

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Некоторые формулы и обозначения	6
1. Определение формул веществ	9
2. Задачи на «материальный баланс»	21
3. Задачи на «тип соли»	36
4. Задачи на «смеси веществ»	39
5. Химическая кинетика и равновесие	52
6. Энергетика химических процессов	56
7. Качественные задачи	63
8. Химические свойства и взаимосвязь неорганических веществ	73
9. Химические свойства и взаимосвязь органических веществ	82
10. Примеры заданий олимпиад по химии муниципального уровня	86
Ответы и решения	99

НЕКОТОРЫЕ ФОРМУЛЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ*

А. Основные формулы, связанные с понятием «моль»:

Формула	Обозначения
$n = \frac{N_{\text{в-ва}}}{N_A}$	n — количество вещества [моль] $N_{\text{в-ва}}$ — число структурных единиц вещества (молекул, атомов и др.) N_A — число структурных единиц в 1 моль вещества (число Авогадро) $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
$n = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}}}$	n — количество вещества [моль] $m_{\text{в-ва}}$ — масса вещества [г] $M_{\text{в-ва}}$ — молярная масса вещества [г/моль]
$n_{\text{г}} = \frac{V_{\text{г}}}{V_M}$	$n_{\text{г}}$ — количество газообразного вещества [моль] $V_{\text{г}}$ — объём газообразного вещества [л] V_M — молярный объём газообразного вещества [л/моль], $V_M = 22,4 \text{ л/моль}$ при н. у. (н. у. обозначает нормальные условия, т. е. $T = 273 \text{ К}$, $p = 101,325 \text{ кПа} = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм ртутного столба}$)

* Правила номенклатуры IUPAC (Международный союз теоретической и прикладной химии, International Union of Pure and Applied Chemistry) допускают использовать для обозначения количества вещества как « n », так и « ν », отдавая предпочтение первому.

1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМУЛ ВЕЩЕСТВ

Задачи на нахождение формулы вещества принципиально можно разделить на 3 группы:

- определение числа атомов (индексов) по известному количественному составу вещества (пример 1);
- нахождение формулы по известным данным о реакционной способности веществ (пример 2);
- задачи с «неполным условием», для решения которых приходится привлекать какие-либо дополнительные сведения (примеры 3, 4).

Пример 1.

При сгорании 24,6 г вещества образовалось 26,88 л углекислого газа (при н. у.), 9 г воды и 2,24 л азота (при н. у.). 1 литр паров этого вещества (при н. у.) имеет массу 5,491 г. Найдите формулу вещества.

Дано:

$$\begin{aligned}m_{\text{(в-ва)}} &= 24,6 \text{ г} \\V(\text{CO}_2) &= 26,88 \text{ л} \\V(\text{N}_2) &= 2,24 \text{ л} \\m(\text{H}_2\text{O}) &= 9 \text{ г} \\\rho &= 5,491 \text{ г/л} \\C_xH_yN_z(O_w - ?) &= ?\end{aligned}$$

Решение:

- Определяем количественный состав вещества.

Формулу вещества обозначаем

$C_xH_yN_z(O_w - ?)$, так как атомы кислорода могли попасть в молекулы углекислого газа или воды как из простого вещества кислорода при сжигании,

так и из сложного органического вещества, если они входили в его состав.

2

ЗАДАЧИ
НА «МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС»

Задачи, при решении которых необходимо составлять материальный баланс участвующих веществ, можно подразделить на следующие группы:

- 1) приготовление растворов (примеры 5–8);
- 2) приготовление растворов, сопровождающееся химическими превращениями веществ (примеры 9–10);
- 3) задачи на «пластинку» (пример 11).

Естественно, освоение приёмов решения стандартных задач является обязательным условием уверенного участия в олимпиадах по химии.

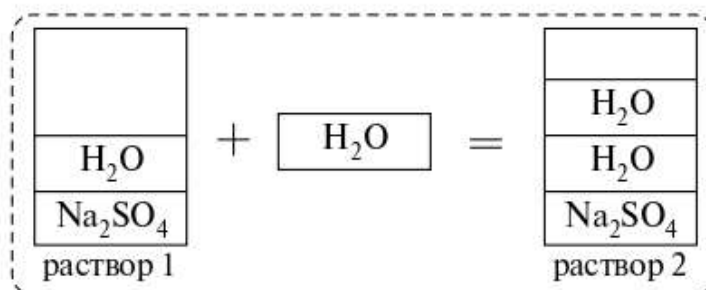
Пример 5.

Найдите массовую долю сульфата натрия в растворе, полученном добавлением 100 г воды к 250 г 15%-ного раствора соли.

Дано:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{р-ра1}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \\ = 250 \text{ г} \\ \omega_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 15\%, \\ \text{или } 0,15 \\ m_{\text{воды}} = 100 \text{ г} \\ \omega_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = ? \end{array} \right.$$

Решение:



Задачи для самостоятельного решения

2.1. Сколько воды надо прибавить к 200 мл 68%-ного раствора азотной кислоты плотностью 1,4 г/мл, чтобы получить 10%-ный раствор азотной кислоты?

2.2. Сколько граммов сульфита натрия Na_2SO_3 потребуется для приготовления 5 л 8%-ного раствора, плотность которого равна 1,076 г/мл?

2.3. Сколько миллилитров 96%-ной серной кислоты (плотность 1,84 г/мл) нужно взять для приготовления 1 л 0,5 М раствора?

2.4. В 1 л воды растворили 300 л хлороводорода (н. у.). Найдите массовую долю кислоты в полученном растворе.

2.5. Определите концентрацию насыщенного при 60 °С раствора, полученного при растворении в воде 448 л (н. у.) хлороводорода, если коэффициент растворимости при этой температуре составляет 56,1 г.

2.6. Определите массовую долю бромоводорода в растворе, полученном при растворении 179,2 л (н. у.) бромоводорода в 1352 мл воды.

2.7. Сколько воды надо прибавить к 100 мл 20%-ного раствора соляной кислоты плотностью 1,14 г/мл, чтобы получить 5%-ный раствор серной кислоты?

2.8. Сколько воды надо прибавить к 500 мл 52%-ного раствора азотной кислоты плотностью 1,322 г/мл, чтобы получить 10%-ный раствор азотной кислоты?

2.9. Определите массовую долю азотной кислоты в растворе, полученном при добавлении 100 мл воды к 300 мл 63%-ного раствора кислоты плотностью 1,4 г/мл.

2.10. Какой объём 98%-ного раствора серной кислоты плотностью 1,84 г/мл требуется для приготовления 1000 г 9,8%-ного раствора?

3

ЗАДАЧИ НА «ТИП СОЛИ»

Пример 12.

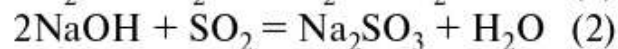
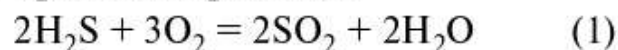
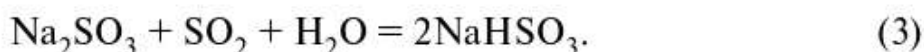
Газ, образующийся при сжигании 4,48 л (н. у.) сероводорода, пропустили через 21,43 мл 40%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,4 г/мл). Определите состав и количество образовавшейся соли.

Дано:

$$\left\{ \begin{array}{l} V(\text{H}_2\text{S}) = 4,48 \text{ л} \\ \omega(\text{NaOH}) = 40\%, \text{ или } 0,4 \\ \rho_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 1,4 \text{ г/мл} \\ V_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 21,43 \text{ мл} \\ n, m(\text{солей}) - ? \end{array} \right.$$

Решение:

1. Уравнения реакций:

и, если SO_2 в избытке,

2. Рассчитываем количество вещества реагентов:

а) $n(\text{H}_2\text{S}) = 4,48/22,4 = 0,2$ моль;

б) $n(\text{NaOH}) = 0,4 \cdot 1,4 \cdot 21,43/40 = 0,3$ моль.

3. По уравнению (1) — $n(\text{SO}_2) = 0,2$ моль.4. По уравнению (2) — $n(\text{NaOH}) : n(\text{SO}_2) : n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 2 : 1 : 1$, следовательно, SO_2 находится в избытке в количестве $(0,2 - 0,15) = 0,05$ моль и образуется 0,15 моль Na_2SO_3 .5. По уравнению (3) — $n(\text{Na}_2\text{SO}_3) : n(\text{SO}_2) : n(\text{NaHSO}_3) = 1 : 1 : 2$, следовательно, Na_2SO_3 в избытке в количестве $(0,15 - 0,05) = 0,1$ моль и образуется 0,1 моль NaHSO_3 .

6. Массы солей:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,1 \cdot 126 = 12,6 \text{ г}; m(\text{NaHSO}_3) = 0,1 \cdot 104 = 10,4 \text{ г}.$$

Задачи для самостоятельного решения

3.1. 11,2 л (н. у.) газа, полученного при действии на сульфид металла со степенью окисления +2 избытка 10%-ного раствора соляной кислоты, пропустили через 100 мл 25%-ного раствора гидроксида натрия плотностью 1,28. Определите состав и количество продукта реакции.

3.2. Для восстановления железа из оксида железа(III) было использовано 22,4 л угарного газа (н. у.). Образовавшийся после реакции газ пропустили через 1000 мл 3,1%-ного раствора гидроксида натрия плотностью 1,033 г/мл. Определите концентрацию веществ в растворе.

3.3. 56 л газообразного вещества, содержащего 20 % водорода и 80 % углерода и имеющего плотность по водороду 15, сожгли в избытке воздуха. Продукты реакции пропустили через раствор, полученный при взаимодействии 200 г неизвестного металла, имеющего в соединениях постоянную степень окисления +2, с водой; последняя реакция сопровождалась выделением 112 л газа. Определите состав и количество образовавшейся соли.

3.4. При полном сгорании 13,6 г вещества получили 25,6 г сернистого газа и 7,2 г воды. Образовавшийся оксид серы пропустили через 50 мл 25%-ного раствора гидроксида натрия плотностью 1,28. Определите формулу исходного вещества и концентрацию веществ в растворе.

3.5. Продукты полного сгорания 44,8 л сероводорода пропустили через 250 мл 25%-ного раствора едкого натра плотностью 1,28. Какая соль и в каком количестве образовалась?

3.6. К раствору, содержащему 14,84 г карбоната натрия, прибавили раствор, содержащий 12,6 г азотной кислоты. Определите состав солей, находящихся в растворе.

3.7. Аммиак объёмом 8,96 л пропустили через 500 г 4,9%-ного раствора ортофосфорной кислоты. Определите массу и количество образовавшихся веществ.

4

ЗАДАЧИ НА «СМЕСИ ВЕЩЕСТВ»

Определение количественного состава смесей нескольких веществ с похожими свойствами представляет собой математическую задачу, наиболее простым способом решения которой, как правило, является составление и решение системы уравнений.

Алгоритм решения подобных задач следующий:

- 1) обозначить количество веществ через x , y , z ;
- 2) составить уравнения, связывающие эти переменные с численными данными, приведёнными в условии задачи, причём число уравнений обычно должно равняться числу переменных;
- 3) решить систему уравнений, то есть найти количество каждого из веществ в смеси.

Пример 13.

19 г смеси метана и этана при нормальных условиях занимают объём 16,8 л. Определите объёмную долю метана.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6) &= 19 \text{ г} \\ V(\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6) &= 16,8 \text{ л} \\ \varphi(\text{CH}_4) &= ? \end{aligned}$$

Решение:

1. По условию:

$$m(\text{CH}_4) + m(\text{C}_2\text{H}_6) = m(\text{смеси}) \quad (1)$$

и

$$V(\text{CH}_4) + V(\text{C}_2\text{H}_6) = V(\text{смеси}). \quad (2)$$

2. Пусть в смеси $n(\text{CH}_4) = x$ моль и $n(\text{C}_2\text{H}_6) = y$ моль, тогда:

а) $m(\text{CH}_4) = 16x$, $m(\text{C}_2\text{H}_6) = 30y$; $16x + 30y = 19$

б) $V(\text{CH}_4) = 22,4x$, $V(\text{C}_2\text{H}_6) = 22,4y$; $22,4x + 22,4y = 16,8$.

5

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА И РАВНОВЕСИЕ

Пример 15. Реакция протекает по уравнению $A_{(г)} + 2B_{(г)} = C_{(г)}$. Как изменится скорость реакции, если давление увеличить в 3 раза и одновременно повысить температуру на 30 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

Дано:

$$P_2/P_1 = 3$$

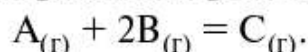
$$\Delta t^\circ = +30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 3$$

$$V_2/V_1 = ?$$

Решение:

1. Уравнение реакции:



2. Находим изменение скорости при изменении давления.

Выражение для скорости реакции по закону действующих масс:

$$V_{\text{xp}} = k \cdot C_A \cdot C_B^2 \quad (1)$$

или

$$V_{\text{xp}} = k_1 \cdot P_A \cdot P_B^2, \quad (1a)$$

где C_A и C_B — молярные концентрации реагирующих веществ, P_A и P_B — парциальные (частичные) давления газов.

а) Так как $P_2/P_1 = 3$, то $P_{2A} = 3P_{1A}$, $P_{2B} = 3P_{1B}$;

$$\begin{aligned} \text{б) } V_1 &= k \cdot P_{1A} P_{1B}^2, \quad V_2 = k \cdot P_{2A} \cdot P_{2B}^2 = k \cdot (3P_{1A}) \cdot (3P_{1B})^2 = \\ &= 27k \cdot P_{1A} \cdot P_{1B}^2 \rightarrow V_2/V_1 = 27k \cdot P_{1A} \cdot P_{1B}^2 / k \cdot P_{1A} P_{1B}^2 = 27. \end{aligned}$$

3. Находим изменение скорости при изменении температуры.

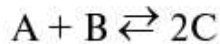
$$\text{По правилу Вант-Гоффа: } V_2/V_1 = \gamma^{(t_2-t_1)/10} = \gamma^{\Delta t/10},$$

$$V_2/V_1 = 3^{30/10} = 27.$$

4. Общее (полное) изменение скорости:

$$V_{p,t} = V_p \cdot V_t = 27 \cdot 27 = 729 \text{ — скорость увеличится в 729 раз.}$$

Пример 16. Константа равновесия гомогенной системы



равна 50. Вычислите равновесные концентрации реагирующих веществ, если исходные концентрации веществ А и В соответственно равны 0,5 и 0,7 моль/л.

Дано:

$$K = 50$$

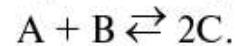
$$C_H(A) = 0,5 \text{ моль/л}$$

$$C_H(B) = 0,7 \text{ моль/л}$$

$$C_p(A) = ? \quad C_p(B) = ? \quad C_p(C) = ?$$

Решение:

1. Уравнение реакции:



2. Составляем таблицу изменения концентраций веществ:

Концентрации	А	В	С
$C_{\text{начальные}}$	0,5	0,7	0
ΔC	x	x	$2x$
$C_{\text{равновесные}}$	$0,5 - x$	$0,7 - x$	$2x$

Очевидно, что $C_H(C) = 0$.

Пусть к моменту наступления равновесия прореагировало x моль вещества А; тогда по уравнению реакции находим, что прореагирует x моль вещества В и образуется $2x$ моль вещества С.

3. Находим равновесные концентрации веществ:

выражение для константы равновесия:

$$K = [C]^2/[A] \cdot [B]$$

$$50 = 4x^2/(0,5 - x) \cdot (0,7 - x)$$

$x_1 = 0,86$ (посторонний корень квадратного уравнения, так как изменение концентрации вещества не может быть больше исходной концентрации вещества);

$$x_2 = 0,44, \text{ равновесные концентрации}$$

$$[A] = 0,5 - 0,44 = 0,06 \text{ моль/л;}$$

$$[B] = 0,7 - 0,44 = 0,26 \text{ моль/л};$$

$$[C] = 2 \cdot 0,44 = 0,88 \text{ моль/л}.$$

Задачи для самостоятельного решения

5.1. Реакция протекает по уравнению $2A_{(г)} + B_{(г)} = 2C_{(г)}$. Как изменится скорость реакции при уменьшении давления в системе в 2 раза и одновременном понижении температуры на 40°C ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

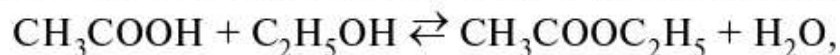
5.2. Скорость реакции возросла в 243 раза, температурный коэффициент равен 3. Каким образом была изменена температура?

5.3. Реакция протекает по уравнению $CO_{(г)} + Cl_{2(г)} \rightleftharpoons COCl_{2(г)}$. Начальные концентрации CO и Cl_2 равны (моль/л): $C_{CO} = 0,28$; $C_{Cl_2} = 0,8$. Равновесная концентрация CO равна $0,08$ моль/л. Вычислите константу равновесия.

5.4. Химическое равновесие гомогенной системы $A + B \rightleftharpoons C + D$ установилось при концентрациях 9, 8, 6 и 12 моль/л соответственно. После установления равновесия концентрацию вещества C уменьшили до 0. Вычислите новые равновесные концентрации веществ после смещения равновесия.

5.5. Химическое равновесие гомогенной системы $A + B \rightleftharpoons C + D$ установилось при концентрациях 0,04; 0,64; 0,16; 0,16 моль/л соответственно. Концентрацию вещества B увеличили до 1,60 моль/л. Вычислите новые равновесные концентрации веществ после смещения равновесия.

5.6. Равновесные концентрации веществ, участвующих в реакции



равны (моль/л):

$$C(CH_3COOH) = 0,02; C(C_2H_5OH) = 0,32; C(CH_3COOC_2H_5) = 0,08; C(H_2O) = 0,08.$$

При химических реакциях происходят глубокие качественные изменения в системе: разрываются связи в исходных веществах и возникают новые связи в конечных продуктах. Эти изменения сопровождаются поглощением или выделением энергии.

Внутренняя энергия характеризует кинетическую и потенциальную энергию всех частиц вещества, которая может изменяться при физических и химических процессах.

В любом процессе выполняется **закон сохранения энергии**, или **первое начало термодинамики**: теплота Q , поглощённая системой, расходуется на увеличение её внутренней энергии ΔU и на совершение работы A против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A.$$

Тепловым эффектом реакции называется количество выделенного или поглощённого тепла. Стандартный тепловой эффект соответствует стандартным условиям проведения реакций: $T = 298,15 \text{ K}$, $p = 101325 \text{ кПа}$, количество вещества $n = 1 \text{ моль}$.

Тепловой эффект реакции, протекающей при постоянном объёме системы (Q_v), равен изменению внутренней энергии:

$$Q_v = \Delta U.$$

Большинство химических реакций протекает при постоянном давлении. Тепловой эффект химической реакции, протекающей при постоянном давлении, равен изменению энтальпии:

$$Q_p = \Delta H.$$

Решение качественных и комплексных задач требует знания условий проведения реакций и изменений, которые сопровождают различные превращения, например изменение окраски раствора, цвета и структуры (плотный или творожистый) осадка, запаха газа и другие.

Мы попытались систематизировать такие сведения по неорганической химии в таблицах 1 и 2 и по органической химии — в таблице 3. В этих же таблицах мы приводим так называемые «ключевые слова», которые должны ассоциироваться с конкретными уравнениями реакций.

Таблица 1

Некоторые качественные реакции неорганических соединений и изменения, сопровождающие химические превращения

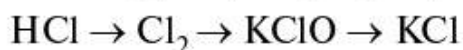
№	Признак реакции	Уравнения реакций, ключевые слова, ассоциации
1	«Бурый» газ — оксид азота(IV)	$2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ $\text{Cu} + 4\text{HNO}_{3(\text{конц.})} = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ Выделяется при взаимодействии неметаллов и тяжёлых металлов с $\text{HNO}_{3(\text{конц.})}$ и окислении NO до NO_2
2	Газ с неприятным запахом — сероводород H_2S	$\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ Выделяется при взаимодействии сульфидов металлов с кислотами и очень активных металлов с $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})}$.

8

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВЗАИМОСВЯЗЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Задачи для самостоятельного решения

8.1. Как осуществить следующие превращения?



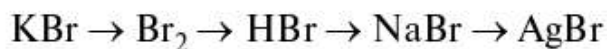
8.2. Как осуществить следующие превращения?



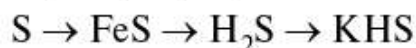
8.3. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



8.4. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



8.5. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



8.6. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



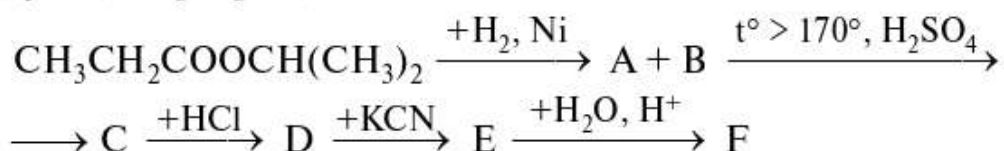
9

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВЗАИМОСВЯЗЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Задачи для самостоятельного решения

9.1. Составьте схему получения 2,4,6-триброманилина из карбида кальция в 6 стадий.

9.2. Составьте уравнения реакций, позволяющих осуществить следующие превращения:



9.3. Используя в качестве полупродуктов бензол и органические вещества, содержащие до трёх атомов углерода в молекуле, а также неорганические реагенты по вашему выбору, составьте схему получения

- а) *m*-ксилола;
- б) *m*-дибромбензола;
- в) 1,3-дигидроксибензола (резорцина).

9.4. Укажите гибридизацию атомов азота и углерода в ацетате аммония. Составьте схему получения этой соли из неорганических веществ.

10

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАД ПО ХИМИИ МУНИЦИПАЛЬНОГО УРОВНЯ

9-й класс

Вариант 1

9.1.1. Оксид металла, содержащий 70 % металла, полностью восстановили водородом до металла. При растворении 22,4 г полученного металла в горячей концентрированной серной кислоте образовался сульфат металла(III) и выделилось 13,44 л (н.у.) оксида серы. Определите формулу оксида и рассчитайте его массу.

9.1.2. Насыщенный раствор карбоната натрия нагрели и растворили в нём дополнительно 2 г карбоната натрия. После охлаждения раствора до прежней температуры выпал осадок кристаллогидрата массой 8,2 г. Вычислите массовую долю безводной соли в кристаллогидрате и определите формулу кристаллогидрата, учитывая, что при начальных условиях в 100 г воды растворялось 20 г безводной соды.

9.1.3. На растворение 1,56 г гидроксида трёхвалентного металла израсходовали 30 мл раствора серной кислоты с концентрацией 1 моль/л. Определите атомную массу металла и установите формулу его гидроксида.

9.1.4. В четыре пробирки налиты разбавленные растворы сульфатов железа(II), цинка, меди(II), аммония. С помощью какого одного реактива и как можно определить каждое из предложенных веществ?

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

1. Определение формул веществ

1.1. Дано:

$$m(V_xO_y) = 2,73 \text{ г}$$

$$m(V) = 1,53 \text{ г}$$

$$V_xO_y - ?$$

Решение:

1. Количественный состав образца:

$$a) m(O) = 2,73 - 1,53 = 1,2 \text{ г,}$$

$$n(O) = 1,2/16 = 0,075 \text{ моль;}$$

$$b) n(V) = 1,53/51 = 0,03 \text{ моль.}$$

2. Формула вещества:

$$n(V) : n(O) = 0,03 : 0,075 = 1 : 2,5 = 2 : 5 \rightarrow V_2O_5.$$

1.2. Дано:

$$\omega(S) = 0,3299$$

$$MeS - ?$$

Решение:

Находим молярную массу металла и определяем металл:

$$\omega(S) = A(S)/[A(Me) + A(S)],$$

$$A(Me) = A(S)/\omega(S) - A(S) = 32/0,3299 - 32 = 65 \rightarrow Me = Zn,$$

сульфид цинка ZnS.

1.3. Дано:

$$\omega(N) = 19,72\%, \text{ или } 0,1972$$

$$Me(NO_3)_3 - ?$$

Решение:

Находим молярную массу металла и определяем металл:

$$\omega(N) = m(3N)/[A(Me) + 3 \cdot (A(N) + 3 \cdot A(O))],$$

$$0,1972 = (14 \cdot 3)/[x + (14 + 16 \cdot 3) \cdot 3], x = 27,$$

металл — алюминий.