с пластинки?

Дано:

$$V(\text{p-ра HNO}_3) = 85 \text{ см}^3$$

$$\rho(\text{p-ра HNO}_3) = 1,43 \text{ г/см}^3$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = 75 \%$$

$$V(\text{газа}) = 3,26 \text{ дм}^3$$

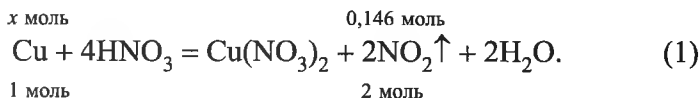
$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 78 \%$$

$$\rho(\text{p-ра H}_2\text{SO}_4) = 1,7 \text{ г/см}^3$$

$$V(\text{p-ра H}_2\text{SO}_4) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции меди с азотной кислотой, учитывая, что азотная кислота с массовой долей ее 75 % является концентрированной:



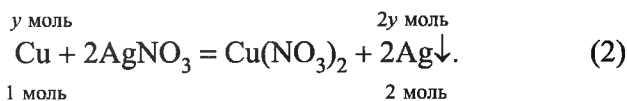
По условию объем NO_2 равен $3,26 \text{ дм}^3$. Находим массу меди, прореагировавшей с азотной кислотой, по уравнению (1):

$$n(\text{NO}_2) = \frac{V(\text{NO}_2)}{V_m} = \frac{3,26}{22,4} = 0,146 \text{ (моль)};$$

$$x = n(\text{Cu}) = \frac{0,146 \cdot 1}{2} = 0,073 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,073 \cdot 64 = 4,67 \text{ (г)}.$$

При погружении медной пластинки в раствор нитрата серебра протекает реакция:



В процессе (1) масса медной пластинки уменьшается, а в процессе (2) — возрастает. Поскольку в результате масса пластинки не изменилась, можно для процесса (2) записать:

$$\Delta m(\text{пл.}) = 4,67 \text{ (г)}.$$

Для $\Delta m(\text{пл.})$ имеем [см. уравнение (2)]:

$$\begin{aligned}\Delta m(\text{пл.}) &= m(\text{Ag}) - m(\text{Cu}) = n(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) - n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = \\ &= 2y \cdot 108 - y \cdot 64 = 152y.\end{aligned}$$

Находим:

$$\begin{aligned}152y &= 4,67; \\ y &= 0,0307 \text{ (моль)}.\end{aligned}$$

Химическое количество осадившегося на медной пластинке серебра равно $2y$ моль или $2 \cdot 0,0307 = 0,0614$ (моль).

Рассчитываем искомую массу раствора серной кислоты (в этом случае она является концентрированной). Из уравнения реакции следует:



$$z = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,0614 \cdot 2}{2} = 0,0614 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0614 \cdot 98 = 6,02 \text{ (г)};$$

$$m(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{6,02}{0,78} = 7,72 \text{ (г)};$$

$$V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4)}{\rho} = \frac{7,72}{1,7} = 4,54 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = 4,54 \text{ см}^3$.

Пример 26.6. Цинковую пластинку массой 20,0 г опустили в раствор CdSO_4 массой 493,0 г. В момент извлечения пластинки из раствора массовая доля ZnSO_4 в растворе оказалась равной 2,08 %. Рассчитайте массу пластинки после извлечения ее из раствора.

Дано:

$$m(\text{p-ра CdSO}_4) = 493,0 \text{ г}$$

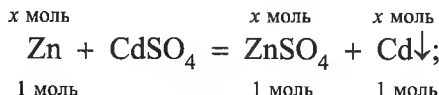
$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 2,08 \%$$

$$m(\text{пл.}) = 20,0 \text{ г}$$

$$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$M(\text{Zn}) = 65 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Cd}) = 112 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{ZnSO}_4) = 161 \text{ г/моль}.$$

Пусть в реакцию вступил Zn химическим количеством x моль. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta m(\text{пл.}) &= m(\text{Cd}) - m(\text{Zn}) = x \cdot M(\text{Cd}) - x \cdot M(\text{Zn}) = \\ &= 112x - 65x = 47x \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Масса раствора после реакции уменьшилась на величину $\Delta m(\text{пл.})$:

$$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = 493,0 - 47x.$$

В конечном растворе

$$m(\text{ZnSO}_4) = n(\text{ZnSO}_4) \cdot M(\text{ZnSO}_4) = x \cdot 161 \text{ (г)}.$$

Для массовой доли ZnSO_4 находим:

$$0,0208 = \frac{161x}{493 - 47x}.$$

Отсюда:

$$x = 0,0633 \text{ моль}; \Delta m(\text{пл.}) = 47x = 0,0633 \cdot 47 = 2,98 \text{ (г)}.$$

$$m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = m(\text{пл.})_{\text{исх.}} + \Delta m(\text{пл.}) = 20,0 + 2,98 \approx 23 \text{ (г)}.$$

$$\text{Ответ: } m(\text{пл.})_{\text{конечн.}} = 23 \text{ г}.$$

20. При растворении смеси медных и железных опилок в растворе AgNO_3 выделилось серебро массой 54 г. При внесении такого же количества смеси в раствор медного купороса масса опилок возросла на 0,8 г. Определите $w(\text{CuSO}_4)$ в смеси опилок.
21. Железные опилки массой 2,3 г опустили в раствор массой 200 г, содержащий нитрат натрия, нитрат меди(II) и нитрат серебра(I), массовые доли которых соответственно равны 5,0 %, 3,2 % и 2,5 %. Какие металлы выделяются из раствора и чему равны их массы?
22. Цинковую пластинку опустили в водный раствор CuCl_2 . Через некоторое время пластинку извлекли, высушили и взвесили. Масса ее оказалась на 0,1 г меньше исходной. После выпаривания раствора получили смесь твердых хлоридов массой 40,6 г. Рассчитайте массовую долю хлорида цинка в твердом остатке и массу хлорида меди(II) в исходном растворе.
23. Цинковую пластинку массой 32 г опустили в раствор AgNO_3 массой 120 г. В момент извлечения пластинки из раствора массовая доля $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ в растворе оказалась равной 3,2 %. Рассчитайте, на сколько процентов увеличилась масса пластинки после ее извлечения из раствора (ответ округлите до целого числа).
24. Медную пластинку массой 12,8 г опустили в раствор AgNO_3 массой 170 г с массовой долей соли 30,0 %. Через некоторое время пластинку извлекли, высушили и взвесили. Масса ее оказалась на 7,6 г больше исходной. Образовавшийся раствор выпарили, а сухой остаток прокалили до постоянной массы. Чему равна масса твердого остатка после прокаливании?
25. Медный стержень массой 140,8 г выдержали в растворе AgNO_3 , после чего масса стержня составила 171,2 г. Рассчитайте, какой объем разбавленного раствора с $w(\text{HNO}_3) = 32,0 \%$ ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$) потребуется для полного растворения стержня после реакции.

26. Железная пластинка массой 20,0 г помещена в раствор AgNO_3 массой 80,0 г с $w(\text{AgNO}_3) = 12,0 \%$. Через некоторое время $w(\text{AgNO}_3)$ в растворе стала равной 8,0 %. Определите массу пластинки к этому моменту времени (образуется $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$).
27. Железную пластинку вначале погрузили в раствор $(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{разб.}}$, а затем в раствор CuSO_4 . При этом выделился газ объемом (н. у.) $1,12 \text{ дм}^3$, а масса пластинки в результате этих двух операций возросла на 2,4 г. Какая масса железа в сумме вступила в реакцию?
28. Смешали 300 г раствора CuSO_4 с массовой долей 16,0 % и 100 г раствора Na_2S с массовой долей соли 7,8 %. В полученный раствор опустили железную пластинку. Через некоторое время пластинку извлекли из раствора. Оказалось, что ее масса возросла на 0,8 г. Рассчитайте массовые доли солей в оставшемся растворе.

ГЛАВА 27

Равновесие сосудов

Среди задач на тему «Реакции в растворах» весьма оригинальны задания на изменение массы находящихся в равновесии сосудов в результате протекания химических реакций.

Пример 27.1. На весах уравновешены два сосуда с растворами NaOH и HNO₃ (разб.). В первый сосуд добавили алюминий массой 21,6 г, металл полностью растворился. Рассчитайте, какую массу меди следует добавить во второй сосуд для сохранения равновесия (растворимостью газов можно пренебречь).

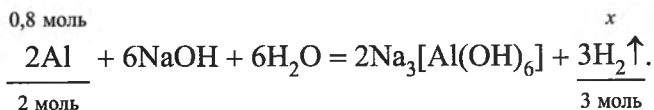
Дано:

$$m(\text{Al}) = 21,6 \text{ г}$$

$$m(\text{Cu}) \text{ — ?}$$

Решение:

В сосуде с раствором NaOH протекает реакция, продуктом которой является водород:



Находим массу водорода:

$$n(\text{Al}) = \frac{m}{M}; \quad m(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{Al}) = \frac{21,6}{27} = 0,8 \text{ (моль)};$$

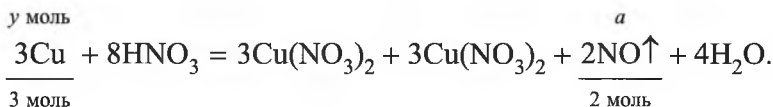
$$\frac{0,8}{2} = \frac{x}{3}; \quad x = n(\text{H}_2) = \frac{0,8 \cdot 3}{2} = 1,2 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_2) = n \cdot M; \quad M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; \quad m(\text{H}_2) = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ (г)}.$$

Масса сосуда с раствором NaOH возросла на массу Al и уменьшилась на массу покинувшего раствор H_2 :

$$\Delta m(I) = m(Al) - m(H_2) = 21,6 - 2,4 = 19,2 \text{ (г)}.$$

В сосуде с HNO_3 (разб.) при добавлении Cu протекает реакция:



Для сохранения равновесия необходимо, чтобы и во втором сосуде изменение массы с учетом массы добавленной меди и выделившегося газа (NO) составила 19,2 г:

$$\Delta m(II) = m(Cu) - m(NO) = 19,2 \text{ г}.$$

Обозначим химическое количество меди как у (моль). Тогда

$$a = n(NO) = \frac{2 \cdot y}{3} = 0,667 \text{ (моль)};$$

$$\begin{aligned} m(Cu) &= n \cdot M; M(Cu) = 64 \text{ г/моль}; \\ m(Cu) &= 64y; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(NO) &= n \cdot M; M(NO) = 30 \text{ г/моль}; \\ m(NO) &= 30 \cdot 0,667y = 20y \text{ (г)}; \end{aligned}$$

$$\Delta m(II) = m(Cu) - m(NO) = 64y - 20y = 44y \text{ (г)}.$$

Поскольку $\Delta m(I) = \Delta m(II)$, получим:

$$\begin{aligned} 19,2 &= 44y; \\ y &= 0,436 \text{ моль}; \\ m(Cu) &= n \cdot M = 0,436 \cdot 64 = 27,9 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Ответ: $m(Cu) = 27,9 \text{ г}$.

- 
1. На весах уравновешены два стакана, содержащие по 60 см^3 соляной кислоты ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 20,0 \%$. В один стакан внесли порцию CaCO_3 массой $10,0 \text{ г}$, а в другой — 10 г Ca . Какой из стаканов и на какую массу станет тяжелее после завершения реакции?
 2. Уравновешены два сосуда с разбавленными растворами HCl и H_2SO_4 . В сосуд с соляной кислотой добавили CaCO_3 массой $1,0 \text{ г}$. Какую массу Zn следует добавить во второй сосуд для восстановления равновесия?
 3. На весах уравновешены два сосуда с растворами NaOH и HCl . В первый сосуд добавили $10,7 \text{ г NH}_4\text{Cl}$ и сосуд прокипятили до полного удаления аммиака (вода при этом не испарялась). Какую массу Na_2CO_3 следует добавить во второй сосуд для сохранения равновесия?
 4. На чашах весов уравновешены стаканы, содержащие растворы NaOH и $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с одинаковыми массовыми долями веществ. Как изменится равновесие после насыщения растворов сероводородом?
 5. На весах уравновешены два стакана, содержащие разбавленную соляную и азотную кислоты. В стакане с HNO_3 полностью растворили $6,4 \text{ г}$ медных опилок (газ полностью выделился из раствора). Какую массу медных опилок надо внести в раствор с соляной кислотой для восстановления равновесия?

Встречается вариант этих задач, в которых требуется установить условие равенства масс **растворов** в двух сосудах (заметьте: не равенство масс сосудов, а растворов).

Пример 27.2. В двух стаканах находятся растворы KOH массой 320 г каждый, в каждом $w(\text{KOH}) = 15,75 \%$. В первый стакан добавили $17,69 \text{ г CuCl}_2$. Какую массу сульфата магния необходимо добавить во второй сосуд, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись?

Дано:

$$m(\text{p-ра KOH}) = \\ = 320 \text{ г}$$

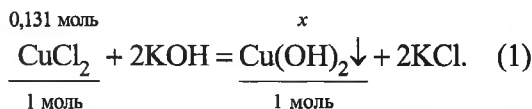
$$\omega(\text{KOH}) = 15,75 \%$$

$$m(\text{CuCl}_2) = 17,69 \text{ г}$$

$$m(\text{MgSO}_4) \text{ — ?}$$

Решение:

В первом стакане протекает реакция:



Осадок Cu(OH)_2 не входит в раствор, поэтому изменение массы раствора в первом сосуде равно:

$$\Delta m(\text{I})_{(\text{p-ра})} = m(\text{CuCl}_2) - m[\text{Cu(OH)}_2].$$

Предварительно надо установить в этой реакции избыток—недостаток:

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}; M(\text{CuCl}_2) = 135 \text{ г/моль};$$

$$M[\text{Cu(OH)}_2] = 98 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{KOH}) = m(\text{p-ра KOH}) \cdot \omega(\text{KOH}) = 320,0 \cdot 0,1575 = 50,4 \text{ (г)};$$

$$m(\text{KOH}) = \frac{m}{M} = \frac{50,4}{56} = 0,9 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{CuCl}_2) = \frac{m}{M} = \frac{17,69}{135} = 0,131 \text{ (моль)}.$$

Поскольку

$$\frac{n(\text{KOH})}{2} > \frac{n(\text{CuCl}_2)}{1} \quad (0,45 > 0,131),$$

делаем вывод: в недостатке находится CuCl_2 , по нем рассчитываем массу Cu(OH)_2 . Из уравнения реакции следует:

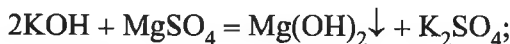
$$\frac{0,131}{1} = \frac{x}{1}; x = n[\text{Cu(OH)}_2] = 0,131 \text{ (моль)};$$

$$m[\text{Cu(OH)}_2] = n \cdot M = 0,131 \cdot 98 = 12,838 \text{ (г)}.$$

Тогда

$$\Delta m(I)_{(p-pa)} = m(\text{CuCl}_2) - m[\text{Cu}(\text{OH})_2] = 17,69 - 12,838 = 4,852 \text{ (г)}.$$

Во втором сосуде протекает реакция, продуктом которой также является осадок:



$$M[\text{MgSO}_4] = 120 \text{ г/моль}; M[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 58 \text{ г/моль}.$$

Обозначаем химическое количество добавленного нитрата магния как x (моль). Тогда и химическое количество выпадающего в осадок $\text{Mg}(\text{OH})_2$ также равно x (равны коэффициенты перед формулами веществ).

Для изменения массы раствора во втором сосуде имеем:

$$\Delta m(II)_{(p-pa)} = m(\text{MgSO}_4) - m[\text{Mg}(\text{OH})_2];$$

$$\Delta m(II)_{(p-pa)} = x \cdot 120 - x \cdot 58 = 62x.$$

Для сохранения равенства *масс растворов* в сосудах необходимо, чтобы

$$4,852 = 62x.$$

Отсюда

$$x = 0,0783 \text{ моль};$$

$$m(\text{MgSO}_4) = n \cdot M = 0,0783 \cdot 120 = 9,396 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{MgSO}_4) = 9,396 \text{ г}$.

- !** 6. В двух сосудах находятся одинаковые по массе растворы NaOH и FeCl_2 . В первом растворе $m(\text{NaOH}) = 4,0 \text{ г}$, а во втором $m(\text{FeCl}_2) = 16,08 \text{ г}$. К первому раствору добавили раствор массой $15,36 \text{ г}$ с массовой долей $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ $20,31 \%$. Содержимое сосуда прокипятили до полного удаления газа (вода при этом не испарялась). Какую массу KOH надо добавить во второй сосуд, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись?

В некоторых задачах на эту тему равенство масс растворов обеспечивается внесением в один из них металлической пластинки.

Пример 27.3. В двух сосудах находятся растворы одинаковой массы. В первом содержится раствор KOH, масса щелочи в котором равна 4,48 г, а во втором сосуде — раствор $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. В первый раствор добавили раствор NH_4NO_3 массой 32,0 г с $w(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,25$ и содержимое сосуда прокипятили до полного удаления аммиака (вода при этом не испарялась). Во второй сосуд на некоторое время опустили пластинку из кадмия. Какая масса кадмия должна перейти в раствор, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись? ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ взят с избытком.)

Дано:

$$m(\text{KOH}) = 4,48 \text{ г}$$

$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 150,04 \text{ г}$$

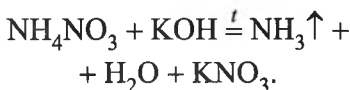
$$m(\text{р-ра } \text{NH}_4\text{NO}_3) = 32,0 \text{ г}$$

$$w(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,25$$

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

Решение:

В первом сосуде протекает реакция:



Масса раствора в результате возрастает на массу раствора NH_4NO_3 и уменьшается на массу аммиака (газа). Массу аммиака находим по недостатку:

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}; M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80 \text{ г/моль};$$

$$n(\text{KOH}) = \frac{m}{M} = \frac{4,48}{56} = 0,08 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = m(\text{р-ра}) \cdot w = 32 \cdot 0,25 = 8,0 \text{ (г)};$$

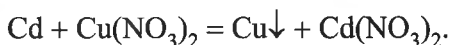
$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{8,0}{80} = 0,1 \text{ (моль)}.$$

Поскольку $n(\text{NH}_4\text{NO}_3) > n(\text{KOH})$, делаем вывод: KOH находится в недостатке, по нему и находим массу аммиака ($M(\text{NH}_3) = 17$ г/моль). Очевидно, что

$$\begin{aligned}n(\text{NH}_3) &= n(\text{KOH}) = 0,08 \text{ моль}; \\n(\text{NH}_3) &= n \cdot M = 0,08 \cdot 17 = 1,36 \text{ (г)};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta m(\text{p-ра})_{\text{I}} &= m(\text{p-ра NH}_4\text{NO}_3) - m(\text{NH}_3); \\ \Delta m(\text{p-ра})_{\text{I}} &= 32,0 - 1,36 = 30,64 \text{ (г)}.\end{aligned}$$

Во втором сосуде протекает реакция:



В результате этой реакции масса раствора *уменьшается* на массу меди (она осаждается на кадмиевой пластинке) и *возрастает* на массу перешедшего в раствор (в составе соли $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) кадмия:

$$\Delta m(\text{p-ра})_{\text{II}} = m(\text{Cd}) - m(\text{Cu}).$$

Обозначим химическое количество перешедшего в раствор Cd как x (моль), тогда и химическое количество осажденной меди также равно x (моль). Поэтому

$$\begin{aligned}\Delta m(\text{p-ра})_{\text{II}} &= m(\text{Cd}) - m(\text{Cu}) = x \cdot M(\text{Cd}) - x \cdot M(\text{Cu}); \\ M(\text{Cd}) &= 112 \text{ г/моль}; M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль}; \\ \Delta m(\text{p-ра})_{\text{II}} &= 112x - 64x = 48x.\end{aligned}$$

Согласно условию:

$$\Delta m(\text{p-ра})_{\text{I}} = \Delta m(\text{p-ра})_{\text{II}}.$$

Или

$$30,64 = 48x.$$

Находим:

$$x = 0,638 \text{ моль}; m(\text{Cd}) = n \cdot M = 0,638 \cdot 112 = 71,46 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{Cd}) = 71,46$ г.

- 7.** В двух сосудах находятся растворы одинаковой массы. В первом содержится раствор КОН, масса щелочи в котором равна 3,36 г, а во втором сосуде — раствор $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, в котором масса соли равна 78,45 г. В первый раствор добавили раствор NH_4Cl массой 16,75 г с $w(\text{NH}_4\text{Cl}) = 16,0\%$ и содержимое сосуда прокипятили до полного удаления аммиака (вода при этом не испарялась). Во второй сосуд на некоторое время поместили пластинку из кадмия. Какая масса Cd должна перейти в раствор, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись?
- 8.** В двух сосудах находятся NaOH и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. В первом сосуде $m(\text{NaOH}) = 4,0$ г, а во втором $m[\text{Co}(\text{NO}_3)_2] = 78,2$ г. В первый раствор добавили раствор, содержащий 3,12 г карбоната аммония (массовая доля соли в растворе равна 20,31 %), и содержимое сосуда прокипятили до полного удаления аммиака (вода не испарялась). В сосуд со вторым раствором опустили кадмиевую пластинку. Какая масса кадмия должна перейти в раствор, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись?
- 9.** На чашах весов уравновешены два сосуда, в одном из которых находится раствор AgNO_3 , а в другом — HNO_3 (конц.). В первый сосуд внесли 3,01 г Zn (он полностью прореагировал). Какую массу Cu нужно внести во второй раствор, чтобы после завершения реакций массы растворов в обоих сосудах сравнялись?

ГЛАВА 28

Олеум

Олеум — это раствор оксида серы(VI) в серной кислоте. Он представляет собой пример безводного раствора. Задавая состав олеума, обычно указывают массовую долю серного ангидрида SO_3 .

Задачи на эту тему весьма разнообразны. Условно их можно разбить на следующие типы:

- 1) определение состава олеума;
- 2) приготовление олеума заданного состава;
- 3) смешивание олеума известного состава:
 - с водой (или воды с олеумом);
 - с олеумом иного состава;
 - с раствором серной кислоты (или смешивание раствора серной кислоты с олеумом);
- 4) химические реакции олеума с участием других веществ (металлов, солей, гидроксидов, оксидов).

Рассмотрим примеры решения некоторых задач различного типа.

28.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОЛЕУМА

Пример 28.1. Рассчитайте массовую долю оксида серы(VI) в олеуме, в котором массовая доля атомов серы равна 33,0 %.

Дано:

$$w(\text{S}) = 33 \%$$

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

Решение:

Находим:

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

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

$$M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль}.$$

Удобно принять массу олеума за 100 г, а химические количества SO_3 и H_2SO_4 обозначить соответственно как x (моль) и y (моль). Тогда для массы олеума имеем:

$$80x + 98y = 100. \quad (1)$$

Находим массу и химическое количество атомов серы в олеуме:

$$m(\text{S}) = m(\text{ол.}) \cdot w(\text{S}) = 100 \cdot 0,3304 = 33,0 \text{ (г)};$$

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{33,0}{32} = 1,03 \text{ (моль)}.$$

В составе оксида серы(VI) $n(\text{S}) = n(\text{SO}_3) = x$ (моль), а в составе серной кислоты $n(\text{S}) = w(\text{H}_2\text{SO}_4) = y$ (моль).

Имеем:

$$x + y = 1,03. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), находим химическое количество и массу оксида серы(VI):

$$x = 0,0522 \text{ моль};$$

$$m(\text{SO}_3) = n(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) = 0,0522 \cdot 80 = 4,18 \text{ (г)}.$$

Рассчитываем массовую долю оксида серы(VI) в олеуме:

$$w(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{m(\text{ол.})} = \frac{4,18}{100} = 0,0418 \text{ (4,2 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{SO}_3) = 4,2 \%$.

Состав олеума можно определить и по химическим реакциям с его участием.

Если олеум участвует в реакциях с водными растворами, то обязательно нужно учитывать взаимодействие SO_3 , находящегося в олеуме, с водой по реакции



что приводит к появлению новой порции (дополнительно к уже имеющейся в олеуме) серной кислоты.

Пример 28.2. К избытку водного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ прибавили навеску олеума массой 302 мг. При этом выпал осадок массой 939,3 мг. Рассчитайте массовую долю оксида серы(VI) в олеуме.

Дано:

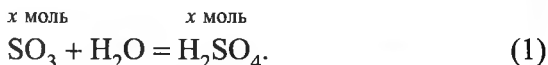
$$m(\text{ол.}) = 302 \text{ мг}$$

$$m(\text{осадка}) = 939,3 \text{ мг}$$

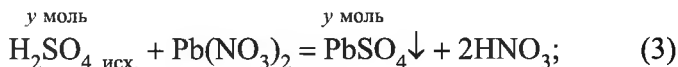
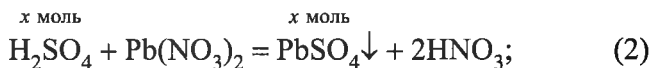
$$\omega(\text{SO}_3) = ?$$

Решение:

При добавлении олеума к водному раствору соли оксид серы (SO_3) превращается в серную кислоту:



В реакцию с нитратом свинца(II) вступает серная кислота, полученная по уравнению (1), а также изначально находящаяся в олеуме (исходная):



$$M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}; M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{PbSO}_4) = 303 \text{ г/моль}.$$

Пусть в олеуме $n(\text{SO}_3)$ равно x (моль), а $n(\text{H}_2\text{SO}_4) - y$ (моль).

Для массы олеума имеем ($302 \text{ мг} = 0,302 \text{ г}$):

$$80y + 98x = 0,302. \quad (4)$$

В реакции (1) образуется x (моль) H_2SO_4 , а в реакциях (2) и (3) — $(x + y)$ моль PbSO_4 :

$$n(\text{PbSO}_4) = x + y = \frac{m(\text{PbSO}_4)}{M(\text{PbSO}_4)} = \frac{0,9393}{303} = 0,0031 \text{ (моль)}.$$

Составляем второе уравнение системы по химическому количеству $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$:

$$x + y = 0,0031. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (4) и (5), находим:

$x = 0,0001$ моль; $m(\text{SO}_3) = 0,0001 \cdot 80 = 0,008$ (г) = 8 мг;

$$w(\text{SO}_3) = \frac{w(\text{SO}_3)}{w(\text{олеума})} = \frac{8 \cdot 100 \%}{302} = 2,65 \ \%.$$

Ответ: $w(\text{SO}_3) = 2,65 \ \%$.

1. На полную нейтрализацию олеума массой 34,5 г потребовался раствор объемом 74,5 см³ ($\rho = 1,41$ г/см³) с $w(\text{KOH}) = 40 \ \%$. Сколько молей H_2SO_4 приходится на один моль SO_3 в олеуме?
2. В олеуме $w(\text{O}) = 64,8 \ \%$. Найдите массу SO_3 в олеуме массой 120 г.
3. Массовая доля атомов серы в олеуме равна 35,0 %. Какой объем раствора с $w(\text{BaCl}_2) = 26,0 \ \%$ ($\rho = 1,28$ г/см³) может вступить в реакцию с таким олеумом массой 76 г?

28.2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОЛЕУМА

Олеум можно приготовить по-разному:

- добавлением SO_3 в воду (или наоборот);
- смешиванием SO_3 и водного раствора H_2SO_4 ;
- добавлением воды к олеуму определенного состава (т. е. разбавлением олеума).

Рассмотрим два первых наиболее сложных случая.

Пример 28.3. Какую массу оксида серы(VI) нужно растворить в воде массой 22,5 г, чтобы получить олеум с массовой долей SO_3 15 %?

Дано:

$m(\text{H}_2\text{O}) = 22,5$ г

$w(\text{SO}_3) = 15 \ \%$

$m(\text{SO}_3) \text{ — ?}$

Решение:

В конечном растворе (олеуме) вода отсутствует, вся она израсходовалась в реакции с добавленным SO_3 :



$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}.$$

Химическое количество воды равно $22,5 : 18 = 1,25$ (моль), поэтому на реакцию с H_2O израсходовалось 1,25 моль SO_3 или $1,25 \cdot 80 = 100$ (г).

Пусть искомое химическое количество оксида серы(VI) равно x моль, тогда $m(\text{SO}_3) = 80x$ (г). Учитывая, что на реакцию с водой израсходовалось 100 г SO_3 (следовательно, масса SO_3 в конечном растворе равна $80x - 100$), составляем и решаем уравнение для массовой доли оксида серы(VI) в конечном растворе (масса конечного раствора SO_3 равна сумме масс воды и массы всего добавленного оксида, т. е. $22,5 + 80x$):

$$0,15 = \frac{80x - 100}{22,5 + 80x};$$

$$x = 1,52 \text{ моль};$$

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

Ответ: $m(\text{SO}_3) = 121,6$ г.

Пример 28.4. Какую массу оксида серы(VI) надо растворить в 100 г водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 75\%$, чтобы получить олеум с $w(\text{SO}_3) = 5\%$?

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 100 \text{ г}$$

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 75\%$$

$$\text{SO}_3 = 5\%$$

$$m(\text{SO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

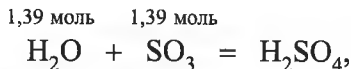
Пусть требуется добавить x моль SO_3 :

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

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

$$m(\text{SO}_3) = x \cdot 80(\text{г}).$$

Раствор серной кислоты состоит из $100 \cdot 0,75 = 75$ (г) H_2SO_4 и $100 - 75 = 25$ (г) или 1,39 моль воды. Согласно уравнению реакции



с таким количеством воды прореагирует тоже 1,39 моль или $1,39 \cdot 80 = 111$ (г) оксида серы(VI). Таким образом, в олеуме масса оксида серы(VI) равна $80x - 111$ (г).

Учитывая, что масса конечного раствора равна сумме масс всего добавленного оксида ($80x$ (г)) и раствора кислоты (100 г), составляем и решаем уравнение для массовой доли SO_3 в конечном растворе:

$$0,05 = \frac{80x - 111}{100 + 80x};$$

$$x = 1,526 \text{ моль.}$$

Тогда

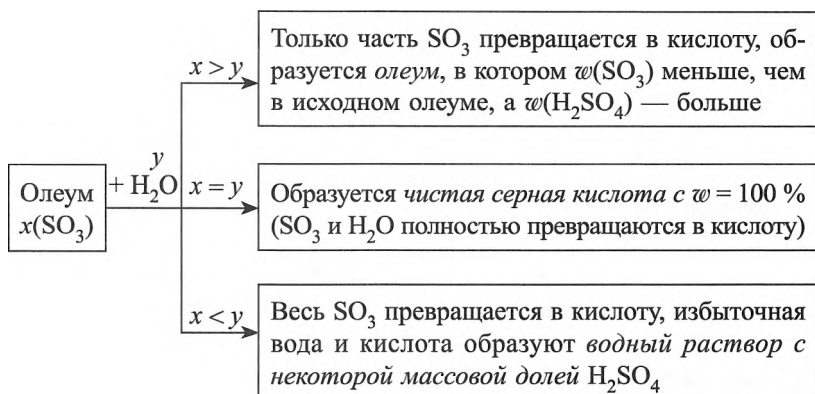
$$m(\text{SO}_3) = n(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) = 1,526 \cdot 80 = 122 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{SO}_3) = 122$ г.

- 
4. Рассчитайте массу оксида серы(VI), который надо растворить в водном растворе серной кислоты массой 100 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91$ %, чтобы получить олеум с $w(\text{SO}_3) = 30$ %.
 5. Определите массы олеума с $w(\text{SO}_3) = 10$ % и водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 60$ %, необходимые для приготовления водного раствора массой 480 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 90$ %.
 6. Вычислите массы олеума с $w(\text{SO}_3) = 20,0$ % и водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 80,05$ %, необходимые для приготовления 20,0 г олеума с $w(\text{SO}_3) = 10,0$ %.

28.3. СМЕШИВАНИЕ ОЛЕУМА С ВОДОЙ И ВОДНЫМ РАСТВОРОМ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

При добавлении воды к олеуму состав полученного раствора будет зависеть от мольного соотношения оксида серы(VI) и воды в олеуме. Дадим общий анализ ситуации. Пусть химические количества оксида серы(VI) и воды равны x и y (моль) соответственно. Учитывая, что SO_3 и H_2O реагируют в мольном отношении 1 : 1, возможны следующие случаи:



Пример 28.5. Какую массу воды следует добавить к олеуму массой 250 г с массовой долей оксида серы(VI) 15 %, чтобы получить водный раствор серной кислоты с массовой долей ее 65 %?

Дано:

$$m(\text{ол.}) = 250 \text{ г}$$

$$w(\text{SO}_3) = 15 \%$$

$$w(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 65 \%$$

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

Решение:

Судя по условию задачи, в данном примере реализуется последний случай.

Олеум массой 250 г состоит из SO_3 массой $250 \cdot 0,15 = 37,5$ (г) и H_2SO_4 массой $250 - 37,5 = 212,5$ (г).

Пусть искомое химическое количество воды составляет x моль или $18x$ (г). Тогда масса конечного раствора будет равна $250 + 18x$ (г).

Весь оксид серы(VI) превращается в новую порцию кислоты. Поскольку $n(\text{SO}_3) = 37,5 : 80 = 0,469$ (моль), то образуется 0,469 моль H_2SO_4 или $0,469 \cdot 98 = 46$ (г).

Таким образом, общая масса H_2SO_4 в конечном растворе составит $26 + 46 = 72$ (г).

Составляем и решаем выражение для массовой доли кислоты в конечном растворе:

$$0,65 = \frac{72}{250 + 18x};$$

$$x = 6,5 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 6,5 \cdot 18 \approx 117 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 117$ г.

Следующий пример похож на предыдущий, только к раствору серной кислоты добавляется не вода, а оксид серы(VI).

Пример 28.6. Рассчитайте массу оксида серы(VI), который следует добавить к водному раствору серной кислоты массой 200 г с массовой долей кислоты 0,8 % для получения водного раствора серной кислоты с массовой долей ее 4,0 %.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 200 \text{ г}$$

$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,8 \%$$

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

$$m(\text{SO}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

При добавлении оксида серы(VI) к водному раствору серной кислоты образуется новая порция кислоты:

$$x \text{ моль} \quad x \text{ моль}$$



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

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

Пусть искомое химическое количество SO_3 равно x (моль) или массой $80x$ (г). Как видим, по уравнению реакции образовалась H_2SO_4 химическим количеством x (моль) или массой $98x$ (г).

В исходном растворе находилась кислота массой $200 \cdot 0,008 = 1,6$ (г), так что суммарная масса кислоты составляет $98x + 1,6$ (г).

Поскольку масса конечного раствора равна сумме масс оксида серы(VI) и исходного раствора кислоты, т. е. $x \cdot 80 + 200$ (г), для массовой доли H_2SO_4 в конечном растворе имеем:

$$0,04 = \frac{x \cdot 98 + 1,6}{x \cdot 80 + 200};$$

$$x = 0,0675 \text{ моль};$$

$$m(\text{SO}_3) = n(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) = 0,0675 \cdot 80 = 5,4 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{SO}_3) = 5,4$ г.

Рассмотрим случай, когда смешиваются олеум и раствор серной кислоты.

Пример 28.7. Определите массовую долю (%) H_2SO_4 в растворе, полученном растворением 50,0 г олеума с $w(\text{SO}_3) = 8,0\%$ в водном растворе серной кислоты массой 200,0 г с массовой долей ее 5,0 %.

Дано:

$$m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = 200,0 \text{ г}$$

$$m(\text{ол.}) = 50,0 \text{ г}$$

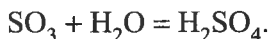
$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,0\%$$

$$w(\text{SO}_3) = 8,0\%$$

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

Решение:

При растворении олеума в водном растворе серной кислоты оксид серы(VI) взаимодействует с водой:



Определим состав олеума и химическое количество SO_3 в нем ($M(\text{SO}_3) = 80$ г/моль):

$$m(\text{SO}_3) = m(\text{ол.}) \cdot w(\text{SO}_3) = 50 \cdot 0,08 = 4,0 \text{ (г)};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в oleуме}) = 50 - 4 = 46 \text{ (г)};$$

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)} = \frac{4}{80} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

Найдем массу серной кислоты, образовавшейся в реакции SO_3 с H_2O ($M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$). Согласно уравнению реакции: $n(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{обр.}} = n(\text{SO}_3) = 0,05 \text{ моль}$, поэтому

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{обр.}} = n(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{обр.}} \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05 \cdot 98 = 4,9 \text{ (г)}.$$

Вычислим массу серной кислоты в исходном водном растворе массой 200 г:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{исх. р-р}} &= m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{исх. р-р}} \cdot w(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{исх. р-р}} = \\ &= 200 \cdot 0,05 = 10 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Общая масса серной кислоты в конечном растворе находится суммированием трех масс кислоты:

$$\begin{aligned} \Sigma m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{конечн. р-р}} &= m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{ол.}} + m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{обр.}} + \\ &+ m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{исх. р-р}} = 46 + 4,9 + 10 = 60,9 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Рассчитаем массу конечного раствора и массовую долю H_2SO_4 в нем:

$$m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}} = m(\text{ол.}) + m(\text{исх. р-р}) = 50 + 200 = 250 \text{ (г)}.$$

Находим массовую долю кислоты в конечном растворе:

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{конечн. р-р}} = \frac{\Sigma m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{р-ра})_{\text{конечн.}}} = \frac{60,9}{250} = 0,244 \text{ (24,4 \%)}.$$

Ответ: $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 24,4 \%$.



7. В порции водного раствора серной кислоты объемом $55,56 \text{ см}^3$ ($w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91 \%$, $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$) растворили оксид серы(VI). В результате образовался олеум с массовой долей H_2SO_4 91 %. Укажите массу израсходованного оксида серы(VI).

8. В oleуме плотностью $2,00 \text{ г/см}^3$ массовая доля оксида серы(VI) равна 60 %. Рассчитайте массу безводной серной кислоты, которую можно приготовить из $1,0 \text{ дм}^3$ такого oleума при осторожном добавлении воды.
9. В каких массовых соотношениях надо взять соответственно водный раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 78 \%$ и oleум с $w(\text{SO}_3) = 10 \%$ для получения 100%-ной серной кислоты?
10. К oleуму массой $8,8 \text{ г}$ с $w(\text{SO}_3) = 7,0 \%$ прибавили 60 г водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 30 \%$. Найдите $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в полученном растворе.
11. Смешали 30 г oleума с $w(\text{SO}_3) = 10 \%$ и 20 г oleума с $w(\text{SO}_3) = 5 \%$. Какова $w(\text{SO}_3)$ в полученном растворе?
12. Какую массу воды следует добавить к oleуму массой 300 г с $w(\text{SO}_3) = 40 \%$, чтобы получить водный раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 70 \%$?

28.4. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ С УЧАСТИЕМ ОЛЕУМА

Химические реакции с участием oleума разнообразны. Рассмотрим несколько характерных примеров.

Пример 28.8. Раствором гидроксида калия с массовой долей щелочи 50 % полностью нейтрализуют oleум с массовой долей оксида серы(VI) 10,0 %. Рассчитайте, во сколько раз масса использованного раствора щелочи больше массы oleума.

Дано:

$$w(\text{SO}_3) = 10 \%$$

$$w(\text{KOH}) = 50 \%$$

$$m(\text{р-ра KOH})$$

$$m(\text{ол.}) \text{ — ?}$$

Решение:

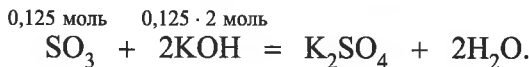
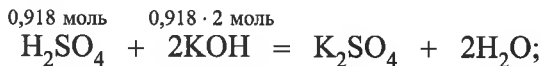
Находим:

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

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

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}.$$

Запишем уравнения реакций KOH с H_2SO_4 и SO_3 , входящими в состав oleума:



Пусть масса олеума равна 100 г, тогда масса SO_3 в нем составляет $100 \cdot 0,1 = 10$ (г) или $n(\text{SO}_3) = 10 : 80 = 0,125$ (моль). Соответственно

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 100 - 10 = 90 \text{ (г)},$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 90 : 98 = 0,918 \text{ (моль)}.$$

Из уравнений реакций видно, что в реакцию с SO_3 и H_2SO_4 вступает KOH суммарным химическим количеством $0,918 \cdot 2 + 0,125 \cdot 2 = 2,09$ (моль).

Тогда

$$m(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) = 2,09 \cdot 56 = 117 \text{ (г)};$$

$$m(\text{р-ра KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{w(\text{KOH})} = \frac{117}{0,5} = 234 \text{ (г)};$$

$$\frac{m(\text{р-ра KOH})}{m(\text{ол.})} = \frac{234}{100} = 2,34.$$

Ответ: масса раствора щелочи больше массы олеума в 2,34 раза.

Пример 28.9. К олеуму массой 150 г с массовой долей оксида серы(VI) 8,2 % добавили воду массой 45,9 г. Какая максимальная масса железа может прореагировать с полученным раствором?

Дано:

$$m(\text{ол.}) = 150 \text{ г}$$

$$w(\text{SO}_3) = 8,2 \%$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 45,9 \text{ г}$$

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

Решение:

Находим:

$$M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}; M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}.$$

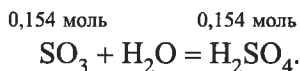
Определяем состав олеума:

$$m(\text{SO}_3) = m(\text{ол.}) \cdot w(\text{SO}_3) = 150 \cdot 0,082 = 12,3 \text{ (г);}$$

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)} = \frac{12,3}{80} = 0,154 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{ол.}) - m(\text{SO}_3) = 150 - 12,3 = 137,7 \text{ (г).}$$

Добавленная вода реагирует с оксидом серы(VI), образуя новую порцию серной кислоты:



Поскольку химическое количество воды $n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) : M(\text{H}_2\text{O}) = 45,9 : 18 = 2,55$ (моль) больше, чем химическое количество оксида серы(VI), делаем два вывода:

а) образуется новая порция H_2SO_4 химическим количеством, равным химическому количеству SO_3 , т. е. 0,154 моль или $0,154 \cdot 98 = 15,09$ (г);

б) в итоге получается водный раствор серной кислоты, а не олеум с другим значением $w(\text{SO}_3)$.

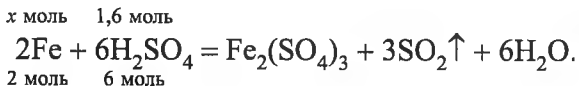
Находим массовую долю H_2SO_4 в конечном растворе, масса которого равна сумме масс олеума и воды, т. е. $150 + 45,9 = 195,9$ (г). В этом растворе масса кислоты равна сумме масс H_2SO_4 в начальном растворе (137,7 г) и образовавшейся при взаимодействии SO_3 и H_2O (15,09 г):

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 137,7 + 15,09 \approx 152,8 \text{ (г).}$$

Тогда

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{152,8}{196,9} = 0,78 \text{ (78 \%)}.$$

Серная кислота с такой массовой долей является концентрированной. С железом (при нагревании) H_2SO_4 (конц.) взаимодействует согласно уравнению реакции:



Поскольку

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{152,8}{98} = 1,6 \text{ (моль)},$$

находим:

$$x = m(\text{Fe}) = \frac{1,6 \cdot 2}{6} = 0,533 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,533 \cdot 56 \approx 29,8 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{Fe}) = 29,8 \text{ г}$.

- !** 13. К олеуму массой 160 г с массовой долей SO_3 10 % добавили воду массой 658 г. Какая масса железа может максимально прореагировать с полученным раствором?
14. К водному раствору H_2SO_4 массой 100 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 27,2 \%$ добавили 20,0 г олеума с $w(\text{SO}_3) = 40,0 \%$. Какую массу BaCl_2 нужно добавить к полученному раствору, чтобы осадить все сульфат-ионы?
15. К олеуму массой 5,0 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20,0 \%$ добавили 20,0 г водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5 \%$. В полученный раствор внесли цинковые опилки (избыток). Найдите объем (н. у.) выделенного при этом газа.
16. К олеуму массой 80 г с $w(\text{SO}_3) = 15\%$ добавили воду массой 200 г. Рассчитайте $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$ в полученном растворе.
17. Имеется олеум массой 120 г с неизвестной массовой долей оксида серы(VI). При добавлении к нему воды массой 200 г получили водный раствор серной кислоты с массовой долей ее 39,61 %. Чему равна массовая доля оксида серы(VI) в олеуме?

18. В олеуме массовая доля SO_3 равна 25 %. При добавлении к олеуму воды массой 8,26 г получили олеум с массовой долей SO_3 , равной 10 %. Чему равна масса исходного олеума?
19. К олеуму массой 140 г с $w(\text{SO}_3) = 10\%$ прибавили водный раствор H_2SO_4 массой 80,0 г и получили водный раствор H_2SO_4 с массовой долей ее 66,5 %. Чему была равна массовая доля кислоты в добавленном растворе?
20. Рассчитайте массу воды, необходимой для приготовления водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 30\%$ из олеума массой 100 г с $w(\text{SO}_3) = 30\%$.

ГЛАВА 29

Реакции с участием газов

Компоненты газовых смесей вступают в разнообразные химические реакции, например, окисления кислородом (очень частный случай). В результате изменяются состав газовой смеси, ее молярная масса и плотность, давление (если реакция протекает в закрытом сосуде).

Задачи на эту тему сложнее, чем на смеси твердых или жидких веществ, которые были рассмотрены в главе 10. Это обусловлено тем обстоятельством, что состав газовой смеси может быть охарактеризован гораздо большим числом параметров. Например, состав твердой смеси описывается чаще всего массовой долей, а в случае смеси газов с этой целью используются плотность ρ , относительная плотность D , молярная масса M , массовая доля ω , мольная доля χ и объемная доля φ . Следует твердо усвоить связь между данными величинами и уметь применять ее на практике (см. гл. 11).

Существует большая группа задач, для успешного решения которых достаточно определить состав газовой смеси и правильно записать уравнение реакции.

Пример 29.1. Газовая смесь H_2 и O_2 массой 10,6 г занимает объем (н. у.) 17,92 дм³. Рассчитайте массу H_2O , которая образуется при поджигании этой смеси.

Дано:

$$m(\text{H}_2 + \text{O}_2) = 10,6 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2 + \text{O}_2) = 17,92 \text{ дм}^3$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Решение:

Определяем состав смеси составлением системы двух уравнений:

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}; M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль};$$

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

Пусть химические количества H_2 и O_2 равны x (моль) и y (моль). Тогда для массы смеси можно записать:

$$2x + 32y = 10,6. \quad (29.1)$$

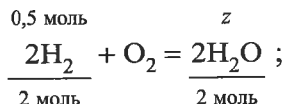
Второе уравнение системы можно записать для химического количества смеси:

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{17,92}{22,4} = 0,8 \text{ (моль)};$$
$$x + y = 0,8. \quad (29.2)$$

Решая совместно уравнения (29.1) и (29.2), находим:

$$x = n(\text{H}_2) = 0,5 \text{ моль}; \quad y = n(\text{O}_2) = 0,3 \text{ моль}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



$$\frac{n(\text{H}_2)}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ (моль)};$$

$$\frac{n(\text{O}_2)}{1} = 0,3 \text{ (моль)}.$$

Поскольку $0,25 < 0,3$, делаем вывод: H_2 находится в недостатке, по нему и ведем расчет:

$$z = n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2 \cdot 0,5}{2} = 0,5 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 18 = 9,0 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 9,0 \text{ г}$.

Пример 29.2. После частичного разложения SO_3 (г) получена смесь газов с относительной плотностью по водороду 32. Какая часть SO_3 разложилась?

Дано:

$$D_{\text{H}_2}(\text{смеси}) = 32$$

Найдите долю разложившегося (α) SO_3

Решение:

Подобные задачи удобно решать табличным способом (см. с. 207): записываем уравнение реакции и под формулами веществ указываем их химические количества. Примем начальное химическое количество SO_3 равным 1 моль и предположим, что его разложилось x (моль). Записываем:

	2SO_3	=	2SO_2	+	O_2
Было, моль	1		—		—
Вступило в реакцию, моль	x				
Осталось, моль	$1 - x$				
Образовалось, моль	—		x		$0,5x$

Полученные SO_2 и O_2 легко находим по вступившему в реакцию SO_3 , используя стехиометрические коэффициенты:

$$n(\text{SO}_2)_{\text{обр.}} = n(\text{SO}_3)_{\text{прореаг.}} = x;$$

$$n(\text{O}_2)_{\text{обр.}} = \frac{1}{2} n(\text{SO}_3)_{\text{прореаг.}} = \frac{x}{2} = 0,5x.$$

Суммированием химических количеств SO_3 (ост.), SO_2 (обр.) и O_2 (обр.) находим химическое количество конечной смеси:

$$n(\text{смеси}) = 1 - x + x + 0,5x = 1 + 0,5x.$$

Химическое количество смеси найдем из выражения:

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

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{H}_2}(\text{см.}) \cdot M(\text{H}_2) = 2 \cdot 32 = 64 \text{ (г/моль)}.$$

Поскольку в ходе реакции масса сохраняется, то масса конечной смеси равна массе исходного оксида серы ($M(\text{SO}_3) = 80 \text{ г/моль}$):

$$m(\text{SO}_3) = n \cdot M = 1 \cdot 80 = 80 \text{ (г)}.$$

Имеем:

$$n(\text{смеси}) = \frac{80}{64} = 1 + 0,5x.$$

Отсюда

$$x = 0,5.$$

Находим степень разложения SO_3 :

$$\alpha = \frac{n(\text{SO}_3)_{\text{разл.}}}{n(\text{SO}_3)_{\text{исх.}}} = \frac{0,5}{1} = 0,5 \text{ (50 \%)}.$$

Ответ: $\alpha = 50 \text{ \%}$.

Покажем применение табличного способа решения задач еще на одном примере.

Пример 29.3. В герметичный сосуд поместили H_2 и N_2 , химические количества которых равны соответственно 6 моль и 4 моль. Смесь нагрели в присутствии катализатора, к моменту наступления равновесия в реакцию вступило 70 % водорода. Рассчитайте массовую долю NH_3 в равновесной смеси.

Дано:

$n(\text{H}_2) = 6 \text{ моль}$

$n(\text{N}_2) = 4 \text{ моль}$

Прореагировало 70 %
водорода

$w(\text{NH}_3) = ?$

Решение:

В реакции синтеза аммиака

$(\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3)$ в данном случае

азот взят с избытком ($\frac{4}{1} > \frac{6}{3}$), поэтому

расчеты ведем по водороду. Записываем:

	N_2	+	$3H_2$	=	$2NH_3$
Было, моль	4		6		
Прореагировало, моль	$\frac{4,2}{3} = 1,4$		$6 \cdot 0,7 = 4,2$		
Осталось, моль	$4 - 1,4 = 2,6$		$6 - 4,2 = 1,8$		
Образовалось, моль	—		—		$1,4 \cdot 2 = 2,8$

Обратите внимание: химическое количество образовавшегося NH_3 находим по «молям» вступивших в реакцию (прореагировавших) N_2 или H_2 :

$$n(NH_3)_{\text{обр.}} = 2n(N_2)_{\text{прореаг.}} = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ (моль);}$$

$$n(NH_3)_{\text{обр.}} = \frac{2}{3}n(H_2)_{\text{прореаг.}} = \frac{2}{3} \cdot 4,2 = 2,8 \text{ (моль).}$$

Находим массы веществ в конечной смеси и массу смеси:

$$n(N_2)_{\text{ост.}} = n(N_2)_{\text{ост.}} \cdot M(N_2) = 2,6 \cdot 28 = 72,8 \text{ (г);}$$

$$n(H_2)_{\text{ост.}} = n(H_2)_{\text{ост.}} \cdot M(H_2) = 1,8 \cdot 2 = 3,6 \text{ (г);}$$

$$n(NH_3)_{\text{обр.}} = n(NH_3)_{\text{обр.}} \cdot M = 2,8 \cdot 17 = 47,6 \text{ (г);}$$

$$m(\text{смеси}) = 72,8 + 3,6 + 47,6 = 124 \text{ (г).}$$

Или

$$m(\text{смеси}) = m(N_2)_{\text{исх.}} + m(H_2)_{\text{исх.}} = 4 \cdot 28 + 6 \cdot 2 = 124 \text{ (г).}$$

Рассчитываем массовую долю аммиака в равновесной смеси:

$$\omega(NH_3) = \frac{m(NH_3)}{m(\text{смеси})} = \frac{47,6}{124} = 0,384 \text{ (38,4 \%)}.$$

Ответ: $\omega(NH_3) = 38,4 \%$.



1. Смесь CO и CO_2 пропустили через избыток раствора $Ca(OH)_2$. В результате выпал осадок массой 5,0 г, а объем газа стал равным 2,24 дм³. Рассчитайте $\omega(CO_2)$ в исходной смеси.

2. Смесь CO_2 и N_2 пропустили через избыток раствора щелочи. При этом масса раствора возросла на 5,28 г, а объем газовой смеси уменьшился в 1,4 раза. Рассчитайте объем исходной смеси газов.
3. При прохождении смеси равных объемов N_2 и H_2 через контактный аппарат в аммиак превратилось 15 % азота. Определите объемные доли газов в газовой смеси на выходе из контактного аппарата.
4. Относительная плотность по водороду газовой смеси, состоящей из CO и CO_2 , равна 15. Какая масса CO_2 образуется при поджигании этой смеси массой 60 г? Рассчитайте молярную массу конечной смеси.
5. Газовая смесь массой 45 г, состоящая из H_2 и Cl_2 , занимает объем 23 дм³. Определите массу хлороводорода, который образуется в результате взрыва данной смеси, если его выход равен 98 %.
6. Смесь SO_2 и O_2 объемом 4,0 дм³ пропустили над катализатором. Весь оксид прореагировал и образовался продукт массой 0,315 г. Рассчитайте $\varphi(\text{SO}_2)$ в исходной смеси.
7. При пропускании смеси равных объемов SO_2 и O_2 под катализатором 45 % молекул SO_2 превращается в молекулы газа SO_3 . Рассчитайте массу 1 дм³ конечной газовой смеси.
8. К некоторому объему H_2 в закрытом сосуде добавили 2,0 дм³ O_2 . Смесь взорвали и получили воду массой 3,21 г. После охлаждения объем непрореагировавшего газа оказался равным 6,0 дм³. Рассчитайте исходный объем H_2 .
9. Имеется смесь N_2 и H_2 , которая в 1,15 раза тяжелее He . Во сколько раз уменьшится объем смеси, если половина исходного азота в результате реакции с H_2 превратится в NH_3 ?
10. В реакции синтеза NH_3 из смеси N_2 и H_2 стехиометрического состава объем газовой смеси уменьшился в 1,5 раза. Рассчитайте выход NH_3 .

11. В смеси NH_3 и Ne объемная доля неона равна 10 %. Чему будет равна $\varphi(\text{Ne})$ после разложения всего аммиака на простые вещества?
12. Имеется смесь CO и O_2 массой 14,8 г с $\varphi(\text{CO}) = 60\%$. Какой из этих газов и какой массы следует добавить к данной смеси, чтобы CO и O_2 полностью прореагировали между собой?
13. Для полного сжигания смеси CO и H_2 массой 42 г потребовалось $89,6 \text{ дм}^3 \text{ O}_2$. Найдите $\varphi(\text{H}_2)$ в смеси.
14. При нагревании аммиака 25 % его распалось на простые вещества. Найдите $\varphi(\text{N}_2)$ в конечной смеси.
15. При нагревании SO_3 (г.) половина его распалась на O_2 и SO_2 . Рассчитайте молярную массу полученной газовой смеси. (SO_3 — газ.)
16. Смешали $7 \text{ дм}^3 \text{ NO}$ и $3 \text{ дм}^3 \text{ O}_2$. Найдите $\varphi(\text{NO}_2)$ в конечной равновесной смеси, если прореагировало 14 % молекул NO .
17. После пропускания смеси $5 \text{ дм}^3 \text{ N}_2$ и $7 \text{ дм}^3 \text{ H}_2$ над катализатором объем газовой смеси уменьшился на 2 дм^3 . Определите относительную плотность конечной газовой смеси по водороду.
18. Объем смеси CO и O_2 равен 200 см^3 . После сгорания всего CO за счет кислорода смеси и приведения газа к н. у. объем смеси стал равен 150 см^3 . Во сколько раз уменьшится объем конечной газовой смеси после ее пропускания через избыток раствора щелочи?
19. После частичного разложения NO_2 на NO и O_2 получена газовая смесь, в которой $w(\text{O}_2) = 26,09\%$. Какая часть NO_2 разложилась?
20. Взорвана смесь CO и O_2 массой 11,6 г и плотностью $1,295 \text{ г/дм}^3$. Найдите $w(\text{CO})$ в конечной смеси.
21. Относительная плотность по водороду смеси CO и O_2 равна 14,4. Чему будет равна молярная масса газовой смеси, полученной после завершения реакции между CO и O_2 ?

22. Подожгли смесь H_2S и O_2 химическим количеством 2,0 моль и плотностью (н. у.) $1,451 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте плотность (н. у.) газовой смеси, полученной после взаимодействия газов исходной смеси.

В ходе реакции между газами изменяется объем газовой смеси.

Полезный совет: если в условии задачи приведены только объемы газов (т. е. данные по массе отсутствуют), задачу удобнее решать именно по «объемам», не переводя их в «моли».

Пример 29.4. Объем смеси водорода и кислорода равен 30 см^3 . После реакции между компонентами смеси оказалось, что кислород прореагировал не полностью. Объем непрореагировавшего (избыточного) кислорода равен $7,5 \text{ см}^3$. Определите объемную долю кислорода в исходной смеси (все объемы измерены при н. у.).

Дано:

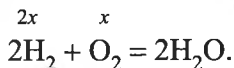
$$V(\text{H}_2 + \text{O}_2) = 30 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{O}_2)_{\text{изб.}} = 7,5 \text{ дм}^3$$

$$\varphi(\text{O}_2) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции:



Находим объем вступившей в реакцию (прореагировавшей) смеси:

$$\begin{aligned} V(\text{смеси})_{\text{прореаг.}} &= V(\text{смеси})_{\text{исх.}} - V(\text{O}_2)_{\text{непрореаг.}} = \\ &= 30 - 7,5 = 22,5 \text{ (см}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Обозначим объем прореагировавшего кислорода как $x \text{ (см}^3\text{)}$. Из уравнения реакции следует, что $V(\text{H}_2) : V(\text{O}_2) = 2 : 1$, следовательно,

$$V(\text{H}_2) = 2V(\text{O}_2) = 2x \text{ (см}^3\text{)}.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} V(\text{H}_2) + 2V(\text{O}_2) &= V(\text{смеси})_{\text{прореаг.}}; \\ 2x + x &= 22,5; \\ 3x &= 22,5; \\ x &= 7,5 \text{ (см}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Тогда общий объем кислорода в смеси равен:

$$\Sigma V(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} + V(\text{O}_2)_{\text{непрореаг.}} = 7,5 + 7,5 = 15 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Находим объемную долю кислорода в исходной смеси:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{\Sigma V(\text{O}_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ (50 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{O}_2) = 50 \%$.

Пример 29.5. К смеси газов CO и CO₂ общим объемом (н. у.) 10 дм³ добавили 15 дм³ (н. у.) кислорода и подожгли. В результате реакции объем смеси уменьшился на 2 дм³ (н. у.). Определите объемную долю CO₂ в исходной газовой смеси.

Дано:

$$V(\text{CO} + \text{CO}_2) = 10 \text{ дм}^3$$

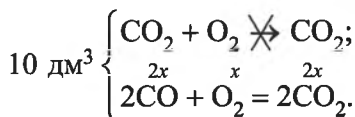
$$V(\text{O}_2) = 15 \text{ дм}^3$$

$$\Delta V = 2 \text{ дм}^3$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции:



Изменение объема на 2 дм³ произошло за счет протекания второй реакции. Пусть в реакцию вступил кислород объемом x (дм³), тогда $V(\text{CO})_{\text{прореаг.}} = 2x$ (дм³), а $V(\text{CO}_2)_{\text{обр.}} = 2x$ (дм³).

Изменение объема ΔV равно разности объемов прореагировавших CO и CO₂ и образовавшегося CO₂:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V(\text{CO} + \text{O}_2) - V(\text{CO}_2); \\ 2 &= 2x + x - 2x; \\ x &= 2. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} V(\text{CO}) &= 2x = 2 \cdot 2 = 4 \text{ (дм}^3\text{)}; \\ V(\text{CO}_2) &= V(\text{смеси}) - V(\text{CO}) = 10 - 4 = 6 \text{ (дм}^3\text{)}; \\ \varphi(\text{CO}_2) &= \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ (60 \%)} \end{aligned}$$

Ответ: $\varphi(\text{CO}_2) = 60 \%$.

Для решения задач на эту тему весьма продуктивен подход, когда объем реагента, который взят с избытком, разбивают на две части: прореагировавшую и избыточную (непрореагировавшую).

Пример 29.6. Из 150 дм³ смеси N₂ и H₂ (избыток) получен NH₃. Объем смеси газов после реакции равен 90 дм³. Найдите долю водорода в исходной смеси.

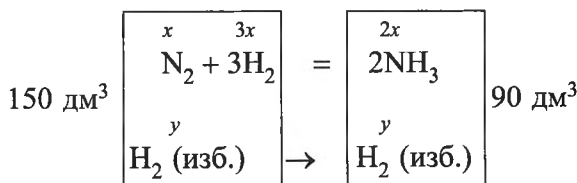
Дано:

$$\begin{aligned} V(\text{N}_2 + \text{H}_2) &= 150 \text{ дм}^3 \\ V(\text{смеси})_{\text{конечн.}} &= 90 \text{ дм}^3 \end{aligned}$$

$$\varphi(\text{H}_2)_{\text{исх.}} = ?$$

Решение:

Представим объем H₂ в виде двух частей, запишем уравнение реакции:



Здесь x — это объем вступившего в реакцию азота, соответственно, прореагировало $3x$ (дм³) водорода. Избыточный объем H₂ обозначаем как y (дм³).

Составляем систему двух уравнений:

$$\begin{aligned} x + 3x + y &= 150; \\ 2x + y &= 90. \end{aligned}$$

Находим:

$$V(\text{H}_2) = x = 30 \text{ дм}^3; \quad V(\text{H}_2) = 150 - 30 = 120 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{смеси})_{\text{исх.}}} = \frac{120}{150} = 0,8 \text{ (80 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{H}_2) = 80 \%$.

- !**
23. После взрыва смеси H_2 и O_2 объемом 100 см^3 осталось $400 \text{ см}^3 \text{ H}_2$. Найдите $\omega(\text{H}_2)$ в исходной смеси.
 24. Из смеси H_2 и N_2 (избыток) объемом 10 дм^3 получен NH_3 . Объем новой смеси равен 6 дм^3 . Определите $\varphi(\text{H}_2)$ в исходной смеси.
 25. После реакции 28 дм^3 смеси NH_3 и O_2 в присутствии катализатора осталось $10 \text{ дм}^3 \text{ O}_2$. Найдите объемы газов в исходной смеси.
 26. Смешали 50 см^3 смеси CO и CO_2 с $50 \text{ см}^3 \text{ O}_2$, смесь взорвали. После этого ее объем составил 90 см^3 . Найдите $\varphi(\text{CO}_2)$ в исходной смеси.
 27. После сжигания смеси H_2S и O_2 (избыток) получена газовая смесь (н. у.), в которой $\varphi(\text{O}_2) = 60 \%$. Найдите $\varphi(\text{H}_2\text{S})$ в исходной смеси.
 28. Объем смеси O_2 (избыток) и SO_2 равен 600 см^3 . После реакции между ними получено 450 см^3 новой смеси (SO_3 — газ). Найдите $\varphi(\text{O}_2)$ в исходной смеси.
 29. После сжигания смеси H_2S и O_2 (избыток) объем газовой смеси (н. у.) уменьшился на $67,2 \text{ дм}^3$. Какой объем (н. у.) SO_2 получен при сжигании?
 30. Водород сожгли в избытке кислорода. Объем новой газовой смеси (н. у.) уменьшился на 240 см^3 по сравнению с исходным объемом смеси H_2 и O_2 . Определите исходный объем водорода.
 31. Взорвали 400 см^3 смеси H_2S и O_2 (избыток). Объем газовой смеси (н. у.) после сжигания составил 100 см^3 . Рассчитайте $\varphi(\text{H}_2\text{S})$ в исходной смеси.
 32. Смесь N_2 и H_2 пропустили над катализатором, при этом ее объем уменьшился с 10 дм^3 до $7,2 \text{ дм}^3$ (н. у.). Какова будет $\omega(\text{NH}_3)$ при растворении полученного аммиака в 25 см^3 воды?

33. Объем смеси H_2 и Cl_2 равен 25 дм^3 . После реакции между ними оказалось, что Cl_2 прореагировал не полностью, причем объем не вступившего в реакцию хлора равен 3 дм^3 . Определите $V(\text{Cl}_2)$ в исходной смеси.
34. Смешали 15 дм^3 CO и O_2 (избыток). Смесь подожгли. После окончания реакции объем новой газовой смеси равен 65 дм^3 . Рассчитайте объем добавленного O_2 .
35. Хлор и водород (избыток) общим объемом 200 см^3 прореагировали между собой, при этом образовался хлороводород объемом 60 см^3 . Укажите объем H_2 в исходной смеси.
36. Рассчитайте $\varphi(\text{H}_2\text{S})$ в его смеси с O_2 (избыток) общим объемом 112 дм^3 , если при полном сжигании сероводорода за счет кислорода смеси объем конечной смеси составил $71,68 \text{ дм}^3$. Объемом воды и растворимостью в ней газов можно пренебречь.
37. Смесь N_2 и H_2 общим объемом 100 дм^3 пропустили под нагретым катализатором. В результате реакции с выходом 70% был получен NH_3 , а $\varphi(\text{H}_2)$ в смеси стала равной 68% . Найдите $V(\text{H}_2)$ в исходной смеси.
38. Водород и азот для синтеза аммиака были взяты в соответствии со стехиометрией реакции. В равновесной смеси $\varphi(\text{NH}_3) = 56,25 \%$. Какая часть H_2 вступила в реакцию?
39. Смесь равных объемом N_2 , H_2 и NH_3 пропустили над катализатором. В результате объемная доля NH_3 в равновесной смеси стала равной 60% . Найдите $\varphi(\text{N}_2)$ в равновесной смеси.
40. В смеси SO_2 и O_2 масса оксида в 6 раз больше массы кислорода. Смесь нагрели под давлением в присутствии катализатора. Через некоторое время относительная плотность по O_2 увеличилась на $0,25$ единицы. Чему равна $w(\text{SO}_2)$ в полученной смеси? (В условиях опыта SO_3 — газ.)
41. При сжигании H_2S в O_2 (избыток) получили газ (н. у.) и воду массой $1,61 \text{ г}$, а объем реакционной смеси уменьшился в $1,43$ раза. Пренебрегая растворимостью газов в воде и объемом жидкой воды, найдите объем (н. у.) исходной смеси.

Пожалуй, наибольшие трудности вызывают задачи, в которых указывается на изменение молярной массы (плотности, относительной плотности) газовой смеси в процессе реакции. Разберем четыре примера решения таких задач.

Пример 29.7. Оксид азота(IV) нагревали при некоторой температуре, при этом часть его разложилась на оксид азота(II) и кислород и установилось химическое равновесие. Определите объемные доли веществ в равновесной смеси, если ее относительная плотность по воздуху равна 1,269.

Дано:

$$D(\text{смеси}) = 1,269 \text{ возд.}$$

$\varphi(\text{веществ})$ — ?

Решение:

Вычислим среднюю молярную массу равновесной газовой смеси $[M(\text{возд.}) = 29 \text{ г/моль}]$:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси})_{\text{равн.}} &= D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) \cdot M(\text{возд.}) = \\ &= 1,269 \cdot 29 = 36,8 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

Предположим, что исходное химическое количество азота(IV) равнялось 1 моль ($m(\text{NO}_2) = 46 \text{ г}$), а к моменту достижения равновесия образовалось x (моль) оксида азота(II). Тогда в равновесной смеси остается $1 - x$ (моль) NO_2 , а образуется $0,5x$ моль O_2 (согласно уравнению реакции $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$).

Записываем уравнение реакции и составляем таблицу данных:

	2NO_2	=	2NO	+	O_2
Исходное состояние, моль	1		—		
Прореагировало, моль	x		—		
Образовалось, моль	—		x		$0,5x$
Равновесная смесь, моль	$(1 - x)$		x		$0,5x$

Общее химическое количество веществ в равновесной смеси составляет:

$$n(\text{NO}_2 + \text{NO} + \text{O}_2) = 1 - x + x + 0,5x = 1 + 0,5x \text{ (моль)}.$$

Масса равновесной смеси равна массе исходного оксида азота(IV), т. е. 46 г (в процессе любой химической реакции масса не изменяется). С другой стороны,

$$m(\text{смеси})_{\text{равн.}} = M(\text{смеси})_{\text{равн.}} \cdot n(\text{смеси})_{\text{равн.}},$$

имеем:

$$46 = 36,8(1 + 0,5x).$$

Отсюда $x = 0,5$.

Рассчитываем объемные доли веществ в равновесной смеси:

$$\varphi(\text{NO}_2) = \frac{n(\text{NO}_2)}{n(\text{смеси})_{\text{равн.}}} = \frac{1 - x}{1 + 0,5x} = \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5 \cdot 0,5} = 0,4 \text{ (40 \%)};$$

$$\varphi(\text{NO}) = \frac{n(\text{NO})}{n(\text{смеси})_{\text{равн.}}} = \frac{x}{1 + 0,5x} = \frac{0,5}{1 + 0,5 \cdot 0,5} = 0,4 \text{ (40 \%)};$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{смеси})_{\text{равн.}}} = \frac{0,5x}{1 + 0,5x} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{1,25} = 0,2 \text{ (20 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{NO}_2) = \varphi(\text{NO}) = 40 \%$; $\varphi(\text{O}_2) = 20 \%$.

Пример 29.8. Смесь аммиака и кислорода объемом (н. у.) $8,96 \text{ дм}^3$ с массовой долей кислорода $65,31 \%$ подожгли; в реакцию вступила половина кислорода. Рассчитайте объемные доли компонентов газовой смеси (н. у.).

Решение. Определяем состав исходной смеси.

Пусть $n(\text{O}_2) = x$ (моль), $n(\text{NH}_3) = y$ (моль). Поскольку

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{8,96}{22,4} = 0,4 \text{ (моль)},$$

имеем:

$$x + y = 0,4. \quad (1)$$

Находим массы газов и массу смеси:

$$[M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль}, M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}];$$

$$m(\text{O}_2) = x \cdot M(\text{O}_2) = 32x \text{ (г)};$$

$$m(\text{NH}_3) = y \cdot M(\text{NH}_3) = 17y \text{ (г)};$$

$$m(\text{смеси}) = 32x + 17y.$$

Для массовой доли O_2 получаем:

$$w(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{32x}{32x + 17y};$$

$$0,6531 = \frac{32x}{32x + 17y}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) составляют систему, решив которую находим:

$$x = 0,2 \text{ моль}; y = 0,2 \text{ моль}.$$

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты, учитывая, что прореагировала половина кислорода, т. е. 0,1 моль.

	4NH_3	+	3O_2	=	2N_2	+	$6\text{H}_2\text{O}$
Количество газов в исходной смеси, моль	0,2		0,2		—		—
Количество вступивших в реакцию газов, моль	$\frac{4}{3}n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} = \frac{0,2}{2} = 0,1$ $= \frac{4}{3} \cdot 0,1 = 0,133$						
Количество непрореагировавшего газа, моль	$0,2 - 0,133 = 0,067$		$0,2 - 0,1 = 0,1$				
Количество образовавшегося газа, моль	—		—		$\frac{2}{3}n(\text{O}_2)_{\text{прореаг.}} =$ $= \frac{2}{3} \cdot 0,1 = 0,0667$		

Находим химическое количество конечной газовой смеси:

$$\begin{aligned} n(\text{O}_2)_{\text{конечн.}} &= n(\text{NH}_3)_{\text{непрореаг.}} + n(\text{O}_2)_{\text{непрореаг.}} + n(\text{N}_2)_{\text{обр.}} = \\ &= 0,067 + 0,1 + 0,0667 = 0,2337 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Рассчитываем объемные доли газов в конечной смеси:

$$\varphi(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)_{\text{непрореаг.}}}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,0667}{0,2337} = 0,287 \text{ (28,7 \%)};$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)_{\text{непрореаг.}}}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,1}{0,2337} = 0,428 \text{ (42,8 \%)};$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{n(\text{N}_2)_{\text{обр.}}}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,0667}{0,2337} = 0,286 \text{ (28,6 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{NH}_3) = 0,287 \text{ (28,7 \%)}; \varphi(\text{O}_2) = 0,428 \text{ (42,8 \%)}; \varphi(\text{N}_2) = 0,286 \text{ (28,6 \%)}.$

Пример 29.9. Смесь N_2 и H_2 в объемном отношении 2 : 9 соответственно пропустили над нагретым катализатором. В результате образования аммиака относительная плотность газовой смеси по водороду возросла на 1,261. Найдите выход аммиака в этом процессе.

Дано:

$$\frac{V(\text{N}_2)}{V(\text{H}_2)} = \frac{2}{9}$$

$$\Delta D_{\text{H}_2}(\text{смеси}) = 1,261$$

$$\eta(\text{NH}_3) \text{ — ?}$$

Решение:

Поскольку отношение объемов газов равно их мольному отношению, примем, что исходная смесь состояла из 2 моль N_2 и 9 моль H_2 . Рассчитываем молярную массу исходной смеси и его относительную плотность по водороду:

$$M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2;$$

$$M(\text{N}_2) = 28 \text{ г/моль}; M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль};$$

$$\varphi = \frac{n(\text{г})}{n(\text{смеси})};$$

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = M(\text{N}_2) \cdot \frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{смеси})} + M(\text{H}_2) \cdot \frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{смеси})};$$

$$n(\text{смеси}) = 2 + 9 = 11 \text{ (моль)};$$

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = 28 \frac{2}{11} + 2 \cdot \frac{9}{11} = 6,727 \text{ (г/моль)}.$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{смеси})_{\text{исх.}} = \frac{M(\text{смеси})_{\text{исх.}}}{M(\text{H}_2)} = \frac{6,727}{2} = 3,364.$$

Находим относительную плотность по водороду конечной смеси:

$$D_{\text{H}_2}(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 3,364 + 1,261 = 4,625.$$

Тогда

$$M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 2 \cdot D_{\text{H}_2}(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 2 \cdot 4,625 = 9,25 \text{ (г/моль)}.$$

Записываем уравнение реакции и составляем таблицу данных, где указываем количества (моль) веществ. Учтем, что водород взят с избытком ($9/3 = 3 > 2$). Количество NH_3 рассчитываем по прореагировавшим количествам H_2 и N_2 .

	N_2	+	3H_2	=	2NH_3
Было, моль	2		9		—
Прореагировало, моль	x		$3x$		
Осталось, моль	$2 - x$		$9 - 3x$		
Образовалось, моль					$2x$

Находим химическое количество конечной смеси:

$$n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = n(\text{N}_2)_{\text{ост}} + n(\text{H}_2)_{\text{ост}} + n(\text{NH}_3)_{\text{обр.}};$$

$$n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 2 - x + 9 - 3x + 2x = 11 - 2x.$$

Используем выражение:

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

Поскольку масса веществ в ходе реакции не изменяется:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{H}_2)_{\text{исх.}} + m(\text{N}_2)_{\text{исх.}} = 9 \cdot 2 + 2 \cdot 28 = 74 \text{ (г)},$$

имеем:

$$11 - 2x = \frac{74}{9,25};$$

$$11 - 2x = 8; x = 1,5 \text{ (моль)}.$$

Следовательно, образовался аммиак количеством $2 \cdot 1,5 = 3$ (моль); это практическое количество, а теоретически из 2 моль N_2 могло бы образоваться 4 моль NH_3 (см. уравнение реакции):

$$\eta(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)_{\text{практ.}}}{n(\text{NH}_3)_{\text{теор.}}} = \frac{3}{4} = 0,75 \text{ (75 \%)}.$$

Ответ: $\eta(\text{NH}_3) = 75 \text{ \%}$.

Пример 29.10. Смесь CO и O_2 плотностью (н. у.) $1,321 \text{ г/дм}^3$ подожгли. Через некоторое время плотность (н. у.) газовой смеси стала равной $1,652 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте объемные и массовые доли газов в смеси после реакции.

Дано:

$$\rho_1 = 1,321 \text{ г/дм}^3$$

$$\rho_2 = 1,652 \text{ г/дм}^3$$

$$w(\text{газов}) — ?$$

$$\varphi(\text{газов}) — ?$$

Решение:

Решение. Находим молярную массу исходной смеси и объемные доли газов в ней:

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = V_m \cdot \rho(\text{смеси})_{\text{исх.}} = 22,4 \cdot 1,321 = 29,6 \text{ (г/моль)};$$

$$M(\text{смеси})_{\text{исх.}} = M(\text{CO}) \cdot \varphi(\text{CO}) + M(\text{O}_2) \cdot \varphi(\text{O}_2);$$

$$M(\text{CO}) = 28 \text{ (г/моль)}; M(\text{O}_2) = 32 \text{ (г/моль)};$$

$$29,6 = 28 \cdot \varphi(\text{CO}) + 32 \cdot [1 - \varphi(\text{CO})];$$

$$\varphi(\text{CO}) = 0,6; \varphi(\text{O}_2) = 1 - \varphi(\text{CO}) = 1 - 0,6 = 0,4.$$

Пусть $n(\text{смеси})_{\text{исх.}} = 1$ моль (22,4 дм³). Тогда

$$V(\text{CO}) = V(\text{смеси}) \cdot \varphi(\text{CO}) = 0,6 \cdot 22,4 = 13,44 \text{ (дм}^3\text{)};$$

$$n(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{V_m} = \frac{13,44}{22,4} = 0,6 \text{ (моль)}.$$

Аналогично находим: $n(\text{O}_2) = 0,4$ моль.

Как видим, объемные доли газов для смеси количеством 1 моль равны химическим количествам компонентов смеси.

Записываем уравнение реакции, обозначаем химическое количество прореагировавшего O_2 как x (моль) и составляем таблицу изменения количественного состава газовой смеси.

	2CO	+	O ₂	=	2CO ₂
Состав исходной смеси, моль	0,6		0,4		—
Прореагировало, моль	2x		x		—
Осталось, моль	0,6 – 2x		0,4 – x		—
Образовалось, моль	—		—		2x

Таким образом, в конечной смеси находится (0,6 – 2x) моль CO; (0,4 – 2x) моль O₂; 2x моль CO₂.

Химическое количество конечной смеси равно:

$$\begin{aligned} n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} &= n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2) + n(\text{O}_2) = \\ &= 0,6 - 2x + 0,4 - x + 2x = 1 - x \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Находим молярную массу конечной смеси:

$$M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = V_m \cdot \rho(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 22,4 \cdot 1,652 = 37,0 \text{ (г/моль)}.$$

Используем формулу:

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})};$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{CO})_{\text{исх.}} + m(\text{O}_2)_{\text{исх.}};$$

$$m(\text{смеси}) = 0,6 \cdot 28 + 0,4 \cdot 32 = 29,6 \text{ (г)}.$$

Имеем:

$$37 = \frac{29,6}{1 - x}.$$

Отсюда $x = 0,2$ моль.

Следовательно, в реакцию вступил кислород химическим количеством 0,2 моль. В конечной смеси содержится:

$$0,6 - 2x = 0,6 - 2 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ (моль) или } 0,2 \cdot 28 = 5,6 \text{ (г) CO};$$

$$0,4 - 2x = 0,4 - 0,2 = 0,2 \text{ (моль) или } 0,2 \cdot 32 = 6,4 \text{ (г) O}_2.$$

Находим объемные доли газов в конечной смеси:

$$\varphi = \frac{n(\text{газа})}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}};$$

$$n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = n(\text{смеси})_{\text{исх.}} - x = 1 - 0,2 = 0,8 \text{ (моль)};$$

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25 \text{ (25 \%)};$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,2}{0,8} = 0,25 \text{ (25 \%)};$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{0,4}{0,8} = 0,5 \text{ (50 \%)}.$$

Рассчитываем массовые доли газов в конечной смеси:

$$m(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = m(\text{CO}) + m(\text{O}_2) + m(\text{CO}_2) =$$

$$= 5,6 + 6,4 + 17,6 = 29,6 \text{ (г)};$$

$$w(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{m(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{5,6}{29,6} = 0,189 \text{ (18,9 \%)};$$

$$w(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{6,4}{29,6} = 0,216 \text{ (21,6 \%)};$$

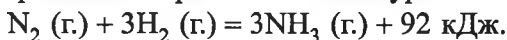
$$\omega(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{m(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{17,6}{29,6} = 0,595 \text{ (59,5 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{CO}) = \varphi(\text{O}_2) = 25 \text{ \%}$; $\varphi(\text{CO}_2) = 50 \text{ \%}$;

$\omega(\text{CO}) = 18,9 \text{ \%}$; $\omega(\text{O}_2) = 21,6 \text{ \%}$; $\omega(\text{CO}_2) = 59,5 \text{ \%}$.

- 42.** Имеется смесь N_2 и H_2 объемом 100 дм^3 с относительной плотностью по водороду 5,33. После реакции между ними плотность смеси стала равной $0,55 \text{ г/дм}^3$. Найдите объемные доли газов в конечной смеси.
- 43.** В смеси N_2 и H_2 масса азота в 3,5 раза больше массы водорода. Смесь нагрели в присутствии катализатора. Через некоторое время ее молярная масса (г/моль) возросла на 1,8 единицы. Рассчитайте $\varphi(\text{NH}_3)$ в полной смеси.
- 44.** Смесь N_2 и H_2 в объемном соотношении 1 : 4 соответственно при нагревании пропустили над катализатором. При этом относительная плотность смеси по гелию выросла на 12 %. Рассчитайте выход продукта реакции.
- 45.** Оксид серы(IV) и кислород смешали в мольном соотношении 1 : 3 соответственно и пропустили над катализатором. При этом молярная масса смеси возросла на 13 %. Рассчитайте выход SO_3 (в условиях опыта SO_3 — газ).
- 46.** Имеется смесь N_2 и H_2 с плотностью $0,670 \text{ г/дм}^3$. Смесь подожгли и через некоторое время плотность газовой смеси стала равной $0,717 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте объемные доли газов в конечной смеси.
- 47.** Смесь N_2 и H_2 с относительной плотностью по гелию 1,8 пропустили над горячим катализатором и получили смесь газов с плотностью (н. у.) $0,473 \text{ г/дм}^3$. Рассчитайте $\varphi(\text{H}_2)$ в равновесной смеси.
- 48.** Смесь N_2 и H_2 общим объемом 500 дм^3 с молярной массой $7,2 \text{ г/моль}$ поместили в реактор для синтеза аммиака. В результате реакции относительная плотность

смеси по H_2 возросла на 14 %. Рассчитайте тепловой эффект реакции. Термохимическое уравнение:



49. Смесь равных объемов N_2 , NH_3 и H_2 пропустили над нагретым катализатором, в результате чего объемная доля NH_3 в смеси возросла до 60 %. Найдите $\varphi(\text{N}_2)$ в конечной смеси.

В ходе реакции между газами, протекающей в закрытом сосуде, давление в сосуде изменяется. Это обстоятельство используется для составления ряда конкурсных задач. Разберем только один характерный пример.

Пример 29.11. В закрытый реактор NH_3 была помещена смесь N_2 и H_2 с объемным соотношением соответственно 1 : 4. В ходе синтеза давление в реакторе уменьшилось на 15,0 %. Рассчитайте объемные доли газов в полученной после реакции смеси.

Дано:

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

$$\Delta p = 15 \%$$

$\eta(\text{газов})$ — ?

Решение:

Из курса физики известно, что давление газа пропорционально химическому количеству газа:

$$p \sim n(\text{газа}).$$

Следовательно, можно утверждать, что в ходе реакции общее химическое количество газа уменьшилось на 15 %.

Записываем уравнение реакции, объемное соотношение принимаем за мольное.

	N_2	+	3H_2	=	2NH_3
Было, моль	1		4		—
Прореагировало, моль	x		$3x$		—
Осталось, моль	$1 - x$		$4 - 3x$		—
Образовалось, моль	—		—		$2x$

Находим:

$$n(\text{смеси})_{\text{исх.}} = 1 + 4 = 5 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 1 - x + 4 - 3x + 2x = 5 - 2x;$$

$$n(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = 5 - 5 \cdot 0,15 = 4,25 \text{ (моль);}$$

$$5 - 2x = 4,25; x = 0,375 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{N}_2)_{\text{конечн.}} = 1 - x = 1 - 0,375 = 0,625 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{H}_2)_{\text{конечн.}} = 4 - 3x = 4 - 3 \cdot 0,375 = 2,875 \text{ (моль);}$$

$$n(\text{NH}_3)_{\text{конечн.}} = 2x = 2 \cdot 0,375 = 0,75 \text{ (моль);}$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{0,625}{4,25} = 0,147 \text{ (14,7 \%);}$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2,875}{4,25} = 0,676 \text{ (67,6 \%);}$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = \frac{0,75}{4,25} = 0,176 \text{ (17,6 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{N}_2) = 14,7 \%$; $\varphi(\text{H}_2) = 67,6 \%$; $\varphi(\text{NH}_3) = 17,6 \%$.

- !** 50. При синтезе NH_3 из смеси N_2 (1 моль) и H_2 (3 моль) давление в закрытом сосуде уменьшилось в 1,11 раза. Рассчитайте выход аммиака.
51. В реактор для синтеза NH_3 была помещена смесь N_2 и H_2 с объемным соотношением 1 : 4 соответственно. В ходе синтеза давление в реакторе уменьшилось на 15 %. Рассчитайте объемные доли газов в равновесной смеси.
52. Смесь пропена и водорода с относительной плотностью по гелию 7,5 в присутствии катализатора нагрели в сосуде постоянного объема. В результате реакции давление в сосуде упало на 21 %. Найдите выход продукта реакции гидрирования.
53. В закрытый сосуд поместили 0,4 моль SO_2 и 0,3 моль O_2 . В результате реакции между ними образовалось 0,2 моль SO_3 (г). Как при этом изменилось давление в сосуде?

54. В замкнутом сосуде при давлении 200 кПа содержатся SO_2 , O_2 и SO_3 , причем химическое количество SO_3 равно 1,0 моль. Через некоторое время в результате протекающей реакции между SO_2 и O_2 химические количества (моль) SO_2 , O_2 и SO_3 стали равны соответственно 4,00; 3,05 и 2,5. Рассчитайте давление в сосуде к этому моменту времени. (Температура в сосуде поддерживалась постоянной.)
55. Первоначальное давление в закрытом сосуде, содержащем O_2 и H_2 , равно 400 кПа (н. у.). После реакции между ними и приведения смеси к н. у. давление стало равным 100 кПа. Рассчитайте $w(\text{H}_2)$ в исходной смеси, в которой O_2 был взят с избытком. (Температура в сосуде поддерживалась постоянной.)
56. В закрытом сосуде смешали SO_2 и O_2 в мольном соотношении 5 : 2 соответственно и смесь нагрели в присутствии катализатора. После реакции давление в сосуде упало в 1,167 раза. Какая часть SO_2 вступила в реакцию? (SO_3 в условиях опыта — газ.)

Пример 29.12. К смеси объемом 50 дм³, состоящей из пропана и аммиака, добавили 20 дм³ хлороводорода. После окончания реакции и приведения новой газовой смеси к первоначальным условиям ее относительная плотность по воздуху составила 0,852. Укажите массовую долю (%) аммиака в исходной смеси. (Все объемы измеряли при $T = 20^\circ\text{C}$, $P = 10^5$ Па.)

Дано:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8 + \text{NH}_3) = 50 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 20 \text{ дм}^3$$

$$D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) = 0,852$$

$$w(\text{NH}_3)_{\text{исх.}} \text{ — ?}$$

Решение:

Из двух компонентов смеси с хлороводородом реагирует только аммиак (в других задачах с галогеноводородами вступают во взаимодействие амины).

В конечную газовую смесь входит пропан (определенно) и какой-то из двух газов — или избыточный аммиак, или

избыточный хлороводород (продукт реакции HCl и NH_3 — твердая соль NH_4Cl).

Ответить на вопрос, что в избытке, помогает анализ молярной массы конечной смеси:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} &= D_{\text{возд.}}(\text{смеси}) \cdot M(\text{возд.}) = \\ &= 0,852 \cdot 29 = 24,71 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

Молярные массы пропана, аммиака и хлороводорода равны соответственно (г/моль) 44; 17 и 36,5. Для смеси двух газов с молярными массами M_1 и M_2 и объемными долями ϕ_1 и ϕ_2 молярная масса находится по формуле:

$$M(\text{смеси}) = M_1\phi_1 + M_2\phi_2.$$

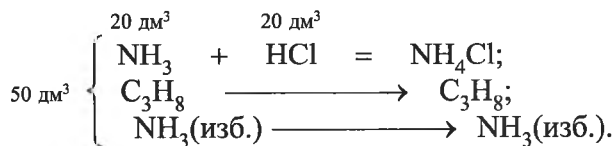
Из этой формулы следует, что значение молярной массы смеси заключено в пределах M_1 и M_2 :

$$\text{если } \phi_1 \rightarrow 0; \quad M(\text{смеси}) = M_2;$$

$$\text{если } \phi_2 \rightarrow 0; \quad M(\text{смеси}) = M_1.$$

Предположим, в избытке HCl . Тогда конечная смесь представляет собой смесь C_3H_8 ($M = 44$ г/моль) и HCl ($M = 36,5$ г/моль). Значение молярной массы в этом случае должно заключаться в интервале 44—36,5 (г/моль), что больше реальной молярной массы (24,71 г/моль). Следовательно, в реакции $\text{NH}_3 + \text{HCl}$ в избытке находится аммиак и конечная смесь представляет смесь NH_3 ($M = 17$ г/моль) и C_3H_8 ($M = 44$ г/моль). В этом случае значение молярной массы конечной смеси заключено в интервале значений $M(\text{NH}_3)$ и $M(\text{C}_3\text{H}_8)$.

Записываем уравнение реакции и проводим расчеты:



Пусть в исходной смеси $V(\text{NH}_3) = x$ (дм³). Тогда $V(\text{C}_3\text{H}_8) = 50 - x$ (дм³). С хлороводородом объемом 20 дм³ прореагиру-

ет аммиак объемом 20 дм^3 , тогда объем избыточного аммиака составит $x - 20 \text{ (дм}^3\text{)}$. В конечную смесь входят $x - 20 \text{ (дм}^3\text{)}$ NH_3 и $50 - x \text{ (дм}^3\text{)}$ C_3H_8 . Объем конечной смеси равен $x - 20 + 50 - x = 30 \text{ дм}^3$. (Эти вычисления можно было не проводить, понятно, что объем смеси уменьшится на объем полностью прореагировавшего хлороводорода: $50 - 20 = 30 \text{ дм}^3$.)

Составляем и решаем выражение для молярной массы конечной смеси:

$$M(\text{смеси})_{\text{конечн.}} = M(\text{NH}_3) \cdot \varphi(\text{NH}_3)_{\text{изб.}} + M(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot \varphi(\text{C}_3\text{H}_8);$$

$$\varphi(\text{NH}_3)_{\text{изб.}} = \frac{V(\text{NH}_3)_{\text{изб.}}}{V(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{x - 20}{30};$$

$$\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{V(\text{C}_3\text{H}_8)}{V(\text{смеси})_{\text{конечн.}}} = \frac{50 - x}{30}.$$

Имеем:

$$24,71 = 17 \frac{x - 20}{30} + 44 \frac{50 - x}{30};$$

$$24,71 \cdot 30 = 17(x - 20) + 44(50 - x);$$

$$741,3 = 17x - 340 + 2200 - 44x;$$

$$27x = 1118,7;$$

$$x = 41,4 \text{ дм}^3.$$

Отсюда

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = 50 - 41,4 = 8,6 \text{ дм}^3;$$

$$m(\text{NH}_3) = n \cdot M = \frac{V}{V_m} \cdot M = \frac{41,4}{22,4} \cdot 17 = 31,42 \text{ (г)};$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = n \cdot M = \frac{V}{V_m} \cdot M = \frac{8,6}{22,4} \cdot 44 = 16,89 \text{ (г)};$$

$$\omega(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{смеси})} = \frac{31,42}{31,42 + 16,89} = 0,65 \text{ (65 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{NH}_3) = 65 \%$.



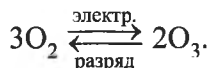
57. К смеси Ar и этиламина общим объемом 30 дм³ добавили HBr объемом 20 дм³, после чего относительная плотность газовой смеси по водороду стала равной 1,814. Вычислите объемные доли газов в исходной смеси.
58. К смеси NH₃ и CO₂ общим объемом 60 дм³ добавили бромоводород объемом 30 дм³. Плотность новой газовой смеси составила 2,295 г/дм³. Рассчитайте $\omega(\text{CO}_2)$ в исходной смеси.
59. К смеси NH₃ и CO₂ общим объемом 100 дм³ добавили 20 дм³ хлороводорода. После этого молярная масса газовой смеси составила 28,5 г/моль. Рассчитайте $\varphi(\text{NH}_3)$ в исходной смеси.
60. К газовой смеси аммиака и этана объемом 32 дм³ добавили хлороводород объемом 11 дм³. После этого молярная масса стала равной 26,91 г/моль. Найдите $\varphi(\text{NH}_3)$ в исходной смеси.
61. К смеси Ar и NH₃ общим объемом 10 дм³ с молярной массой 32 г/моль добавили 40,5 г HBr. Найдите плотность (н. у.) конечной смеси.
62. К смеси NH₃ и O₂ объемом 6,72 дм³ с молярной массой 24,33 г/моль добавили 0,05 моль хлороводорода. Рассчитайте относительную плотность по водороду полученной газовой смеси.
63. Какой объем HBr нужно добавить к смеси NH₃ и O₂ объемом 50 дм³ (молярная масса смеси 26 г/моль), чтобы ее плотность возросла в 1,702 раза?

ГЛАВА 30

Реакции с участием озона

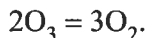
Озон O_3 — одна из аллотропных модификаций элемента кислорода. При обычных условиях это светло-голубой газ с характерным запахом, который отличается очень высокой химической активностью.

Получают озон из кислорода в специальных установках (озонаторах):



При этом образуется так называемый озонированный кислород, представляющий собой смесь O_2 (в основном) и O_3 .

Со временем под влиянием различных факторов озон полностью распадается, образуя кислород:



Пример 30.1. Объем озонированного кислорода после полного разложения озона увеличился на 4 %. Рассчитайте $\varphi(O_3)$ в озонированном кислороде.

Дано:

$$\Delta V = 4 \%$$

$\varphi(O_3) = ?$

Решение:

Примем объем смеси озона и кислорода за 100 дм^3 , введем объемные обозначения и составим уравнение реакции распада озона, включив в него объем кислорода:

$$100 \text{ дм}^3 \left\{ \begin{array}{ccc} x & & 1,5x \\ 2O_3 & = & 3O_2 \\ y & & y \\ O_2 & \rightarrow & O_2 \end{array} \right\} 100 + 100 \cdot 0,04 = 104 \text{ дм}^3$$

Составляем систему двух уравнений:

$$\begin{aligned}x + y &= 100; \\ 1,5x + y &= 104.\end{aligned}$$

Отсюда находим:

$$y = 8 \text{ дм}^3.$$

Тогда

$$\varphi(\text{O}_3) = \frac{V(\text{O}_3)}{V(\text{O}_2 + \text{O}_3)} = \frac{8}{100} = 0,08 \text{ (8 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{O}_3) = 8 \text{ \%}$.



1. Объем озонированного кислорода после полного разложения озона вырос на 3 %. Рассчитайте объемную долю O_3 в озонированном кислороде.
2. Объем озонированного кислорода оказался на 2,50 % меньше объема O_2 , взятого для озонирования. Рассчитайте выход озона.
3. При пропускании чистого кислорода через озонатор плотность газа на выходе из озонатора оказалась в 1,02 раза больше, чем на входе. Определите $\varphi(\text{O}_2)$ в озонированном кислороде.
4. Во сколько раз изменится давление в закрытом сосуде, если под действием электрического разряда 5 % кислорода превратится в озон? (Температура не изменялась.)
5. Относительная плотность по азоту смеси O_2 и O_3 на выходе из озонатора равна 1,2. Рассчитайте объемную и массовую доли O_3 в смеси, а также объем O_2 (н. у.), затраченный на получение 100 дм³ смеси.
6. Смесь O_2 и O_3 имеет плотность (н. у.) 1,464 г/дм³. После частичного разложения O_3 относительная плотность смеси по водороду уменьшилась на 1,50 %. Рассчитайте $w(\text{O}_3)$ в полученной смеси газов.

Рассмотрим пример решения задачи, в которой озонированный кислород используется для окисления вещества.

Пример 30.2. Имеется смесь O_2 и O_3 , в которой объем O_2 в 9 раз больше объема O_3 . Какой объем (dm^3 , н. у.) такой смеси потребуется для полного окисления ацетилена объемом (н. у.) $4,2 dm^3$?

Дано:

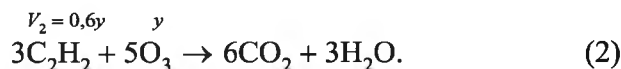
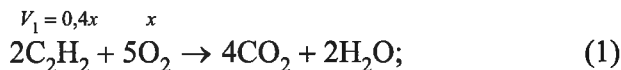
$$\frac{V(O_2)}{V(O_3)} = 9$$

$$V(C_2H_2) = 4,2 dm^3$$

$$V(O_2 + O_3) = ?$$

Решение:

Записываем уравнение реакции, учитывая, что ацетилен окисляется как кислородом, так и озоном, причем в обоих случаях образуются CO_2 и H_2O :



Обозначаем объемы O_2 и O_3 как x и y , тогда:

$$\frac{x}{y} = 9 \text{ или } x = 9y. \quad (3)$$

Из уравнений реакций следует:

$$V_1(C_2H_2) = \frac{2}{5} V(O_2) = \frac{2}{5} x = 0,4x;$$

$$V_2(C_2H_2) = \frac{3}{5} V(O_3) = \frac{3}{5} y = 0,6y.$$

Тогда

$$0,4x + 0,6y = 4,2. \quad (4)$$

Подставив равенство (3) в уравнение (4), находим:

$$0,4 \cdot 9y + 0,6y = 4,2;$$

$$\begin{aligned}V(\text{O}_3) &= y = 1 \text{ (дм}^3\text{);}\\V(\text{O}_2) &= x = 9y = 9 \cdot 1 = 9 \text{ (дм}^3\text{);}\\V(\text{O}_2) + V(\text{O}_3) &= 1 + 9 = 10 \text{ (дм}^3\text{)}.\end{aligned}$$

Ответ: $V(\text{O}_2 + \text{O}_3) = 10 \text{ дм}^3$.



7. Какой минимальный объем озонированного кислорода с относительной плотностью по водороду 20 потребуется для полного окисления 5 дм³ водорода?
8. Имеется смесь O_2 и O_3 , в которой $\varphi(\text{O}_3) = 20\%$. Какой минимальный объем этой смеси потребуется для полного окисления 10 дм³ пропана?
9. В газовой смеси O_2 и O_3 $\varphi(\text{O}_3) = 5\%$. Какая масса этой смеси потребуется для полного сжигания 10 кг углерода? Каков объем (н. у.) этой газовой смеси?
10. Для сжигания CH_4 объемом (н. у.) 336 дм³ потребовалась смесь O_2 и O_3 объемом 627,2 дм³. Рассчитайте $\varphi(\text{O}_3)$ в озонированном кислороде.
11. Имеется смесь O_2 и O_3 , в которой $V(\text{O}_2)/V(\text{O}_3) = 6:1$. Какой объем этой смеси потребуется для полного окисления пропена объемом 15,0 дм³?
12. Какую максимальную массу метана можно полностью окислить смесью O_2 и O_3 объемом (н. у.) 67,2 дм³, в которой число атомов в 2,05 раза больше числа молекул?
13. В смеси O_2 и O_3 $w(\text{O}_2)/w(\text{O}_3) = 2,667$. Рассчитайте, какой объем (н. у.) такой смеси потребуется для полного окисления порции циклопропана, содержащей в атомах $6,45 \cdot 10^{24}$ электронов.

Гораздо сложнее задачи, в которых озонированный кислород используется для окисления *смеси* веществ.

Пример 30.3. Какой минимальный объем (н. у.) смеси озона и кислорода (относительная плотность смеси по аргону равна 0,9) потребуется для полного окисления смеси пропена,

циклопропана и бутана массой 30,0 г с относительной плотностью по неону 2,5?

Дано:

$$D_{\text{Ar}} (\text{смеси}) = 0,9$$

$$m(\text{смеси}) = 30,0 \text{ г}$$

$$D_{\text{Ne}}(\text{смеси}) = 2,5$$

$$V(\text{O}_2 + \text{O}_3) = ?$$

Решение:

$$M(\text{пропена}) = M(\text{циклопропана}) =$$

$$= M(\text{C}_3\text{H}_6) = 42 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58 \text{ г/моль}; M(\text{Ne}) = 20 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Ar}) = 40 \text{ г/моль}; M(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{O}_3) = 48 \text{ г/моль}.$$

Пропен и циклопропан — изомеры, обозначаем их суммарное химическое количество как x (моль), а химическое количество бутана — y (моль). Для массы смеси имеем:

$$\begin{aligned} m(\text{смеси}) &= m(\text{C}_3\text{H}_6) + m(\text{C}_4\text{H}_{10}); \\ 42x + 58y &= 30. \end{aligned} \quad (1)$$

Молярная масса смеси:

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{смеси}} (\text{Ne}) \cdot M(\text{Ne}) = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ (г/моль)}.$$

Находим химическое количество смеси:

$$n(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{M(\text{смеси})} = \frac{30}{50} = 0,6 \text{ (моль)},$$

т. е.

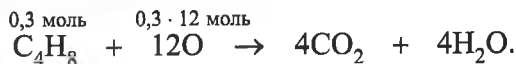
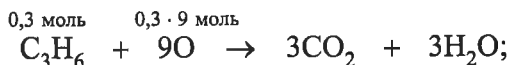
$$x + y = 0,6. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), находим:

$$y = 0,3 \text{ моль}, x = 0,3 \text{ моль}.$$

Далее задачу можно решать несколькими способами. Рассмотрим только два из них.

Способ 1. Записываем уравнения реакций окисления веществ атомарным кислородом:



Находим, что на окисление смеси C_3H_6 и C_4H_8 потребуется $0,3 \cdot 9 + 0,3 \cdot 12 = 6,3$ (моль) атомарного кислорода.

Пусть в смеси кислорода и озона находится a моль O_2 и b (моль) O_3 :

$$n(O_2) = a \text{ моль}; n(O_3) = b \text{ моль}.$$

В составе кислорода $n(O) = 2a$ моль, в составе озона $n(O) = 3b$ моль. Тогда

$$2a + 3b = 6,3. \quad (3)$$

Второе уравнение можно составить по молярной массе смеси O_2 и O_3 :

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})};$$

$$M(O_2 + O_3) = D_{\text{смеси}}(Ar) \cdot M(Ar) = 0,9 \cdot 40 = 36 \text{ (г/моль)};$$

$$m(\text{смеси}) = m(O_2) + m(O_3) = 32a + 48b;$$

$$n(\text{смеси}) = a + b;$$

$$36 = \frac{32a + 48b}{a + b}. \quad (4)$$

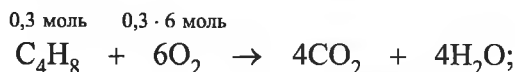
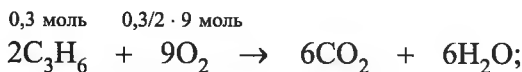
Решая совместно уравнения (3) и (4), находим:

$$a = 2,1 \text{ моль}, b = 0,7 \text{ моль}.$$

Рассчитываем объем смеси O_2 и O_3 :

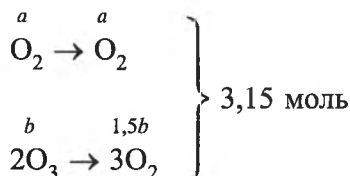
$$\begin{aligned} V(\text{смеси}) &= V(O_2) + V(O_3) = n(O_2) \cdot V_m + n(O_3) \cdot V_m = \\ &= V_m [n(O_2) + n(O_3)] = 22,4(a + b) = 22,4(2,1 + 0,7) = 62,72 \text{ (дм}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Способ 2. Полагаем, что весь озон превратился в кислород. Записываем уравнения реакций окисления углеводородов кислородом и находим химическое количество затраченного кислорода:



$$\Sigma n(\text{O}_2) = 1,35 + 1,8 = 3,15 \text{ (моль)}.$$

Согласно схеме превращения озонированного кислорода в кислород



и молярной массе исходной смеси, имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} a + 1,5b = 3,15; \\ 32 \frac{a}{a+b} + 48 \frac{b}{a+b} = 36. \end{array} \right.$$

Тогда

$$a = 2,1 \text{ моль}, b = 0,7 \text{ моль};$$

$$V(\text{O}_2 + \text{O}_3) = 22,4(2,1 + 0,7) = 62,72 \text{ (дм}^3\text{)}.$$

Ответ: $V(\text{O}_2 + \text{O}_3) = 62,72 \text{ дм}^3$.

- 14.** Имеется смесь C_2H_4 и C_2H_{10} химическим количеством 0,25 моль с молярной массой 43 г/моль. Какой минимальный объем смеси O_2 и O_3 с объемной долей O_2 83,33 % нужен для ее полного окисления?
- 15.** Относительная плотность по неону смеси O_2 и O_3 равна 1,76. Какой минимальный объем такой смеси потребуется для полного окисления 56,0 дм³ смеси этана, бутена-1 и бутадиена-1,2, имеющей плотность (н. у.) 2,304 г/дм³?

16. Относительная плотность смеси O_2 и O_3 по водороду равна 17,333. Какой минимальный объем этой смеси потребуется для полного окисления $100,8 \text{ дм}^3$ смеси, состоящей из паров изопрена, пентина-2 и бутана, имеющей плотность $2,788 \text{ г/дм}^3$?
17. Относительная плотность по неону смеси O_2 и O_3 равна 1,64. Рассчитайте минимальный объем такой смеси, необходимый для полного окисления смеси этана, бутана и изобутана массой 161 г с относительной плотностью по гелию 11,5.
18. В смеси этанола, пропана и бутана-2 массовые доли атомов С и Н равны соответственно (%) 74,53 и 15,53. Рассчитайте максимальную массу такой смеси, которую можно полностью окислить озонированным кислородом объемом (н. у.) $47,04 \text{ дм}^3$.

Пример 30.4. При сгорании метана в кислороде выделяется 890 кДж/моль теплоты, а при сгорании метана в озоне — 1032 кДж/моль . При полном сгорании $35,56 \text{ дм}^3$ смеси, состоящей из CH_4 и озонированного кислорода, газы прореагировали полностью. Рассчитайте тепловой эффект процесса, если $\varphi(O_3)$ в озонированном кислороде равна 35 %.

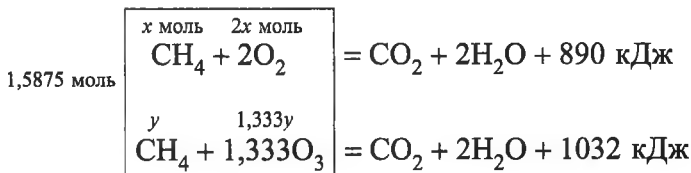
Дано:

$$\begin{aligned} Q(\text{сгор. } CH_4)_{O_2} &= 890 \text{ кДж/моль} \\ Q(\text{сгор. } CH_4)_{O_3} &= 1032 \text{ кДж/моль} \\ V(CH_4 + O_2 + O_3) &= 35,56 \text{ дм}^3 \\ \varphi(O_3) &= 35 \% \end{aligned}$$

ΣQ — ?

Решение:

Введем молярные обозначения и составляем уравнения реакций горения 1 моль метана в O_2 и O_3 :



Находим количество (моль) всей смеси:

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m} = \frac{35,560}{22,4} = 1,5875 \text{ (моль)}.$$

Составляем систему двух уравнений — по химическому количеству смеси и по объемной доли озона:

$$\varphi(\text{O}_3) = \frac{n(\text{O}_3)}{n(\text{O}_2) + n(\text{O}_3)} = \frac{1,333y}{2x + 1,333y} = 0,35.$$

Имеем:

$$\begin{cases} 3x + 2,333y = 1,5875; & (1) \\ \frac{1,333y}{2x + 1,333y} = 0,35. & (2) \end{cases}$$

Из уравнения (2) находим:

$$1,333y = 0,35(2x + 1,333y);$$

$$1,333y = 0,7x + 0,467y;$$

$$0,467y = 0,7x;$$

$$x = \frac{0,866}{0,7} y = 1,237y.$$

Подставляем это значение x в уравнение (1), получаем:

$$3 \cdot 1,237y + 2,333y = 1,5875;$$

$$6,044y = 1,5875;$$

$$y = 0,263 \text{ моль};$$

$$x = 1,237y = 1,237 \cdot 0,263 = 0,325 \text{ моль}.$$

Тепловой эффект сгорания CH_4 в O_2 равен:

$$Q_1 = x \cdot Q(\text{сгор. CH}_4)_{\text{O}_2} = 0,325 \cdot 890 = 289,25 \text{ (кДж)}.$$

Аналогично для O_3 получаем:

$$Q_2 = y \cdot Q(\text{сгор. CH}_4)_{\text{O}_3} = 0,263 \cdot 1032 = 271,42 \text{ (кДж)}.$$

Находим суммарный тепловой эффект:

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 = 289,2 + 271,42 = 560,62 \text{ (кДж)} \approx 561 \text{ кДж.}$$

Ответ: $\Sigma Q = 561 \text{ кДж.}$



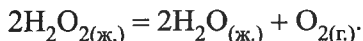
19. Теплоты сгорания (кДж/моль) бензола в O_2 и O_3 равны соответственно 3169 и 3501. При полном сгорании бензола массой 300 г в смеси O_2 и O_3 выделилось 12 401 кДж теплоты (компоненты смеси прореагировали полностью). Рассчитайте объемную долю озона в его смеси с кислородом.
20. При полном сгорании метана объемом (н. у.) 28,0 дм³ в смеси O_2 и O_3 выделилось 1125,8 кДж теплоты (объемная доля O_3 в смеси O_2 и O_3 равна 5,0 %, компоненты смеси прореагировали полностью). Рассчитайте мольную теплоту сгорания метана в озоне, если мольная теплота сгорания метана в кислороде равна 890 кДж.
21. При полном сгорании 15 г этана в O_2 выделяется 780 кДж теплоты, а в озоне — 905 кДж теплоты. Имеется смесь объемом (н. у.) 100 дм³, состоящая из C_2H_6 и озонированного кислорода, причем в озонированном кислороде объемная доля озона равна 5,0 %. Рассчитайте количество теплоты, выделившейся при полном поджигании данной смеси (этан полностью окислился, компоненты смеси прореагировали полностью).
22. Имеется смесь CH_4 , O_2 и O_3 объемом (н. у.) 151,25 дм³, в которой объемная доля озона равна 3,31 %. Рассчитайте количество теплоты, выделившейся при поджигании этой смеси (компоненты прореагировали полностью, продукты CO_2 и H_2O), если мольные теплоты сгорания (кДж) CH_4 в O_2 и O_3 равны соответственно 890 и 1030.

ГЛАВА 31

Задачи для повторения

Задачи этой главы необходимо решать после того, как проработаны задания предыдущих глав. Степень сложности данных задач максимально приближена к конкурсным.

1. К раствору объемом 300 см^3 ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$), содержащему $0,06$ моль гидроксида $\text{Me}(\text{OH})_2$, добавили 5 г этого же вещества; при этом его массовая доля стала равной $3,85 \%$. Установите металл.
2. Какой объем (н. у.) NH_3 нужно пропустить в раствор HNO_3 объемом 75 см^3 ($w = 46 \%$; $\rho = 1,29 \text{ г/см}^3$), чтобы массовые доли кислоты и соли стали равными?
3. Раствор CuSO_4 с молярной концентрацией $4,5 \text{ моль/дм}^3$ в 5 раз по массе разбавили водой. Учитывая, что плотность исходного раствора равна $1,26 \text{ г/см}^3$, найдите $w(\text{CuSO}_4)$ в полученном растворе.
4. Пероксид водорода при нагревании разлагается с выделением O_2 :



При начальной молярной концентрации H_2O_2 $0,156 \text{ моль/дм}^3$ половина его разложилась за $2,5 \text{ мин.}$ Считая, что объем не изменялся, найдите:

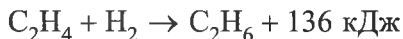
а) среднюю скорость реакции разложения (в $\frac{\text{МОЛЬ}}{\text{ДМ}^3 \cdot \text{С}}$);

б) какой объем O_2 (н. у.) выделится за это время из раствора H_2O_2 объемом 1 дм^3 ?

5. Через раствор массой 15,0 г с $w(\text{HNO}_3) = 9,45 \%$ пропустили NH_3 , в результате в образовавшемся растворе массовая доля атомов азота оказалась равной 3,50 %. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.
6. Теплота сгорания метана и ацетилена соответственно равна 802 кДж/моль и 1256 кДж/моль. Рассчитайте объемные доли этих газов в их смеси, при сгорании 44,8 дм³ (н. у.) которой выделилось 1876,4 кДж теплоты.
7. Какую массу иодида аммония следует добавить к раствору этой соли массой 300 г ($w = 2,00 \%$), чтобы общее число атомов в растворе увеличилось в 1,5 раза?
8. В замкнутый сосуд поместили 2 моль N_2 и 4 моль H_2 , затем смесь нагрели в присутствии катализатора. Определите $w(\text{NH}_3)$ в смеси к моменту, когда в реакцию вступило 75 % H_2 .
9. Массовая доля атомов серы в олеуме 34,78 %. К такому олеуму массой 27,6 г добавили 18 г раствора H_2SO_4 с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 80 \%$. Определите массовую долю вещества в полученном растворе.
10. При некоторой температуре скорость реакции $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ равна $1,52 \cdot 10^{-3}$ моль/(дм³ · с). Как нужно изменить температуру, чтобы скорость этой реакции составила $3,80 \cdot 10^{-4}$ моль/(дм³ · с), если температурный коэффициент реакции равен 2,0?
11. В составе кристаллогидрата $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ массовая доля атомов О в 8 раз больше массовой доли атомов N. Рассчитайте химическое количество воды в составе формульной единицы кристаллогидрата.
12. Образец сплава серебра с медью общей массой 2,36 г обработан 14,2 см³ азотной кислоты (массовая доля кислоты 90 %, плотность 1,48 г/см³). После разбавления водой на нейтрализацию избытка кислоты израсходовано 40 см³ раствора гидроксида бария с молярной

концентрацией 2,5 моль/дм³. Вычислите массовые доли меди в сплаве.

13. При прокаливании смеси AgNO_3 и BaCO_3 образовалась газовая смесь, которая на 6 % тяжелее аргона. Во сколько раз уменьшилась масса исходной твердой смеси при прокаливании?
14. Образец ZnS массой 0,97 г сожжен в избытке кислорода, а продукты сгорания полностью растворили в растворе KOH объемом 11,81 см³ ($w = 20\%$, $\rho = 1,185$ г/см³). Полученный при этом раствор разбавили водой до объема 50 см³. Определите молярные концентрации соединений в растворе после разбавления.
15. Смесь O_2 и O_3 имеет относительную плотность по гелию 8,2. После частичного разложения O_3 относительная плотность смеси по гелию уменьшилась на 1,50 %. Найдите массовую долю O_3 в полученной смеси газов.
16. Из раствора азотной кислоты объемом 100 см³ можно приготовить 90 г раствора с $w(\text{HNO}_3) = 14,0\%$. Какова молярная концентрация исходного раствора кислоты?
17. Смесь газообразных этана и водорода нагрели в присутствии катализатора в реакторе объемом 5 дм³. За 5 с после начала реакции



выделилось 47,6 кДж теплоты. Определите среднюю скорость химической реакции и массу полученного этана.

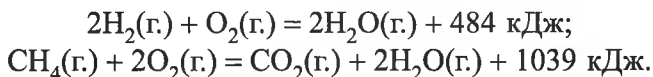
18. Некоторую массу SO_3 растворили в 55,56 см³ водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91\%$ ($\rho = 1,8$ г/см³), при этом массовая доля кислоты в водном растворе возросла до 96,25 %. Определите массу поглощенного оксида серы(VI).
19. Относительная плотность (н. у.) смеси SO_2 , CO_2 и CO по гелию равна 10,4. При пропускании 20 дм³ этой

смеси через избыток раствора КОН ее объем уменьшился до 8 дм^3 . Чему равны объемные доли газов в исходной смеси?

20. Число атомов в смеси N_2 и O_2 равно $4,515 \cdot 10^{23}$, а масса смеси составляет 11,25 г. Рассчитайте объемную долю азота в смеси.
21. В растворе некоторого вещества с его молярной концентрацией $8,7 \text{ моль/дм}^3$ массовая доля вещества равна 58 %. Масса этого раствора объемом 100 см^3 равна 147 г. Рассчитайте молярную массу вещества.
22. Порошок оксида меди(II) массой 16,00 г обработали раствором азотной кислоты объемом 200 см^3 с концентрацией кислоты $1,0 \text{ моль/дм}^3$. Нерастворившийся остаток отделили от раствора. В раствор погрузили кадмиевую пластинку массой 24,80 г. Определите массу пластинки после полного завершения реакции.
23. Какой объем H_2 (н. у.) нужно добавить к 100 дм^3 (н. у.) смеси H_2 и N_2 (относительная плотность по гелию 1,5805) для получения смеси, в которой массовые доли всех газов будут равными?
24. Какую массу олеума с $w(\text{SO}_3) = 30 \%$ нужно добавить к 200 г водного раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10 \%$, чтобы получить водный раствор с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 20 \%$?
25. В раствор массой 220,0 г с $w(\text{NaCl}) = 15 \%$ добавили 22,20 г хлорида двухвалентного металла. После этого общая масса ионов Cl^- стала равной 25,52 г. Установите металл.
26. Растворимость ортофосфата лития при 20°C составляет 0,58 г в 1000 г воды. Рассчитайте по отдельности число катионов и анионов соли (диссоциация полная) в насыщенном при 20°C ее растворе массой 3 кг.
27. Температурный коэффициент первой реакции равен 2, а второй –4. При температуре 100°C скорость обеих реакций одинакова. При какой температуре ($^\circ\text{C}$)

скорость первой реакции будет в 8 раз больше скорости второй реакции?

28. Железная пластинка массой 20 г помещена в 80 г раствора AgNO_3 ($w = 12\%$). Через некоторое время $w(\text{AgNO}_3)$ в растворе стала равной 8 %. Чему равна массовая доля другой соли в конечном растворе? (Образуется $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$.)
29. К водному раствору массой 140 г с $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3,5\%$ для повышения концентрации кислоты добавили 35,5 г P_2O_5 . Затем через полученный раствор пропустили аммиак объемом 19,04 дм³ (н. у.). Какова массовая доля (%) соли с более высокой молярной массой в растворе?
30. Даны два термохимических уравнения реакций:



Найдите тепловой эффект реакции сжигания 33,6 дм³ (н. у.) смеси водорода и метана, если молярная масса смеси равна 9.

31. Какой объем азотной кислоты с $w(\text{HNO}_3) = 52,60\%$ (плотность раствора 1,325 г/см³) можно получить в три стадии из аммиака, если объем исходной аммиачно-кислородной смеси, имеющей плотность 1,161 г/дм³, равен 1960 м³ (н. у.), а выход продукта 80 %?
32. Какой объем водного раствора H_2SO_4 с массовой долей ее 60 % ($\rho = 1,50$ г/см³) нужно добавить к олеуму массой 400 г с $w(\text{SO}_3) = 20\%$, чтобы получить олеум с $w(\text{SO}_3) = 5\%$?
33. В закрытом сосуде объемом 250 см³ протекает обратимая реакция, уравнение которой $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$. Исходные концентрации SO_2 и O_2 равны соответственно (моль/дм³) 0,15 и 0,05 (оксид серы(VI) в исходной смеси отсутствует). Через некоторое время концентрация SO_3 стала равной 0,1 моль/дм³. Равновесную смесь

пропустили в раствор КОН массой 80 г с $w(\text{KOH}) = 28\%$. Найдите массовые доли солей в полученном растворе.

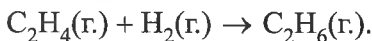
34. Имеется раствор, содержащий 1,74 г K_2HPO_4 и 4,24 г K_3PO_4 . Какую массу P_2O_5 нужно добавить к этому раствору, чтобы после его кипячения конечный раствор содержал только KH_2PO_4 и 9,8 г H_3PO_4 ?
35. Навеску оксида металла состава Me_2O_3 массой 20,7 г полностью растворили в растворе серной кислоты массой 254,8 г с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25\%$. Для нейтрализации избытка кислоты потребовался раствор КОН объемом 200 см^3 с молярной концентрацией щелочи 2 моль/дм³. Установите металл.
36. Сухую смесь AgNO_3 и KCl массой 41,45 г растворили в воде, а затем в раствор опустили медную пластинку. После завершения всех реакций оказалось, что масса пластинки возросла на 7,60 г. Рассчитайте массовые доли солей в исходной смеси.
37. В смеси для получения аммиака объемные доли N_2 и H_2 равны. После установления равновесия объемная доля N_2 в смеси стала равной 47,37 %. Чему равна степень превращения N_2 в NH_3 ?
38. При прокаливании 34 г AgNO_3 получили 24,7 г твердого остатка. Этот остаток растворили в воде и к раствору добавили избыток смеси CaCl_2 и NaCl . Найдите массу полученного осадка.
39. Кислород и водород смешаны в объемном соотношении соответственно 1:2. Какое количество теплоты выделится при взрыве этой смеси, если термохимическое уравнение реакции горения водорода имеет вид:



40. Раствор Na_2SO_4 массой 120 г с $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 32\%$ подвергли электролизу и получили смесь газов объемом

(н. у.) $67,2 \text{ дм}^3$. Рассчитайте массовую долю сильного электролита в растворе после электролиза.

41. В результате полного восстановления углеродом твердого образца массой $57,25 \text{ г}$, содержащего только атомы Mn и O, получили смесь газов CO и CO_2 объемом (н. у.) $20,16 \text{ дм}^3$ с массовой долей атомов кислорода в ней $59,7 \%$. Определите массу полученного марганца.
42. В замкнутом сосуде при постоянной температуре протекает реакция, уравнение которой:



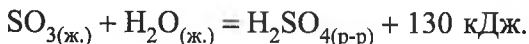
Начальные концентрации C_2H_4 и H_2 (моль/ дм^3) равны соответственно $1,5$ и $3,0$. Через некоторое время давление в сосуде упало в $1,286$ раза. Рассчитайте выход этана.

43. Смесь, полученная при нагревании цинка с серой, растворили в избытке соляной кислоты. Выделилась газовая смесь объемом $26,88 \text{ дм}^3$ (н. у.), имеющая плотность по аргону $0,73$. Укажите суммарную массу (г) исходных веществ (цинка и серы).
44. Олеум объемом 100 см^3 с $w(\text{SO}_3) = 20,0 \%$ ($\rho = 1,90 \text{ г/см}^3$) прилили к воде объемом 100 см^3 . Найдите молярную концентрацию вещества в полученном растворе плотностью $1,59 \text{ г/см}^3$.
45. Относительная плотность по водороду смеси CO, CO_2 и Ar равна $19,43$. После пропускания 100 дм^3 (н. у.) этой смеси через избыток водного раствора щелочи ее объем (н. у.) стал равен $42,9 \text{ дм}^3$. Определите объемные доли газов в исходной смеси.
46. Из раствора нитрата аммония массой 250 г ($w = 3,00 \%$) выпарили такую массу воды, что общее число атомов в растворе уменьшилось в 3 раза. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.
47. При полном растворении $19,5 \text{ г}$ цинка в 84 см^3 раствора серной кислоты ($w = 50 \%$, $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$) выделилось

- 3,36 дм³ (н. у.) смеси сероводорода и оксида серы(IV). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
48. В смеси N₂ и H₂ масса азота в 3,5 раза больше массы водорода. Смесь нагрели в присутствии катализатора. Через некоторое время ее молярная масса (г/моль) возросла на 1,8 единицы. Рассчитайте объемную долю NH₃ в конечной смеси.
49. В водном растворе массой 1400 г с массовой долей H₃PO₄ 8,75 % растворили P₂O₅. На полную нейтрализацию полученного раствора затратили раствор щелочи массой 1029 г. В растворе после нейтрализации массовая доля Na₃PO₄ равна 14,76 %. Другие соли в растворе не содержатся. Укажите массу (г) растворенного P₂O₅.
50. Какой объем (дм³, н. у.) SO₂ нужно пропустить в раствор КОН объемом 120 см³ ($w = 30\%$, $\rho = 1,2$ г/см³), чтобы массовые доли полученных солей стали равными?
51. Смешали два водных раствора H₂SO₄ с $w_1 = 20\%$ и $w_2 = 50\%$ и получили 450 г раствора с $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 35\%$. Рассчитайте массы исходных растворов.
52. К смеси CO и CO₂ массой 9,4 г и объемом (н. у.) 5,6 дм³ добавили кислород объемом (н. у.) 0,672 дм³ и подожгли. Полученный газ пропустили в раствор КОН объемом 120 см³ ($\rho = 1,4$ г/см³) с массовой долей щелочи 10 %. Найдите массовые доли веществ в полученном растворе.
53. К раствору K₂SO₄ массой 400 г с $w(\text{K}_2\text{SO}_4) = 20\%$ добавили некоторое количество хлорида натрия. При этом в полученном растворе $w(\text{NaCl}) = 9,5\%$. Рассчитайте $w(\text{K}_2\text{SO}_4)$ в этом растворе.
54. Смесь CO и O₂ массой 11,6 г и плотностью (н. у.) 1,295 г/дм³ взорвали. Найдите массовые доли веществ в конечной смеси.

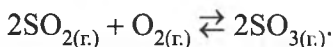
55. К смеси водорода и азота общим объемом $43,6 \text{ дм}^3$ (н. у.) добавили углекислый газ объемом (н. у.) $11,2 \text{ дм}^3$. После этого относительная плотность газовой смеси по гелию стала равной 5,832. Определите объем (н. у.) азота в исходной смеси.
56. К смеси, состоящей из $17,93 \text{ дм}^3$ водорода и $11,2 \text{ дм}^3$ метана (н. у.), добавили углекислый газ. Относительная плотность газовой смеси по гелию при этом возросла на 80 %. Определите объем (н. у.) добавленного углекислого газа.
57. В смеси газов H_2 и CH_4 массовая доля H_2 равна 10 %. Найдите относительную плотность газовой смеси по гелию.
58. Рассчитайте массу (мг) серной кислоты, которая содержится в ее растворе объемом 5 дм^3 , pH которого равен 3. Считайте, что кислота диссоциирует полностью по обеим стадиям.
59. Учитывая, что давление газа (или смеси газов) пропорционально его химическому количеству, определите, как изменится (%) давление в системе $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$, если начальные молярные концентрации N_2 и H_2 были соответственно равны 2 моль/дм^3 и 6 моль/дм^3 , а к данному моменту времени прореагировало 10 % азота (объем и температура постоянны).
60. Смешали $15 \text{ дм}^3 \text{ CO}$ и избыток O_2 . Смесь подожгли. После окончания реакции объем новой газовой смеси составил 65 дм^3 . Рассчитайте объем добавленного O_2 . Все измерения проведены при одинаковых условиях.
61. К раствору NaCl массой 80 г с $w(\text{NaCl}) = 15 \%$ добавили насыщенный раствор AgNO_3 массой 110 г (растворимость AgNO_3 в условиях опыта составляла 223 г на 100 г воды). Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе.

62. К моменту достижения равновесия в обратимой реакции окисления угарного газа кислородом объемы (дм³) CO, O₂ и CO₂ соответственно равны 10, 15 и 6. Рассчитайте объемную долю CO в исходной смеси, которая не содержала CO₂.
63. Взаимодействие SO₃ с H₂O протекает по термохимическому уравнению:



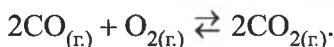
Оксид серы(VI) растворили в воде объемом 50 см³, при этом выделилось 1,95 кДж теплоты. Рассчитайте массовую долю H₂SO₄ в полученном растворе.

64. В системе установилось равновесие:



Равновесная молярная концентрация SO₃ равна 0,20 моль/дм³. Найдите равновесную молярную концентрацию O₂, если известно, что к моменту установления равновесия прореагировало 60 % начального химического количества кислорода.

65. В герметичный сосуд поместили CO и O₂, через некоторое время установилось равновесие:



Известно, что исходные молярные концентрации CO и O₂ равны по 0,15 моль/дм³, а равновесная молярная концентрация O₂ — 0,075 моль/дм³. Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия? Температура поддерживалась постоянной.

66. Газ, полученный при полном сжигании в избытке кислорода 4,48 дм³ (н. у.) смеси метана и ацетилена, относительная плотность которой по водороду равна 11,75, пропустили в раствор массой 1387,5 г с массовой долей гидроксида кальция 1,07 %. Определите массовую долю соли в полученном растворе.

67. При обработке 18,00 г смеси железа, железа(II) и оксида железа(III) избытком оксида углерода(II) при нагревании получили 14,00 г железа. Если же 36,00 г смеси исходных веществ обработать избытком водного раствора нитрата свинца(II), то масса смеси возрастет до 51,1 г. Рассчитайте массовые доли веществ в их исходной смеси.
68. Имеется смесь газов, в которой на 1 молекулу O_2 приходится 3 молекулы N_2 . К такой смеси добавили газ X объемом, равным объему O_2 , при этом относительная плотность газовой смеси по H_2 возросла на 10,345 %. Найдите молярную массу газа X.
69. При полном сжигании 6,05 г вещества получили 3,15 г H_2O и 5,04 дм³ (н. у.) смеси газов CO_2 , SO_2 и NO_2 с плотностью 2,083 г/дм³. Объем газовой смеси после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился в 9 раз. Установите формулу вещества.
70. В реакции, схема которой



атомы восстановителя отдали 0,15 моль электронов. Рассчитайте плотность (н. у.) образовавшейся газовой смеси.

71. К раствору H_2SO_4 массой 196 г с $w(H_2SO_4) = 20\%$ добавили 62 г $Ca_3(PO_4)_2$. После завершения реакции осадок отфильтровали, а к фильтрату добавили известковую воду, содержащую 0,2 моль $Ca(OH)_2$. Найдите массу выпавшего при этом осадка.
72. Газ (н. у.), полученный при полном термическом разложении 18,75 г известняка, в котором $w(CaCO_3) = 80\%$, пропустили в раствор, содержащий 10 г $Ca(OH)_2$. Рассчитайте массу осадка, образовавшегося в последней реакции.

73. Простое вещество X обработали серой массой 11,2 г и получили вещество состава X_4S_7 массой 17,4 г. Установите вещество X.
74. В составе медьсодержащего минерала массовые доли атомов меди и серы соответственно равны 80 % и 20 %. Порцию минерала массой 32,0 г сожгли в избытке кислорода, а на полученный твердый продукт действовали алюминием массой 8,1 г при нагревании. Рассчитайте суммарный тепловой эффект по обеим реакциям, если известно, что: 1) тепловой эффект первого процесса равен 541 кДж на 1 моль минерала; 2) тепловой эффект второго процесса равен 11,90 кДж на 1,92 г образовавшегося простого вещества.
75. При поджигании смеси объемом (н. у.) 25 дм³, состоящей из H_2S (избыток) и O_2 , образовались вода и сера. После приведения смеси к нормальным условиям объем газа составил 13 дм³. Найдите массовую долю сероводорода в исходной смеси.
76. На чашах весов уравновешены два сосуда с растворами $CuSO_4$ и $AgNO_3$ массой по 350 г каждый, в каждом массовая доля соли 18 %. В сосуд с $CuSO_4$ добавили 15,6 г Na_2S , а в сосуд с $AgNO_3$ поместили цинковую пластинку. Какая масса цинка должна перейти в раствор, чтобы массы растворов в обоих сосудах сравнялись?
77. Для реакции, протекающей по уравнению



начальные концентрации (моль/дм³) веществ А, В и С соответственно равны 0,25; 0,80 и 0,05. Через 20 с после начала реакции концентрации веществ А и С сравнялись. Найдите скорость (моль/(дм³ · с)) реакции расходования вещества В.

78. В реактор постоянного объема поместили смесь O_2 и O_3 количеством 1,5 моль. В результате разложения

всего озона на кислород давление в реакторе возросло на 16,67 % (температура поддерживалась постоянной). Рассчитайте, какой объем (н. у.) исходной смеси O_2 и O_3 потребуется для полного окисления метанола.

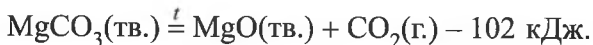
79. К раствору $Ba(OH)_2$ добавили HI . В полученном растворе $c(Ba^{2+}) = 0,04$ моль/дм³, $c(I^-) = 0,081$ моль/дм³. Рассчитайте pH полученного раствора.
80. В колбе находилось 200 г раствора с массовой долей вещества 16 %. Некоторую массу раствора отлили, но такую же массу воды добавили. При этом массовая доля вещества стала равной 10 %. Какую массу воды добавили?
81. К олеуму массой 10 г, в котором массовая доля оксида серы(VI) равна 5 %, добавили 150 г водного раствора серной кислоты с массовой долей ее 96 %. Какой объем газа (н. у.) выделится при полном растворении избытка меди в полученном растворе?
82. Газ, полученный при прокаливании 8,0 г фосфорита с избытком угля и песка, пропущен при нагревании над 12,0 г CuO . Полученная при этом смесь веществ была обработана 87,7 см³ раствора с $w(H_2SO_4) = 19,6$ % ($\rho = 1,147$ г/см³), в результате массовая доля кислоты снизилась до 14,1 %. Найдите $w[Ca_3(PO_4)_2]$ во взятом образце фосфорита.
83. Продукты сжигания 7 дм³ бутана (н. у.) в избытке кислорода растворили в 100 см³ раствора с $w(NaOH) = 40$ % ($\rho = 1,4$ г/см³). Определите массу осадка и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что растворимость Na_2CO_3 и $NaHCO_3$ в данных условиях равна соответственно 22,0 г и 9,5 г на 100 г воды.
84. Гидроксид натрия массой 13,3 г полностью израсходован при взаимодействии со смесью меди, железа и алюминия. Для хлорирования этой же смеси металлов

требуется $12,5 \text{ см}^3$ хлора (н. у.) или $343,64 \text{ см}^3$ раствора с $w(\text{HCl}) = 10 \%$ ($\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$). Определите массовые доли металлов в смеси.

85. В раствор CuSO_4 массой 200 г с $w(\text{CuSO}_4)_2 = 16 \%$ опустили железную пластинку. Через некоторое время пластинку вынули и обработали HNO_3 (конц.), при этом выделился газ (н. у.) объемом $0,448 \text{ дм}^3$. Найдите массу твердого остатка, который получится при упаривании первого раствора после удаления из него пластинки.
86. В газовой смеси SO_2 и O_2 с $D_{\text{H}_2} = 24$ часть SO_2 прореагировала и образовалась газовая смесь с D_{H_2} на 25 % больше, чем для исходной смеси (SO_3 в условиях опыта — газ). Найдите объемные доли газов в равновесной смеси.
87. После алюминотермического восстановления Fe_2O_3 без доступа воздуха продукты восстановления разделили на две равные части. Одну из них обработали раствором щелочи и получили $6,72 \text{ дм}^3$ (н. у.) газа, другую — избытком раствора HCl и получили $16,8 \text{ дм}^3$ (н. у.) газа. Найдите массовую долю непрореагировавшего с Fe_2O_3 алюминия от его первоначальной массы.
88. Вещества, полученные после прокаливания смеси Al и Fe_3O_4 без доступа воздуха, растворили в щелочи и получили $13,44$ (н. у.) дм^3 газа. При растворении такого же количества этих веществ в избытке соляной кислоты выделилось $53,76$ (н. у.) дм^3 газа. Чему равны массы компонентов в исходной смеси алюминия и магнетита?
89. Найдите, чему равна массовая доля натрия в его смеси с алюминием, если при обработке этой смеси избытком хлора образовалась смесь, в которой массовая доля хлорид-ионов составила 72,77 %.
90. В растворе массой 89,6 г с $w(\text{K}_2\text{SO}_4) = 23,33 \%$ растворили порцию хромокалиевых квасцов $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

В результате массовая доля сульфат-ионов возросла в 1,5 раза. Рассчитайте массу порции квасцов.

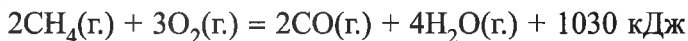
91. Рассчитайте, какую массу AgNO_3 необходимо добавить к соляной кислоте массой 100,0 г, чтобы получить раствор, в котором $w(\text{AgNO}_3) = 20\%$.
92. Термохимическое уравнение термического разложения MgCO_3 имеет вид:



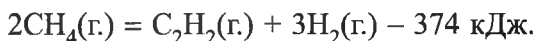
Для полного разложения некоторого количества MgCO_3 затратили 52 кДж теплоты. Полученный при этом газ был пропущен в известковую воду массой 2960 г с $w[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 0,1\%$. Найдите массу полученного в последней реакции осадка.

93. Цинковую пластинку опустили в раствор AgNO_3 массой 150 г. Через некоторое время масса пластинки возросла на 3,02 г, а в оставшемся растворе молярная концентрация новой соли оказалась в 2 раза меньше, чем AgNO_3 . Рассчитайте $w(\text{AgNO}_3)$ в исходном растворе.
94. В реакции синтеза аммиака из смеси простых веществ стехиометрического состава объем газовой смеси уменьшился в 1,2 раза. Рассчитайте выход аммиака.
95. Смесь O_2 и O_3 имеет относительную плотность по водороду 16,4. После частичного разложения озона относительная плотность по водороду уменьшилась на 1,5 %. Рассчитайте объемную долю озона в образовавшейся смеси газов.
96. Найдите объем соляной кислоты ($\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$) с $w(\text{HCl}) = 7,72\%$, которую надо добавить к раствору AgNO_3 массой 200 г с $w(\text{AgNO}_3) = 8,0\%$, чтобы вдвое снизить массовую долю нитрата серебра. Чему равна $w(\text{HNO}_3)$ в образовавшемся растворе?
97. В смеси CO и CO_2 масса атомов углерода в 2 раза меньше массы атомов кислорода. Рассчитайте объемную долю угарного газа в смеси.

98. Объемная доля H_2S в его смеси с галогеноводородом равна 20,0 %, а массовая доля атомов водорода в этой смеси составляет 1,676 %. Установите формулу галогеноводорода.
99. Какая масса соли образуется при взаимодействии 155 г $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и раствора H_3PO_4 массой 750 г ($\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$) с молярной концентрацией кислоты 4 моль/дм³? Какова формула соли?
100. В воде растворили хлороводород и получили раствор с $w(\text{H}) = 9,33 \%$. Рассчитайте $w(\text{HCl})$ в полученном растворе.
101. В закрытом сосуде, содержащем воздух, сожгли небольшой кусочек угля. В результате молярная масса газовой смеси стала равной 30,32 г/моль. Найдите объемную долю CO_2 в конечной смеси.
102. Превращение метана в ацетилен в промышленности осуществляют, сжигая часть метана по термохимическому уравнению

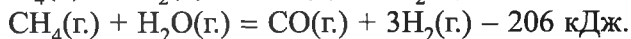
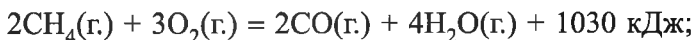


и используя выделяющуюся при этом теплоту для превращения оставшейся части метана:



Какой максимальный объем (н. у.) ацетилена можно получить из метана объемом (н. у.) 560 дм³?

103. В промышленности синтез-газ (смесь CO и H_2) получают из метана по двум уравнениям (теплота, полученная в первой реакции, используется для осуществления второй реакции):



Рассчитайте, какой максимальный объем (н. у.) синтез-газа можно получить из метана объемом (н. у.) 2240 дм³.

104. Порошок некоторого металла массой 10,4 г при прокаливании на воздухе превратился в смесь двух оксидов массой 14,0 г, которую растворили в избытке соляной кислоты. В полученный раствор пропустили 1,68 дм³ (н. у.) хлора, который прореагировал с солью металла. Выпариванием раствора получили единственную соль, представляющую гексагидрат хлорида металла(III). Определите: а) металл; б) массу (мг) кристаллогидрата.
105. Образец сплава Zn и Cu погрузили в соляную кислоту объемом 500 см³. После полного завершения реакции pH раствора повысилось с 1 до 2. Рассчитайте массу сплава (мг), если известно, что в его составе $w(\text{Cu}) = 70\%$. Изменением объема кислоты можно пренебречь.

1. Физические величины и связь между ними

Физическая величина	Обозначение	Единица	Пример	Уравнение связи
Атомная единица массы	u	г, кг	$u = 1,66 \cdot 10^{-24}$ г; $u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг	$u = \frac{m_{\text{атома}}(^{12}\text{C})}{12}$
Относительная атомная масса элемента	A_r	—	$A_r(\text{N}) = 14$	$A_r(\text{Э}) = \frac{m_{\text{атома}}(\text{Э})}{u}$
Относительная молекулярная масса вещества	M_r	—	$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$	$M_r(\text{B}) = \frac{m_{\text{мол.}}(\text{B})}{u}$
Химическое количество вещества	n	моль	$n(\text{Na}) = 2$ моль	$n(\text{B}) = \frac{N(\text{B})}{N_A}$ $n(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})}$ $n(\text{B}) = \frac{V(\text{B})}{V_m}$ для газов
Масса	m	мг, г, кг	$m(\text{O}_2) = 2$ г	$m(\text{B}) = n(\text{B}) \cdot M(\text{B})$
Молярная масса	M	г/моль	$M(\text{NH}_3) = 17$ г/моль	$M(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{n(\text{B})}$

Физическая величина	Обозначение	Единица	Пример	Уравнение связи
Объем газообразного вещества (н. у.)	V	см ³ , дм ³	$V(\text{O}_2) = 2 \text{ дм}^3 = 2000 \text{ см}^3$	$V(\text{B}) = n(\text{B}) \cdot V_m$ $V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$
Число структурных единиц	N	—	$N(\text{CH}_4) = 3,05 \cdot 10^{23}$	$V(\text{B}) = n(\text{B}) \cdot V_A$
Массовая доля атомов элемента в веществе	$w(\text{Э})$	—	$w(\text{O}) = 0,78$ или 78 %	$w(\text{Э}) = \frac{A_r(\text{Э}) \cdot N(\text{Э})}{M_r(\text{вещ.})}$
Масса атома элемента	$m_a(\text{Э})$	у, г, кг	$m_a(\text{F}) = 19u = 3,15 \cdot 10^{23} \text{ г} = 3,15 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$	$m_a(\text{Э}) = A_r(\text{Э}) \cdot u$ $m_a(\text{Э}) = \frac{M(\text{Э})}{N_A}$
Масса молекулы вещества	$m_{\text{мол.}}(\text{B})$	у, г, кг	$m_{\text{мол.}}(\text{O}_2) = 32u = 5,31 \cdot 10^{-23} \text{ г} = 5,31 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$	$m_{\text{мол.}} = M_r(\text{B}) \cdot u$ $m_{\text{мол.}} = \frac{M(\text{B})}{N_A}$
Массовая доля вещества в растворе или в другой смеси	$w(\text{B})$	—	$w(\text{NaCl}) = 0,25$ или 25 %	$w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m(\text{р-ра})}$ $w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m(\text{смеси})}$

Физическая величина	Обозначение	Единица	Пример	Уравнение связи
Плотность	$\rho(B)$	г/см ³ , г/дм ³ , кг/дм ³	$\rho(H_2O) = 1 \text{ г/см}^3$ $\rho(N_2) = 1,25 \text{ г/см}^3$	$\rho(B)_{\text{газа}} = \frac{M(B)}{V_m}$ $\rho(\text{ж.}) = \frac{m(\text{ж.})}{V(\text{ж.})}$
Объемная доля газа в смеси	$\varphi(B)$	—	$\varphi(Cl_2) = 0,35$ или 35 %	$\varphi(B) = \frac{V(B)}{V(\text{смеси})} =$ $= \frac{N(B)}{N(\text{смеси})} = \frac{n(B)}{n(\text{смеси})}$
Молярная масса смеси газов	$M(\text{см})$	г/моль	$M(N_2 + CO_2) = 30 \text{ г/моль}$	$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{n(\text{смеси})}$ $M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 +$ $+ M_2\varphi_2 + M_3\varphi_3 + \dots$ $M(\text{смеси}) = M_1\varphi_1 +$ $+ M_2(1 - \varphi_1)$
Степень электролитической диссоциации	$\alpha(B)$	—	$\alpha(HF) = 0,09$ или 9 %	$\alpha(B) = \frac{N(B)_{\text{дис.}}}{N(B)_0} =$ $= \frac{c(B)_{\text{дис.}}}{c(B)_0} = \frac{n(B)_{\text{дис.}}}{n(B)_0}$

Физическая величина	Обозначение	Единица	Пример	Уравнение связи
Выход продукта реакции	$\eta(B)$	—	$\eta(\text{Fe}) = 0,8$ или 80 %	$\eta(B) = \frac{m(B)_{\text{практ.}}}{m(B)_{\text{теор.}}} =$ $= \frac{V(B)_{\text{практ.}}}{V(B)_{\text{теор.}}} = \frac{n(B)_{\text{практ.}}}{n(B)_{\text{теор.}}}$
Коэффициент растворимости	$s(B)$	г/100 г H_2O	$s(\text{NaHCO}_3) = 6,2$ г на 100 г H_2O	$s(B) = \frac{m(B)}{m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100$
Массовая доля примесей	$w(\text{пр.})$	—	$w(\text{пр.}) = 0,15$ или 15 %	$w(\text{пр.}) = \frac{m(\text{пр.})}{m(\text{техн.})}$
Скорость химической реакции	v (х.р.)	моль/(дм ³ · с), моль/(дм ³ · мин), моль/(дм ³ · ч)	v (х.р.) = 0,25 моль/(дм ³ · с)	v (х.р.) = $\frac{\Delta n(B)}{V \cdot \Delta t} =$ $= \frac{\Delta c(B)}{\Delta t}$
Молярная концентрация вещества	$c(B)$	моль/дм ³	$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,1$ моль/дм ³	$c(B) = \frac{n(B)}{V(\text{р-ра } B)}$
Мольная доля	$\chi(B)$	—	$\chi(\text{H}_2) = 0,2$ или 20 %	$\chi(B) = \frac{n(B)}{n(\text{смеси})}$

2. Электрохимический ряд напряжений металлов

Восстановительные свойства простых веществ растут

Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	(H ₂)	Cu	Ag	Hg	Pt	Au
Li ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺	Ni ²⁺	Sn ²⁺	2H ⁺	Cu ²⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺	Pt ²⁺	Au ³⁺

Окислительные свойства катионов металлов растут

		Анионы															
		I ⁻	Br ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₃ ²⁻	F ⁻	HCOO ⁻	CH ₃ COO ⁻	PO ₄ ³⁻	CO ₃ ²⁻	S ²⁻	SiO ₃ ²⁻	OH ⁻		
Катионы	K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	Сильные основания (щелочи)	
	Na ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
	Ba ²⁺	P	P	P	P	H	H	M	P	P	H	H	P	H	P		
	Ca ²⁺	P	P	P	P	M	H	H	P	P	H	H	H	H	M		
	NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P		
	Ag ⁺	H	H	H	P	M	H	P	M	M	H	H	H	H	-		
	Mg ²⁺	P	P	P	P	H	M	H	P	P	H	M	-	H	H		
	Pb ²⁺	H	P	M	P	P	H	H	P	P	H	H	H	H	H		
	Mn ²⁺	P	P	P	P	P	H	P	P	P	H	H	H	H	H		
	Fe ²⁺	P	P	P	P	P	H	M	P	P	H	H	H	H	H		
	Zn ²⁺	P	P	P	P	P	M	P	P	P	H	H	H	H	H		
	Cu ²⁺	-	P	P	p	P	H	P	P	P	H	H	H	H	H		
	Hg ²⁺	H	M	P	P	P	-	-	P	P	H	-	H	-	-		
Al ³⁺	P	P	P	P	P	-	M	P	P	H	-	-	-	H	Слабые основания		
Cr ³⁺	P	P	P	P	P	-	P	P	P	H	-	-	-	H			
Fe ³⁺	-	P	P	P	P	-	M	P	P	H	-	-	-	H			
H ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	M	H	P			
	Сильные кислоты					Слабые кислоты											

4. Относительные молекулярные (формульные) массы оксидов, средних солей и гидроксидов

Анионы	Катионы														
	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Hg ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺
O ²⁻	18	—	94	62	232	153	56	40	81	80	223	217	72	160	102
OH ⁻	18	35	56	40	125	171	74	58	99	98	241	235	90	107	78
Cl ⁻	36,5	53,5	74,5	58,5	143,5	208	111	95	136	135	278	272	127	162,5	133,5
Br ⁻	81	98	119	103	188	297	200	184	225	224	367	361	216	296	267
I ⁻	128	145	166	150	235	391	294	278	319	318	461	455	310	437	408
S ²⁻	34	68	110	78	248	169	72	56	97	96	239	233	88	208	150
NO ₃ ⁻	63	80	101	85	170	261	164	148	189	188	331	325	180	242	213
SO ₃ ²⁻	82	116	158	126	296	217	120	104	145	144	287	281	136	352	294
SO ₄ ²⁻	98	132	174	142	312	233	136	120	161	160	303	297	152	400	342
CO ₃ ²⁻	62	96	138	106	276	197	100	84	125	124	267	261	116	292	234
SiO ₃ ²⁻	78	112	154	122	292	213	116	100	141	140	283	277	132	340	282
PO ₄ ³⁻	98	149	212	164	419	601	310	262	385	381	811	793	358	358	122
CH ₃ COO ⁻	60	77	98	82	167	255	158	142	183	182	325	319	174	233	204

5. Относительные формульные массы некоторых средних, кислых, комплексных солей и кристаллогидратов

Формула соли	M_r	Формула соли	M_r
<i>Гидросульфаты</i>		<i>Кристаллогидраты</i>	
NaHSO_4	120	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	322
KHSO_4	136	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	666
NH_4HSO_4	115	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	286
$\text{Ca}(\text{HSO}_4)_2$	234	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	219
$\text{Mg}(\text{HSO}_4)_2$	218	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	244
$\text{Ba}(\text{HSO}_4)_2$	331	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172
<i>Гидросульфиды</i>		$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246
NH_4HS	51	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287
NaHS	56	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250
KHS	72	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278
$\text{Ca}(\text{HS})_2$	106	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	64
$\text{Ba}(\text{HS})_2$	203	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	242
<i>Гидросульфиты</i>		<i>Другие вещества</i>	
NaHSO_3	104	FeS_2	120
KHSO_3	120	Fe_3O_4	232
NH_4HSO_3	99	KNO_2	85
$\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$	202	NaNO_2	69
$\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$	186	K_2MnO_4	197
$\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2$	299	MnO_2	87
<i>Гидрокарбонаты</i>		NH_4NO_2	64
NaHCO_3	84	NaAlO_2	82
KHCO_3	100	KAlO_2	98
NH_4HCO_3	79	$\text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$	194
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	162	$\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$	246
$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	146	KClO_3	122,5
$\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$	259	KMnO_4	158
<i>Дигидро- и гидрофосфаты</i>		Na_2ZnO_2	143
NaH_2PO_4	120	K_2ZnO_2	175
KH_2PO_4	136	BaZnO_2	234
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	499
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	234	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	474
$\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	218	Оконное стекло	478
$\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	331		
Na_2HPO_4	142		
K_2HPO_4	174		
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132		
CaHPO_4	136		
MgHPO_4	120		
BaHPO_4	233		

6. Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева

Свойства атомов химических элементов, а также состав
и свойства их соединений находятся в периодической
зависимости от заряда атомных ядер

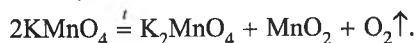
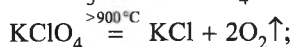
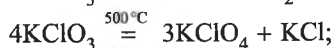
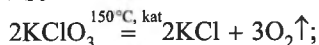
I A 1		Свойства атомов химических элементов, а также состав и свойства их соединений находятся в периодической зависимости от заряда атомных ядер																VII A 18	
1	1,00794 1 Н ВОДОРОД																	4,00260 2 He ГЕЛИЙ	
	II A 2																		
2	6,941 3 Li ЛИТИЙ	9,01218 4 Be БЕРИЛЛИЙ																	
3	22,9898 11 Na НАТРИЙ	24,3050 12 Mg МАГНИЙ																	
4	39,0983 19 K КАЛИЙ	40,078 20 Ca КАЛЬЦИЙ																	
5	85,4678 37 Rb РУБИДИЙ	87,62 38 Sr СТРОНЦИЙ																	
6	132,905 55 Cs ЦЕЗИЙ	137,327 56 Ba БАРИЙ	*	174,967 71 Lu ЛЮТЕЦИЙ	178,49 72 Hf ГАФНИЙ	180,948 73 Ta ТАНТАЛ	183,84 74 W ВОЛЬФРАМ	186,207 75 Re РЕНИЙ	190,23 76 Os ОСМИЙ	192,217 77 Ir ИРИДИЙ	195,084 78 Pt ПЛАТИНА	196,967 79 Au ЗОЛОТО	200,59 80 Hg РУТУТЬ	204,383 81 Tl ТАЛЛИЙ	207,2 82 Pb СВИНЕЦ	208,980 83 Bi ВИСМУТ	[209] 84 Po ПОЛОНИЙ	[210] 85 At АСТАТ	[222] 86 Rn РАДОН
7	[223] 87 Fr ФРАНЦИЙ	[226] 88 Ra РАДИЙ	**	[262] 103 Lr ЛОРЕНСЦИЙ	[267] 104 Rf РЕЗЕРФОРДИЙ	[270] 105 Db ДУБИЙ	[271] 106 Sg СИБОРГИЙ	[274] 107 Bh БОРИЙ	[277] 108 Hs ХАССИЙ	[278] 109 Mt МЕТЛЕРИЙ	[281] 110 Ds ДАРШТАДИЙ	[281] 111 Rg РЕНТГИЙ	[285] 112 Cn КОПЕРНИЦИЙ	[286] 113 Uut ФЛЁРОВИЙ	[289] 114 Fl ФЛЁРОВИЙ	[289] 115 Mc МОСКОВИЙ	[293] 116 Lv ЛЮБЕРМОРИЙ	[294] 117 Uus УПСУИЙ	[294] 118 Uuo УПСУИЙ
* ЛАНТАНОИДЫ			138,905 57 La ЛАНТАН	140,116 58 Ce ЦЕРИЙ	140,908 59 Pr ПРАЗЕОДИМ	144,242 60 Nd НЕОДИМ	[145] 61 Pm ПРОМЕТИЙ	150,36 62 Sm САМАРИЙ	151,964 63 Eu ЕВРОПИЙ	157,25 64 Gd ГАДОЛИНИЙ	158,925 65 Tb ТЕРБИЙ	162,500 66 Dy ДИСПРОЗИЙ	164,930 67 Ho ГОЛЬМИЙ	167,259 68 Er ЭРБИЙ	168,934 69 Tm ТУЛИЙ	173,054 70 Yb ИТТЕРБИЙ			
** АКТИНОИДЫ			[227] 89 Ac АКТИНИЙ	232,038 90 Th ТОРИЙ	231,036 91 Pa ПРОТАКТИНИЙ	238,029 92 U УРАН	[237] 93 Np НЕПТУНИЙ	[244] 94 Pu ПУТОНИЙ	[243] 95 Am АМЕРИЦИЙ	[247] 96 Cm КЮРИЙ	[247] 97 Bk БЕРКЛИЙ	[251] 98 Cf КАЛИФОРНИЙ	[252] 99 Es ЭЙЗЕНБЕРГИЙ	[257] 100 Fm ФЕРМИЙ	[258] 101 Md МЕНДЕЛЕВИЙ	[259] 102 No НОБЕЛИЙ			

7. Отношение веществ к нагреванию (прокаливанию) — термолизу

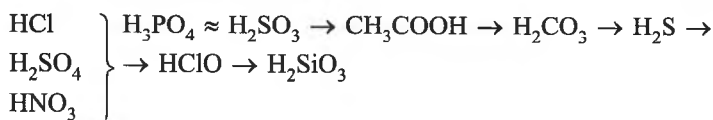
Вещество	Характер термического разложения
Карбонаты	1. Не разлагаются при умеренном нагревании карбонаты щелочных металлов (кроме Li_2CO_3). 2. Карбонаты остальных металлов $\xrightarrow{t}$ оксид металла + $\text{CO}_2\uparrow$: $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t} \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$. 3. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} 2\text{NH}_3\uparrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
Гидрокарбонаты	1. Гидрокарбонаты металлов $\xrightarrow{t}$ карбонат металла + $\text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$: $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{CO}_3\uparrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}\uparrow$
Нитраты	1. Металл в электрохимическом ряду расположен до $\text{Mg} \xrightarrow{t}$ нитрит металла + $\text{O}_2\uparrow$: $2\text{KNO}_3 \xrightarrow{t} 2\text{KNO}_2 + \text{O}_2\uparrow$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = \text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{O}_2\uparrow$. 2. $\text{Mg} - \text{Cu} \xrightarrow{t}$ оксид металла + $\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$: $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$; $4\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \xrightarrow{t} 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{NO}_2\uparrow + 3\text{O}_2\uparrow$. 3. За медью $\xrightarrow{t}$ металл + $\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$: $2\text{AgNO}_3 \xrightarrow{t} 2\text{Ag} + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$; $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t} \text{Hg} + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$
Основания	1. Термически устойчивы гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов, кроме LiOH и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. 2. Гидроксиды остальных металлов $\xrightarrow{t}$ оксид металла + H_2O: $\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t} \text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t} \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{LiOH} = \text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

Вещество	Характер термического разложения
Сульфаты, фосфаты, сульфиты, а также кислые соли серной, фосфорной и сернистой кислот, хлориды металлов	Задачи, для решения которых необходимо знать особенности разложения этих солей, в качестве конкурсных не предлагаются, так как соответствующий материал в школьных учебниках не излагается. Поэтому полагаем, что при нагревании эти соли не разлагаются.
Соли аммония	$\text{NH}_4\Gamma \xrightarrow{t} \text{NH}_3\uparrow + \text{H}\Gamma$ $\Gamma: \text{Cl}, \text{F}, \text{Br}, \text{I}$ $\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{t} \text{N}_2\text{O}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_4\text{NO}_2 \xrightarrow{t} \text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{NH}_4\text{HCO}_3 \xrightarrow{t} \text{NH}_3\uparrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \xrightarrow{t} 2\text{NH}_3\uparrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t} \text{NH}_3\uparrow + \text{NH}_4\text{HSO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \xrightarrow{t} 2\text{NH}_3\uparrow + \text{H}_3\text{PO}_4$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \xrightarrow{t} \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_3\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t} \text{N}_2\uparrow + \text{Cr}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$

Другие соли:



8. Химические свойства некоторых кислот



В этом ряду расположенная левее кислота вытесняет из солей расположенные правее кислоты.

Уменьшение силы кислот



Кислота	Химические свойства
Соляная (HCl)	1. Сильная кислота, окислитель за счет ионов H^+ (условно кислота не окислитель), поэтому реагирует только с металлами, стоящими в электрохимическом ряду до водорода (кроме Pb): $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\uparrow;$ $\text{Ag} + \text{HCl} \nrightarrow$ $\text{Cu} + \text{HCl} \nrightarrow$ 2. Взаимодействует со всеми основными (в том числе амфотерными) оксидами, со всеми основаниями, солями более слабых кислот, аммиаком и его водными растворами: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O};$ $\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O};$ $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl};$ $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow;$ $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow.$ Специфическая реакция: $\text{AgNO}_3 + \text{HCl} = \text{HNO}_3 + \text{AgCl}\downarrow.$

Кислота	Химические свойства
	3. За счет хлорид-иона Cl^- является восстановителем: $4\text{HCl} + \text{MnO}_2 \xrightarrow{t} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O};$ $16\text{HCl} + 2\text{KMnO}_4 = 2\text{KCl} + \text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}.$
Разбавленная серная кислота (H_2SO_4), $w \leq 20\%$	1. По свойствам подобна соляной: сильная, окислитель за счет ионов H^+ (кислота — не окислитель), реагирует с металлами, расположенными в ряду активности металлов до водорода (кроме Pb): $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow.$ 2. Взаимодействует со всеми основными (в том числе амфотерными) оксидами, со всеми основаниями, солями более слабых кислот, аммиаком и его водными растворами: $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O};$ $2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O};$ $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{HSO}_4;$ $2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4;$ $2\text{NaHSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 \uparrow;$ $2\text{KF}_{(\text{p-p})} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HF};$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_3\text{PO}_4.$ Специфические реакции (вытесняет сильную кислоту, если образуется осадок, нерастворимый в сильных кислотах): $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{HCl};$ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 \downarrow + 2\text{HNO}_3.$

Кислота	Химические свойства
Концентрированная серная кислота, $w \geq 93\%$	1. Слабая кислота; сильный окислитель за счет ионов SO_4^{2-} (кислота — окислитель). Специфически реагирует с металлами: а) при обычных условиях не реагирует с Fe, Al, Cr; при нагревании реагирует: $2\text{Fe} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{SO}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O};$ б) с остальными металлами при обычных условиях реагирует с выделением SO_2: $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O};$ в) с цинком, магнием по мере разбавления глубина восстановления кислоты возрастает: $\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O},$ $w \geq 93\%$ $3\text{Zn} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{ZnSO}_4 + \text{S}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O},$ $w \approx 50\%$ $4\text{Zn} + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{S}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}.$ $w \approx 30\%$ 2. Как нелетучая и термически устойчивая вытесняет из твердых (кристаллических, сухих) нитратов, перхлоратов и хлоридов HNO_3, HCl, HClO_4: $\text{KCl}_{(\text{кр.})} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t_1} \text{KHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow;$ $2\text{KCl}_{(\text{кр.})} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t_2 \geq t_1} \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}\uparrow;$ $\text{NaNO}_{3(\text{кр.})} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t} \text{NaHSO}_4 + \text{HNO}_3\uparrow;$ $\text{KClO}_{4(\text{кр.})} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t} \text{KHSO}_4 + \text{HClO}_4$

Кислота	Химические свойства
Разбавленная азотная кислота (HNO₃), $w < 60\%$	1. Сильная кислота, окислитель преимущественно за счет ионов NO₃⁻ (кислота — окислитель), обладает всеми типичными свойствами кислот (подобна соляной и разбавленной серной). 2. Специфически реагирует с металлами: а) выделяется NO (Pb, Cu, Ag, Hg) или N₂O(N₂) (Zn, Mg, Ca): $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O};$ б) очень разбавленная HNO₃ активными металлами может восстанавливаться до NH₃ (Zn, Mg, Ca, Fe): $4\text{Zn} + 10\text{HNO}_3 = 4\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}.$
Концентрированная азотная кислота, $w \geq 60\%$	1. Сильнейший окислитель, никогда в реакциях с металлами не выделяет водород. При обычных условиях не реагирует с Fe, Al, Cr; при нагревании реагирует: $\text{Fe} + 6\text{HNO}_{3(\text{конц.})} \xrightarrow{t} \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}.$ 2. Практически всеми металлами восстанавливается до NO₂ (бурый газ): $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}.$ 3. Термически неустойчива: $4\text{HNO}_3 \xleftrightarrow{t} 4\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow.$

Кислота	Химические свойства
Некоторые свойства других кислот	1. H_3PO_4 вытесняет из нитратов серебра азотную кислоту, так как Ag_3PO_4 нерастворим в HNO_3 (разб.) $3\text{AgNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ag}_3\text{PO}_4\downarrow + 3\text{HNO}_3.$ 2. По другим свойствам H_3PO_4 подобна соляной. 3. Сероводородная кислота вытесняет из водных растворов солей Cu^{2+} сильные кислоты: $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS}\downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4;$ $\text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS}\downarrow + 2\text{HCl}.$ 4. Кремниевая кислота легко разлагается при нагревании: $\text{H}_2\text{SiO}_3 \xrightarrow{t} \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2.$ 5. Хлорноватистая кислота HClO со временем (на свету) или при слабом нагревании разлагается: $\text{HClO} = \text{HCl} + \text{O}.$ 6. «Царская водка» — смесь концентрированных HNO_3 и HCl — растворяет золото: $\text{Au} + \text{HNO}_3 + 3\text{HCl} = \text{AuCl}_3 + \text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}.$

9. Решение задач по смеси солей составлением системы двух уравнений

Задача. Оксид фосфора(V) массой 14,2 г полностью растворили в растворе КОН массой 140 г с массовой долей щелочи 20 %. Определите химические количества полученных солей.

Дано:

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = 14,2 \text{ г}$$

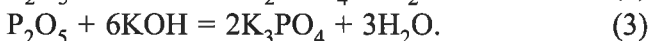
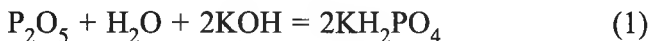
$$m(\text{р-ра КОН}) = 140 \text{ г}$$

$$\omega(\text{КОН}) = 20 \%$$

$$n(\text{солей}) = ?$$

Решение:

Оксид фосфора(V) реагирует с КОН с образованием, в общем случае, трех различных по составу солей:



Находим:

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{14,2}{142} = 0,1 \text{ (моль)};$$

$$m(\text{КОН}) = 140 \cdot 0,2 = 28 \text{ (г)};$$

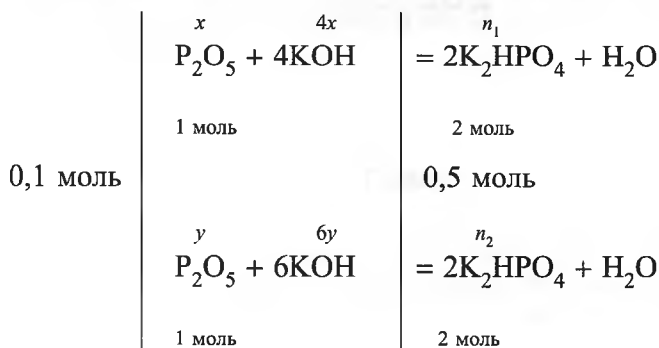
$$n(\text{КОН}) = \frac{28}{56} = 0,5 \text{ (моль)};$$

$$n(\text{КОН}) : n(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,5 : 0,1 = 5 : 1.$$

Как видим, такому отношению химических количеств КОН и P_2O_5 не удовлетворяет ни одно из уравнений реакций (1)—(3).

Можно заметить, что коэффициент 5 для КОН лежит в промежутке между стехиометрическими коэффициентами для КОН, равными 4 и 6, в уравнениях реакций (2) и (3). Это как раз и свидетельствует о том, что образуется смесь солей K_2HPO_4 и K_3PO_4 .

Выписываем уравнения реакций (2) и (3):



Составляем систему двух уравнений по химическим количествам KOH и P_2O_5 :

$$\begin{cases} x + y = 0,1; \\ 4x + 6y = 0,5. \end{cases}$$

Находим:

$$\begin{aligned} x &= 0,05 \text{ моль;} \\ y &= 0,05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Из уравнений реакций следует:

$$n_1 = n(\text{K}_2\text{HPO}_4) = \frac{2x}{1} = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ (моль);}$$

$$n_2 = n(\text{K}_3\text{PO}_4) = \frac{2y}{1} = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ (моль).}$$

Ответ: 0,1 моль K_2HPO_4 ; 0,1 моль K_3PO_4 .

ОТВЕТЫ

Глава 1

1. а) 0,025 или $2,5 \cdot 10^{-2}$; б) 12
2. а) $5,300 \cdot 10^4$; б) $7,636 \cdot 10^{-4}$; в) $6,504 \cdot 10^2$
3. а) 12,1; б) 0,0319; в) 0,00516; г) $1,25 \cdot 10^{23}$
4. а) 1200 г; б) $0,448 \text{ дм}^3$; в) 5600 см^3 ; г) 0,120 г
5. $x = 0,15$; $y = 0,20$

Глава 2

1. 16 г; $5,6 \text{ дм}^3$
2. $1,204 \cdot 10^{23}$
3. $2,688 \text{ дм}^3$; $7,224 \cdot 10^{22}$ молекул
4. 40 г/моль
5. $7,525 \cdot 10^{22}$
6. 2,16 г; $2,16 \text{ см}^3$
7. Вольфрам
8. $1,268 \cdot 10^{20}$
9. $1,389 \cdot 10^{18}$
10. 48 г/моль; 24
11. а) 32 г/моль; б) $1,429 \text{ г/дм}^3$; в) $1,505 \cdot 10^{23}$ молекул; г) $11,2 \text{ дм}^3$
12. 1,6
13. $9,302 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$
14. $2,84 \cdot 10^{-21} \text{ г}$
15. В 12,25 раза
16. 4 атома
17. а) 14; б) $44,8 \text{ дм}^3$
18. $3,01 \cdot 10^{23}$ молекул
19. а) $1,96 \text{ г/дм}^3$; б) 1,52
20. $6,02 \cdot 10^{22}$

Глава 3

1. $m(\text{Cr})/m(\text{S}) = 1,083 : 1$
2. $m(\text{H}_2\text{O})/m(\text{CuSO}_4) = 1 : 1,778$

3. 1,12 % H; 36,0 % S; 62,9 % O
4. 37,1 %
5. 40,5 %
6. 15,4 %
7. 11
8. 16
9. 146
10. 806
11. 72,73 г
12. 66 г
13. $1,935 \cdot 10^{23}$ атомов
14. 6,125 г
15. 12,0 г
16. 416 г
17. 6,44 г
18. 16,2 г
19. $8,2775 \cdot 10^{23}$ атомов
20. 3,656 г
21. 12,0 г
22. 53,25 г
23. 29,4 г
24. 147 г
25. 10,49 г
26. 20,67 г
27. а) $3,04 \cdot 10^{22}$; б) 6,62 г
28. $1,195 \cdot 10^{-21}$ г

Глава 4

1. Скандий (Cd)
2. Алюминий (Al)
3. +2
4. +5
5. 52
6. MnO_2
7. $\text{CaH}_4\text{P}_2\text{O}_8$ или $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
8. KNO_3
9. $\text{C}_2\text{HF}_3\text{ClBr}$
10. Fe_3O_4
11. $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2$

12. SOCl_2
13. C_6H_{14}
14. N_2O_5

Глава 5

1. 0,3 г
2. 1000 г Al_2S_3 ; 640 г S_8
3. 1,6 г CuO ; $4,045 \cdot 10^{23}$ молекул O_2
4. 11,28 г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$; 0,896 дм^3 NO
5. 77,5 г
6. 90,0 г
7. 4387,5 г
8. 7,5 дм^3
9. 12,5 дм^3 N_2 ; 18,75 дм^3 O_2

Глава 6

1. а) 34,4 %; б) 45,2 %
2. а) 60,48 %; б) 1,536 кг
3. 64,8 %
4. 69,8 %
5. 6,6 г
6. а) 6,23 %; б) 3,4 г
7. 17,06 г
8. $1,944 \cdot 10^{24}$ атомов
9. 10 %
10. 21,13 г
11. 17,0 %
12. 50,3 г
13. 86,2 %
14. 92 %
15. 826 г
16. $4,48 \cdot 10^{24}$
17. 128 г

Глава 7

1. 1,25 г
2. 26,06 г HCl ; 10,15 г Cl_2
3. а) 1,749 г Mn ; б) 0,0041 моль MnO_2
4. 0,262 г $\text{Cu}(\text{OH})_2$
5. а) 10,3 г $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; б) 1,77 г K_3PO_4

6. 25,2 г Fe; 1,35 г Al
7. $10 \text{ дм}^3 \text{ N}_2$; $8,06 \cdot 10^{22}$ молекул O_2
8. 1 г фосфора
9. а) 19,0 г; б) 0,083 моль Mg
10. 78,3 %
11. 10,75 г
12. 51 г
13. 45,8 %
14. 36,8 % Fe
15. 300 дм^3
16. $20,16 \text{ дм}^3$

Глава 8

1. 90,7 %
2. 80 %
3. 71,4 %
4. 85 %
5. 75 %
6. 46,87
7. $6,11 \cdot 10^{22}$ молекул H_2S
8. $65,6 \text{ см}^3$
9. 7,06 г
10. 167 г
11. 299,6 г
12. 576,5 г
13. 121,3 г
14. 80 %

Глава 9

1. $66,64 \text{ дм}^3$
2. 10,6 %
3. 144,6 г
4. 20 %
5. 7427,5 г
6. 245 г
7. 1,4 г
8. 565,1 г
9. 435,9 кг
10. 833,8 г
11. 147,1 кг
12. 142,5 г

Глава 10

1. 61,2 %
2. 10,88 г
3. 109,8 см³; 9,05 дм³ H₂
4. 19,0 г MgCl₂
5. 168,6 см³
6. 14,3 %
7. 36,5 %
8. 19,2 %
9. 41,2 %
10. 56,8 г; 25 %
11. 211,1 см³
12. $7,826 \cdot 10^{22}$ атомов
13. 93,7 %
14. 27,9 %
15. 76,3 %
16. 78 %
17. 49,6 %
18. 43,1 %
19. 56,8 %
20. 6,4 г
21. 5,66 г
22. 24,7
23. 9,0 г
24. 53 %
25. 37,5 %
26. 32 %
27. 7,224 дм³
28. 8,6 г
29. 25,45 %
30. 36,43 %
31. 77,5 г
32. 50,4 %
33. 20 %
34. 36,9 %
35. 60 %
36. 64 %
37. 56 %
38. 24,0 г
39. 45,45 %
40. 69,7 %
41. 7,27 дм³
42. 4,84 дм³
43. 2,64 %
44. 67,5 %
45. 64,8 %
46. 39,3 г
47. 6,75 : 1
48. Fe; 44,24 %
49. Кальций
50. 10,6 % K₃PO₄; 8,2 % Na₃PO₄
51. 56,3 %
52. Натрий
53. 6,72 %
54. 28,57
55. 5,6 дм³
56. 61,2 %
57. 23,9 %
58. 5,32 дм³
59. 42 %
60. 0,627 дм³
61. 25,61 %
62. 70,3 %
63. 38 %
64. 8,8 г
65. 36,2 %
66. а) 45,8 %; б) 2,08 г
67. 41,46 %
68. 2,184 дм³
69. 39,1 %
70. 21,2 %
71. 22
72. 31,2
73. 32,53 %
74. 23,2 г
75. а) 1,68 дм³; б) 29,6 %
76. 32,3 %

- | | |
|---|--------------------------|
| 77. 26,42 % | 96. 1,22 дм ³ |
| 78. 216 г | 97. 26,32 % |
| 79. 34 % | 98. 7,86 % |
| 80. 2,184 г | 99. 5,83 г |
| 81. 24 % Fe ₂ (SO ₄) ₃ ; 6,08 % FeSO ₄ | 100. 10 г |
| 82. 9,6 г | 101. 30,6 % |
| 83. 34,3 % | 102. 57,3 % |
| 84. 47,4 % | 103. 50 г |
| 85. 13,3 % | 104. 50 г |
| 86. 57 % | 105. 2576 г |
| 87. 31,6 | 106. 3,56 |
| 88. 250 г | 107. 64,4 |
| 89. 77,78 | 108. 13,12 |
| 90. 42,3 | 109. 10,83 г |
| 91. 57 % | 110. 93 % |
| 92. 2 моль | 111. 44,7 % |
| 93. 47 % | 112. 42,4 % |
| 94. 1,625 % | 113. 23,8 г |
| 95. 20,9 % | 114. 47,1 % |

Глава 11

1. 5600 дм³
2. 71,8 %
3. 11,1 г
4. 2,06 дм³
5. 11,0 г
6. а) 80 %; б) $2,408 \cdot 10^{23}$ молекул; в) 114,3 г
7. 118,4 г
8. 119,48 г
9. 177,8 дм³
10. 2,84 г
11. 29 г/моль
12. 0,947
13. 50 %
14. 51,2 г/моль
15. 1,434
16. 22,3 %
17. 1,456 г/дм³
18. 4,9 дм³

19. 25 %
20. 9,09 %
21. 33,3 %
22. а) 5,5 г; б) 5,25 дм³
23. 22,4 дм³
24. 35,5 %
25. В 8,75 раза
26. а) 0,129; б) 1,288
27. 1,72
28. 55,9 %; 1,247 г/дм³
29. 0,517
30. 34,2 дм³
31. 10286
32. 0,76 г/дм³
33. 2,24 дм³
34. 1958
35. 46,2 %
36. а) 35,8 дм³; б) 60,2 %
37. 12,6 г
38. а) 73,85 %; б) 52,2 г
39. 14,76 дм³
40. $2,82 \cdot 10^{23}$ молекул
41. $\alpha(\text{O}_3) = 10$ %; $w(\text{O}_3) = 14,3$ %; $V(\text{O}_2) = 105$ дм³
42. 32 г дм³
43. 89,7 %
44. Уменьшилась в 1,624 раза
45. 50 дм³
46. 75 %

Глава 12

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Ксенон | 10. 47,94 г/моль |
| 2. Селен | 11. 1,2 г |
| 3. 31,2 | 12. 40 % |
| 4. 81 | 13. Медь |
| 5. 34 | 14. 6,25 % |
| 6. 55,38 % | 15. В 19,4 раза |
| 7. 1,5 | 16. 420 см ³ |
| 8. 14,5 % | 17. $1,15 \cdot 10^{20}$ атомов |
| 9. 4,48 дм ³ | 18. 90,6 года |
| | 19. 193,75 мг |

Глава 13

Приводим молекулярные уравнения реакций № 1—56.

1. $2S + 3O_2 + 4KOH = 2K_2SO_4 + 2H_2O$
2. $P_2O_3 + 4HNO_3 + H_2O = 2H_3PO_4 + 4NO$
3. $2Cr(OH)_3 + 3Cl_2 + 10KOH = 2Na_2CrO_4 + 6NaBr + 8H_2O$
4. $4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$
5. $C + 2H_2SO_4 = CO_2 + 2SO_2 + 2H_2O$
6. $3C + 4HNO_3 = 3CO_2 + 4NO + 2H_2O$
7. $3P + 5HNO_3 + 2H_2O = 3H_3PO_4 + 5NO$
8. $6P + 5NaClO_3 = 3P_2O_5 + 5NaCl$
9. $2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O$
10. $SO_2 + Cl_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HCl$
11. $HIO_3 + 3H_2S = 3S + HI + 3H_2O$
12. $2P + 5I_2 + 8H_2O = 2H_3PO_4 + 10HI$
13. $2P + 5H_2SO_4 = 2H_3PO_4 + 5SO_2 + 2H_2O$
14. $5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$
15. $5PbO_2 + 2MnSO_4 + 3H_2SO_4 = 5PbSO_4 + 2HMnO_4 + 2H_2O$
16. $Cr_2(SO_4)_3 + 3Cl_2 + 16NaOH = 2Na_2CrO_4 + 6NaCl + 3Na_2SO_4 + 8H_2O$
17. $3H_2S + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 = 3S + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$
18. $3SO_2 + 2KMnO_4 + 4KOH = 3K_2SO_4 + 2MnO_2 + 2H_2O$
19. $NaClO + 2KI + H_2SO_4 = I_2 + NaCl + K_2SO_4 + H_2O$
20. $2KMnO_4 + 3NaNO_2 + 2H_2O = 2MnO_2 + 3NaNO_3 + 2KOH$
21. $K_2Cr_2O_7 + 6FeSO_4 + 7H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$
22. $5SO_2 + 2NaIO_3 + 4H_2O = I_2 + 2NaHSO_4 + 3H_2SO_4$
23. $3H_2S + 8HNO_3 = 3H_2SO_4 + 8NO + 4H_2O$
24. $5N_2O + 8KMnO_4 + 7H_2SO_4 = 3MnSO_4 + 5Mn(NO_3)_2 + 4K_2SO_4 + 7H_2O$
25. $3V + 21HF + 5HNO_3 = 3H_2VF_7 + 5NO + 10H_2O$
26. $6ZnCl_4 + 32NH_3 = 6ZnN + N_2 + 24NH_4Cl$
27. $5H_2O_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 5O_2 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O$
28. $3H_2O_2 + 2Cr(NO_3)_3 + 10KOH = 2K_2CrO_4 + 6KNO_3 + 8H_2O$
29. $3H_2O_2 + 2KCrO_2 + 2KOH = 2K_2CrO_4 + 4H_2O$
30. $5H_2O_2 + 2HIO_3 = I_2 + 5O_2 + 6H_2O$
31. $3P_2S_3 + 28HNO_3 + 4H_2O = 6H_3PO_4 + 9H_2SO_4 + 28NO$
32. $As_2O_3 + 22HNO_3 = 2H_3AsO_4 + 22NO_2 + 3SO_2 + 8H_2O$
33. $Cu_2S + 2O_2 + CaCO_3 = 2CuO + CO_2 + CaSO_3$
34. $2P_2S_3 + 11K_2Cr_2O_7 + 35H_2SO_4 = 6CrPO_4 + 9SO_2 + 8Cr_2(SO_4)_3 + 11K_2SO_4 + 35H_2O$

35. $4\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 7\text{O}_2 + 8\text{K}_2\text{CO}_3 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{CO}_2 + 8\text{K}_2\text{CrO}_4$
36. $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 10\text{KNO}_3 = 10\text{NO} + 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{K}_2\text{SO}_4$
37. $\text{FeS}_2 + 3\text{HCl} + 5\text{HNO}_3 = \text{FeCl}_3 + 5\text{NO} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
38. $\text{FeS}_2 + 9\text{Cl}_2 + 24\text{KOH} = \text{K}_2\text{FeO}_4 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 18\text{KCl} + 12\text{H}_2\text{O}$
39. $\text{P}_2\text{S}_3 + 11\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 14\text{SO}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$
40. $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
41. $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
42. $4\text{Mg} + 10\text{HNO}_3 = 4\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + 5\text{H}_2\text{O}$
43. $8\text{Al} + 30\text{HNO}_3 = 8\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NH}_4\text{NO}_3 + 9\text{H}_2\text{O}$
44. $5\text{Zn} + 10\text{HNO}_3 = 5\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$
45. $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} = \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
46. $4\text{Mg} + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$
47. $3\text{Zn} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{ZnSO}_4 + \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$
48. $2\text{Fe} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
49. $\text{Fe} + 6\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
50. $14\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 3\text{Cl}_2 + 2\text{CrCl}_3 + 2\text{KCl} + 7\text{H}_2\text{O}$
51. $4\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OCl})_2 = 2\text{Cl}_2 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
52. $5\text{CH}_3\text{O} + 4\text{KMnO}_4 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 = 5\text{CO}_2 + 4\text{MnSO}_4 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 11\text{H}_2\text{O}$
53. $3\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 4\text{KMnO}_4 \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COOK} + 4\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$
54. $3\text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_2(\text{OH})_2 - \text{CH}_2(\text{OH}) + 3\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$
55. $3\text{CH}_3\text{CHO} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$
56. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 4\text{CrO}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{CO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$
57. 0,4 моль
58. NO
59. 0,24 г
60. 0,04 моль
61. $2,408 \cdot 10^{23}$
62. 3,2 г
63. Сера
64. 10,95 г
65. $4,816 \cdot 10^{23}$
66. $1,0836 \cdot 10^{23}$
67. 1,87 дм³
68. 2,8 дм³
69. 5,27 дм³
70. 36,4 г

Глава 14

- | | |
|--|---|
| 1. 2,24 дм ³ | 10. 87 % |
| 2. $m(K) = 7,8$ г; $V(O_2) = 1,12$ дм ³ | 11. 55,88 г |
| 3. 0,25 моль Н ₂ и 0,5 моль КОН | 12. а) 37,2 г; б) 37,25 г |
| 4. 29,25 % | 13. 9,97 % Ba(OH) ₂ |
| 5. 14,9 % NaOH | 14. 45,71 % Na ₂ SO ₄ |
| 6. 192 г | 15. 2,56 % |
| 7. 155 дм ³ | 16. а) 442 г; |
| 8. 43,8 г | б) $w(HNO_3) = 7,13$ % |
| 9. 15 % | 17. 16 % |

Глава 15

- | | |
|------------------------|--|
| 1. 273 дм ³ | 16. +140 кДж/моль |
| 2. 18,6 кДж | 17. 1000 кДж |
| 3. 2,89 % | 18. 266,7 кДж |
| 4. 66,5 кДж | 19. 10,0 кДж |
| 5. 59,5 г | 20. 1317,5 кДж |
| 6. 1507 кДж/моль | 21. 1,68 г |
| 7. 3008 кДж | 22. 10 моль |
| 8. 54,4 г | 23. 193,5 дм ³ |
| 9. 12,13 кДж | 24. 2876 кДж/моль |
| 10. 151 кДж/моль | 25. 366820 кДж |
| 11. 509 кДж/моль | 26. 40,2 % Na ₂ CO ₃ |
| 12. 92 кДж/моль | 27. 158,3 кДж |
| 13. 60,4 кДж | 28. 139,4 кДж |
| 14. 511 кДж/моль | 29. 164 кДж |
| 15. -60 кДж/моль | 30. 1445 кДж |

Глава 16

- 0,032 моль/(дм³ · с)
- $4,35 \cdot 10^{-4}$ моль/(дм³ · с)
- 0,09 моль/(дм³ · с)
- 6,4 г
- 1000 с
- 0,04 моль/дм³ А; 1,8 моль/дм³ В; 0,3 моль/дм³ Д
- 26 с
- 0,025 моль/(дм³ · с); 0,4 моль/дм³ В; 0,55 моль/дм³ Д
- В 32 раза
- а) 15 с; б) 8 мин

11. 0,072 моль/дм³ H₂; 0,30 моль/дм³ N₂
12. $\varphi(\text{O}_2) = 33,3 \%$; $\omega(\text{O}_2) = 36,4 \%$
13. 0,067 моль/дм³
14. 66,7 %
15. Уменьшилось в 1,1 раза
16. 50 %
17. 149,1 кПа

Глава 17

- | | |
|---|--|
| 1. Sc | 19. C ₄ H ₁₀ , C ₅ H ₁₂ |
| 2. Ca | 20. C ₅ H ₁₂ |
| 3. Fe(OH) ₂ | 21. NH ₃ |
| 4. Na ₂ O | 22. CH ₃ OH |
| 5. Li | 23. C ₂ H ₄ O |
| 6. Al | 24. CON ₂ H ₄ или CO(NH ₂) ₂ (карбамид) |
| 7. Mg | 25. C ₂ H ₄ O ₂ |
| 8. ZnCO ₃ | 26. C ₂ H ₅ COOK |
| 9. Ca | 27. H ₂ SOCl ₂ |
| 10. Ba | 28. C ₂ H ₇ N |
| 11. BaCl ₂ | 29. NH ₃ O |
| 12. Sn | 30. C ₆ H ₁₄ ; 16,8 г |
| 13. TnO ₂ | 31. CH ₄ |
| 14. Fe ₂ O ₃ | 32. C ₂ H ₈ |
| 15. Al | 33. C ₂ H ₆ O |
| 16. SiH ₄ | 34. CH ₅ N |
| 17. C ₅ H ₈ | 35. C ₃ H ₈ O |
| 18. C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ | |

Глава 18

1. 8,67 г
2. 3,9 моль/дм³
3. 2258 см³
4. 7,51 %; 9,44 г
5. 105,8 см³
6. 92,7 см³; 1,06 г/см³
7. 0,906 моль/дм³
8. 17,7 моль/дм³
9. 26,7 %
10. 25 %; $1,204 \cdot 10^{22}$ атомов

11. 9,54 %
12. 26,48 г; 6,93 моль/дм³
13. 863,3 дм³; 6,96 моль/дм³
14. 16,9 %; 3,57 моль/дм³
15. 2 моль/дм³
16. 97,4 см³
17. 72,1 см³
18. 1,27 моль/дм³
19. 2,73 г
20. а) 33,1 см³; б) 194,4 см³
21. а) 65 дм³; б) 291,2 дм³
22. 135,1 см³
23. 522,9 г
24. 22 %
25. 73,7 г
26. $m(B)/m(A) = 1,133$; 140,6 г раствора А; 159,4 г раствора Б
27. 428,5 см³ (6,65 %) и 228,1 см³ (45,27 %)
28. $V(\text{р-ра А})/V(\text{р-ра Б}) = 45,3 \%$
29. 800 см³
30. 6,5 дм³
31. 41,6 г
32. 14,8 %
33. 198 см³

Глава 19

1. 12,4 %
2. 3,7 г
3. 25,4 %
4. 4,97 %
5. 14 г
6. 28,2 %
7. 12,7 %
8. 45,1 г Р₂О₅; 454,9 г раствора
9. 21,3 %
10. 145 г
11. Cs₂O
12. 69,8 %
13. 2,55 моль/дм³ КОН
14. 25 % КОН; 23 % HNO₃

15. 23,3 %
16. 0,17 % KOH; 4,2 % K_2SO_4
17. 48,8 %
18. 3,39 % HNO_3 ; 0,55 моль/дм³ HNO_3 ; 7,86 % HCl; 2,2 моль/дм³ HCl
19. 61 %
20. 86,2 г
21. 62,5 г KH; 190,63 г H_2O
22. 64,38 %
23. 42,86 %
24. 40,55 % $K_3[Al(OH)_6]$; 11,47 % KOH
25. 50,1 г
26. 2,75 %
27. 14,2 г
28. 2,06 % NH_4NO_3 ; 10,38 % KNO_3
29. 233,3 г; 3,05 % HNO_3
30. Скандий
31. 9,2 % H_2SO_4 ; 10,8 % $MgSO_4$
32. Лантан; 18,5 % $LaCl_3$
33. а) 17,05 % $MgBr_2$; 4,95 % $AlBr_3$; б) 81,6 % Mg; 11,06 % HBr
34. 12,8 %
35. 22,6 % $(NH_4)_2SO_4$
36. 23 % HCl; 13,36 % LiCl
37. 10 %
38. 1165,4 г
39. 0,48 % HCl; 0,15 % H_2SO_4
40. 16,1 %
41. 120 г
42. 16,8 г
43. 78 г
44. а) 31,32 г; б) 19,6 % исх.; 12,0 % конечн.
45. 15 %
46. 6,1 %

Глава 20

1. 29 % Na_2CO_3
2. 13,8 % NaH_2PO_4
3. 23,0 г $NH_4H_2PO_4$
4. 47,7 % Na_2SO_3
5. 6,8 г $CaHPO_4$

6. 0,112 дм³
7. 3,85 дм³
8. 94,1 см³
9. 0,06 моль NaHCO₃ и 0,01 моль Na₂CO₃
10. 0,06 моль
11. 19,7 % Ba(HCO₃)₂
12. 5,0 г
13. 57,8 % FeS₂; 42,2 % FeS
14. 19,8 %; 8 %; 43,4 г
15. По 0,03 моль K₃PO₄ и K₂HPO₄
16. 0,08 моль NaH₂PO₄
17. 0,2 моль Na₂HPO₄ и 0,4 моль NaH₂PO₄
18. 24,26 % Ba(H₂PO₄)₂
19. 0,81 ммоль Ba(H₂PO₄)₂ и 1,38 ммоль BaHPO₄
20. 20,6 г KHS; 23,5 г K₂S
21. 0,5 моль Na₂SO₄; 1 моль NaHSO₄
22. 0,11 моль NH₄H₂PO₄; 0,145 моль (NH₄)HPO₄
23. 11,3 % NH₄H₂PO₄; 13,0 % (NH₄)HPO₄
24. 7,62 % K₂HPO₄; 5,96 % KH₂PO₄
25. 8,37 % NaBr; 2,27 % NaHCO₃
26. 9,05 % KH₂PO₄; 1,87 % K₂HPO₄
27. 0,12 моль CaSO₄; 0,03 моль Ca(H₂PO₄)₂; 0,04 моль H₃PO₄

Глава 21

- | | |
|--|--|
| 1. Zn ₃ (PO ₄) ₂ · 4H ₂ O | 15. 1,61 : 1 |
| 2. 9 | 16. ZnSO ₄ · 7H ₂ O |
| 3. Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O | 17. 172 г/моль |
| 4. 85,7 г | 18. Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O |
| 5. 4,42 % | 19. Zn(NO ₃) ₂ · 7H ₂ O |
| 6. 33,2 г | 20. 6,32 · 10 ²³ атомов |
| 7. 19,1 % | 21. NaBr · 2H ₂ O |
| 8. 25,5 г | 22. Bi(NO ₃) ₃ · 5H ₂ O |
| 9. 55,6 г | 23. Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O |
| 10. 3,46 % | 24. CrBr ₃ · 6H ₂ O |
| 11. 56 г | 25. 23,3 % |
| 12. 246 г | 26. 18,1 г |
| 13. 0,137 г | 27. 36,33 % |
| 14. 598,5 г | |

Глава 22

1. а) 37,9; б) 27,48 %
2. а) 52,92 %; б) 132,3 г
3. 1500 г H_2O и 500 г соли
4. Нет
5. 151,8 г
6. 12,04 г
7. 14,6 г
8. 5,06
9. 84 г
10. 24,8 г осадка NaHCO_3 ; 7,51 % NaHCO_3 и 9,04 % Na_2CO_3
11. 35,5
12. 80 г осадка; 8,67 % NaHCO_3 и 11,1 % Na_2CO_3
13. 5,21 г Li_2CO_3 и 51,3 г KCl

Глава 23

- | | |
|------------|---|
| 1. 71,9 г | 9. 226 г |
| 2. 975 г | 10. 20,4 % |
| 3. 20 г | 11. 37,4 г |
| 4. 31,25 г | 12. $\text{ZnCl}_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ |
| 5. 21,15 г | 13. 373,6 г |
| 6. 33,4 % | 14. 110 г |
| 7. 173 г | 15. 30,6 г |
| 8. 68,95 г | |

Глава 24

- | | |
|-------------|------------------------|
| 1. 24,1 г | 12. 12,9 % |
| 2. 13,425 г | 13. 55,6 % |
| 3. 1,58 г | 14. 58,6 г |
| 4. 120,9 г | 15. 3,2 г |
| 5. 8,33 % | 16. 600 cm^3 |
| 6. 1485 мг | 17. 30,9 % |
| 7. 7,9 г | 18. 4,0 г |
| 8. 1,77 г | 19. 60 % |
| 9. 77,8 % | 20. 19,42 % |
| 10. 22,6 % | 21. 4,48 dm^3 |
| 11. 24,6 г | 22. 2,5 г |

23. 0,51 г
24. 11,375 г
25. 74,7 %
26. 15,2 %
27. 14,45 % KNO_3 ; 9,39 $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$
28. 27,95 % Al ; 72,05 % Fe_3O_4
29. 15,56 % CuSO_4 ; 9,2 % $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$
30. а) 8,25 % Na_2S ; 8,41 % Na_2CO_3 ; б) 10,8 % NaNO_3
31. 11,37 % CuSO_4 и 17,16 % ZnSO_4
32. 60,9 %
33. 52 %
34. 2,93 % H_2SO_4 и 3,76 % HNO_3
35. а) 36,2 %; б) 46,8 г
36. 54 %
37. 48,5 %
38. 28,3 %
39. 54,7 %
40. 3,56 %
41. а) 71,6 %; б) 529,9 см^3

Глава 25

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. 10,8 г | 12. $1,8 \cdot 10^{-9}$ |
| 2. а) 3,6 г; б) 5,0 г | 13. а) $1,05 \cdot 10^{21}$; б) $1,45 \cdot 10^{22}$ |
| 3. 4,32 г | 14. 6,3 % |
| 4. $1,806 \cdot 10^{23}$ | 15. 2 |
| 5. Иттрий | 16. 0,1 моль/ дм^3 |
| 6. 0,444 моль/ дм^3 | 17. 4 |
| 7. 14,4 г | 18. 196 мг |
| 8. 5,24 г | 19. $4,214 \cdot 10^{19}$ |
| 9. 10 % | 20. 1,2 дм^3 |
| 10. 0,126 моль | 21. 1 |
| 11. $1,92 \cdot 10^{23}$ | |

Для заданий № 22—44 приводим только краткие ионные уравнения.

22. $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow$
23. $\text{Ag}^+ + \text{Br}^- = \text{AgBr} \downarrow$
24. $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \downarrow$
25. $\text{F}^- + \text{H}^+ = \text{HF}$

26. $\text{OH}^- + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$
27. $3\text{Ba}^{2+} + 6\text{OH}^- + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$
28. $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS}\downarrow + 2\text{H}^+$
29. $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$
30. $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{PO}_4$
31. $\text{OH}^- + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
32. $\text{Fe}^{2+} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NH}_4^+$
33. $\text{NO}_2^- + \text{H}^+ = \text{HNO}_2$
34. $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-} + 6\text{H}^+ = \text{Al}^{3+} + 6\text{H}_2\text{O}$
35. $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
36. $\text{HS}^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{S}$
37. $\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{S} = 2\text{HS}^-$
38. $\text{Al}(\text{OH})_3 + 2\text{H}^+ = \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$
39. $\text{HCO}_3^- + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$
40. $\text{SiO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow$
41. $\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$
42. $\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- = [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$
43. $\text{HSO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{SO}_3$
44. $\text{HPO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_3\text{PO}_4$
45. $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Глава 26

1. 10,8 г
2. 20,1 г
3. 7,0 %
4. 5,08 г
5. 12,8 г Cu; 10,4 г Fe
6. 8,5 г
7. 6,1 %
8. 6,52 %
9. 5,08 г
10. 23,02 г
11. 7,63 % FeSO_4 ; 12,05 % CuSO_4
12. 6,8 г
13. Олово
14. CuCl_2
15. Кадмий
16. Железо

17. Медь
18. Железо
19. Цинк
20. 63,2 %
21. 3,18 % Ag; 1,69 г Cu
22. 33,5 % Zn; 40,5 г CuCl_2
23. На 9 %
24. 25,6 г
25. 962,4 см^3
26. 21,56 г
27. 39,2 г
28. 3,90 % FeSO_4 ; 4,11 % CuSO_4 ; 3,64 % Na_2SO_4

Глава 27

1. На 3,9 г тяжелее стакан с Са
2. 0,58 г
3. 12,5 г
4. Тяжелее стакан с NaOH
5. 4,4 г
6. 11,9 г
7. 60,0 г
8. 30,1 г
9. 16 г

Глава 28

1. 2 моль
2. 11,1 г
3. 52 см^3
4. 100 г
5. 340,8 г олеума и 139,2 г раствора кислоты
6. 18,2 г олеума и 1,8 г кислоты
7. 54 г
8. 2,27 кг
9. 100 : 978
10. 39 %
11. 8 %
12. 167,1 г
13. 93,5 г
14. 104 г
15. 1,42 дм^3

16. 29,54 %
17. 25 %
18. 250 г
19. 3,93 %
20. 256,1 г

Глава 29

1. 56 %
2. 9,408 дм³
3. 50 % N₂; 33,4 % H₂; 17,6 % NH₃
4. 44 г; 40 г/моль
5. 28,9 г
6. 22,05 %
7. 2,41 г
8. 10 дм³
9. В 1,1 раза
10. 66,7 %
11. 5,26 %
12. 3,2 г O₂
13. 87,5 %
14. 10 %
15. 64 г/моль
16. 10,3 %
17. 7,7
18. В 3 раза
19. 75 %
20. 24,1 %
21. 36 г/моль
22. 2,0 г/дм³
23. 20 %
24. 20 %
25. 8 дм³ NH₃; 20 дм³ O₂
26. 60 %
27. 25 %
28. 50 %
29. 44,8 дм³
30. 160 дм³
31. 75 %
32. 7,83 дм³
33. 14,0 дм³
34. 50 дм³

35. 170 дм^3
36. 24 %
37. 85 дм^3
38. 72 %
39. 30 %
40. 57,1 %
41. $9,95 \text{ дм}^3$
42. 30,7 % N_2 ; 54,0 % H_2 ; 15,3 % NH_3
43. 25 %
44. 27 %
45. 92 %
46. 50 % N_2 ; 42,9 % H_2 ; 7,1 % NH_3
47. 47,05 %
48. 126 кДж
49. 30 %
50. 10 %
51. 17,6 % NH_3 ; 14,7 % N_2 ; 67,7 % H_2
52. 70 %
53. Упало в 1,167 раза
54. 185,4 кПа
55. 5,88 %
56. 40 %
57. 60 % Ag ; 40 % $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$
58. 83,81 %
59. 39 %
60. 50 %
61. $2,8 \text{ г/дм}^3$
62. 12,9
63. 30 дм^3

Глава 30

1. 8 %
2. 7,5 %
3. 95,92 %
4. Уменьшится в 1,017 раза
5. $\varphi(\text{O}_3) = 10 \text{ %}$; $\omega(\text{O}_3) = 14,3 \text{ %}$; $105 \text{ дм}^3 \text{ O}_2$
6. 2,9 %
7. 2 дм^3
8. $40,9 \text{ дм}^3$
9. 26,7 кг; $37,3 \text{ м}^3$

10. 20 %
11. 50,63 дм³
12. 24,6 г
13. 40,9 дм³
14. 24,6 %
15. 676 дм³
16. 625,5 дм³
17. 399 дм³
18. 32,2 г
19. 11,8 %
20. 1030 кДж/моль
21. 5636 кДж
22. 2059,7 кДж

Глава 31

1. Стронций
2. 7,12 дм³
3. 7 %
4. а) $5,2 \cdot 10^{-4}$ моль/(дм³ · с); б) 0,87 дм³
5. 2,82 % HNO₃; 8,21 % NH₄NO₃
6. 70 % CH₄; 30 % C₂H₂
7. 522 г
8. 53,1 %
9. 96,05 % H₂SO₄
10. Понизить на 20°
11. 8 моль
12. 54,2 %
13. В 1,41 раза
14. По 0,2 моль/дм³ KOH, K₂SO₄ и K₂[Zn(OH)₄]
15. 2,85 %
16. 2 моль/дм³
17. 0,014 моль/(дм³ · с)
18. 20 г
19. 40 % CO; 40 % CO₂; 20 % SO₂
20. 50 %
21. 98 г/моль
22. 20,0 г
23. 148,7 дм³
24. 23,05 г
25. Кальций

26. $0,309 \cdot 10^{23}$ ионов Li^+ ; $0,103 \cdot 10^{23}$ ионов PO_4^{3-}
27. 70°C
28. 2,19 % $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$
29. 20,8 %
30. 961 кДж
31. 2531 дм^3
32. 21,9 дм^3
33. 8,66 % K_2SO_3 ; 19,08 % K_2SO_4
34. 42,6 г
35. Скандий
36. 82,03 % AgNO_3 ; 17,97 % KCl
37. 10 %
38. 7,175 г
39. 121 кДж
40. 45,7 % Na_2SO_4
41. 41,25 г
42. 66,67 %
43. 110,64 г
44. 11,1 моль/ дм^3
45. 57,1 % CO_2 ; 28,6 % CO ; 14,3 % Ar
46. 8,82 %
47. 37,44 % ZnSO_4 ; 11,40 % H_2SO_4
48. 25 %
49. 71 г
50. 12,07 дм^3
51. По 225 г каждого
52. 7,0 % K_2CO_3 ; 6,77 % KHCO_3
53. 18,1 %
54. 24,1 % CO ; 75,9 % CO_2
55. 29,1 дм^3
56. 5,6 дм^3
57. 2,353
58. 245 мг
59. Уменьшится на 5 %
60. 50 дм^3
61. 11,7 % ; 27,6 %
62. 25 %
63. 2,87 %
64. 0,067 моль/ дм^3
65. Уменьшилось в 1,33 раза

66. 1,74 % $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
67. 15,6 % ; 40,0 % ; 44,4 %
68. 44 г/моль
69. $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{NS}$
70. 1,607 г/дм³
71. 54,4 г
72. 12,0 г
73. Фосфор
74. 266,87 кДж
75. 84,8 %
76. 1,55 г
77. $5 \cdot 10^{-3}$ моль/(дм³ · с)
78. 6,76 дм³
79. 3
80. 75 г
81. 17,6 дм³
82. 77,2 %
83. 81,75 г; 7,54 % NaHCO_3 ; 11,25 % Na_2CO_3
84. 75 % Al; 8,9 % Fe; 16,1 % Cu
85. 50,3 г
86. 50 % SO_3 ; 12,5 % SO_2 ; 37,5 % O_2
87. 30,8 %
88. 54,0 г Al; 139,2 г Fe_3O_4
89. 41,9 %
90. 30,0 г
91. 58,9 г
92. 3,0 г
93. 9,1 %
94. 33,3 %
95. 1,92 %
96. 19,9 см³; 1,3 %
97. 50 %
98. HBr
99. 351 г $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
100. 21,3 %
101. 11 %
102. 205,4 дм³
103. 7040 дм³
104. а) хром; б) 53 300 мг
105. 4875 мг

ЛИТЕРАТУРА

1. Врублевский, А. И. Основы химии. Школьный курс. — 6-е изд., перераб. и доп. — Минск : ЮниПрессМаркет, 2017. — 960 с.
2. Врублевский, А. И. Химия. Теоретический курс для подготовки к централизованному тестированию. — Минск : Новое знание, 2014. — 660 с.
3. Врублевский, А. И. Химия. Весь школьный курс. — Минск : Попурри, 2017. — 688 с.
4. Врублевский, А. И. Химия. Весь школьный курс в таблицах, определениях и схемах. — Минск : Попурри, 2016. — 384 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>От автора</i>	3
Глава 1. Немного математики	5
1.1. Проверьте себя	5
1.2. Значащие цифры и правила округления чисел	6
1.3. Степень точности расчетов в химии	8
1.4. Решение системы двух уравнений первой степени с двумя неизвестными	9
1.5. Единицы физических величин	12
Глава 2. Моль. Плотность и относительная плотность газов	16
2.1. Химическое количество вещества	16
2.2. Плотность и относительная плотность газов	21
2.3. Расчет массы одной структурной единицы	24
Глава 3. Расчеты по химической формуле вещества	28
3.1. Расчет численных, мольных и массовых отношений атомов элементов	28
3.2. Расчет массовых долей атомов и их сочетаний	30
3.3. Расчет массы атомов элемента в определенной порции сложного вещества	33
Глава 4. Установление химического элемента и формулы вещества по массовым долям	39
Глава 5. Расчеты по уравнению химической реакции и стехиометрическим схемам	46
5.1. Расчеты по уравнению химической реакции	46
5.2. Стехиометрические схемы	49
Глава 6. Массовая доля	53
Глава 7. Избыток—недостаток	62
7.1. Определение лимитирующего реагента	62
7.2. Расчет массы непрореагировавшего реагента	67

Глава 8. Выход продукта. Потери в производстве.	
Степень превращения вещества	71
8.1. Теоретическое рассмотрение	71
8.2. Расчет выхода продукта	73
8.3. Расчет массы (объема) продукта по его выходу	75
8.4. Расчет массы реагента по известному выходу продукта	78
8.5. Степень превращения реагента	80
Глава 9. Примеси	82
9.1. Расчеты с учетом примесей	82
9.2. Расчет массы технического образца по массовой доле примесей	86
9.3. Расчеты с одновременным учетом выхода и примесей	88
Глава 10. Смеси: кристаллические вещества и растворы	90
Глава 11. Расчет состава газовых смесей	112
11.1. Массовая, объемная и молярная доли газов	112
11.2. Молярная масса смеси газов. Плотность и относительная плотность смеси газов	119
11.3. Изменение молярной массы газовой смеси	131
Глава 12. Нуклиды. Изотопы. Радиоактивность	135
12.1. Расчет состава нуклидов	135
12.2. Расчет относительной атомной массы изотопно-смешанного элемента	136
12.3. Расчет состава смесей по числу элементарных частиц	138
12.4. Радиоактивность	140
Глава 13. Окислительно-восстановительные реакции	143
13.1. Расстановка коэффициентов в окислительно-восстановительных реакциях	143
13.2. Примеры решения расчетных задач	152
Глава 14. Электролиз	157
Глава 15. Термохимия	169
15.1. Теоретическое рассмотрение	169
15.2. Примеры решения типовых задач	172

15.3. Природа теплового эффекта	176
15.4. Расчет теплового эффекта растворения в воде ионных соединений	178
15.5. Примеры решения конкурсных задач	181
Глава 16. Химическая кинетика	186
16.1. Скорость химической реакции	186
16.2. Температурная зависимость скорости реакции	195
16.3. Химическое равновесие	202
Глава 17. Установление формулы вещества по данным химических реакций	210
Глава 18. Растворы	231
Глава 19. Реакции в растворах	244
Глава 20. Образование солей различного состава	260
20.1. Теоретическое рассмотрение	260
20.2. Образование соли одного состава	262
20.3. Образование смеси солей	266
Глава 21. Кристаллогидраты	282
Глава 22. Растворимость	293
Глава 23. Выпадение веществ в осадок при охлаждении растворов	303
23.1. Выпадение в осадок безводных солей	303
23.2. Растворимость и кристаллогидраты	307
Глава 24. Основные классы соединений	313
24.1. Оксиды	313
24.2. Основания	314
24.3. Амфотерные гидроксиды	315
24.4. Кислоты	315
24.5. Соли (средние)	317

Глава 25. Электролитическая диссоциация pH раствора.	
Ионные уравнения реакций	326
25.1. Электролитическая диссоциация	326
25.2. Водородный показатель pH	333
25.3. Составление ионных уравнений реакций	336
Глава 26. Электрохимический ряд напряжений металлов («пластинки металлов»)	340
Глава 27. Равновесие сосудов	355
Глава 28. Олеум	363
28.1. Определение состава олеума	363
28.2. Приготовление олеума	366
28.3. Смешивание олеума с водой и водным раствором серной кислоты	369
28.4. Химические реакции с участием олеума	373
Глава 29. Реакции с участием газов	378
Глава 30. Реакции с участием озона	405
Глава 31. Задачи для повторения	415
Приложения	432
Ответы	450
Литература	473

ПО ВОПРОСУ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГ ОБРАЩАТЬСЯ:

г. Минск, тел. (8-10-375-17) 237-29-75;

e-mail: popuri@mail.ru; mail@popuri.ru; www.popuri.ru;

г. Москва, ООО «Издательский дом «Белкнига»,

телефон (495) 276-06-75; e-mail: popuri-mos@mail.ru,

popuri-m@mail.ru.



Справочное издание

ВРУБЛЕВСКИЙ Александр Иванович

**УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ
ПО ХИМИИ. ОБЩИЙ ПОДХОД**

Оформление обложки — *М. В. Драко*

Подписано в печать 18.03.2019. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 27,90.

Уч.-изд. л. 16,60. Тираж 5100 экз. Заказ 2668.

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 77.99.39.953.Д.002684.02.10 от 18.02.2010 г.

ООО «Попурри». Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/150 от 24.01.2014 г.

Республика Беларусь, 220113, г. Минск, ул. Мележа, 5, корп. 2, ком. 403.



Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфический комбинат».

143200, г. Можайск, ул. Мира, 93

www.oaomprk.ru, тел.: (495) 745-84-28, (49638) 20-685.

Пособие адресовано старшеклассникам и абитуриентам, которые хотят самостоятельно, без помощи учителя или репетитора, научиться решать задачи по химии.

В книге на большом количестве примеров подробно рассматривается решение не только задач базового школьного курса, но и более сложных, конкурсных заданий.

Она будет полезна школьникам, преподавателям, репетиторам.

Может использоваться для подготовки к ЦТ и ЕГЭ.

- Простая и понятная подача материала
- Огромное количество примеров решения задач разного уровня сложности
- Подробная классификация задач по отдельным типам
- Около 1000 задач конкурсного уровня для самостоятельного решения

