

Лекция 1

СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Не будет лишним сначала дать определение термину «химия» - это важнейшая наука, которая изучает строение веществ, их превращения. И если она неправильно будет трактовать это самое строение, неверно объяснять причину превращений и изменений структуры, то под угрозой окажутся такие науки, как физика, биохимия, биология. Поэтому Химия включает следующие основные понятия и законы:

1. **Химические свойства** любого вещества устанавливаются, исходя из состояния электронных оболочек (внешних) молекул, атомов, его образующих. Ядра и внутренние электроны в ходе химических процессов практически не изменяются.

2. **Объект химии** – химические элементы, их комбинации (атомы, простые, сложные: ионы, карбены, свободные радикалы, молекулы, ион-радикалы, а также материалы, химические соединения, их объединения: кластеры, клатраты, ассоциаты, сольваты и др.). Их существует огромное количество, и оно постоянно растет ввиду того, что данная наука сама формирует свой объект (уже известно приблизительно 10 млн. химических соединений)[1].

3. **Вещество** – это разновидность материи, обладающей определенной массой покоя и состоящей из таких элементарных частиц, как электроны, нейтроны, протоны, мезоны и т. п. Данная наука изучает такие вещества, которые преобразованы в атомы, ионы, молекулы и радикалы. Они бывают: сложные, простые (химические соединения).

4. Наименьшая составляющая химического элемента, которую невозможно разделить химическим путем и которая сохраняет все первоначальные свойства, определенные электрической оболочкой и зарядом ядра, называется **атом**. Часть вещества (составная), содержащая идентичные атомы, именуется химическим элементом, каждому из которых соответствует комплекс определенных атомов.

5. **Молекула** – это микрочастица, имеющая 2 или более атома, и которая способна к автономному существованию. Она обладает неизменным

количественным, качественным составом ядер атомов, а также постоянным количеством электронов; оснащена уникальными свойствами [1].

6. **Простые вещества** образуются посредством атомов только 1-го химического элемента, ввиду чего выступают особой формой его пребывания в

свободном состоянии (O_2 , H_2 , He, O_3 , S_8), а **сложные вещества** сформированы

разными химическими элементами и они могут иметь неизменный состав (*дальтони́ды* либо стехиометрические соединения) либо переменный (*бертоллиды* либо нестехиометрические соединения).

7. **Ионы** – это одно, либо многоатомные частицы, обладающие электрическим зарядом. Положительно заряженные ионы – это катионы, а отрицательно – анионы. В форме газа они пребывают в своем свободном состоянии.

8. **Валентность** – это способность атома замещать либо присоединять другие атомы (атомные группы) и образовывать химические связи. Мера валентности – количество атомов водорода (кислорода), которые присоединены к химическому элементу. Водород является одновалентным, а кислород – двухвалентным.

9. **Химические реакции** - это трансформация одних веществ (первоначальных соединений) в вещества иного рода (продукты реакции), которая не изменяет ядра атомов.

10. **Реагенты** – исходные вещества либо одно наиболее активное исходное соединение, которое определяет направление реакции [1].

Состав органических соединений: атомы углерода и иных элементов (кислорода, водорода), которые соединены крепкими ковалентными связями. Те соединения, которые сформированы из атомов углерода с водородом, именуются углеводородами.

Главный компонент природного газа – простой углеводород (Метан – CH_4).

Органическая химия исследует именно органические соединения, дифференцированные по семействам, и которые называются гомологическими рядами. Вышеупомянутые группы (алкены, алканы) относятся к различным гомологическим рядам, каждый из которых включает тысячи соединений. Их местоположение в данном ряду устанавливается количеством атомов углерода внутри молекул (к примеру, молекулы первых трех соединений ряда алканов: метан – 1 атом углерода, этан – 2, пропан – 3. Наименования соединений, которые содержат 1 атом углерода, начинаются с приставки «мет», 2 атома – «эт», 3 атома – «проп». Такие соединения, относящиеся к 1-му гомологическому ряду, обладают схожими химическими свойствами, но различными – физическими. А те соединения, которые имеют мало атомов углерода, являются газами, достаточно большое количество атомов – жидкостями, чрезмерно перенасыщены атомами твердые вещества. Количество органических соединений достаточно велико ввиду способности атомов к образованию длинных цепочек либо колец. Данные структурные единицы слепливаются благодаря ковалентным связям (их электроны внешних оболочек «общедоступны»). Углерод образует простые (каждая атомная пара делит между собой 1 пару электронов), двойные, либо даже тройные ковалентные связи (участвуют две и, соответственно, три пары электронов)[1].

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ СТЕХИОМЕТРИИ

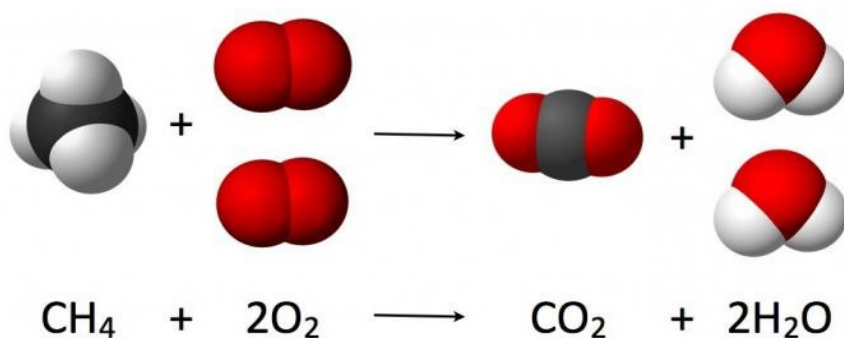
Основные законы стехиометрии, включающие законы количественных соотношений между реагирующими веществами с помощью уравнений химических реакций, вывод формул химических соединений, составляют раздел химии, называемый **стехиометрией**. Стехиометрия включает в себя законы Авогадро, постоянства состава, кратных отношений, Гей-Люссака, эквивалентов и сохранения

массы.

В основу составления химических уравнений положен метод материального баланса, основанный на законе сохранения массы (М. В. Ломоносов, 1748, А. Лавуазье, 1789).

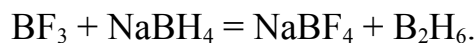
1. Закон сохранения массы веществ: масса реагирующих веществ равна массе продуктов реакции.

В химической реакции число взаимодействующих атомов остается неизменным, происходит только их **перегруппировка** с разрушением исходных веществ. Взаимодействие водорода и кислорода с образованием воды может быть записано с помощью уравнения химической реакции.



Коэффициенты перед формулами химических соединений называются **стехиометрическими**.

Для примера разберем процесс расстановки коэффициентов в реакции



Обратите внимание на атомы фтора. Для того, чтобы их количество в правой и левой части совпадало, коэффициент при BF_3 и коэффициент при NaBF_4 должны относиться как 4:3. Теперь посмотрим на атомы водорода. Чтобы их число в обеих частях совпадало, коэффициенты при NaBH_4 и B_2H_6 должны относиться как 3:2. При этом заметим, что коэффициент при NaBH_4 должен быть равен коэффициенту при NaBF_4 , чтобы уравнивать количество атомов натрия в реагентах и продуктах. В результате мы можем взять коэффициент при BF_3 взять равным 4, тогда условие дает коэффициент при NaBF_4 равный 3, условие делает и коэффициент при

NaBH_4 равный 3, тогда по условию перед B_2H_6 нужно поставить 2. Обратите внимание, что поскольку коэффициенты при всех продуктах и реагентах уже определены, количество атомов бора в левой и правой частях уравнялось автоматически. Уравнивание окислительно-восстановительных реакций методом полуреакций мы рассмотрим позднее на наших занятиях(О.Ю.).

2. Закон постоянства состава (Ж. Пруст): Химическое соединение, имеющее молекулярное строение, независимо от метода получения характеризуется постоянным составом.

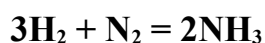
Такие соединения называют *дальтонидами* или **стехиометрическими** в отличие от *бертолидов*, состав которых зависит от способа получения. Такие соединения состоят не из молекул, а из атомов или ионов.

3. Закон кратных отношений (Д. Дальтон): Если два элемента образуют между собой несколько молекулярных соединений, то масса одного элемента, приходящаяся на одну и ту же массу другого, относятся между собой как небольшие целые числа.

При взаимодействии азота с кислородом образуются пять оксидов. На 1 грамм азота в образующихся молекулах приходится 0,57, 1,14, 1,71, 2,28, 2,85 грамм кислорода, что соответствует отношением 2:1, 1:1, 2:3, 1:2, 2:5 в этих оксидах; их составы N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 .

4. Закон простых объемных отношений (Ж. Гей-Люссак): при равных условиях объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу и к объемам образующихся газообразных продуктов как небольшие целые числа.

Так, в реакции образования аммиака из простых веществ отношение объемов водорода, азота и аммиака составляет 3:1:2.



5. Закон Авогадро: в равных объемах любых газов, взятых при одинаковых условиях, содержится одинаковое число молекул.

Из закона Авогадро вытекают два следствия:

- одинаковое число молекул любых газов при одинаковых условиях занимают одинаковый объем (мы его называем молярным);
- относительная плотность одного газа по другому равна отношению их молярных масс (мы используем относительную плотность при нахождении молекулярной массы вещества неизвестной формулы).

Например, $D_{\text{воздух}}(X) = 2$, это значит, что относительная молекулярная масса вещества X равна:

$$M(X) = M(\text{воздуха}) \cdot D_{\text{воздух}}(X) = 29 \cdot 2 = 58 \text{ у.е.}$$

Число Авогадро – число частиц в моле любого вещества; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Молярный объем – объем моля любого газа при нормальных условиях; равен $22,4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Молярная масса (M) – масса одного моля вещества, численно совпадающая с относительными массами атомов, ионов, молекул, радикалов и других частиц, выраженных в $\text{г} \cdot \text{моль}^{-1}$.

6. Закона Бойля — Мариотта :

При постоянных температуре и массе газа произведение давления газа на его объём постоянно.

В математической форме это утверждение записывается в виде формулы

$$pV = C,$$

где p — давление газа; V — объём газа, а C — постоянная в оговоренных условиях величина. В общем случае значение C определяется химической природой, массой и температурой газа.

Очевидно, что если индексом 1 обозначить величины, относящиеся к начальному состоянию газа, а индексом 2 — к конечному, то приведённую формулу можно записать в виде

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Из сказанного и приведённых формул следует вид зависимости давления газа от его объёма в изотермическом процессе:

$$p = \frac{C}{V}.$$

Эта зависимость представляет собой другое, эквивалентное первому, выражение содержания закона Бойля — Мариотта [2]. Она означает, что

Давление некоторой массы газа, находящегося при постоянной температуре, обратно пропорционально его объёму.

Тогда связь начального и конечного состояний газа, участвовавшего в изотермическом процессе, можно выразить в виде:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

Следует отметить, что применимость этой и приведённой выше формулы, связывающей начальные и конечные давления и объёмы газа друг с другом, не ограничивается случаем изотермических процессов. Формулы остаются справедливыми и в тех случаях, когда в ходе процесса температура изменяется, но в результате процесса конечная температура оказывается равной начальной.

Важно уточнить, что данный закон справедлив только в тех случаях, когда рассматриваемый газ можно считать идеальным. В частности, с высокой точностью закон Бойля — Мариотта выполняется применительно к разреженным газам. Если же газ сильно сжат, то наблюдаются существенные отступления от этого закона.

Закон Бойля — Мариотта, закон Шарля и закон Гей-Люссака, дополненные законом Авогадро, являются достаточной основой для получения уравнения состояния идеального газа.

*Закон Бойля –
Мариотта.*

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Закон Шарля

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

Закон Гей-Люссака.

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

Уравнение идеального газа получил Менделеев

Газы нередко бывают реагентами и продуктами в химических реакциях. Не всегда удается заставить их реагировать между собой при нормальных условиях. Поэтому нужно научиться определять число молей газов в условиях, отличных от нормальных.

Для этого используют *уравнение состояния идеального газа* (его также называют уравнением Клапейрона-Менделеева):

$$PV = nRT$$

где n – число молей газа;

P – давление газа (например, в *атм*);

V – объем газа (в литрах);

T – температура газа (в кельвинах);

R – газовая постоянная (0,0821 л·атм/моль·К, 8,31 Дж/моль·К).

Например, в колбе объемом 2,6 л находится кислород при давлении 2,3 атм и температуре 26 °С. Вопрос: сколько моль O_2 содержится в колбе?

Из газового закона найдем искомое число молей n :

$$n = \frac{PV}{RT} \quad \text{отсюда:}$$

$$n = \frac{2,3 \text{ атм} \cdot 2,6 \text{ л}}{0,0821 \frac{\text{л} \cdot \text{атм}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 299 \text{ К}} = 0,24 \text{ моль } O_2$$

Не следует забывать преобразовывать температуру из градусов Цельсия в кельвины: $(273 \text{ }^\circ\text{C} + 26 \text{ }^\circ\text{C}) = 299 \text{ К}$. Вообще говоря, чтобы не ошибиться в подобных вычислениях, нужно внимательно следить за размерностью величин, подставляемых в уравнение Клапейрона-Менделеева. Если давление дается в мм ртутного столба, то нужно перевести его в атмосферы, исходя из соотношения: $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Давление, заданное в паскалях (Па), также можно перевести в атмосферы, исходя из того, что $101325 \text{ Па} = 1 \text{ атм}$.

Расписывая выражение количества вещества через его массу и молярную массу

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

уравнение Менделеева-Клапейрона, примет вид:

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

где R - универсальная (молярная) газовая постоянная при нормальных условиях может быть рассчитана:

$$R = \frac{PV_m}{T} = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 22,41 \cdot 10^{-3}}{273} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Задачи для закрепления на слайде:

1. Для приведения в движение гребных винтов торпеды применяют воздух, сжатый до $190 \cdot 10^5$ Па, в баллонах вместимостью $6 \cdot 10^{-1}$ м³. При какой температуре находится воздух, если масса его 130 кг, а молярная масса $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль?
2. Имеется 12 л углекислого газа под давлением $9 \cdot 10^5$ Па и при температуре 288 К. Определите массу газа.
3. Какой объем занимает газ в количестве 10^3 моль при давлении 10^6 Па и температуре 100 °С?
4. В сосуде вместимостью 500 см³ содержится 0,89 г водорода при температуре 17 °С. Определите давление газа.
5. Баллон вместимостью 40 л содержит углекислый газ массой 1,98 кг. Баллон выдерживает давление не выше $3 \cdot 10^6$ Па. При какой температуре возникает опасность взрыва?
6. Определите массу водорода, находящегося в баллоне вместимостью 20 л под давлением 830 кПа при температуре 17 °С.
7. Плотность некоторого газообразного вещества равна 1,5 кг/м³ при 12°С и нормальном атмосферном давлении. Определить молярную массу этого вещества.
8. При нормальных условиях масса газа 738,6 мг, а объем 8,205 л. Какой это газ?
9. Какова плотность гелия при температуре 127 °С и давлении $8,3 \cdot 10^5$ Па?



Желаю успеха!

Ответы:

1) 306 К ; 2) 0,2 кг ; 3) 3 м³; 4) 2 МПа; 5) 320 К ; 6) 13,8 гр ; 7) 35·10⁻³ кг/моль ; 8) водород ; 9) 1 кг/м³

Примеры решения задач:

Задача 1. Монооксид углерода ("угарный газ") - опасный загрязнитель атмосферы. Он снижает способность гемоглобина крови к переносу кислорода, вызывает болезни сердечно-сосудистой системы, снижает активность работы мозга. Из-за неполного сжигания природного топлива ежегодно на Земле образуется 500 млн. т СО. Определите, какой объем (при н.у.) займет угарный газ, образующийся на Земле по этой причине.

Решение. Запишем условие задачи в формульном виде:

$$m(\text{CO}) = 500 \text{ млн. т} = 5 \cdot 10^{14} \text{ г}$$

$$M(\text{CO}) = 28 \text{ г/моль}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н.у.)}$$

$$V(\text{CO}) = ? \text{ (н.у.)}$$

В решении задачи используются уравнения, связывающие между собой количество вещества, массу и молярную массу:

$$m(\text{CO}) / M(\text{CO}) = n(\text{CO}),$$

а также количество газообразного вещества, его объем и молярный объем:

$$V(\text{CO}) / V_m = n(\text{CO})$$

Следовательно: $m(\text{CO}) / M(\text{CO}) = V(\text{CO}) / V_m$, отсюда:

$$V(\text{CO}) = \{V_m \cdot m(\text{CO})\} / M(\text{CO}) = \{22,4 \cdot 5 \cdot 10^{14}\} / 28$$

$$[\{\text{л/моль}\} \cdot \text{г} / \{\text{г/моль}\}] = 4 \cdot 10^{14} \text{ л} = 4 \cdot 10^{11} \text{ м}^3 = 400 \text{ км}^3$$

Ответ. 4 · 10¹⁴ л, или 4 · 10¹¹ м³, или 400 км³.

Задачи для самостоятельного решения:

1. При производстве серы автоклавным методом неизбежно выделяется около 3 кг сероводорода на каждую тонну получаемой серы. Сероводород - чрезвычайно ядовитый газ, вызывающий головокружение, тошноту и рвоту, а при вдыхании в большом количестве - поражение мышцы сердца и судороги, вплоть до смертельного исхода. Какой объем сероводорода (при н.у.) выделится при получении 125 т серы на химзаводе?

2. Грузовой автомобиль загрязняет воздух вредными выбросами: на каждые 10 км пути с его выхлопными газами в атмосферу попадает 700 г монооксида углерода и 70 г монооксида азота. Каким будет объем (при н.у.) этих вредных веществ при перевозке груза на расстояние 250 км четырьмя автомобилями?

3. Природный газ (метан CH_4) не имеет никакого запаха. Чтобы легче обнаруживать его утечку из бытовых нагревательных приборов и газопроводов, к нему добавляют немного фосфина PH_3 , запах которого ("запах газа") ощущается, если в 10 м^3 природного газа находится всего 0,01 мл фосфина. Рассчитайте число молекул фосфина в 0,01 мл (н.у.) этого газа.

4. Хлор - весьма ядовитый газ. Достаточно сказать, что это был первый газ, примененный как боевое отравляющее средство во время первой мировой войны. В каком объеме газообразного хлора Cl_2 (при н.у.) число молекул равно $1 \cdot 10^{25}$? Какова масса этого количества хлора?

5. Если считать, что атмосферный воздух содержит только два газа - азот и кислород, то масса 100 л воздуха (при н.у.) окажется равной 129,5 г. Определите количество вещества и массу кислорода и азота в 100 л воздуха.

6. При сжигании дров в топке с неисправной вытяжной трубой образуется смесь очень ядовитого монооксида углерода и менее вредного диоксида углерода. Известно, что масса 100 л (при н.у.) этой газовой смеси равна 181,2 г. Определите объем каждого газа в смеси.

7. Газовые выбросы животноводческих ферм содержат соединение азота, относительная плотность которого по водороду равна 8,5. Определите его формулу.

8. Самый главный металл нашей цивилизации - железо. Однако человечество терпит огромные потери из-за того, что железо подвергается коррозии - разрушается под действием кислорода и атмосферных осадков. Определите формулу кислородного соединения железа, которое образуется при коррозии, если оно содержит 72,4% железа и 27,6% кислорода.

Задача 2. Рассчитайте объем, который занимает (при н.у.) порция газа, необходимого для дыхания, если в этой порции содержится $2,69 \cdot 10^{22}$ молекул этого газа. Какой это газ?

Решение. Газ, необходимый для дыхания - это, конечно, кислород. Чтобы решить задачу, сначала запишем ее условие в формульном виде:

$$N(\text{O}_2) = 2,69 \cdot 10^{22} \text{ (молекул)}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н.у.)}$$

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

$$V(\text{O}_2) = ? \text{ (н.у.)}$$

В решении задачи используются уравнения, связывающие между собой число частиц $N(\text{O}_2)$ в данной порции вещества $n(\text{O}_2)$ и число Авогадро N_A :

$$n(\text{O}_2) = N(\text{O}_2) / N_A,$$

а также количество, объем и молярный объем газообразного вещества (н.у.):

$$n(\text{O}_2) = V(\text{O}_2) / V_m$$

$$\text{Отсюда: } V(\text{O}_2) = V_m \cdot n(\text{O}_2) = \{V_m \cdot N(\text{O}_2)\} / N_A = \{22,4 \cdot 2,69 \cdot 10^{22}\} : \{6,02 \cdot 10^{23}\}$$

$$[\{\text{л/моль}\} : \text{моль}^{-1}] = 1,0 \text{ л}$$

Ответ. Порция кислорода, в которой содержится указанное в условии число молекул, занимает при н.у. объем 1 л.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Для очистки питьевой воды от взвешенных частиц в резервуар добавляют соли алюминия. В зависимости от условий в итоге образуются гидроксид алюминия состава $\text{Al}(\text{OH})_3$ или метагидроксид алюминия $\text{AlO}(\text{OH})$ (при нагревании воды). В результате прокаливании осадка гидроксидов алюминия получается оксид алюминия Al_2O_3 . Рассчитайте массовые доли (в процентах) Al_2O_3 и воды в каждом из указанных выше алюминийсодержащих продуктов.

2. Восстановление плодородия истощенной почвы требует введения фосфорсодержащих удобрений. Определите молекулярные формулы трех таких удобрений - соединений типа $(\text{CaO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_y(\text{H}_2\text{O})_z$, если в них содержится: а) $w(\text{CaO}) = 54,2\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 45,8\%$; б) $w(\text{CaO}) = 32,5\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 41,3\%$; в) $w(\text{CaO}) = 23,9\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 60,7\%$. Как называются эти удобрения?

3. Белый фосфор - желтоватое воскообразное вещество, он светится в темноте и очень ядовит. Поэтому применение фосфора как светящегося состава, упомянутое в рассказе "Собака Баскервилей", - это, скорее всего, вымысел Артура Конан-Дойля, автора рассказов о приключениях знаменитого сыщика Шерлока Холмса.

Определите состав молекулы белого фосфора, если плотность его пара по воздуху равна 4,28.

4. В 1 м^3 атмосферного воздуха, помимо азота и кислорода, находится 2 л (при н.у.) диоксида углерода. Определите количество и массу CO_2 во всем объеме классной комнаты, имеющей размеры 8 м x 15 м x 4 м.

5. Электролитическое получение алюминия относится к числу весьма опасных в экологическом отношении, поскольку при электролизе выделяется чрезвычайно вредный газ фтор (на 1 т алюминия - 40 кг F_2). Только 35% выделяющегося фтора удается улавливать в воздухоочистных установках, а остальное его количество рассеивается в окружающей среде. Рассчитайте минимальную площадь лесонасаждений вокруг цеха с производительностью 100 т алюминия в год с учетом того, что растительностью, расположенной на 1 гектаре лесопарка, поглощается в год 40 кг фтора.

6. Дефолиантами называются вещества, вызывающие искусственный листопад. Их применение облегчает машинную уборку урожая. В составе одного из дефолиантов обнаружено 21,6% натрия, 33,3% хлора и 45,1% кислорода. Определите химическую формулу этого вещества.

7. Растения суши и мирового океана ежегодно выделяют при фотосинтезе 320 млрд.т газообразного кислорода, с избытком восполняя расход этого газа в промышленности, энергетике и на транспорте. Какой объем кислорода (при н.у.) ежегодно выделяет земная растительность?

8. Океан, как насос, поглощает своими холодными водами диоксид углерода в полярных широтах и отдает CO_2 в атмосферу в экваториальных и тропических зонах, где вода теплая. В этом обменном процессе между атмосферой и океаном участвуют ежегодно 100 млрд. т углекислого газа. Какой объем диоксида углерода (при н.у.) вовлечен в этот процесс?

Задача 3. В процессах фотосинтеза зеленые растения усваивают из воздуха газообразный оксид углерода, относительная плотность которого по водороду составляет 22. Какова формула этого оксида углерода?

Решение. Чтобы установить формулу оксида углерода C_xO_y , который усваивается растениями при фотосинтезе, надо знать молярную массу этого соединения.

Известные нам оксиды углерода состава CO и CO_2 имеют молярные массы, равные

соответственно 28 и 44 г/моль.

Запишем условие задачи в формульном виде:

$$D(\text{H}_2) = 22$$

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{C}_x\text{O}_y) = ?$$

Запишем уравнение, связывающее между собой молярную массу газа $M(\text{C}_x\text{O}_y)$, относительную плотность его по водороду $D(\text{H}_2)$ и молярную массу водорода $M(\text{H}_2)$:

$$M(\text{C}_x\text{O}_y) = M(\text{H}_2) \cdot D(\text{H}_2) = 2 \cdot 22 [\text{г/моль}] = 44 \text{ г/моль}$$

Молярная масса, равная 44 г/моль, отвечает диоксиду углерода CO_2 .

Ответ. Формула оксида углерода - CO_2 .

Задачи для самостоятельного решения:

1. При сгорании 11,2 л газа получилось 33,6 л CO_2 и 27 г воды. 1 л газа при н.у. весит 1,875 г. Определить молекулярную формулу газа.
2. В результате сгорания 0,68 г газа образовалось 1,42 г P_2O_5 и 0,54 г воды. Определить формулу вещества, если известно, что 1 л газа при н.у. весит 3,02 г.
3. Для установления формулы газообразного углеводорода 5 мл его смешали с 12 мл O_2 , и смесь была взорвана. После конденсации водяных паров объем газообразного остатка $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ равнялся 7 мл, а после обработки его щелочью для поглощения CO_2 осталось 2 мл газа. Найти формулу углеводорода.
4. При взрыве смеси 8 мл газообразного углеводорода с 36 мл O_2 образовалось 16 мл CO_2 и некоторое количество водяных паров. После взрыва не прореагировало 8 мл O_2 . Найти формулу газообразного углеводорода.
5. Полученную при сжигании 1,5 г аминокислоты в кислороде смесь газов пропускают через трубку с фосфорным ангидридом, а затем через известковую воду. Далее поглощают кислород и измеряют объем оставшегося газа. Какова формула аминокислоты, если масса P_2O_5 после пропускания газов увеличилась на 0,9 г, масса осадка, выпавшего в известковой воде - 4 г, объем оставшегося после поглощения кислорода газа - 224 мл.
6. При сжигании 5,76 г вещества образовалось 2,12 г Na_2CO_3 и 5,824 л CO_2 (н.у.) и 1,8 г воды. Определить формулу вещества.

8. 2,2 г вещества с $D(H_2) = 22$, нанесено на $CaCO_3$ и вместе с ним сожжено в атмосфере кислорода. При этом было получено 3,36 л CO_2 , 1,8 г воды и 2,8 г несгораемого остатка. Определить формулу вещества.

9. 2,3 г вещества с $D(H_2) = 23$ нанесено на гидроксид кальция и вместе с ним сожжено в атмосфере кислорода. При этом было получено 2,24 л CO_2 и 4,5 г воды и 5,6 г несгораемого остатка. Установить формулу вещества.

Задача 4. Первая стадия получения серной кислоты в промышленности, дающая наибольшее количество вредных выбросов в атмосферу - обжиг пирита, минерала, отвечающего формуле FeS_2 . Определите массовые доли (в процентах) железа и серы в пирите. Рассчитайте массу серы, которая содержится в 1 т пирита.

Решение. Запишем условие задачи в формульном виде:

$$m(FeS_2) = 1 \text{ т}$$

$$M(Fe) = 56 \text{ г/моль}$$

$$M(S) = 32 \text{ г/моль}$$

$$M(FeS_2) = 120 \text{ г/моль}$$

$$w(Fe) = ?$$

$$w(S) = ?$$

$$m(S) = ?$$

В решении задачи используются уравнения, связывающие между собой массовую долю и молярную массу каждого из элементов, входящих в состав соединения, и молярную массу соединения в целом, а именно:

$$w(Fe) = \{M(Fe) / M(FeS_2)\} = (56 : 120) = 0,467 = 46,7 \%,$$

$$w(S) = 2M(S) / M(FeS_2) = (2 \cdot 32) : 120 = 0,533 = 53,3\%, \text{ или иначе:}$$

$$w(S) = 100 - w(Fe) = 100 - 46,7 = 53,3\%$$

Для расчета массы серы в 1 т пирита тоже можно использовать два пути:

$$m(S) = w(S) \cdot m(FeS_2) = 0,533 \cdot 1 \text{ т} = 0,533 \text{ т} = 533 \text{ кг}$$

$$m(S) = \{2M(S) / M(FeS_2)\} \cdot m(FeS_2) = \{(2 \cdot 32) : 120\} \cdot 1 \text{ [(г/моль : г/моль) \cdot т]} = 0,533 \text{ т} = 533 \text{ кг}$$

Ответ. $w(Fe) = 46,7\%$; $w(S) = 53,3\%$. Масса серы в 1 т пирита - 533 кг.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Вычислить массовые доли каждого из элементов, входящих в состав углеводорода, формула которого C_6H_{12} .

2. Из нефти получают бензин (массовая доля его в нефти составляет 25%) и мазут (55%). При дальнейшей переработке мазута получают еще некоторое количество бензина (60% от массы мазута). Рассчитайте массу бензина, который будет получен из нефти массой 200 кг.

3. Определите массовую долю (в процентах, с точностью до целых) фосфорной кислоты, образовавшейся при растворении 28,4 г оксида фосфора (V) в 200 мл воды.

4. Хлороводород, полученный действием избытка концентрированной серной кислоты на 28,08 г хлорида натрия, растворили в воде. На полученный раствор подействовали избытком перманганата калия. Выделившийся газ пропустили через 150 мл раствора с массовой долей гидроксида калия 10 % ($\rho = 1,12$ г/мл), нагретого до 100 °С. Чему равна массовая доля хлорида калия в полученном растворе (в процентах, с точностью до десятых)?

5. В 712,2 мл 5%-го раствора соляной кислоты ($\rho = 1,025$ г/мл) растворили 33,6 л хлороводорода (н. у.). Чему равна массовая доля хлороводорода (в процентах, с точностью до десятых) в полученном растворе?

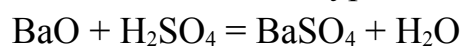
6. Рассчитайте массовую долю водорода в метиловом спирте. Ответ в процентах округлите до десятых долей.

7. Из образца горной породы массой 25 г, содержащей минерал аргентит Ag_2S , выделено серебро массой 5,4 г. Определите массовую долю аргентита в образце.

8. Определите простейшую формулу соединения калия с марганцем и кислородом, если массовые доли элементов в этом веществе составляют соответственно 24,7, 34,8 и 40,5%.

Задача 5. При рентгеноскопическом исследовании организма человека применяют так называемые рентгеноконтрастные вещества. Так, перед просвечиванием желудка пациенту дают выпить суспензию труднорастворимого сульфата бария, не пропускающего рентгеновское излучение. Какие количества оксида бария и серной кислоты потребуются для получения 100 г сульфата бария?

Решение. Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$m(\text{BaSO}_4) = 100 \text{ г}; M(\text{BaSO}_4) = 233 \text{ г/моль}$$

$$n(\text{BaO}) = ?$$

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

В соответствии с коэффициентами уравнения реакции, которые в нашем случае все равны 1, для получения заданного количества BaSO_4 требуются:

$$n(\text{BaO}) = n(\text{BaSO}_4) = m(\text{BaSO}_4) / M(\text{BaSO}_4) = 100 : 233$$

$$[\text{г} : (\text{г/моль})] = 0,43 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{BaSO}_4) = m(\text{BaSO}_4) / M(\text{BaSO}_4) = 100 : 233$$

$$[\text{г} : (\text{г/моль})] = 0,43 \text{ моль}$$

Ответ. Для получения 100 г сульфата бария требуются 0,43 моль оксида бария и 0,43 моль серной кислоты.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Оконные стекла и дверцы вытяжных шкафов в химической лаборатории часто бывают покрыты белым налетом, состоящим из кристаллов хлорида аммония. Причина этого явления - постоянное присутствие в воздухе лабораторий аммиака и хлороводорода. Рассчитайте количество и объем (при н.у.) этих газов, если образовалось 5 г хлорида аммония.

2. Природный газ содержит главным образом метан CH_4 , но в нем присутствуют и примеси, например, ядовитый сероводород H_2S - до 50 г на 1 кг метана. Чтобы удалить примесь сероводорода, можно провести его окисление перманганатом калия в кислой среде до серы. Рассчитайте количество серы, которую можно таким образом выделить из 1 т природного газа. Определите также, какая масса серной кислоты может быть получена, если всю выделенную серу направить в цех производства H_2SO_4 .

3. Толщи известняка на земной поверхности и под землей медленно "размываются" под действием почвенных вод, где растворен диоксид углерода. Какую массу карбоната кальция CaCO_3 может перевести в растворимый гидрокарбонат кальция состава $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ вода, в которой растворено 10 моль CO_2 ? Практический выход для реакции химического растворения считайте равным 90%.

4. Предельно допустимая среднесуточная концентрация монооксида углерода в воздухе составляет $3,0 \text{ мг/м}^3$. Простейший газоанализатор, позволяющий определить наличие в воздухе ядовитой примеси CO , содержит белый порошок оксида иода(V), нанесенный на пемзу и помещенный в стеклянную трубочку. При взаимодействии I_2O_5 с CO идет окислительно-восстановительная реакция с выделением иода,

который окрашивает содержимое трубочки в черный цвет. Какое количество монооксида углерода вызовет выделение 0,1 г иода в трубке газоанализатора? Какой объем воздуха (при н.у.), содержащего 3,0 мг/м³ СО, надо будет пропустить через трубку, чтобы в ней выделилось 0,1 г иода?

5. Коррозия железа на воздухе в присутствии большого количества воды приводит к образованию метагидроксида железа состава FeO(OH). Рассчитайте, какая масса железа подверглась коррозии, если количество полученного в результате этого процесса FeO(OH) составило 11,5 моль. Определите также объем (при н.у.) кислорода, участвовавшего в реакции.

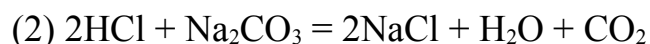
6. При выпечке печенья в качестве разрыхлителя теста используют пищевую соду (гидрокарбонат натрия) с добавкой уксусной кислоты. Эта смесь при нагревании разлагается, выделяя углекислый газ. Рассчитайте объем (при н.у.) СО₂, который выделится при использовании 1 чайной ложки (5 г) NaHCO₃ и избытка СН₃COOH.

7. Взаимодействие минерала магнетита (оксида железа состава Fe₃O₄) с монооксидом углерода СО приводит к получению железа и выделению углекислого газа СО₂. В результате реакции было выделено 65,3 кг железа. Рассчитайте практический выход железа, если масса исходного магнетита составляла 110 кг. Определите объем (при н.у.) полученного газа.

8. Жженую известь, применяемую в строительстве, получают прокаливанием известняка. Определите массовую долю основного вещества (карбоната кальция) в известняке, если прокалывание его образца массой 5,0 кг привело к выделению 1,0 м³ углекислого газа (при н.у.).

Задача 6. Прежде чем вылить в канализацию жидкие отходы лабораторных работ, содержащие соляную кислоту, полагается их нейтрализовать щелочью (например, гидроксидом натрия) или содой (карбонатом натрия). Определите массы NaOH и Na₂CO₃, необходимые для нейтрализации отходов, содержащих 0,45 моль HCl. Какой объем газа (при н.у.) выделится при нейтрализации указанного количества отходов содой?

Решение. Запишем уравнения реакций и условия задачи в формульном виде:



$$n(\text{HCl}) = 0,45 \text{ моль}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}; V_M = 22,4 \text{ л/моль (н.у.)}$$

$$n(\text{NaOH}) = ? \quad m(\text{NaOH}) = ?$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ? \quad m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

$$V(\text{CO}_2) = ? \text{ (н.у.)}$$

Для нейтрализации заданного количества HCl в соответствии с уравнениями реакций (1) и (2) требуется:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 0,45 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 0,45 \cdot 40$$

$$[\text{моль} \cdot \text{г/моль}] = 18 \text{ г}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{HCl}) / 2 = 0,45 : 2 [\text{моль}] = 0,225 \text{ моль};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,225 \cdot 106 [\text{моль} \cdot \text{г/моль}] = 23,85 \text{ г}$$

Для расчета объема углекислого газа, выделившегося при нейтрализации по реакции (2), дополнительно используется уравнение, связывающие между собой количество газообразного вещества, его объем и молярный объем:

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{HCl}) / 2 = 0,45 : 2 [\text{моль}] = 0,225 \text{ моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 0,225 \cdot 22,4 [\text{моль} \cdot \text{л/моль}] = 5,04 \text{ л}$$

Ответ. 18 г NaOH; 23,85 г Na₂CO₃; 5,04 л CO₂

Задачи для самостоятельного решения:

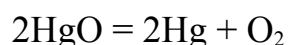
1. Какой объем водорода при н.у. выделится при растворении 4,8 г магния в избытке соляной кислоты?
2. Сколько граммов осадка сульфата бария образуется при слиянии растворов, содержащих 20,8 г хлорида бария и 8,0 г сульфата натрия?
3. К раствору серной кислоты прибавили раствор гидроксида натрия, в результате чего образовался гидросульфат натрия массой 3,60 г. и сульфат натрия массой 2,84 г. Рассчитайте массы израсходованных серной кислоты и гидроксида натрия.
4. Какой объем водорода необходимо взять для восстановления 20 кг меди из ее оксида?
5. Какой объем водорода (н.у.) выделится при взаимодействии 65г Zn с H₂SO₄ 49г?
6. Сколько атомов кислорода содержится: а) в кислороде массой 32 г; б) в оксиде углерода (IV) массой 66 г; в) в оксиде серы (IV) массой 64 г.

7. При разложении CaCO_3 выделилось 11,2 л CO_2 . Чему равна масса KOH , необходимая для связывания газа в карбонат?

8. Вычислите массу 0,25 моль кислорода. Какой объем (н.у.) занимает это количество вещества? Сколько молекул кислорода содержится в этом объеме?

Задача 7. Антуан-Лоран Лавуазье открыл природу горения различных веществ в кислороде после своего знаменитого двенадцатидневного опыта. В этом опыте он сначала длительное время нагревал в запаянной реторте навеску ртути, а позже (и при более высокой температуре) - образовавшийся на первом этапе опыта оксид ртути(II). При этом выделялся кислород, и Лавуазье стал вместе с Джозефом Пристли и Карлом Шееле первооткрывателем этого важнейшего химического элемента. Рассчитайте количество и объем кислорода (при н.у.), собранный при разложении 108,5 г HgO .

Решение. Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$m(\text{HgO}) = 108,5 \text{ г}; M(\text{HgO}) = 217 \text{ г/моль}$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль (н.у.)}$$

$$V(\text{O}_2) = ? \text{ (н.у.)}$$

Количество кислорода $n(\text{O}_2)$, который выделяется при разложении оксида ртути(II), составляет:

$$n(\text{O}_2) = 1/2 n(\text{HgO}) = 1/2 m(\text{HgO}) / M(\text{HgO}) = 108,5 / (217 \cdot 2)$$

$$[\text{г} : (\text{г/моль})] = 0,25 \text{ моль},$$

$$\text{а его объем при н.у.} - V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 0,25 \cdot 22,4$$

$$[\text{моль} \cdot \text{л/моль}] = 5,6 \text{ л}$$

Ответ. 0,25 моль, или 5,6 л (при н.у.) кислорода.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Сколько литров водорода выделяется при взаимодействии железа массой 2,8 г с серной кислотой (н.у.)?
2. Вычислите массу кислорода, выделившегося в результате разложения порции воды массой 9 г.
3. Вычислите объем кислорода, необходимого для сжигания порции ацетилена объемом 50 л.

4. Смешали два раствора, содержащих соответственно 33,3 г хлорида кальция и 16,4 г фосфата натрия. Вычислите массу образовавшегося фосфата кальция.

5. Железо может быть получено восстановлением оксида железа (III) алюминием. Какую массу алюминия и оксида железа (III) надо взять для получения железа массой 140 г?

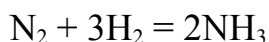
6. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, потребуется для восстановления оксида меди (II), который получили при термическом разложении гидроксида меди (II) массой 19,6 г?

7. Неизвестный металл массой 6,75 г соединяется с хлором, объем которого при нормальных условиях равен 8,4 л. Этот же металл может реагировать с иодом, причем в хлориде и иодиде он проявляет одну и ту же степень окисления. Какая масса иодида образуется при взаимодействии металла массой 6,75 г с иодом?

8. При нагревании соли массой 12,8 г образуются вода массой 7,2 г и азот объемом 4,48 л (нормальные условия). Определите формулу соли, если ее молярная масса равна 64 г/моль.

Задача 8. Важнейшая проблема в промышленном производстве удобрений - получение так называемого "связанного азота". В настоящее время ее решают путем синтеза аммиака из азота и водорода. Какой объем аммиака (при н.у.) можно получить в этом процессе, если объем исходного водорода равен 300 л, а практический выход (η) - 43 %?

Решение. Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$V(\text{H}_2) = 300 \text{ л}; \eta(\text{NH}_3) = 43\% = 0,43$$

$$V(\text{NH}_3) = ? \text{ (н.у.)}$$

Объем аммиака $V(\text{NH}_3)$, который можно получить в соответствии с условием задачи, составляет:

$$V(\text{NH}_3)_{\text{практ}} = V(\text{NH}_3)_{\text{теор}} \cdot \eta(\text{NH}_3) = 2/3 \cdot V(\text{H}_2) \cdot \eta(\text{NH}_3) = 2/3 \cdot 300 \cdot 0,43 \text{ [л]} = 86 \text{ л}$$

Ответ. 86 л (при н.у.) аммиака.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Вычислите массу оксида серы(VI), который можно получить при окислении 160 г оксида серы(IV) кислородом, если выход продукта реакции составит 90 % от теоретически возможного.

2. При окислении 150 г оксида серы(IV) кислородом удалось получить 180 г оксида серы(VI). Вычислите выход продукта реакции от теоретически возможного для условий, в которых проводилась реакция.

3. Вычислите массу железа, которое можно получить при восстановлении 464 г железной окалины Fe_3O_4 водородом, если в ней содержится 10% примесей.

4. Какой объем займет при нормальных условиях хлороводород массой 14,6 г?

5. Газовая смесь содержит кислород объемом 2,24 л и оксид серы (IV) объемом 3,36 л. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Определите массу смеси.

6. Какой объем оксида серы (IV) надо взять для реакции окисления кислородом, чтобы получить оксид серы (VI) массой 20 г, если выход продукта равен 80%? Объем рассчитайте при нормальных условиях.

7. К раствору, содержащему хлорид алюминия массой 32 г, прилили раствор, содержащий сульфид калия массой 33 г. Какой осадок образуется? Определите массу осадка. Ответ: $Al(OH)_3$ массой 15,6 г.

8. Железную пластинку массой 20,4 г опустили в раствор сульфата меди (II). Какая масса железа перешла в раствор к моменту, когда масса пластинки стала равной 22,0 г?

Домашнее задание:

1. При производстве серы автоклавным методом неизбежно выделяется около 3 кг сероводорода на каждую тонну получаемой серы. Сероводород - чрезвычайно ядовитый газ, вызывающий головокружение, тошноту и рвоту, а при вдыхании в большом количестве - поражение мышцы сердца и судороги, вплоть до смертельного исхода. Какой объем сероводорода (при н.у.) выделится при получении 125 т серы на химзаводе?
2. Грузовой автомобиль загрязняет воздух вредными выбросами: на каждые 10 км пути с его выхлопными газами в атмосферу попадает 700 г монооксида углерода и 70 г монооксида азота. Каким будет объем (при н.у.) этих вредных веществ при перевозке груза на расстояние 250 км четырьмя автомобилями?
3. Природный газ (метан CH_4) не имеет никакого запаха. Чтобы легче обнаруживать его утечку из бытовых нагревательных приборов и газопроводов, к нему добавляют немного фосфина PH_3 , запах которого ("запах газа") ощущается, если в 10 м³ природного газа находится всего 0,01 мл фосфина. Рассчитайте число молекул фосфина в 0,01 мл (н.у.) этого газа.

4. Хлор - весьма ядовитый газ. Достаточно сказать, что это был первый газ, примененный как боевое отравляющее средство во время первой мировой войны. В каком объеме газообразного хлора Cl_2 (при н.у.) число молекул равно $1 \cdot 10^{25}$? Какова масса этого количества хлора?

5. Для очистки питьевой воды от взвешенных частиц в резервуар добавляют соли алюминия. В зависимости от условий в итоге образуются гидроксид алюминия состава $\text{Al}(\text{OH})_3$ или метагидроксид алюминия $\text{AlO}(\text{OH})$ (при нагревании воды). В результате прокаливании осадка гидроксидов алюминия получается оксид алюминия Al_2O_3 . Рассчитайте массовые доли (в процентах) Al_2O_3 и воды в каждом из указанных выше алюминийсодержащих продуктов.

6. Восстановление плодородия истощенной почвы требует введения фосфорсодержащих удобрений. Определите молекулярные формулы трех таких удобрений - соединений типа $(\text{CaO})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_y(\text{H}_2\text{O})_z$, если в них содержится: а) $w(\text{CaO}) = 54,2\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 45,8\%$; б) $w(\text{CaO}) = 32,5\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 41,3\%$; в) $w(\text{CaO}) = 23,9\%$ и $w(\text{P}_2\text{O}_5) = 60,7\%$. Как называются эти удобрения?

7. Белый фосфор - желтоватое воскообразное вещество, он светится в темноте и очень ядовит. Поэтому применение фосфора как светящегося состава, упомянутое в рассказе "Собака Баскервилей", - это, скорее всего, вымысел Артура Конан-Дойля, автора рассказов о приключениях знаменитого сыщика Шерлока Холмса. Определите состав молекулы белого фосфора, если плотность его пара по воздуху равна 4,28.

Список использованных источников

1. http://www.syl.ru/article/171047/new_osnovnyie-zakonyi-himii-osnovnyie-ponyatiya-i-zakonyi-himii
2. <http://ru.wikipedia.org>
3. Ерохин Ю.М., Фролов В.И. «Сборник задач и упражнений по химии» с дидактическим материалом - М., Высшая школа, 1998 г.
4. Радецкий А.М. и др. «Дидактический материал по химии» - М.: Просвещение, 2005 г.
5. Тяглова Е. В. Исследовательская деятельность учащихся по химии / Е.В. Тяглова - М.: Глобус, 2007. - С. 175-199.

6. Хомченко И.Г. «Общая химия. Сборник задач и упражнений», - М.: «Новая Волна», 1998 г.

7. Энциклопедия для детей. Том 17. Химия / Под ред. В. А. Володина. - М.: Аванта +, 2001. - С. 576-579.