

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*

*ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ*

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физической и органической химии

**МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ ЗАДАЧ  
В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ХИМИИ**

Методические рекомендации для студентов  
специальностей 020101 (011000) – Химия  
и 050101 (032300) – Учитель химии

Курган 2007

Кафедра физической и органической химии

Дисциплина: «Методика преподавания химии» (специальности 020101 (011000) и 050101 (032300))

Составитель: канд. пед. наук Древицкая Н.Л.

Утверждены на заседании кафедры « 4 » 02 \_\_\_\_\_ 2007 г.

Рекомендованы методическим советом университета « 24 » мая \_\_\_\_\_ 2007 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Основные физические величины, используемые при решении задач по химии</i> .....	4
<i>Основные формулы и величины, необходимые для расчетов</i> .....	5
<i>Расчёты по химическим формулам</i> .....	7
<i>Расчеты по химическим уравнениям</i> .....	10
<i>Задачи на растворы</i> .....	13
<i>Массовая доля растворённого вещества</i> .....	14
<i>Задачи на кристаллогидраты</i> .....	15
<i>Молярная концентрация раствора</i> .....	16
<i>Задачи на «избыток»- «недостаток»</i> .....	17
<i>Задачи на массовую (объёмную) долю выхода</i> .....	19
<i>Расчеты по уравнениям реакций, если одно из реагирующих веществ содержит примеси</i> .....	21
<i>Расчёты, связанные с выводом простейших и молекулярных формул веществ</i> ..	22
<i>Термохимические расчёты</i> .....	24
<u>Решение задач повышенной сложности</u>	
<i>Задачи на анализ образующихся солей</i> .....	26
<i>Задачи на «пластинки»</i>	
<i>Расчёт массы пластинки после реакции или изменения массы пластинки</i> .....	28
<i>Расчеты с использованием <math>\Delta t</math></i> .....	31
<i>Расчет массовых долей веществ в растворах с использованием <math>\Delta t</math></i> .....	32
<i>Определение неизвестных веществ с использованием <math>\Delta t</math></i> .....	33
<i>Задачи, “маскирующиеся под пластинку”</i> .....	34
<i>Список литературы</i> .....	35

Древницкая Наталья Леонидовна

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ ЗАДАЧ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ХИМИИ

Методические рекомендации  
для студентов специальностей 020101 (011000) – Химия  
и 050101 (032300) – Учитель химии

Редактор Н.А. Леготина

Подписано к печати	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 2,5	Уч.-изд.л. 2,5
Заказ	Тираж 50	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет

Основные физические величины, используемые  
при решении задач по химии

Физическая величина	Обозначение	Единицы измерения
Масса	m	г, кг
Количество вещества	n	моль, кмоль
Молярная масса	M	г/моль, кг/моль, кг/моль
Относительная атомная масса	A <sub>r</sub>	–
Относительная молекулярная масса	M <sub>r</sub>	–
Объем	V	л, мл
Молярный объем	V <sub>m</sub>	л/моль, м <sup>3</sup> /моль
Плотность	$\rho$	г/л, г/мл, г/м <sup>3</sup>
Относительная плотность	D	–
Число Авогадро	N <sub>A</sub>	моль <sup>-1</sup>
Число частиц	N	–
Скорость химической реакции	$\nu$	моль/л*с, моль/м <sup>3</sup> *с
Молярная концентрация	C	моль/л, моль/м <sup>3</sup>
Массовая доля компонента	$\omega$	–
Объемная доля компонента	$\varphi$	–
Массовая доля выхода	$\omega_{\text{вых}}$	–
Температура по Цельсию	t	С <sup>0</sup>
Термодинамическая температура	T	К
Тепловой эффект	Q	кДж/моль

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерыгин Д.Л., Шишкин Е.А. Методика решения задач по химии. - М.: Просвещение, 1989.
2. Хомченко И.Г. Сборник задач и упражнений по химии для средней школы. – М.: Новая волна, ОНИКС, 2003.
3. Хомченко Г.П., Хомченко И.Г. Задачи по химии для поступающих в вузы. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Кузьменко Н.Е., Ерёмин В.В. 2500 задач по химии с решениями для поступающих в вузы. – М.: «Оникс 21 век», «Мир и образование», 2002.
5. Ушкалова В.Н., Иоанидис Н.В. Конкурсные задания и ответы. Химия. Репетитор. М.: Просвещение, 2000.
6. Штремплер Г.И., Хохлова А.И. Методика решения расчётных задач по химии 8-11. – М.: Просвещение, 2000.
7. Курмашева К.К. Задачи и упражнения по химии. – М.:Лист, 1998.
8. Егоров А.С. Все типы расчётных задач по химии для подготовки к ЕГЭ. – М.: Феникс, 2003.
9. Задачи всероссийских олимпиад по химии / Под ред. Лунина В.В. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004.
10. Губанова Ю.К. Сборник задач по органической химии с решениями. – Саратов: Изд-во «Лицей», 1999.
11. Смирнова Е.Г. Методика решения химических задач повышенной сложности. Рекомендации для старшеклассников, абитуриентов и учителей химии. – Курган: Гармония, 2003.

5. Железную пластинку массой 100 г погрузили в 250 г раствора сульфата меди (II) с массовой долей 20%. Когда пластинку вынули из раствора, высушили и взвесили, её масса составила 102 г. Определить массовые доли веществ в растворе после удаления из него металлической пластинки.
6. В раствор, содержащий 9,4 г нитрата меди (II) и 9,75 г нитрата ртути (II), погрузили кадмиевую пластинку массой 50 г. На сколько % увеличится масса пластинки после полного вытеснения меди и ртути кадмием при условии, что медь и ртуть полностью остаются на пластике?
7. Медную пластинку массой 50 г опустили в раствор хлорида ртути (II). Через некоторое время пластинку вынули из раствора, промыли, высушили и взвесили. Её масса составила 63,7 г. Сколько меди вступило в реакцию?
8. Цинковую пластинку массой 80 г погрузили в раствор нитрата свинца (II). Через некоторое время масса пластинки стала равной 94,2 г. Какая масса цинка перешла в раствор в виде ионов? Какая масса свинца осела на пластике?
9. Медную пластинку массой 16 г опустили в 100 г раствора хлорида железа (III) с массовой долей 16,3%. Пластинку вынули в тот момент, когда массовая доля хлорида железа (III) в растворе стала равной массовой доле образовавшейся соли меди. Определить массу пластинки после реакции.
10. В раствор, содержащий 3,2 г безводного сульфата меди (II) и 6,24 г безводного сульфата кадмия, погрузили цинковую пластинку. Определите, на сколько увеличится масса пластинки, если полностью вытеснить из раствора медь и кадмий.

Основные формулы и величины, необходимые для расчетов

Ar – отношение массы атома элемента к 1/12 массы атома С.

$$Ar(x) = m_a(x) / \frac{1}{12} m_a(C)$$

Mr – относительная масса молекулы к 1/12 массы атома С.

$$Mr(XY) = Ar(X) + Ar(Y)$$

Масса – основная характеристика всех физических тел и частиц, определяющая их инерционные и гравитационные свойства.

Моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде массой 0,012 кг.

Молярная масса – это масса 1 моль вещества.

$$m = n \cdot M; n = m/M; M = m/n$$

Молярный объем – объем вещества количеством один моль.

$$V_{m,газа} = 22,4 \text{ л/моль}$$

$$V_{m(H_2O)} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль} = 0,018 \text{ л/моль}$$

$$n = V/V_m; V = n \cdot V_m; V_m = V/n$$

Молярная концентрация – отношение количества растворенного вещества к единице объема раствора.

$$C = n/V$$

Относительная плотность – отношение плотностей двух веществ, показывающее, во сколько раз одно вещество тяжелее другого.

$$D_x(Y) = M(Y)/M(x) = Mr(Y) \cdot Mr(x)$$

Число структурных единиц

$$N = n \cdot N_A; n = N/N_A$$

$$\rho = m/V; m = \rho \cdot V; V = m/\rho$$

Выход продукта – отношение массы, V, n – продукта, полученного практически (практический выход) к массе, V, n, полученного в соответствии с расчетом по формуле или уравнению (теоретический выход).

$$\omega_{\text{выход}} = m_{\text{пр}}/m_{\text{теор}}; \varphi_{\text{выход}} = V_{\text{пр}}/V_{\text{теор}}$$

Выбор тех или иных расчетных задач, включаемых в учебную работу, при изучении каждой темы целиком определяется учителем и зависит от конкретных условий школы.

Наиболее удобный способ записи задачи следующий:

Дано 1. Значение величин, указанных в условии задачи. 2. Вопрос задачи - ?	}	Решение: 3. Решение задачи. 4. Запись ответа задачи.
--	---	--

Подобная запись процесса решения задачи полезна на начальном этапе, она помогает учиться лучше усвоить логику рассуждения, воспроизвести дома изученную в классе задачу. На следующих этапах обучения необходимость в столь подробном виде записи отпадает, возможна более простая запись. В связи с этим отпадает необходимость в строгой унификации в оформлении решения задач, хотя всегда является четкая дифференциация решения на отдельные вопросы, запись наименования определяемых величин, завершение задачи в виде ответа и т. д.

При решении задач в классе следует активизировать познавательную деятельность всех учащихся, чтобы не было пассивного слушания объяснений учителя и ответов вызванных к доске учеников. Для этого нужно правильно сочетать самостоятельную и коллективную работу в классе. Рекомендуется, чтобы каждую задачу ученики сначала обдумали в течение нескольких минут и попытались решить самостоятельно, а затем вызвать учащегося к доске для разбора решения задачи всем классом. Если в химическом кабинете есть раздвижная доска, то решать задачу можно

одновременно на местах и на противоположной стороне доски, а потом провести обсуждение со всем классом.

Чтобы стимулировать работу класса, нужно при выставлении оценок в конце урока учитывать работу каждого ученика по количеству решенных задач. Важным является и то, кого из учащихся вызвать к доске для решения задач. Это зависит от обстоятельств; решать новую задачу лучше вызвать среднеуспевающего ученика. Затруднение и вынужденные паузы в работе у доски послужат для обсуждения тех или иных вопросов. В ходе такого обсуждения привлекаются и слабоуспевающие ученики, что заставляет их работать со всем классом. За решением сильных учеников часто не успевают следить остальные. При решении сложных задач к доске лучше вызывать поочередно нескольких учащихся, а после решения – еще одного для воспроизведения решения всей задачи в целом.

#### Общие методические требования к решению задач по химии

1. Внимательно прочтите текст задачи и уясните её смысл.
2. Проведите анализ задачи, установите смысл понятий, формулы веществ, сущность процесса, о котором идёт речь.
3. Кратко запишите условие, используя общепринятые обозначения.
4. Составьте устный план решения. Продумайте логическую последовательность всех действий, выберите наиболее рациональный путь решения.
5. Проведите решение задачи, логически рассуждая по поводу каждого действия. Что следует найти в данном действии? В каких единицах следует выражать данные величины? Каким образом это можно сделать? Каков результат?
6. Оформите ответ задачи в полном виде, связывая его с условием.
7. Выявите существование других способов решения данной задачи.

#### Основные типы расчетных задач, рассматриваемых

##### в школьном курсе химии

В настоящее время в связи с внедрением в обучение различных альтернативных программ и вариантов учебников содержание и построение материала в них различно.

Можно выделить следующие основные типы задач:

1. Вычисление  $A_r$ ,  $M_r$ ,  $m_a$ ,  $m_m$  по химическим формулам.
2. Вычисление по уравнениям химической реакции ( $m$ ,  $n$ ,  $M$ ).
3. Вычисление по уравнениям химической реакции ( $V$ ,  $n$ ,  $V_m$ ), закон Авогадро.
4. Задачи на растворы.
5. Расчет по термохимическим уравнениям.
6. Расчет на «избыток» «недостаток».
7. Расчет на массовую (объемную) долю выхода.
8. Расчет на массовую долю примесей.
9. Расчет на вывод химической формулы вещества.
10. Комбинированные задачи.
11. Задачи повышенной сложности.

Конечно, приведенный перечень типовых задач не охватывает всех умений учащегося. В процессе дальнейшего изучения курса химии необходимо систематически решать задачи этих типов, постоянно усложняя их и комбинируя.

Допустим, что прореагировало  $x$  моль никеля. Через введенную переменную нужно выразить  $m(\text{NiSO}_4)$ , образовавшегося при реакции, и  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , оставшегося после реакции. Мы будем работать не с массовыми долями, а с массами солей, т.к. обе соли находятся в одном растворе и равенство их массовых долей обозначает равенство масс.

$$\begin{aligned}n(\text{Ni}) &= n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = n(\text{NiSO}_4) = x \text{ моль, тогда} \\m(\text{NiSO}_4) &= 155x, \quad m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400x \text{ г.} \\m(\text{Fe}(\text{SO})) &= 555 \cdot 0.1 = 55.5 \text{ г} \\ \text{тогда } m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) &= 55.5 - 400x = m(\text{NiSO}_4) = 155x \\55.5 - 400x &= 155x \\55.5 &= 555x; \quad x = 0.1 \\n(\text{Ni}) &= 0.1 \text{ моль} \\m(\text{Ni}) &= 0.1 \cdot 59 = 5.9 \text{ г} \\m(\text{Ni}) &= 25.9 - 5.9 = 20 \text{ г.}\end{aligned}$$

2. Медную пластинку массой 13,2 г опустили в 300г раствора  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  с  $\omega = 0,112$ . После некоторого выдерживания пластинки в растворе ее вынули, при этом оказалось, что  $w(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = w(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$ . Определить массу пластинки после того, как ее вынули из раствора.

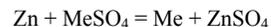
Решение:

$$\begin{aligned}\text{Cu} + 2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 &= \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \\ \text{Пусть прореагировало } x \text{ моль Cu} \\n(\text{Cu}) &= n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = x \text{ моль} \\m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) &= 188x \text{ г.} \\ \text{По уравнению реакции:} \\n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) &= 2n(\text{Cu}) = 2x \text{ моль} \\m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) &= 2x \cdot 242 = 484x \text{ г.} \\ \text{В исходном растворе содержалось } \text{Fe}(\text{NO}_3)_3: \\m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) &= 300 \cdot 0.112 = 33.6 \text{ г} \\m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) &= 33.6 - 484x = m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 188 \text{ г} \\33.6 - 484x &= 188x \\x &= 0.05. \\n(\text{Cu}) &= 0.05 \text{ моль} \\m(\text{Cu}) &= 0.05 \cdot 64 = 3.2 \text{ г} \\m(\text{Cu}) &= 13.2 - 3.2 = 10 \text{ г.}\end{aligned}$$

#### Задачи для самостоятельного решения:

1. Медную пластинку массой 50 г опустили в раствор хлорида ртути (II). Через некоторое время пластинку вынули из раствора, промыли, высушили и взвесили. Её масса составила 63,7 г. Сколько меди вступило в реакцию?
2. В раствор, содержащий 80,75 г нитрата ртути (II), погрузили цинковую пластинку массой 13 г. Рассчитать массу пластинки после окончания реакции.
3. Медный стержень массой 140,8 г выдержали в растворе нитрата серебра, после чего его масса составила 171,2 г. Рассчитать объём 32%-ного раствора азотной кислоты (плотность 1,2 г/мл), необходимый для растворения стержня после выдерживания его в растворе нитрата свинца.
4. Образец цинка массой 60 г поместили в раствор массой 200 г с массовой долей нитрата свинца 6,62%. Определить массу образца металла после окончания реакции, считая, что весь выделившийся металл остался на образце.

Решение:



m (р-ра) уменьшается, т.к. m(пласт.) увеличивается.

$$m(\text{р-ра после реакции}) = 50 - 1,08 = 48,92\text{г}$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 48,92 * 0,658 = 3,22\text{г}$$

$$n(\text{ZnSO}_4) = 3,22/161 = 0,02 \text{ моль}$$

$$1 \text{ моль ZnSO}_4 - \Delta m = -65 + x = x-65$$

$$0,02 \text{ моль ZnSO}_4 - \Delta m = 1,08$$

$$1/0,02 = x-65/1,08; \quad 0,02(x-65) = 1,08$$

$$0,02x = 1,3 + 1,08$$

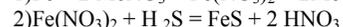
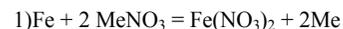
$$0,02x = 2,38$$

$$x = 119$$

M(Me) = 119 г/моль, такую молярную массу имеет олово.

2. Кусочек железа поместили в раствор нитрата неизвестного металла, который проявляет в соединениях ст. окисления +I. Масса образца металла увеличивается на 16г. Через полученный раствор Fe(NO) пропустили избыток HS, получив FeS массой 8,8г. Какой металл выделен из раствора?

Решение:



$$n(\text{FeS}) = 8,8/88 = 0,1 \text{ моль}$$

$$n(\text{FeS}) = n(\text{Fe(NO}_3)_2) = 0,1 \text{ моль}$$

В соответствии с уравнением реакции (1) из 1 моль Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> с пластинки растворяется 1 моль Fe(-56г) и выделяется 2 моль неизвестного Me - 2x, где x-M(Me).

$$1 \text{ моль Fe(NO}_3)_2 - \Delta m = -56 + 2x = 2x - 56$$

$$0,1 \text{ моль Fe(NO}_3)_2 - \Delta m = 16\text{г.}$$

$$1/0,1 = 2x-56/16; \quad (2x-56) * 0,1 = 16$$

$$2x = 216$$

x = 108, неизвестный металл – серебро.

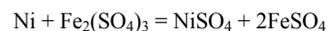
#### Задачи, “маскирующиеся под пластинку”

Здесь речь идет о взаимодействии менее активных металлов с растворами солей более активных металлов. Взаимодействие возможно, если соль проявляет окислительные свойства. Тогда любой металл будет взаимодействовать с этой солью как восстановитель, а не за счет вытеснения одного металла другим. Масса пластинки в этом случае меняется только за счет растворения с её поверхности вступающего в реакцию металла, пластинка остается однородной, другой металл на ее поверхности не выделяется.

1. Никелевую пластинку массой 25,9г опустили в 555г раствора Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> с массовой долей 0,1. После некоторого выдерживания пластинки в растворе ее вынули, при этом оказалось, что массовая доля Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> стала равной массовой доле образовавшейся соли никеля. Определите массу пластинки после того, как ее вынули из раствора.

Решение:

В ряду напряжений металлов Ni стоит дальше Fe и не способен вытеснять железо из солей, но соли трехвалентного железа проявляют окислительные свойства, с Ni, как любой металл, достаточно сильный восстановитель.



#### Расчеты по химическим формулам

1. Найдите относительную атомную массу кислорода, если масса атома кислорода равна  $2,66 * 10^{-23}$  г, а масса атома углерода  $1,99 * 10^{-23}$  г.

Дано:  
 $m_a(\text{O}) = 2,66 * 10^{-23} \text{ г}$

$m_a(\text{C}) = 1,99 * 10^{-23} \text{ г}$

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

Решение:

$$A_r(\text{X}) = \frac{m_a(\text{X})}{1/12 m_a(\text{C})}$$

$$A_r(\text{O}) = \frac{2,66 * 10^{-23}}{1/12 * 1,95 * 10^{-23}} = 16$$

Ответ:  $A_r(\text{O}) = 16$ .

2. Вычислить относительную молекулярную массу K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Дано:  
K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

$M_r(\text{K}_3\text{PO}_4) = ?$

Решение:

$$M_r(\text{K}_3\text{PO}_4) = 3 * A_r(\text{K}) + A_r(\text{P}) + 4 * A_r(\text{O})$$

$$A_r(\text{K}) = 39; \quad A_r(\text{P}) = 31; \quad A_r(\text{O}) = 16$$

$$M_r(\text{K}_3\text{PO}_4) = 3 * 39 + 31 + 4 * 16 = 212$$

Ответ:  $M_r(\text{K}_3\text{PO}_4) = 212$ .

3. Вычислите относительную молекулярную массу воды, если  $m_m(\text{H}_2\text{O}) = 2,99 * 10^{-23}$  г,  $m_a(\text{C}) = 1,99 * 10^{-23}$  г.

Дано:  
 $m_m(\text{H}_2\text{O}) = 2,99 * 10^{-23} \text{ г}$   
 $m_a(\text{C}) = 1,99 * 10^{-23} \text{ г}$   
 $M_r(\text{H}_2\text{O}) = ?$

Решение:

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_m(\text{H}_2\text{O})}{1/12 * m_a(\text{C})}$$

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,99 * 10^{-23}}{1/12 * 1,99 * 10^{-23}} = 18.$$

Ответ:  $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$ .

4. На весах отвесили 500г сульфата цинка. Какому количеству вещества это соответствует?

Дано:  
 $m(\text{ZnSO}_4) = 500\text{г}$   
 $n(\text{ZnSO}_4) = ?$

Решение:

$$n = m/M$$

$$M(\text{ZnSO}_4) = [M_r(\text{ZnSO}_4)]$$

$$M_r(\text{ZnSO}_4) = A_r(\text{Zn}) + A_r(\text{S}) + 4 * A_r(\text{O}) = 61 + 32 + 4 * 16 = 161$$

$$M(\text{ZnSO}_4) = 161\text{г/моль}$$

$$n(\text{ZnSO}_4) = 500\text{г}/161\text{г/моль} = 3,1\text{ моль}$$

Ответ:  $n(\text{ZnSO}_4) = 3,1\text{ моль}$ .

5. Сколько молекул содержится в H<sub>2</sub>O массой 54г, какова масса 1 молекулы H<sub>2</sub>O?

Дано:	Решение:
V(H <sub>2</sub> O)=54 г	N=n*Na
N(H <sub>2</sub> O)-?	1)Находим n(в-ва) массой 54г воды
m <sub>m</sub> (H <sub>2</sub> O)-?	N=m/M=54г/18г/моль=3моль
	2)Находим число молекул

$$N=3\text{моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} = 18,06 \cdot 10^{23} \text{молекул.}$$

3)Находим массу 1 молекулы H<sub>2</sub>O. Зная, что 1 моль H<sub>2</sub>O содержит 6,02\*10<sup>23</sup>молекул, их масса 18г, тогда масса 1 молекулы будет равна:

$$m_m(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{г} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{г.}$$

2-ой способ:

$$n = N/\text{Na} = m/M; \quad m = M \cdot N/\text{Na}$$

$$m_m(\text{X}) = M(\text{X}) \cdot N/\text{Na}; \quad N=1, \text{ т.к. для 1 молекулы, тогда}$$

$$m_m(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{г}/\text{моль} \cdot 1/6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{г.}$$

Ответ: N=18,06\*10<sup>23</sup>молекул,  
m<sub>m</sub>(H<sub>2</sub>O)=2,99\*10<sup>-23</sup>г.

6. Определите массовые доли химических элементов в H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Дано:	Решение:
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	ω(X)=X*Ar(X)/Mr(в-ва)
ω(H)-?	ω(H)=3*Ar(H)/Mr(H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )=3/98=0,0306 или 3,06%
ω(P)-?	ω(P)=Ar(P)/Mr(H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )=31/98=0,3163 или 31,63%
ω(O)-?	ω(O)=4*Ar(O)/Mr(H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )=64/98=0,6531 или 65,31%

Ответ: ω(O)=65,31%; ω(P)=31,63%; ω(H)=3,06%.

7. Массовая доля кислорода в оксиде трехвалентного металла равна 47,06%. Определите этот элемент и составьте формулу оксида.

Дано:	Решение:
Me <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mr(Me <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )=2*Ar(Me)+48
ω(O)=47,06%	ω(Me)=100-47,06=52,94%
Me-?	48мас.ч.- 47,06%
	2*Ar(Me)-52,94%

$$2 \cdot \text{Ar}(\text{Me}) = 48 \cdot 52,94 / 47,06 = 54$$

$$\text{Ar}(\text{Me}) = 54 / 2 = 27 \text{ - это алюминий}$$

Ответ: Al.

тогда m<sub>оставшаяся</sub>(CuSO<sub>4</sub>) = 8.4-3.2 = 5.2

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 5.2 / 55.84 = 0.093 \text{ или } 9,3\%.$$

3. Образец цинка массой 73г поместили в раствор NiSO<sub>4</sub> массой 240г. Через некоторое время масса образца составила 71,8 г. Определить массовую долю ZnSO<sub>4</sub> в растворе после реакции.

Решение:



$$\Delta m = 71.8 - 73 = -1.2 \text{г}$$

Δm имеет отрицательную величину, т.к. масса пластинки в ходе реакции уменьшается, до реакции она была больше, чем после реакции.

Значит m(раствора) после реакции увеличится на 1,2 г

$$m(\text{раствора после реакции}) = 240 + 1.2 = 241.2 \text{ г}$$

$$1 \text{ моль ZnSO}_4 - \Delta m = -65 + 59 = -6 \text{ г}$$

$$x \text{ моль ZnSO}_4 - \Delta m = -1.2 \text{ г}$$

$$1/x = -6/-1.2; \quad x = 0.2$$

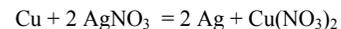
$$n(\text{ZnSO}_4) = 0.2 \text{ моль}$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 0.2 \cdot 161 = 32.2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 32.2 / 241.2 = 0.133 \text{ или } 13,3\%.$$

4. Чтобы посеребрить медную пластинку массой 10г её опустили в стакан, содержащий 250г нитрата серебра с w=20%. Когда пластинку вынули, оказалось, что масса AgNO<sub>3</sub> в растворе уменьшилась на 20%. Определите массу пластинки после реакции и массовую долю AgNO<sub>3</sub> в оставшемся растворе.

Решение:



В соответствии с условиями задачи прореагировало 20% от первоначального количества AgNO<sub>3</sub>

$$m(\text{AgNO}_3) = 250 \cdot 0.2 = 50 \text{ г}$$

$$m(\text{AgNO}_3) = 50 \cdot 0.2 = 10 \text{ г}$$

$$\text{тогда } m(\text{AgNO}_3) = 50 - 10 = 40 \text{ г}$$

$$n(\text{AgNO}_3) = 10 / 170 = 0.059 \text{ г}$$

Используем количество AgNO<sub>3</sub>, вступившего в реакцию для расчета Δm. В соответствии с уравнением реакции, если в реакцию вступает 2 моль AgNO<sub>3</sub> с пластинки в раствор уходит 1 моль Cu (-64) и на пластинке оседает 2 моль Ag (2 \* 108 = 216г).

$$2 \text{ моль AgNO}_3 - \Delta m = -64 + 216 = 152 \text{ г}$$

$$0,059 \text{ моль AgNO}_3 - \Delta m = X \text{ г}$$

$$2/0.059 = 152/x; \quad 2x = 0.059 \cdot 152; \quad x = 4.484 \text{ г}$$

$$\Delta m = 4.484 \text{ г}$$

$$m = 10 + 4.484 = 14.484 \text{ г}$$

Масса раствора в ходе реакции уменьшится на такую же величину.

$$m(\text{р-ра после р-ции}) = 250 - 4,484 = 245,516 \text{ г}$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = 40 / 245.516 = 0.163 \text{ или } 16,3\%.$$

Определение неизвестных веществ с использованием Δm.

1. Цинковую пластинку поместили в раствор массой 50г, содержащий сульфат неизвестного металла. Металл в сульфате имеет ст. окисления +2. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 1,08г. Массовая доля сульфата Zn в растворе при этом составила 6,58%. Какой металл выделился на пластинке?

$$m(\text{Sn}) = 0,04 * 119 = 4,76 \text{ г.}$$

По уравнению реакции:

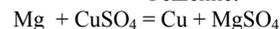
$$n(\text{Mn}) = n(\text{Sn}) = 0,04 \text{ моль}; m(\text{Mn}) = 0,04 * 55 = 2,2 \text{ г.}$$

Расчет массовых долей веществ в растворах с использованием  $\Delta m$

По закону сохранения массы веществ в химических реакциях, масса раствора меняется также, как масса пластинки, но с противоположным знаком. Эти задачи легче решать на основе алгоритма 2.

1. В раствор сульфата меди массой 248 г поместили порошок магния массой 20 г. Через некоторое время металлический осадок собрали и высушили. Его масса составила 28г. Определить массовую долю сульфата магния в полученном растворе.

Решение:



Чтобы рассчитать массовую долю  $\text{MgSO}_4$  в растворе после реакции, надо знать массу раствора после реакции.

По условию задачи рассчитаем изменение массы металла в ходе реакции:

$$\Delta m = 28 - 20 = 8 \text{ г}$$

От  $\Delta m$  можно перейти к любому веществу.

Если в растворе образуется 1 моль  $\text{MgSO}_4$ , в реакцию вступает 1 моль  $\text{Mg}$  (-24г) и выделяется 1 моль  $\text{Cu}$  (+64 г)

$$1 \text{ моль } \text{MgSO}_4 - \Delta m = (-24) + 64 = 40 \text{ г}$$

$$x \text{ моль } \text{MgSO}_4 - \Delta m = 8 \text{ г}$$

$$1/x = 40/8; \quad x = 8/40 = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{MgSO}_4) = 2 \text{ моль}$$

$$m(\text{MgSO}_4) = 2 * 120 = 24 \text{ г}$$

Если масса пластинки увеличилась на 8 г,  $m$  (р-ра) уменьшилась на такую же величину.

$$m(\text{р-ра после реакции}) = 248 - 8 = 240 \text{ г}$$

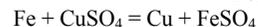
$$\omega(\text{MgSO}_4) = 24/240 = 0,1 \text{ или } 10\%$$

2. Железная пластинка массой 5г опущена в 50 мл 15-% раствора  $\text{CuSO}_4$  ( $\rho = 1,12 \text{ г/мл}$ ).

После того, как пластинку вынули, ее масса составила 5,16г. Какова массовая доля

$\text{CuSO}_4$  в оставшемся растворе?

Решение:



$$\Delta m = 5,16 - 5 = 0,16 \text{ г}; \quad m(\text{р-ра}) \text{ уменьшится на } 0,16 \text{ г.}$$

$$m(\text{р-ра}) = 1,12 * 50 = 56 \text{ г}$$

$$\text{после реакции } m(\text{р-ра}) = 56 - 0,16 = 55,84 \text{ г}$$

Используем  $\Delta m$  для расчета прореагировавшего количества  $\text{CuSO}_4$ . В соответствии с уравнением реакции масса пластинки меняется за счет того, что с пластинки растворяется 1 моль  $\text{Fe}$  (-56 г), на ней оседает 1 моль  $\text{Cu}$  (+64 г),

При этом в реакцию вступило 1 моль  $\text{CuSO}_4$

$$1 \text{ моль } \text{CuSO}_4 - \Delta m = -56 + 64 = 8 \text{ г}$$

$$x \text{ моль } \text{CuSO}_4 - \Delta m = 0,16 \text{ г}$$

$$1/x = 8/16; \quad x = 0,16/8 = 0,02; \quad n(\text{CuSO}_4) = 0,02 \text{ моль}$$

$$m(\text{CuSO}_4) = 0,02 * 160 = 3,2 \text{ г}$$

$$m_{\text{исходная}}(\text{CuSO}_4) = 56 * 0,15 = 8,4 \text{ г}$$

8. Массовая доля кристаллизационной воды в железном купоросе составляет 45,3%.

Определить число молекул воды в формуле железного купороса ( $\text{FeSO}_4 * n\text{H}_2\text{O}$ ).

Дано:

$$\text{FeSO}_4 * n\text{H}_2\text{O}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 45,3\%$$

N-?

Решение:

$$1) \omega_{\text{без в.}}(\text{FeSO}_4) = 100 - 45,3 = 54,7\%$$

$$2) M(\text{FeSO}_4) = 152$$

$$152 \text{ мас.ч. соответствуют } 54,7\%$$

$$x \text{ мас.ч.} - 45,3\%$$

$$X = 152 * 45,3 / 54,7 = 126$$

$$Ar(n\text{H}_2\text{O}) = 126$$

$$3) n(\text{H}_2\text{O}) = Ar(n\text{H}_2\text{O}) / Ar(\text{H}_2\text{O}) = 126 / 18 = 7$$

Ответ:  $\text{FeSO}_4 * 7\text{H}_2\text{O}$ .

9. Вычислите, какая масса углерода содержится в 90г этана  $\text{C}_2\text{H}_6$

Дано:

$$m(\text{C}_2\text{H}_6) = 90 \text{ г}$$

$$m(\text{C}) - ?$$

Решение:

$$M(\text{C}_2\text{H}_6) = 30 \text{ г/моль}$$

$$N(\text{C}_2\text{H}_6) = m/M = 90 \text{ г} / 30 \text{ г/моль} = 3 \text{ моль}$$

1 моль  $\text{C}_2\text{H}_6$  содержит 2 моль  $\text{C}$ , т.е.  $n(\text{C}) = 2 * n(\text{C}_2\text{H}_6) = 2 * 3 = 6 \text{ моль}$

$$m(\text{C}) = n * M = 6 \text{ моль} * 12 \text{ г/моль} = 72 \text{ г}$$

Ответ:  $m(\text{C}) = 72 \text{ г}$ .

10. Вычислите, в какой массе оксида фосфора(III)  $\text{P}_2\text{O}_3$  содержится 6,2г фосфора.

Дано:

$$\text{P}_2\text{O}_3$$

$$m(\text{P}) = 6,2 \text{ г}$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_3) - ?$$

Решение:

$$M(\text{P}_2\text{O}_3) = 110 \text{ г/моль}$$

$$n(\text{P})/n(\text{P}_2\text{O}_3) = 2/1; \quad n(\text{P}_2\text{O}_3) = n(\text{P})/2$$

$$n(\text{P}) = m/M = 6,2/31 = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{P}_2\text{O}_3) = 0,2/2 = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_3) = n * M = 0,1 * 110 = 11 \text{ г}$$

Ответ:  $m(\text{P}_2\text{O}_3) = 11 \text{ г}$ .

11. Вычислить, сколько молекул содержится в 36г  $\text{H}_2\text{O}$ . В каком объеме метана ( $n.v.$ ) столько же молекул?

Дано:

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

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

$$V(\text{CH}_4) - ?$$

Решение:

$$N = n * Na$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 36/18 = 2 \text{ моль}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1} * 2 \text{ моль} = 12,04 * 10^{23} \text{ молекул}$$

$$N(\text{CH}_4) = 12,04 * 10^{23} \text{ молекул}$$

$$n(\text{CH}_4) = N/Na = 12,04 * 10^{23} / 6,02 * 10^{23} = 2 \text{ моль.}$$

$$V = n * V_m = 2 * 22,4 \text{ л/моль} = 44,8 \text{ л}$$

Ответ:  $N(\text{H}_2\text{O}) = 12,04 * 10^{23} \text{ молекул}$ ,

$$V(\text{CH}_4) = 44,8 \text{ л.}$$

12. Сколько молей атомов углерода в 15г CH<sub>3</sub>COOH?

Дано: m(CH <sub>3</sub> COOH)=15 г n(C)=?	Решение: n=m/M
---	-------------------

$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{CH}_3\text{COOH}) / M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 15 \text{ г} / 60 \text{ г/моль} = 0,25 \text{ моль}$   
 1 моль CH<sub>3</sub>COOH содержит 2 атома С, поэтому:  
 $n(\text{C}) = 2 * n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2 * 0,25 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}$   
Ответ: n(C)=0,5 моль.

13. Чему равно общее число атомов в 3г этана?

Дано: m(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )=3 г N(атомов)-?	Решение: n=m/M; N=n*Na Найдем n(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )=m/M=3/30=0,1 моль
---	---

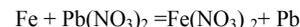
$N(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,1 * 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 6,02 * 10^{22}$   
 1 молекула C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> содержит всего 8 атомов (2С и 4Н) поэтому:

$N(\text{атомов}) = 8 * N(\text{C}_2\text{H}_6) = 8 * 6,02 * 10^{22} = 48,16 * 10^{22}$   
Ответ: N(атомов)=48,16\*10<sup>22</sup>.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Найти относительную атомную массу кислорода, если один атом кислорода имеет массу  $2,7 * 10^{-23}$  г.
2. Вычислите относительную молекулярную массу веществ состава: а) CO<sub>2</sub>; б) HNO<sub>3</sub>; в) CuSO<sub>4</sub>; г) Cu(OH)<sub>2</sub>.
3. Рассчитайте массу 2 моль оксида меди (II), 0,5 моль серной кислоты; 0,1 моль хлорида натрия; 0,1 моль кислорода.
4. На одну чашку весов поместили 0,5 моль оксида меди (II). Какое количество оксида железа (III) необходимо поместить на другую чашку весов, чтобы они были в равновесии?
5. Какое вещество содержит больше составных частиц: бор массой 1 г или медь массой 1 г? Ответ подтвердите расчётами.
6. Какой должна быть масса магния, чтобы она содержала столько же атомов, сколько их содержится в веществе железа массой 28 г?
7. Сколько молекул воды содержится в воде объёмом 1мл?
8. Какое вещество содержит больше молекул: вода массой 1 г или сероводород массой 1 г? Ответ подтвердите расчётами.
9. Одинаковое ли число молекул в 1 л воды и в 1 л серной кислоты, плотность которой 1831 кг/м<sup>3</sup>? Ответ подтвердите расчётами.
10. Определите объём (н.у.), который займёт при нормальных условиях газовая смесь, содержащая водород массой 1,4 г и азот массой 5,6 г.
11. Рассчитайте массу фосфина, содержащего столько же электронов, что и 8,96 л бромоводорода.

4. После погружения железной пластины массой 8 г в 50 мл раствора нитрата свинца (II) с массовой долей 15% и плотностью 1,32 г/мл количество нитрата свинца в растворе уменьшилось втрое. Какой стала масса пластинки?



В условии задачи четко оговорено, сколько прореагировало нитрата свинца: количество нитрата свинца в растворе уменьшилось втрое, значит, по нитрату свинца следует вести расчет:

$$m(\text{р-ра}) = V * \rho = 50 \text{ мл} * 1,32 \text{ г/мл} = 66 \text{ г}.$$

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m * w = 66 * 0,15 = 9,9 \text{ г}.$$

$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m / M = 9,9 / 331 = 0,03 \text{ моль} \text{ – до реакции}$$

После реакции

$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 1/3 n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 1/3 * 0,03 = 0,01 \text{ моль}$$

Значит, прореагировало:  $n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,03 - 0,01 = 0,02 \text{ моль}$

По уравнению реакции:

1 моль Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - Δ m = (-56)+207 = 151 г (1 моль Fe растворился -56 г, 1 моль свинца выделился: +207 г)

$$0,02 \text{ моль Pb}(\text{NO}_3)_2 - \Delta m = x,$$

Пропорция:

$$1 : 0,02 = 151 : x$$

$$x = 151 * 0,02 = 3,02$$

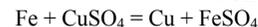
m = 3,02 г. – масса пластинки увеличилась на 3,02 г.

$$m_{\text{пласт. после р-ции}} = 8 + 3,02 = 11,02 \text{ г}.$$

Расчеты с использованием Δ m.

1. Железную пластинку массой 20,4 г опустили в раствор сульфата меди. Какая масса железа перешла в раствор к моменту, когда масса пластинки составила 22 г?

Решение:



$$\Delta m = 22 - 20,4 = 1,6 \text{ г}$$

$$\Delta m = m(\text{Cu})_{\text{выделившейся}} - m(\text{Fe})_{\text{растворившегося}}$$

Пусть n(Fe) = x моль

По уравнению реакции, n(Fe)<sub>прореагир.</sub> = n(Cu)<sub>выделивш.</sub>

$$\text{Тогда } m(\text{Fe})_{\text{прореаг.}} = 56 x$$

$$m(\text{Cu})_{\text{выделивш.}} = 64 x$$

$$\Delta m = 64x - 56x = 8x = 1,6$$

$$x = 0,2 \text{ , т.е. } n(\text{Fe}) = 0,2$$

$$m(\text{Fe}) = 0,2 * 56 = 11,2 \text{ г}.$$

2. Деталь из марганца опустили в р-р сульфата олова (II). Через некоторое время масса детали увеличилась на 2,56 г. Какая масса олова осела на детали? Какая масса марганца перешла в раствор?

Решение:



$$\Delta m = 2,56 \text{ г}$$

1 моль Sn выд-ся на пластинке

x моль Sn

$$1/x = 64/2,56; \quad x = 0,04$$

$$n(\text{Sn}) = 0,04 \text{ моль}$$

$$1 \text{ моль Mn рас-ся } \Delta m = (-55) + 119 = 64 \text{ г}$$

$$\Delta m = 2,56 \text{ г}$$

$m(\text{Cu})_{\text{выделившейся}} = 0,02 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 1,28 \text{ г}$ .

По уравнению реакции 2,  $n(\text{CuSO}_4) = n(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} = n(\text{Cu})_{\text{выделившейся}} = 0,03 \text{ моль}$

Значит,  $m(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} = 0,03 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 1,95 \text{ г}$ ,

$m(\text{Cu})_{\text{выделившейся}} = 0,03 \text{ моль} \cdot 112 \text{ г/моль} = 3,36 \text{ г}$ .

Изменение массы пластинки в результате обеих реакций равно разнице между массой выделяющихся меди и кадмия и растворяющегося цинка:

$m = 3,36 \text{ г} + 1,28 \text{ г} - 1,95 \text{ г} - 1,3 \text{ г} = 1,39 \text{ г}$ , то есть масса пластинки увеличится на 1,39 г.

Алгоритм 2: в соответствии с уравнением 1, если реагирует 1 моль сульфата меди, с пластинки растворяется 1 моль цинка (и «уносит» с собой 65 г от исходной массы), но на пластинке выделяется 1 моль меди (принося с собой увеличение массы на 64 г).

1 моль  $\text{CuSO}_4$   $\Delta m = (-65\text{г}) + 64\text{г} = (-1 \text{ г})$ -масса пластинки при реакции 1 уменьшается 0,02 моль  $\text{CuSO}_4$   $\Delta m = x \text{ г}$

На основании соотношения можно составить пропорцию:  $1:0,02 = (-1):x$ .

Отсюда:  $x = -0,02 \text{ г}$ .

То есть, в ходе первой реакции масса пластинки уменьшается на 0,02 г. По уравнению 2, когда реагирует 1 моль сульфата кадмия, с пластинки растворяется 1 моль цинка, уменьшая массу пластинки на 65 г, и на пластинке выделяется 1 моль кадмия, увеличивая массу пластинки —112 г.

Соотношение: 1 моль  $\text{CuSO}_4$   $\Delta m = (-65\text{г}) + 112\text{г} = 47\text{г}$  масса пластинки увеличивается 0,03 моль  $\text{CuSO}_4$   $\Delta m = x \text{ г}$ .

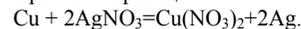
Пропорция:  $1:0,03 = 47:x$ ,

$x = 47 \cdot 0,03 = 1,41 \text{ г}$ . За счёт протекания второй реакции масса пластинки увеличивается на 1,41 г.

$\Delta m_{\text{общая}} = 1,41 - 0,02 = 1,39 \text{ г}$ .

### 3. В раствор нитрата серебра массой 340г с массовой долей соли 10% опущена медная пластинка массой 16 г. Рассчитать массу пластинки после окончания реакции.

Уравнение реакции:



Масса пластинки меняется за счёт растворения с неё 1 моль меди и выделения 2 моль серебра. Но сначала нужно определить, который из реагентов в избытке, а какой реагирует полностью. Рассчитаем количества вещества реагентов:  $n = m/M$ ,  $n(\text{Cu}) = 16 \text{ г} : 64 \text{ г/моль} = 0,25 \text{ моль}$ ;

$m(\text{чистого вещества}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\%): 100\%$ ,

$m(\text{AgNO}_3) = 340 \text{ г} \cdot 0,1 = 34 \text{ г}$ ;  $n(\text{AgNO}_3) = 34 \text{ г} : 170 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$ .

Проверка «на избыток»  $n(\text{Cu}) : n(\text{AgNO}_3) = 1 : 2$  - по уравнению, 0,25; 0,2- по условию.

Очевидно, что нитрат серебра в недостатке. По количеству нитрата серебра будем отвечать на вопрос задачи, используя алгоритм 2.

По уравнению реакции: 2 моль  $\text{AgNO}_3$   $\Delta m = (-64 \text{ г}) + 2 \cdot 108 = 152$

По условию задачи: 0,2 моль  $\text{AgNO}_3$   $\Delta m = x \text{ г}$ .

Пропорция:  $2:0,2 = 152:x$ ,

$2x = 152 \cdot 0,2 = 30,4$   $x = 15,2$ .

$m = 15,2 \text{ г}$ . Ответ :  $m(\text{пластинки после реакции}) = 16 \text{ г} + 15,2 = 31,2 \text{ г}$ .

## Расчеты по химическим уравнениям

В основе расчетов по химическим уравнениям лежит закон сохранения массы (Ломоносов, Лавуазье), согласно которому общая масса всех веществ, вступивших в химическую реакцию, равна общей массе всех продуктов реакции.

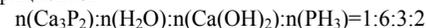
Равенство этих масс обусловлено тем, что все атомы, из которых состояли реагенты, переходят в продукты реакции; «лишних» атомов в результате разрушения исходных веществ и образования новых не оказывается.

Равенства чисел атомов каждого элемента добавляются, находя коэффициенты, превращающие схему реакции в уравнение реакции:



числа атомов каждого элемента в правой и левой части одинаковы.

Коэффициенты в уравнении реакции показывают наименьшее число молекул (структурных единиц) вещества, вступающих в химическую реакцию и образующихся в результате нее. Поскольку число молекул пропорционально числу молей, то молярные соотношения участвующих в реакции веществ равны отношениям соответствующих коэффициентов



Очевидно, что, зная число молей одного из участвующих в реакции веществ (реагента или продукта) и составив уравнение данной реакции, легко рассчитать количество (число молей) любого вещества. Поэтому именно в молях удобнее всего производить расчет по уравнениям реакций. Особенно целесообразен такой подход при решении задач, связанных с многостадийным превращением веществ.

### 1. Алюминий массой 13,5г растворили в избытке HCl. Какой объем $\text{H}_2$ (при н.у.) выделится при этом? Какую массу хлорида алюминия можно извлечь из полученного раствора?

Дано:

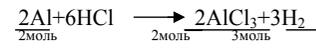
$M(\text{Al}) = 13,5 \text{ г}$

н.у.

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

$M(\text{AlCl}_3)$  -?

Решение:



1)  $n(\text{Al})/n(\text{AlCl}_3) = 2/2$ , то есть  $n(\text{Al}) = n(\text{AlCl}_3)$

$n(\text{Al}) = m/M = 13,5/27 = 0,5 \text{ моль}$

$N(\text{AlCl}_3) = 0,5 \text{ моль}$ ,  $m(\text{AlCl}_3) = n \cdot M = 0,5 \cdot 133,5 = 66,75 \text{ г}$

2)  $n(\text{Al})/n(\text{H}_2) = 2/3$ ;  $n(\text{H}_2) = n(\text{Al}) \cdot 3/2 = 0,5 \cdot 3/2 = 0,75 \text{ моль}$ .

$V(\text{H}_2) = n \cdot V_m = 0,75 \cdot 22,4 = 16,8 \text{ л}$ .

Ответ:  $V(\text{H}_2) = 16,8 \text{ л}$ .  $m(\text{AlCl}_3) = 66,75 \text{ г}$ .

### 2. $\text{H}_2\text{S}$ сожгли в избытке $\text{O}_2$ . Весь полученный сернистый газ окислили $\text{O}_2$ до оксида $\text{S(6)}$ , который растворили в $\text{H}_2\text{O}$ . Минимальная масса $\text{NaOH}$ , необходимая для полной нейтрализации полученного раствора, равна 10г. Какой $V(\text{H}_2\text{S})$ н.у. был взят для сжигания?

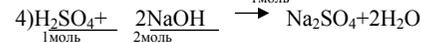
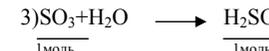
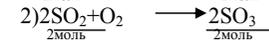
Дано:

$m(\text{NaOH}) = 10 \text{ г}$

н.у.

$V(\text{H}_2\text{S})$  -?

Решение:



$n(\text{NaOH}) = m/M = 10/40 = 0,25 \text{ моль}$

по 4 ур-ю  $n(\text{H}_2\text{SO}_4)/n(\text{NaOH}) = 1/2$ ;  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{NaOH})/2 = 0,25/2 = 0,125 \text{ моль}$ .

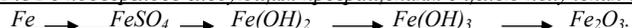
По ур-ям 3,2,1

$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_3)$

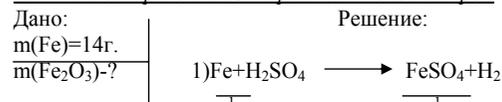
$n(\text{SO}_3)=n(\text{SO}_2)$   
 $n(\text{SO}_2)=n(\text{H}_2\text{S})$ , т.е.  $n(\text{H}_2\text{S})=n(\text{H}_2\text{SO}_4)=0,125$  моль.  
 $V(\text{H}_2\text{S})=n \cdot V_m=0,125 \cdot 22,4=2,8$  л.

Ответ:  $V(\text{H}_2\text{S})=2,8$  л.

3. 14г Fe подверглось следующим превращениям с целью получения оксида железа (III)



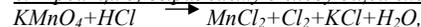
Какова масса конечного продукта, если все реакции проводились с достаточным количеством реагентов и протекали без потерь?



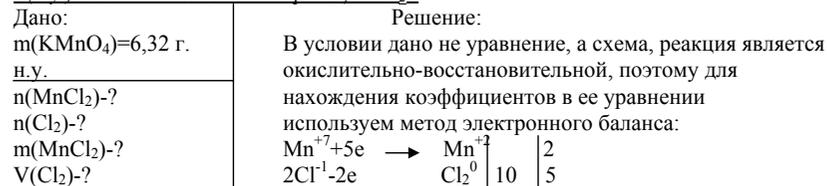
$n(\text{Fe}_2\text{O}_3)=n(\text{Fe(OH)}_3)/2=n(\text{Fe})/2$   
 $n(\text{Fe})=m/M=14/56=0,25$  моль.  
 $n(\text{Fe}_2\text{O}_3)=0,25/2=0,125$  моль.  
 $m(\text{Fe}_2\text{O}_3)=n \cdot M=0,125 \cdot 160=20$  г.

Ответ: 20 г.

4. В реакцию, выражаемую следующей схемой:



вступило 6,32г перманганата калия. Сколько молей хлорида марганца (II) и сколько молей хлора образовалось в результате реакции? Какова масса полученного  $\text{MnCl}_2$  и каков  $V(\text{n.у.})$  выделившегося в ходе реакции  $\text{Cl}_2$ ?



$1)n(\text{KMnO}_4)/n(\text{MnCl}_2)=2/2$ ;  $n(\text{KMnO}_4)=n(\text{MnCl}_2)$ .

$n(\text{KMnO}_4)=m/M=6,32/158=0,04$  моль.

$n(\text{MnCl}_2)=0,04$  моль

$m(\text{MnCl}_2)=n \cdot M=0,04 \cdot 126=5,04$  г.

$2)n(\text{KMnO}_4)/n(\text{Cl}_2)=2/5$ ;  $n(\text{Cl}_2)=n(\text{KMnO}_4) \cdot 5/2=0,04 \cdot 5/2=0,1$  моль.

$V(\text{Cl}_2)=n \cdot V_m=0,1 \cdot 22,4=2,24$  л.

5. При взаимодействии 8,1г некоторого металла с кислородом был получен оксид массой 15,3г. Определите, какой металл был взят, если известно, что в оксиде он трехвалентен.

В дальнейших рассуждениях возможны два пути: в первом случае отдельно подсчитываются массы растворившегося и выделившегося металлов, а во втором используется величина «изменение массы пластинки-  $\Delta m$ »

Первый принцип решения легче воспринимается учащимися, второй даёт больше возможностей в рассуждениях, позволяет использовать одинаковую логику в работе с разными разновидностями данного типа задач.

1-й принцип рассуждений: используя количество нитрата свинца, рассчитаем массы цинка, растворившегося с пластинки, и свинца, выделившегося на пластинке:

$n(\text{Pb(NO}_3)_2) : n(\text{Zn})_{\text{прореагировавшего}} = 1:1$ , значит,

$n(\text{Zn})_{\text{прореагировавшего}} = n(\text{Pb(NO}_3)_2) = 0,04$  моль;

$n(\text{Pb(NO}_3)_2) : n(\text{Pb}) = 1:1$ , следовательно,

$n(\text{Pb})_{\text{выделившегося}} = n(\text{Pb(NO}_3)_2) = 0,04$  моль.

Найдём массы растворившегося и выделившегося металлов:  $m=n \cdot M$

$m(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} = 0,04 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 2,6$  г;

$m(\text{Pb})_{\text{выделившегося}} = 0,04 \text{ моль} \cdot 207 \text{ г/моль} = 8,28$  г.

Тогда масса пластинки после реакции равна:

$m(\text{Zn})_{\text{начальная}} - m(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} + m(\text{Pb})_{\text{выделившегося}} = 60 \text{ г} - 2,6 \text{ г} + 8,28 \text{ г} = 65,68$  г.

2-й принцип рассуждений: в соответствии с уравнением реакции, в реакцию вступает 1 моль нитрата свинца, и при этом с поверхности пластинки растворяется 1 моль цинка и на пластинке оседает 1 моль свинца. Растворяющийся цинк «снимает» с пластинки 65 г, в соответствии с его молярной массой, выделяющийся свинец «принесит» на пластинку 207 г, также в соответствии с его молярной массой. Можно составить соотношение, являющееся основой для пропорции:

реагирует 1 моль  $\text{Pb(NO}_3)_2$  -  $\Delta m = (-65 \text{ г}) + 207 \text{ г} = 142 \text{ г}$

0,04 моль  $\text{Pb(NO}_3)_2$  -  $\Delta m = x \text{ г}$

Пропорция:

1: 0,04 = 142 : x.

По основному свойству пропорции:  $x = 0,04 \cdot 142 = 5,68$  г. Мы получили значение  $\Delta m$  - изменение массы пластинки в ходе реакции. Значит, масса пластинки после реакции равна:

$m_{\text{исходная}} + \Delta m = 60 \text{ г} + 5,68 \text{ г} = 65,68$  г.

Если используется алгоритм 2, величина  $\Delta m$  может получиться и положительной, и отрицательной. Отрицательное значение  $\Delta m$  соответствует уменьшению массы пластинки в ходе реакции, то есть масса растворяющегося металла больше, чем масса выделяющегося металла.

2. В раствор, содержащий 3,2 г безводного сульфата меди (2) и 6,24 г безводного сульфата кадмия, погрузили цинковую пластинку. Определите, на сколько увеличится масса пластинки, если полностью вытеснить из раствора медь и кадмий.

В первую очередь цинк будет вытеснять из раствора медь, а потом уже кадмий так как в ряду напряжений металлов медь стоит дальше кадмия, следовательно, относительная способность её ионов выше, чем ионов кадмия.

Реакция 1:  $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$

Реакция 2:  $\text{Zn} + \text{CdSO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{Cd}$

Фраза из условия задачи о полном вытеснении из раствора меди и кадмия означает, что сульфат меди и сульфат кадмия вступают в реакцию полностью, и по количествам этих солей следует вести расчёты. Определим количество вещества солей:  $n=m/M$

$n(\text{CuSO}_4) = 3,2 \text{ г} : 160 \text{ г/моль} = 0,02$  моль,

$n(\text{CdSO}_4) = 6,24 \text{ г} : 208 \text{ г/моль} = 0,03$  моль.

Алгоритм 1: по уравнению реакции 1,  $n(\text{CuSO}_4) = n(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} = n(\text{Cu})_{\text{выделившейся}} = 0,02$  моль.

Тогда:  $m(\text{Zn})_{\text{растворившегося}} = 0,02 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 1,3$  г,

приемом, т.к. избыток щелочи остается в растворе после реакции и вносит свой вклад в окончательную массу;

2) можно внимательно проследить, какие вещества присутствуют в растворе после реакции и сложить их массы. Здесь важно не потерять воду, которая содержится в исходном растворе щелочи, а также ту воду, которая может образоваться одновременно с солью после реакции. Если вода участвует в образовании соли (дигидроортофосфата в предыдущей задаче), то массу прореагировавшей H<sub>2</sub>O следует вычитать из массы раствора после реакции.

Оба способа приводят к одинаковому результату, поскольку в рассматриваемой задаче нет избытка реагентов, применим 1 алгоритм рассуждений:

$$m(\text{p-ра после р-ции})=m(\text{SO}_2)=m(\text{p-ра щелочи})$$

$$m(\text{SO}_2)=n \cdot M=8 \cdot 64=512 \text{ г}$$

$$m(\text{p-ра после р-ции})=512+2560=3072 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaHSO}_3)=m(\text{NaHSO}_3)/m(\text{p-ра после р-ции})=832/3072=0,27 \text{ или } 27\%$$

### Задачи на «пластинки»

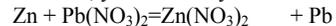
Задачи с условным названием «на изменение массы пластинок» - одни из самых сложных в школьном курсе химии. В задачи этого типа говорится о взаимодействии металла с солью менее активного металла, в результате чего более атомы, более активного металла замещают в составе соли атомы менее активного металла. Работать с задачами данного типа целесообразно либо в курсе 9 класса, при изучении темы «Химические свойства металлов» либо в 11 классе, в теме «Общий обзор металлов». Можно выделить несколько разновидностей задач указанного типа и два разных подхода к их решению.

Масса условной пластинки, первоначально образованной вступающим в реакцию более активным металлом, меняется за счёт двух процессов: растворения с поверхности пластинки более активного металла и выделения на ней менее активного металла. После реакции пластинка становится «слоёной»: верхний слой - вытесненный из соли менее активный металл, внутри - оставшийся после реакции исходный металл. Изменение массы пластинки формируется как разницы масс прореагировавшего и выделившегося металлов. Важно, чтобы при решении задачи учащиеся старались представить эти реально происходящие процессы, а не относились к решению формально, как к последовательности абстрактных расчётов.

#### Расчёт массы пластинки после реакции или изменения массы пластинки

*1. Образец цинка массой 60 г поместили в раствор массой 200 г с массовой долей нитрата свинца 6,62%. Определите массу металла после окончания реакции, считая, что весь выделившийся металл остался на образце.*

Реакция, указанная в условии задачи, выражается следующим уравнением:



Во-первых, в этой задаче присутствует элемент «избыток-недостаток», так как даны количественные сведения об обоих реагирующих веществах. Сначала следует определиться, какое вещество взято в избытке, а какое реагирует полностью, и именно по реагирующему полностью веществу вести расчёты. Определим количество вещества реагентов и сравним их:  $n=m/M$ ,  $n(\text{Zn})=60 \text{ г} : 65 \text{ г/моль}=0,923 \text{ моль}$ ,  $m(\text{растворённого вещества})=m(\text{раствора}) \cdot \omega(\%) \cdot 100\%$ ,  $m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)=200 \text{ г} \cdot 6,62\% \cdot 100\%=13,24 \text{ г}$ ,  $n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)=13,24 \text{ г} : 331 \text{ г/моль}=0,04 \text{ моль}$ .

Проверка «на избыток»:  $n(\text{Zn}) : n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)=1:1$  по уравнению реакции  $0,923 : 0,04$  - по условию задачи.

Очевидно, что цинк в избытке, расчёты следует вести по нитрату свинца.

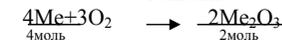
Дано:

$$m(\text{Me})=8,1 \text{ г.}$$

$$m(\text{Me}_2\text{O}_3)=15,3 \text{ г.}$$

Me-?

Решение:



1-способ.

Пусть  $M(\text{Me})=x \text{ г/моль}$ .

$$M(\text{Me}_2\text{O}_3)=(2x+48) \text{ г/моль. Тогда}$$

$$n(\text{Me})=m(\text{Me})/M(\text{Me})=8,1/x=8,1/x \text{ моль.}$$

$$n(\text{Me}_2\text{O}_3)=m(\text{Me}_2\text{O}_3)/M(\text{Me}_2\text{O}_3)=15,3/(2x+48)=15,3/(2x+48) \text{ моль.}$$

$$n(\text{Me})/n(\text{Me}_2\text{O}_3)=4/2=2/1; n(\text{Me})=2n(\text{Me}_2\text{O}_3)$$

$$8,1/x=2 \cdot 15,3/(2x+48); x=27\text{-это алюминий.}$$

2-способ.

1-й закон сохранения массы.

$$m(\text{Me})+m(\text{O}_2)=m(\text{Me}_2\text{O}_3)$$

$$m(\text{O}_2)=m/M=7,2/32=0,225 \text{ моль.}$$

$$n(\text{Me})/n(\text{O}_2)=4/3; n(\text{Me})=4/3n(\text{O}_2)$$

$$n(\text{Me})=(4/3) \cdot 0,225=0,3 \text{ моль.}$$

$$n=m/M; M=m/n; m(\text{Me})=8,1/0,3=27 \text{ г/моль, значит это - Al.}$$

Ответ: Алюминий.

#### Задачи для самостоятельного решения:

1. Какая масса оксида образуется при сжигании 6 г магния?
2. Какая масса осадка образуется при взаимодействии 4г гидроксида натрия с необходимым количеством сульфата меди (II)?
3. Какой объём кислорода (н.у.) требуется для окисления 7,8 г калия?
4. Сколько молекул пероксида водорода требуется для получения 8 г кислорода?
5. Какой объём аммиака образуется из 12 г водорода при н.у.?
6. Рассчитать массы исходных веществ, необходимых для получения 40 г сульфата меди (II) реакцией обмена.
7. Какова масса соли, образующейся при взаимодействии достаточного количества магния с азотной кислотой массой 6,3г?
8. Какая масса соли получится при взаимодействии гидроксида калия и 9.8 г серной кислоты?
9. Рассчитать массы исходных веществ, необходимых для получения 6,8 г хлорида цинка реакцией замещения.

### Задачи на растворы

В курсе неорганической химии учащиеся знакомятся с понятиями раствора, концентрации, способами ее выражения, а также с соответствующими вычислениями. Вариантов задач с этими понятиями много и решить их все при изучении одной темы в 8 классе невозможно. Поэтому, учитывая практическое и образовательное значение темы и умений производить вычисления, расчетные задачи «на растворы» следует постоянно включать в изучение всего последующего курса химии 8-11 классов.

Эти задачи в зависимости от основного вопроса задачи можно условно разделить на 3 группы:

- 1) задачи, в которых требуется проведение вычислений по приготовлению растворов;
- 2) задачи на вычисление отдельных компонентов и свойств растворов;
- 3) задачи, требующие вычисления концентрации растворов и растворимости веществ.

При решении задач необходимо научить учащихся пользоваться справочниками и графиками, при помощи которых определяют в случае необходимости плотности растворов, растворимость веществ и т.д.

Очень полезно включать в обучение расчеты, связанные с определением приближенных значений концентраций растворов или приготовлением растворов приблизительной концентрации, т.к. во многих случаях точная концентрация раствора не требуется.

Для выражения количественного состава растворов используются различные способы. В школьном курсе химии изучаются:

- 1) массовая доля растворенного вещества;
  - 2) задачи на кристаллогидраты;
  - 3) молярная концентрация.
- $\omega_{р.в.} = m_{р.в.} / m_{р-ра}$ ;  $m_{р-ра} = \omega_{р.в.} * m_{р-ра}$   
 $m = V * \rho$ ;  $\rho = m_{р-ра} / V_{р.в.}$

#### Массовая доля растворённого вещества

1. В 175г H<sub>2</sub>O растворили 25г нитрата калия. Чему равна массовая доля KNO<sub>3</sub> в полученном растворе?

<p>Дано:  <math>m(H_2O)=175г</math>  <math>m(KNO_3)=25г</math>  <math>\omega(KNO_3)-?</math></p>	<p>Решение:  <math>\omega_{р.в.} = m_{р.в.} / m_{р-ра}</math>  <math>m_{р-ра} = m(H_2O) + m(KNO_3) = 175 + 25 = 200г</math>  <math>\omega_{р.в.} = (KNO_3) = 25 / 200 = 0,125</math> или 12,5%</p>
--	--

2. Вычислить массу H<sub>2</sub>O, в которой нужно растворить 25г сахара, чтобы получить раствор с массовой долей растворенного вещества 10%.

<p>Дано:  <math>m(сах.)=25г</math>  <math>\omega(сах.)=10\%</math>  <math>m(H_2O)-?</math></p>	<p>Решение:  <math>\omega_{р.в.} = m_{р.в.} / m_{р-ра}</math>  <math>m(H_2O) = m(р-ра.) - m_{р.в.}</math>  <math>m_{р-ра} = m_{р.в.} / \omega = 25 / 0,1 = 250г</math>  <math>m(H_2O) = 250 - 25 = 225г</math></p>
--	--

3. Рассчитать массы соли и H<sub>2</sub>O, необходимые для приготовления 200г раствора с массовой долей растворенного вещества 10%.

<p>Дано:  <math>m(р-ра)=200г</math>  <math>\omega(соли)=0,25</math>  <math>m_{р.в.}-?</math>  <math>m(H_2O)-?</math></p>	<p>Решение:  <math>\omega_{р.в.} = m_{р.в.} / m_{р-ра}</math>;  <math>m_{р.в.} = \omega * m_{р-ра} = 200 * 0,25 = 50г</math>  <math>m(H_2O) = 200 - 50 = 150г</math></p>
--	--

4. Рассчитайте массовую долю вещества, полученную при сливании 100г 20%-ного раствора с 50г 32%-ного раствора.

<p>Дано:  <math>m_1(р-ра)=100г</math>  <math>\omega_1=0,2</math>  <math>m_2(р-ра)=50г</math>  <math>\omega_2=0,32</math>  <math>\omega_3-?</math></p>	<p>Решение:</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p><math>\omega = m_{р.в.} / m_{р-ра}</math>; <math>m_3(р-ра) = m_1 + m_2 = 100 + 50 = 150г</math>  <math>m_{р.в.1} = \omega_1 * m_{р-ра1} = 0,2 * 100 = 20г</math>  <math>m_{р.в.2} = \omega_2 * m_{р-ра2} = 0,32 * 50 = 16г</math>  <math>m_{р.в.общая} = 20 + 16 = 36г</math>  <math>\omega_{р.в.} = 36 / 150 = 0,24</math> или 24%.</p>
---	--

1. 71г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> растворили в 333мл раствора с массовой долей KOH 28% ( $\rho=1,2г/мл$ ). Какая соль образовалась и какова ее масса?

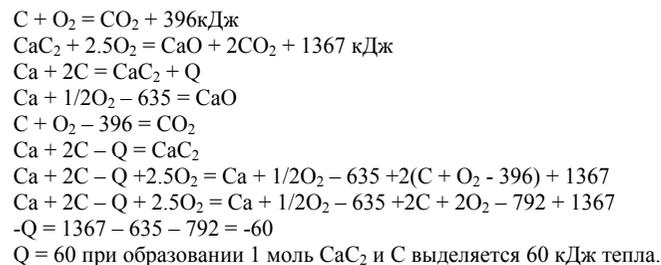
<p>Дано:  <math>m(P_2O_5)=71г</math>  <math>V_{р-ра}(KOH)=333мл</math>  <math>\rho=1,2г/мл</math>  <math>m(соли)-?</math></p>	<p>Решение:          Возможно образование 3-х солей:  <math>P_2O_5 + 2KOH + H_2O \rightarrow 2KH_2PO_4</math> (1)  <math>P_2O_5 + 4KOH \rightarrow 2K_2HPO_4 + H_2O</math> (2)  <math>P_2O_5 + 6KOH \rightarrow 2K_3PO_4 + 3H_2O</math> (3)          Дигидрофосфат образуется при двукратном избытке количества вещества щелочи по отношению к оксиду, причем в реакции расходуется вода из раствора щелочи. Гидрофосфат если <math>n(щелочи) &gt; 4</math> раза, образование средней соли требует шестикратного превышения <math>n(щелочи)</math> над <math>n(оксида)</math>.          Рассчитаем, каково молярное соотношение оксид-щелочь в условии задачи:  <math>n = m / M</math> <math>n(P_2O_5) = 71 / 142 = 0,5</math> моль  <math>m(р-ра) = V * \rho</math> <math>m_{р-ра}(KOH) = 333 * 1,2 = 400г</math>  <math>\omega_{р.в.} = m_{р.в.} / m_{р-ра}</math> <math>m_{р.в.} = \omega_{р.в.} * m_{р-ра}</math>  <math>m_{р.в.}(KOH) = 400 * 0,28 = 112г</math>  <math>n(KOH) = m / M = 112 / 56 = 2</math> моль  <math>n(P_2O_5) / n(KOH) = 1/4</math>, что соответствует образованию гидроортофосфата (уравнение 2), причем оксид и щелочь реагируют без избытка, в точном соответствии с коэффициентами уравнения. Значит, отвечать на вопрос задачи, рассчитывать <math>n(соли)</math> можно по любому из реагентов.  <math>n(K_2HPO_4) = 2n(P_2O_5) = 2 * 0,5 = 1</math> моль  <math>m(K_2HPO_4) = n * M = 1 * 174 = 174г</math></p>
---	---

2. SO<sub>2</sub>, полученный при сжигании 179,2л H<sub>2</sub>S (н.у), пропущен через 2л раствора NaOH с  $\rho=1,28г/мл$  и массовой долей 12,5%. Определить массовую долю соли в полученном растворе.

<p>Дано:  <math>V(H_2S)=179,2л</math>  <math>V_{р-ра}(NaOH)=2л</math>  <math>\rho=1,28г/мл</math>  <math>\omega(NaOH)=12,5\%</math>  <math>\omega(соли)-?</math></p>	<p>Решение:  <math>2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_2 + 2H_2O</math>  <math>SO_2 + NaOH \rightarrow NaHSO_4</math>  <math>n(SO_2) / n(NaOH) = 1/1</math>  <math>SO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O</math>  <math>n(SO_2) / n(NaOH) = 1/2</math>  <math>n_{газа}(H_2S) = V / V_m = 179,2 / 22,4 = 8</math> моль  <math>m_{р-ра}(NaOH) = V * \rho = 2000 * 1,28 = 2560г</math>  <math>m_{р.в.}(NaOH) = m_{р-ра} * \omega = 2560 * 0,125 = 320г</math>  <math>n(NaOH) = m / M = 320 / 40 = 8</math> моль  <math>n(SO_2) / n(NaOH) = 8 / 8 = 1/1</math> образуется гидросульфит, причем SO<sub>2</sub> и NaOH реагируют без избытка, количество соли можно рассчитывать по любому из реагентов:  <math>n(NaHSO_3) = n(SO_2) = 8</math> моль  <math>m(NaHSO_3) = n * M = 8 * 104 = 832г</math></p>
--	---

Чтобы рассчитать массовую долю соли в растворе после реакции, нужно знать еще массу раствора после реакции. Масса раствора после реакции может быть рассчитана двумя способами:

1) по закону сохранения массы веществ, масса раствора после реакции равна сумме масс реагентов ( $m_{р-ра}(NaOH) + m(SO_2)$ ); нужно следить, чтобы не было избытка летучего реагента, т.к. растворимостью SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S обычно пренебрегают, и избыток летучих реагентов уходит из сферы реакции; при избытке щелочи можно пользоваться этим



#### Задачи для самостоятельного решения:

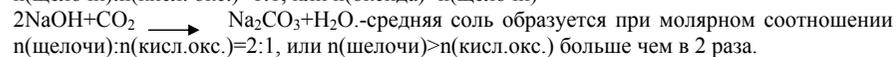
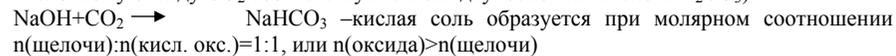
- При сгорании 2 молей фосфористого водорода (фосфина) образуются оксид фосфора (V) и вода и выделяется 2440 кДж. Определите теплоту образования фосфина, если при образовании оксида фосфора (V) и воды выделяется соответственно 1548 кДж/моль и 286 кДж/моль.
- при сгорании 12 г углерода до  $CO_2$  выделяется 396 кДж тепла, при сгорании 32 г серы до  $SO_2$  выделяется 297 кДж тепла. При сгорании 76 г сероуглерода до тех же оксидов выделяется 1079 кДж тепла. Запишите термохимические уравнения реакций горения. Вычислите, сколько тепла выделяется (или затрачивается) при образовании 1 моль сероуглерода из серы и графита.
- При сгорании 2 г водорода выделяется 242 кДж тепла; при сгорании 32 г серы до  $SO_2$  выделяется 518 кДж тепла. Запишите термохимические уравнения реакций горения. Вычислите, сколько тепла выделяется (или затрачивается) при образовании 1 моль сероводорода из водорода и серы.

### Решение задач повышенной сложности

#### Задачи на анализ образующихся солей

В этих задачах идет речь о взаимодействии со щелочью слабой многоосновной кислоты ( $H_2S, H_3PO_4$ ) или кислотного оксида, соответствующего слабой многоосновной кислоте ( $SO_2, CO_2, P_2O_5$ ). Продуктами такого взаимодействия могут быть и средние, и кислые соли, в зависимости от молярного соотношения реагентов. Средние соли образуются при точном соответствии молярного соотношения реагентов коэффициентам уравнения получения средней соли, а также при избытке щелочи. Кислые соли образуются при точном соответствии молярного соотношения реагентов коэффициентам уравнения образования кислой соли и при избытке вещества кислотного характера. Если молярное соотношение реагентов оказывается промежуточным между образованием кислой и средней соли, образуется смесь солей (и кислая, и средняя соли присутствуют в растворе после реакции одновременно).

Например, взаимодействие  $CO_2$  с  $NaOH$  отражается 2-мя уравнениями реакций (т.к. кислотному оксиду  $CO_2$  соответствует слабая двухосновная кислота  $H_2CO_3$ ).



Если  $n(\text{щелочи})>n(\text{угл. газа})$ , но двухкратный избыток щелочи не достигнут, образуется и кислая, и средняя соль одновременно.

#### 5. Какая навеска едкого натра и какой объем 20%-ного раствора потребуется для приготовления раствора с массовой долей 30% и $V=500$ мл?

Дано:  $V_{р-ра3}=500$ мл.  
 $\omega_{р.в.}=30\%$   
 $\omega_{р.в.}=20\%$   
 $m_{р.в.}(NaOH)-?$   
 $m_{2р-ра}(NaOH)-?$

Решение:

$p(NaOH)_{20\%}=1,219$ г/мл  
 $p(NaOH)_{30\%}=1,328$ г/мл  
 $m_{р-ра}=500*1,328=664$ г  
 $m_{р.в.}(NaOH)=\omega*m_{р-ра}=0,3*664=199,2$ г  
 $m(H_2O)=664-199,2=464,8$ г

Определим массу 20%-ного р-ра щелочи, содержащую 464,8г.  $H_2O$ .  
 $m_{р-ра}=464,8/0,8=581$ г

Определим  $V(\text{исх.})$  р-ра щелочи.

$$V(\text{р-ра})=m/p=581/1,219=476,6 \text{ мл.}$$

Определим массу  $NaOH$  в исходном р-ре.

$$m(NaOH)=581*0,2=116,2 \text{ г}$$

$$m_{навески}(NaOH)=199,2-116,2=83 \text{ г.}$$

#### 6. В мед. практике широко применяется физиологический р-р, представляющий собой водный р-р $NaCl$ , в котором $\omega(NaCl)=0,9\%$ ; $p=1,01$ г/см<sup>3</sup>. Какая масса $NaCl$ и какой $V(H_2O)$ потребуется для приготовления 3л физиологического раствора?

Дано:  $\omega(NaCl)=0,009$   
 $p=1,01$ г/см<sup>3</sup>  
 $V(\text{р-ра})=3$ л  
 $V(H_2O)-?$   
 $m(NaCl)-?$

Решение:

$m_{р-ра}=3000*1,01=3030$ г.  
 $m_{р.в.}(NaCl)=\omega*m_{р-ра}=3030*0,009=27,3$ г  
 $m(H_2O)=m_{р-ра}-m(NaCl)=3030-27,3=3002,7$ г  
 $V(H_2O)=3 \text{ кг} / 1 \text{ кг/дм}^3 = 3 \text{ дм}^3 (\text{л})$

8) (400г р-ра и 100г  $H_2O$ ).

#### Задачи на кристаллогидраты

#### 7. Какую массу $H_2O$ и медного купороса необходимо взять для приготовления 40г раствора с $\omega(CuSO_4)=0,02$ ?

Дано:	Решение:
$m(p-ра)=40г$	$\omega_{р.в.}=m_{р.в.}/m_{р-ра}$
$\omega(CuSO_4)=0,02$	$m_{р.в.}(CuSO_4)=\omega*m_{р-ра}=0,02*40=0,8г$
$m(H_2O)-?$	$M(CuSO_4)=160г/моль$
$m(CuSO_4*5H_2O)-?$	$n(CuSO_4)=n(CuSO_4*5H_2O)$
	$n(CuSO_4)=m/M=0,8/160=0,005моль$
	$M(CuSO_4*5H_2O)=160+5*18=250г/моль$
	$m(CuSO_4*5H_2O)=0,005*250=1,25г$
	$m(H_2O)=40-1,25=38,75г$

8. Рассчитать массовую долю  $CuSO_4$  в растворе, полученном из 87,5мл  $H_2O$  и 12,5г  $CuSO_4*5H_2O$ .

Дано:	Решение:
$V(H_2O)=87,5мл$	$m(H_2O)=V*p=87,5*1=87,5г$
$m(CuSO_4*5H_2O)=12,5г$	$m_{р-ра}=87,5+12,5=100г$
$\omega(CuSO_4)-?$	$n(CuSO_4*5H_2O)=12,5/250=0,05моль$
	$n(CuSO_4*5H_2O)=n(CuSO_4)=0,05моль$
	$m(CuSO_4)=n*M=0,05*160=8г$
	$\omega_{р.в.}(CuSO_4)=8/100=0,08$ или 8%.

Молярная концентрация раствора

$$C=n_{р.в.}/V_{р-ра}$$

9. В 300мл раствора содержится 8,4г KOH. Чему равна молярная концентрация KOH в данном растворе?

Дано:	Решение:
$V(p-ра)=300мл$	$V(p-ра)=300мл=0,3л$
$m(KOH)=8,4г$	$n(KOH)=m/M=8,4/56г/моль=0,15моль$
$C(KOH)-?$	$C(KOH)=n(KOH)/V(p-ра)=0,15/0,3=0,5моль/л$ или 0,5М.

10. Сколько граммов нитрата калия содержится в 2,5л десятимолярного р-ра?

Дано:	Решение:
$V(p-ра)=2,5л$	$C=n_{р.в.}/V_{р-ра}; n_{р.в.}=C*V_{р-ра}$
$C(KNO_3)=0,1моль/л$	$n(KNO_3)=0,1*2,5=0,25моль$
$m(KNO_3)-?$	$m(KNO_3)=n*M=0,25*101=25,25г$

11. Чему равна молярность 36%-ного раствора HCl, плотность которого 1,18г/мл?

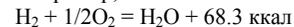
Дано:	Решение:
$\omega(HCl)=0,36$	Пусть дан 1л раствора
$\rho=1,18г/мл$	$m_{р-ра}=1000мл*1,18г/мл=1180г$
$C(HCl)-?$	$m(HCl)=\omega*m_{р-ра}=0,36*1180=424,8г$
	$n(HCl)=m/M=424,8/36,5=11,64моль$
	Молярность р-ра: $C(HCl)=n(HCl)/V(p-ра)=11,64/1=11,64моль/л$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Чему равна массовая доля  $H_2SO_4$  в растворе, полученном при растворении 25мл 96%-ной серной кислоты ( $\rho=1,8г/мл$ ) в 200мл  $H_2O$ ?
2. Какие массы 15%-ного раствора NaCl и  $H_2O$  необходимы для приготовления 500г 12%-ного раствора NaCl?

Теплотой образования вещества называют тепловой эффект реакции образования 1 моль данного сложного вещества из простых веществ.

Например,

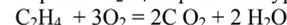


$\Delta H = -68,3$  ккал/моль, т.е. при образовании 1 моль  $H_2O$  из  $H_2$  и  $O_2$  выделяется теплота в количестве 68,3 ккал.

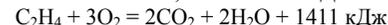
1. При сгорании 2 моль этилена в кислороде выделилось 2822 кДж теплоты. Определить теплоту образования этилена, если стандартные теплоты образования  $CO_2$  и  $H_2O$  равны соответственно 393 кДж/моль и 286 кДж/моль.

Решение:

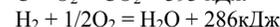
Горение  $C_2H_4$  выражается уравнением:



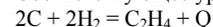
В уравнении реакции 1 моль этилена, значит в термохимическом уравнении тепловой эффект нужно соотнести именно с 1 моль этилена. Если при горении 2 моль этилена выделяется 2822 кДж теплоты, то при горении 1 моль этилена будет выделяться в 2 раза меньше теплоты, то есть 1411 кДж и термохимическое уравнение имеет вид:



Теплоты образования продуктов реакции

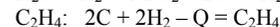
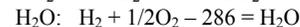
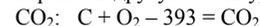


Соответствующее уравнение для теплоты образования этилена

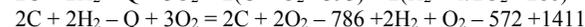
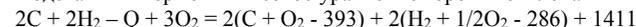


Необходимо рассчитать Q

Выразим из каждого уравнения образование сложного вещества, поступая с членами термохимического уравнения так же, как с членами алгебраического уравнения, используя перенос в другую часть уравнения с противоположным знаком.



Подставим в термохимическое уравнение горения этилена



Сокращаем 2C, 2H<sub>2</sub>, 3O<sub>2</sub> – 2O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

Остается:

$$-Q = 1411 - 572 - 786 = 53$$

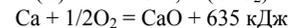
$$Q = -53 \text{ кДж}$$

Соответственно теплота образования этилена из простых веществ равна -53 кДж/моль.

2. При сгорании 40 г кальция выделяется 653 кДж, при сгорании 12 г углерода до  $CO_2$  выделяется 396 кДж тепла. При сгорании 64 г карбида кальция до тех же продуктов выделяется 1367 кДж тепла. Запишите термохимические уравнения реакций горения. Вычислите, сколько тепла выделится при образовании 1 моль карбида кальция из кальция и графита.

Решение:

В условии задачи описаны термохимические уравнения горения кальция, C,  $CaC_2$ , т.к. тепловые эффекты соотнесены с 1 моль каждого вещества  $M(Ca) = 40г/моль$ ,



- Определите молекулярную формулу углеводорода, если известно, что 1,3 г его при сжигании образуют 2,24 л CO<sub>2</sub> и 0,9г H<sub>2</sub>O. Масса 1мл этого вещества при н.у. 0,00116г.
- При сжигании 28 мл газа получено 84 мл CO<sub>2</sub> и 67,5мл H<sub>2</sub>O (н.у.) плотность газа по H<sub>2</sub>=21. Определите молекулярную формулу газа.
- Определите молекулярную формулу газа, если известно, что при сжигании 2,24 л его образовалось 4,48 л CO<sub>2</sub> (н.у.) и 1,8 г H<sub>2</sub>O. Плотность газа по воздуху =0,8966.
- Вывести формулу вещества, при сжигании 6 г которого получили 4,48 л углекислого газа (н.у.) и 3,6 г воды. Плотность паров этого вещества по этану равна 30.
- Установите молекулярную формулу аскорбиновой кислоты, если при сгорании 1 моль её образуется 6 моль углекислого газа и 4 моль воды, а относительная молекулярная масса равна 176.
- При сжигании 6,3 г вещества образовалось 1,59 г соды, 2,07 г поташа, 2,016 л углекислого газа (н.у.) и 1,08 г воды. Определить молекулярную формулу вещества.
- При сжигании 3,3 г хлорсодержащего органического вещества получено 1,493 л углекислого газа (н.у.) и 1,2 г воды. После превращения всего хлора, содержащегося в данной массе вещества, в хлорид серебра, получено 9,56 г последнего. Плотность паров вещества по водороду равна 49,5. Определить истинную формулу исследуемого вещества.

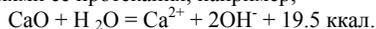
### Термохимические расчеты

Теоретической основой термохимических расчетов является закон Гесса и следствие из него.

Закон Гесса: тепловой эффект реакции равен сумме тепловых эффектов промежуточных стадий.

Следствие, вытекающее из закона Гесса: тепловой эффект реакции равен сумме теплот образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования исходных веществ. Теплота образования простого вещества равна 0.

Тепловой эффект реакции, то есть количество теплоты, которое выделится или поглотится при протекании реакции, обозначается Q. Тепловые эффекты указываются в термохимических уравнениях, где обычно соотносятся с 1 моль продукта реакции и условиями ее протекания, например,



При взаимодействии 1 моль CaO с 1 моль HO в виде жидкости образуется 1 моль Ca(OH)<sub>2</sub>, который диссоциирует в растворе на гидратированные ионы кальция и гидроксогруппу, при этом выделяется тепло в количестве 19,5 ккал (экзотермическая реакция).

Или: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub> = 2Fe + 3H<sub>2</sub>O – 89,6 кДж: при взаимодействии 1 моль оксида Fe 3 моль газообразного водорода образуется 2 моль Fe, 3 моль воды и поглощается 89,6 кДж тепла (эндотермическая реакция).

Тепловой эффект реакции также может быть выражен через энтальпию реакции, т.е. изменение внутренней энергии системы при протекании реакции. Энтальпия обозначается ΔH. Численно энтальпия совпадает с величиной теплового эффекта реакции, но имеет противоположный знак. При экзотермических реакциях ΔH < 0, т.к. тепло выделяется за счет уменьшения внутренней энергии системы (энергия химической связи в продуктах реакции меньше, чем энергия хим. связи в исходных веществах, и при протекании реакции “лишняя” энергия выделяется в окружающую среду в виде тепла).

При экзотермических реакциях ΔH > 0, т.к. внутренняя энергия продуктов реакции больше, чем у исходных веществ. В рассмотренном термохимическом уравнении ΔH = -19,5 ккал/моль для взаимодействия CaO с H<sub>2</sub>O и 89,6 кДж/моль для восстановления Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

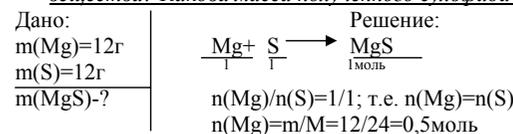
- В 750 мл воды растворили 50 г сульфата калия. Какова массовая доля соли в полученном растворе?
- В воде массой 400 г растворили сероводород объёмом 12 мл (н.у.). Определить массовую долю сероводорода в полученном растворе.
- Сколько граммов хлорида калия содержится в 750 мл 10%-ного раствора, плотность которого равна 1,063 г/мл?
- Слили 325 г раствора азотной кислоты с массовой долей 30% и 125 г раствора азотной кислоты с массовой долей 60%. Определить массовую долю кислоты в новом растворе.
- Как приготовить 300 г 2%-ного раствора сульфата цинка из 6%-ного раствора этой соли и воды? Как приготовить 980г 19%-ного раствора сульфата магния из кристаллогидрата MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O?
- Как приготовить 740 г 17%-ного раствора карбоната натрия из его декагидрата?
- В воде массой 40 г растворили железный купорос массой 3,5 г. Определить массовую долю сульфата железа (II) в полученном растворе.
- Сколько воды нужно прибавить к 100 г раствора гидроксида калия с массовой долей 25%, чтобы получить его раствор с массовой долей 5%?

### Задачи на избыток- недостаток

Уравнения химических реакций строго определяют количественные соотношения, в которых вещества вступают в реакции друг с другом. Если нам известна масса (или количество, или объем) одного из исходных веществ, по уравнению реакции мы легко можем рассчитать массу (n, V) обоих исходных веществ. Это, как правило, свидетельствует о том, что это задача на «избыток и недостаток» или, если это большая комплексная задача, то она содержит данный усложняющий элемент.

При решении таких задач, прежде чем приступать к расчету по уравнению реакции, следует выяснить, какое из исходных веществ дано в недостатке, а какое в избытке. То вещество, которое находится в недостатке, полностью вступает в данную реакцию и именно по массе (n, V) этого вещества можно определить массу (n, V) продуктов реакции. Какая-то часть вещества, находящегося в избытке, не вступает в реакцию, и поэтому расчет по этому веществу, разумеется, бессмыслен.

1. Для получения сульфида магния взяли 12г магния и 12г серы. Какое из исходных веществ прореагирует полностью? Какова масса не прореагировавшей части другого вещества? Какова масса полученного сульфида магния?



$n(\text{S})=m/M=12/32=0,375 \text{ моль}$  ⇨ Mg в избытке, рассчитываем по недостатку,

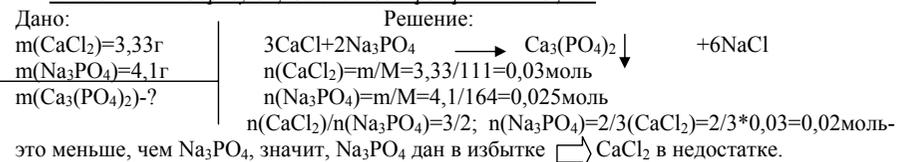
$$n_{\text{изб}}(\text{Mg})=0,5-0,375=0,125 \text{ моль.}$$

$$m_{\text{изб}}(\text{Mg})=n \cdot M=0,125 \cdot 24=3 \text{ г.}$$

$$n(\text{MgS})=n(\text{Mg})=0,375 \text{ моль.}$$

$$m(\text{MgS})=56 \cdot 0,375=21 \text{ г.}$$

2. К раствору, содержащему 3,33г CaCl<sub>2</sub> прилили раствор, содержащий 4,1г Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Какова масса образующегося осадка фосфата кальция?

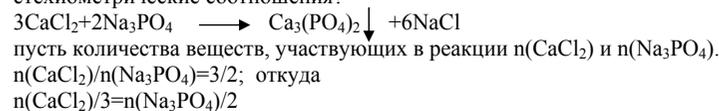


$$n(\text{CaCl}_2)/n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)=3/1$$

$$n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)=n(\text{CaCl}_2)/3=0,03/3=0,01 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)=310 \cdot 0,01=3,1 \text{ г.}$$

Существует еще одна методика решения задач на избыток-недостаток. Она основана на составлении так называемых стехиометрических соотношений. Что же такое стехиометрические соотношения?



Полученное соотношение называется стехиометрическим соотношением.

Таким образом, число молей одного вещества, деленное на коэффициент перед его формулой, должно быть равно числу молей другого вещества, деленному на коэффициент перед формулой этого вещества. Если вещество дано в избытке, то для него отношение числа к коэффициенту будет больше, чем соответствующее отношение для вещества, данного в недостатке.

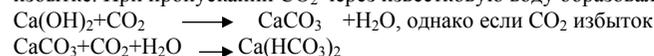
Проверим:

$$n(\text{CaCl}_2)/3=0,03/3=0,01$$

$$n(\text{Na}_3\text{PO}_4)/2=0,025/2=0,0125$$

$$n(\text{CaCl}_2)/3 < n(\text{Na}_3\text{PO}_4)/2 \quad \Rightarrow \quad \text{CaCl}_2 - \text{ в недостатке, Na}_3\text{PO}_4 \text{ в избытке.}$$

В некоторых случаях продукт реакции может взаимодействовать с реагентом, данным в избытке. При пропускании  $\text{CO}_2$  через известковую воду образовался осадок  $\text{CaCO}_3$



Аналогичная ситуация имеет место при получении амфотерных гидроксидов. Например, если к раствору соли  $\text{Zn}$  прибавить раствор щелочи, то вначале выпадает осадок гидроксида цинка. Однако, поскольку этот гидроксид является амфотерным, добавление избыточного количества щелочи приводит к его растворению:



#### Задачи для самостоятельного решения:

- Какая масса соли образуется при взаимодействии 10 г гидроксида натрия и 10 г азотной кислоты?
- Какой объем газа выделится при взаимодействии 50 г карбоната кальция и 36,5 г соляной кислоты (н.у.)?
- Рассчитать массу продукта взаимодействия 7 г железа и 2,8 л хлора (н.у.).
- Какая масса серной кислоты образуется при взаимодействии 4,2 г карбоната магния и 12,6 г азотной кислоты?
- Какая масса соли образуется при взаимодействии 5,4 г серебра и 5,57 г азотной кислоты?
- Какова масса осадка, образующегося при взаимодействии 63 г 10%-ного раствора азотной кислоты и 28 г 25%-ного раствора гидроксида калия?
- Какова масса осадка, образующегося при взаимодействии 12 г сульфата магния и 15,75 г карбоната натрия?
- Железо массой 14 г сплавили с серой массой 4,8 г. К полученной смеси веществ добавили избыток соляной кислоты. Какие газы при этом образовались? Определите объемы этих газов, измеренные при нормальных условиях.
- Газ, полученный при взаимодействии 20 г сульфида железа (II) в небольшом количестве воды с 2,8 л хлороводорода (н.у.), пропустили через 20 г 60%-ного раствора нитрата меди (II). Рассчитать массу выпавшего при этом осадка.

продуктов сгорания. На основании этих данных достаточно просто рассчитываются массовые доли элементов или числа молей атомов в сгоревшем веществе.

2. При сжигании 8,4г органического вещества получено 26,4г  $\text{CO}_2$  и 10,8г  $\text{H}_2\text{O}$ . Плотность паров этого вещества по воздуху равна 2,9. Определить молекулярную формулу.

Решение:

$$A = C_xH_yO_z$$

$$1) C \text{---} \text{CO}_2 \quad n(C) = n(\text{CO}_2) = 26,4/44 = 0,6 \text{ моль}$$

$$1 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль} \quad m(C) = 0,6 \cdot 12 = 7,2 \text{ г}$$

$$2) 2H \text{---} \text{H}_2\text{O} \quad n(H) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 10,8/18 = 0,6; \quad n(H) = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ моль}$$

$$2 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль}$$

$$3) m(O) = 8,4 - 1,2 - 7,2 = 0; \text{ значит, кислорода в составе вещества нет}$$

$$4) x:y = 0,6:1,2 = 1:2 \quad \text{CH}_2\text{-ПФ.}$$

$$5) Mr(A) = D_{\text{возд.}} \cdot M_{\text{возд.}} = 2,9 \cdot 29 = 84. \quad Mr(\text{CH}_2) = 14$$

$$p = Mr(A)/Mr(\text{ПФ}) = 84/14 = 6; \quad C_6H_{12}\text{-МФ.}$$

3. Вещество состоит из углерода, водорода и хлора. При сжигании 0,956г его получено 0,352г  $\text{CO}_2$  и 0,072г  $\text{H}_2\text{O}$ .  $Mr(\text{в-ва}) = 119,5$ . Найдите его формулу.

Решение:

$$C_xH_yCl_z\text{-A} \quad 1) C = \text{CO}_2 \quad n(\text{CO}_2) = m/M = 0,352/44 = 0,008 \text{ моль}; \quad n(C) = 0,008 \text{ моль.}$$

$$1 \quad 1 \text{ моль}$$

$$m(C) = 0,008 \cdot 12 = 0,096 \text{ г}$$

$$2) 2H = \text{H}_2\text{O} \quad n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 0,072/18 = 0,004 \text{ моль}; \quad n(H) = 2 \cdot 0,004 = 0,008 \text{ моль}$$

$$2 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль}$$

$$m(H) = 0,008 \cdot 1 = 0,008 \text{ г.}$$

$$3) m(Cl) = 0,956 - 0,008 - 0,096 = 0,852 \text{ г.}$$

$$n(Cl) = m/M = 0,852/35,5 = 0,024 \text{ моль.}$$

$$4) X:Y:Z = 0,008:0,008:0,024 = 1:1:3$$

$$\text{CHCl}_3\text{-ПФ}; \quad Mr(\text{CHCl}_3) = 119,5$$

$$5) p = Mr(A)/Mr(\text{ПФ}) = 119,5/119,5 = 1, \text{ тогда молекулярная формула } \text{CHCl}_3$$

4. При сжигании 12г органического вещества образовалось 14,4г  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ , при пропускании которого через раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  образовалось 60г осадка. Определить истинную формулу, если относительная плотность его по воздуху равна 2,069.

Решение:

$$1) 2H \text{---} \text{H}_2\text{O} \quad n(H)/n(\text{H}_2\text{O}) = 2/1; \quad n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 14,4/18 = 0,8 \text{ моль.}$$

$$2 \quad 1 \text{ моль} \quad n(H) = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ моль}; \quad m(H) = 1,6 \text{ г.}$$

$$2) \text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль}$$

$$n(\text{CaCO}_3) = m/M = 60/100 = 0,6 \text{ моль}; \quad n(\text{CO}_2) = 0,6 \text{ моль.}$$

$$3) C = \text{CO}_2$$

$$1 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль}$$

$$n(C) = 0,6; \quad m(C) = 0,6 \cdot 12 = 7,2 \text{ г}$$

$$4) m(O) = 12 - 7,2 - 1,6 = 3,2 \text{ г}; \quad n(O) = m/M = 3,2/16 = 0,2 \text{ моль.}$$

$$5) X:Y:Z = 0,6:1,6:0,2 = 3:8:1; \quad C_3H_8O\text{-ПФ}; \quad Mr(C_3H_8O) = 60$$

$$Mr(A) = 29 \cdot D_{\text{воздуха}} = 29 \cdot 2,069 = 60$$

$$p = Mr(A)/Mr(\text{ПФ}) = 60/60 = 1; \quad \text{значит молекулярная формула } C_3H_8O.$$

#### Задачи для самостоятельного решения:

- При сжигании 6,45 г газообразного галогеналкана образовалось 4,48 л углекислого газа и 2,24 л  $\text{HCl}$  (н.у.), плотность неизвестного вещества при н.у. 2,879 г/л. Выведите молекулярную формулу вещества.

6. Рассчитать массу мела, содержащего карбонат кальция и 6,25% примесей, необходимую для получения 16,8 л оксида углерода (IV) при н.у.
7. Рассчитать массовую долю примесей в карбонате магния, из 150 г которого образуется 33,6 л оксида углерода (IV).
8. Какой объём газа (н.у.) образуется при взаимодействии 265 г карбоната натрия, содержащего 20% примесей, с достаточным количеством азотной кислоты?
9. Какова массовая доля примесей в негашёной извести, если образец извести массой 6 г реагирует с серной кислотой массой 9,8 г?
10. Какова массовая доля примесей в известняке, если при прокаливании 100 г его образуется 40 г углекислого газа?

### Расчёты, связанные с выводом простейших и молекулярных формул веществ

Массовые доли химических элементов в сложных веществах позволяют характеризовать качественный и количественный состав вещества. Однако количественный состав вещества в целом и количественный состав одной отдельно взятой молекулы - не одно и то же. Поясним это на примере.

Формула молекулы формальдегида -  $\text{CH}_2\text{O}$ , а формула глюкозы -  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Сравнение этих формул показывает, что в обоих молекулах соотношение чисел атомов C, H и O одинаково и равно соотношению 1:2:1. Очевидно, что массовые доли элементов в этих веществах одинаковы, т.е. эти вещества имеют одинаковый количественный элементный состав. При этом количественный состав молекулы глюкозы отличается от количественного состава молекулы формальдегида тем, что первая содержит в 6 раз больше атомов каждого элемента, чем вторая.

Формулы, которые показывают простейшие целочисленные соотношения чисел атомов в том или ином веществе, называются простейшими, или эмпирическими.

И для формальдегида, и для глюкозы простейшей формулой является  $\text{CH}_2\text{O}$ .

Формулы, показывающие действительное число атомов в молекуле вещества, называются молекулярными, или истинными.

Зная массовые доли элементов в данном веществе, можно установить только его простейшую формулу.

Что же ещё, кроме массовых долей элементов, необходимо знать для установления молекулярной (истинной) формулы вещества? Нужно знать его молекулярную массу. Что касается задач, в которых требуется установить молекулярные формулы, то в их условиях молекулярная масса либо просто указывается, либо приводятся данные, позволяющие рассчитать её.

1. Массовые доли углерода, водорода и кислорода в некотором веществе равны соответственно 40, 6,67 и 53,33%. Плотность паров этого вещества по водороду равна 30. Установить молекулярную формулу вещества.

Решение:

Пусть А-молекулярная формула вещества  $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ ;

пусть  $m(\text{A})=100\text{г}$

Тогда  $m(\text{C})=w \cdot m(\text{A})=0,4 \cdot 100=40\text{г}$ ;  $m(\text{H})=0,0667 \cdot 100=6,67\text{г}$ ;  $m(\text{O})=0,5333 \cdot 100=53,33\text{г}$

$n(\text{C})=m/M=40/12=3,33\text{моль}$ ;  $n(\text{H})=6,67/1=6,67\text{моль}$ ;  $n(\text{O})=53,33/16=3,33\text{моль}$ .

$x:y:z=3,33:6,67:3,33=1:2:1$ ;

$\text{CH}_2\text{O}$ -ПФ

$M(\text{H}_2) \cdot D(\text{H}_2)=2 \cdot 30=60$   $M(\text{ПФ})=M(\text{CH}_2\text{O})=30$

$r=M(\text{A})/M(\text{ПФ})=60/30=2 \Leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ -МФ.

В некоторых задачах по выводу формул горючих веществ (чаще всего органических) вместо массовых долей элементов приводятся данные о массах (количествах, объёмах)

10. К 200 г 15%-ного раствора соляной кислоты добавили 200г 20%-ного раствора гидроксида калия. Определить число молекул воды в полученном растворе.

### Задачи на массовую (объёмную) долю выхода

Этот тип задач вводится впервые при изучении темы «Подгруппа азота».

При решении задач этого типа учащиеся получают дополнительную политехническую подготовку, рассматривают химическое производство с количественной стороны.

При изучении методики решения задач необходимо предварительно разъяснить, что теоретический выход-это количество (масса, V, n) продукта реакции без производственных потерь, т.е. то, что получаем стехиометрическим расчетом по уравнениям реакции. Практический выход всегда меньше 100%, т.к. производственные потери неминуемы.

Также весьма часто при проведении химической реакции получается меньшее количество продукта, чем теоретически рассчитанное по уравнению реакции. Причины этому могут быть разные. Во-первых, многие реакции являются обратимыми. В этих реакциях не происходит полного превращения исходных веществ в продукты реакции, а, как известно, устанавливается химическое равновесие, при котором в тех или иных соотношениях в реакционной системе присутствуют и исходные вещества, и продукты реакции. Во-вторых, при проведении реакции неизбежно некоторое количество веществ теряется на стенках сосудов, на поверхности мешалок, уменьшается в результате испарения и т. д.

Поэтому в некоторых задачах либо указывается так называемый выход продукта реакции, либо этот выход требуется рассчитать.

Выход продукта реакции обозначается греческой буквой  $\eta$  (эта) и может быть рассчитан по формулам:

$\eta(x)=m_{\text{пр}}(x)/m_{\text{теор}}(x)$ ;  $\eta(x)=m_{\text{пр}}(x)/m_{\text{теор}}(x) \cdot 100\%$ ;  $\eta(x)=n_{\text{пр}}(x)/n_{\text{теор}}(x)$ , где  $m_{\text{пр}}(x)$  и  $n_{\text{пр}}(x)$ -практически полученная масса и количество вещества  $x$ ,  $m_{\text{теор}}(x)$  и  $n_{\text{теор}}(x)$ -теоретически рассчитанные по уравнению реакции масса и количество вещества  $x$ . Это отношение объясняется так: «Находим, какую долю составляет масса практического выхода от массы теоретического выхода, и выражаем её в %».

Нежелательно говорить: «Разделить массу практического выхода на массу теоретического выхода и умножить на 100%». Действие здесь одно, но первое толкование теоретически более грамотно и приближено к действительной практике производства.

В случае газообразных продуктов их выход может быть рассчитан по объёмам:  $f_{\text{вых}}(x)=V_{\text{пр}}/V_{\text{теор}}(x)$ , где  $V_{\text{пр}}(x)$  и  $V_{\text{теор}}(x)$ -практически полученный и теоретически рассчитанный объёмы газообразного вещества  $x$ , измеренные при одинаковых условиях.

Если в условии задачи указано, что реакция протекает количественно (или с количественным выходом), это означает, что выход всех продуктов в одной реакции равен 100% (или 1), т.е. практически получаемые масса, количество или объём каждого вещества равны теоретически рассчитанным.

Отсутствие указаний о выходе продукта реакции в условии задачи также предполагает, что реакция протекает со 100%-ным выходом.

1. Из 1кг известняка, не содержащего примесей, получено 0,435кг негашёной извести. рассчитать выход продукта реакции.

Решение:

$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ;  $\eta = m_{\text{пр}}/m_{\text{теор}}$

1 моль 1 моль

$n(\text{CaCO}_3)/n(\text{CaO})=1/1$ ;  $n(\text{CaO})=n(\text{CaCO}_3)$ .

$n(\text{CaCO}_3)=1000/100=10\text{моль}$

$$n(\text{CaO})=10\text{ моль}$$

$$m_{\text{теор}}(\text{CaO})=n \cdot M=10 \cdot 56=560\text{ г}$$

$$n=m_{\text{пр}}(\text{CaO})/m_{\text{теор}}(\text{CaO})=435/560=0,777 \text{ или } 77,7\%$$

2. Для получения гидрокарбоната аммония 5,6л аммиака (н.у.) пропустили через избыточное количество водного раствора CO<sub>2</sub>. Какова масса полученного продукта, если его выход равен 96%?

Решение:

$$\begin{array}{ccc} \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = & \text{NH}_4\text{HCO}_3 & \\ \text{1 моль} & \text{1 моль} & \end{array}$$

$$n=m_{\text{пр}}/m_{\text{теор}}; m_{\text{пр}}=m_{\text{теор}} \cdot n$$

$$n(\text{NH}_3):n(\text{NH}_4\text{HCO}_3)=1:1; n(\text{NH}_3)=n(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$$

$$n(\text{NH}_3)=V/Vm=5,6/22,4=0,25\text{ моль}$$

$$m_{\text{теор}}(\text{NH}_4\text{HCO}_3)=n \cdot M=0,25 \cdot 79=19,75\text{ г}$$

$$m_{\text{пр}}=19,75 \cdot 0,96=18,96\text{ г}$$

3. Вычислить массу гидроксида калия и V(HCl) н.у., которые необходимы для получения 50г бертолетовой соли, если выход продукта составляет 87%.

Решение:

$$3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH} = 3\text{KCl} + 3\text{KClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ccc} 3\text{ моль} & 6\text{ моль} & 1\text{ моль} \\ m_{\text{теор}}=m_{\text{пр}}(\text{KClO}_3)/n(\text{KClO}_3)=50/0,87=57,47\text{ г} \\ n(\text{Cl}_2)/n(\text{KClO}_3)=3/1; n(\text{Cl}_2)=3 \cdot n(\text{KClO}_3) \\ n(\text{KClO}_3)=m/M=57,47/122,5=0,47\text{ моль}; n(\text{Cl}_2)=3 \cdot 0,47=1,41\text{ моль} \\ V(\text{Cl}_2)=n \cdot Vm=1,41 \cdot 22,4=31,58\text{ л} \\ n(\text{KClO}_3)/n(\text{KOH})=1/6; n(\text{KOH})=6 \cdot 1,47=2,82\text{ моль} \\ m(\text{KOH})=n \cdot M=2,82 \cdot 56=157,92\text{ г} \end{array}$$

Задачи для самостоятельного решения:

1. При сжигании 24,8 г фосфора образовалось 40 г фосфорного ангидрида. Рассчитать практический выход продукта реакции.
2. Из 200 г карбоната кальция получено 33,6 л углекислого газа (н.у.). Каков практический выход продукта реакции?
3. При взаимодействии 10,1 г нитрата калия с концентрированной серной кислотой при нагревании получено 4,2 г азотной кислоты. Каков практический выход продукта реакции?
4. Какой объем газа (н.у.) выделится при взаимодействии с кислотой 20 г карбоната кальция, если выход продукта реакции составляет 80% от теоретического?
5. Какой объем оксида серы (IV) (н.у.) должен быть взят для получения 1600 г оксида серы (VI) с выходом 75%?
6. Какая масса пирита должна быть взята для получения 89,6 л оксида серы (IV) с 80%-ным выходом?
7. Какую массу меди необходимо взять для получения 16 г оксида меди с выходом 80%?
8. Какая масса CuS<sub>2</sub> должна быть взята для получения 13,44 л оксида серы (IV) с выходом 60% (н.у.)?

## Расчеты по уравнениям реакций, если одно из реагирующих веществ содержит примеси

Для проведения химических реакций во многих случаях используют не абсолютно чистые вещества, а так называемые технические продукты или природные материалы (сырьё). Кроме основного компонента в них присутствует большее или меньшее количество примесей. Обычно предполагается, а иногда и специально указывается в условиях задач, что примеси ведут себя инертно по отношению к тем реагентам, с которыми взаимодействует основной компонент (или, во всяком случае, при их взаимодействии с данным реагентом не получают продукты, образуемые основным компонентом).

Массовая доля основного компонента или массовая доля примесей указывается в условии задачи или определяется по имеющимся в условии данным.

$$\omega(\text{примесей})=m(\text{примесей})/m(\text{техн. прод.})$$

$$\omega(\text{осн. комп.})=m(\text{осн. комп.})/m(\text{техн. прод.})$$

1. Какая масса оксида кальция и какой V(CO<sub>2</sub>) при н.у. получается при разложении известняка массой 500кг, содержащего 20% примесей?

Решение:

Определяем m(CaCO<sub>3</sub>) в известняке. ω(CaCO<sub>3</sub>) чистого=100-20=80% или 0,8.

$$\omega(\text{осн. комп.})=m(\text{осн. комп.})/m(\text{техн. прод.})$$

$$m(\text{осн. прод.})=\omega(\text{осн. прод.}) \cdot m(\text{техн. прод.})=500 \cdot 0,8=400\text{ кг}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{CaCO}_3 = & \text{CaO} + \text{CO}_2 & \\ \text{1 моль} & \text{1 моль} & \text{1 моль} \end{array}$$

$$n(\text{CaCO}_3)=n(\text{CaO})=n(\text{CO}_2)$$

$$n(\text{CaCO}_3)=m/M=400/100=4\text{ моль}$$

$$m(\text{CaO})=4 \cdot 56=224\text{ кг}$$

$$V(\text{CO}_2)=4 \cdot 22,4\text{ м}^3=89,6\text{ м}^3$$

2. При взаимодействии 10,8г безводного карбоната натрия с избытком азотной кислоты получили 2,24л (н.у.) оксида углерода (IV). Вычислить содержание примесей в карбонате натрия.

Решение:

$$\omega(\text{примесей})=m(\text{примесей}):m(\text{осн. комп.})$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HNO}_3 = 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

$$\begin{array}{ccc} \text{1 моль} & & \text{1 моль} \end{array} \quad n(\text{Na}_2\text{CO}_3)=n(\text{CO}_2)$$

$$n(\text{CO}_2)=V:Vm=2,24/22,4=0,1\text{ моль}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)=0,1 \cdot 106=10,6\text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3)=10,6/10,8=0,98 \text{ или } 98\%$$

$$\omega(\text{примесей})=2\%$$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Какой V(CO<sub>2</sub>) н.у. выделится при сжигании 500г угля, содержащего 8% негорючих примесей?
2. Рассчитайте массу и количество вещества (моль) оксида бария, образующегося при разложении 80г карбоната бария, содержащего 3% примесей.
3. Какой объем хлора (н.у.) может быть получен действием концентрированной соляной кислоты на 200 г минерала пирролизита, содержащего оксид марганца (IV) и 13% примесей?
4. Какой объем сероводорода (н.у.) выделится при действии избытка соляной кислоты на 30 г технического сульфида меди (II), содержащего 20% примесей?
5. Какая масса карбоната натрия образуется при разложении 50 г пищевой соды, содержащей 16% примесей?