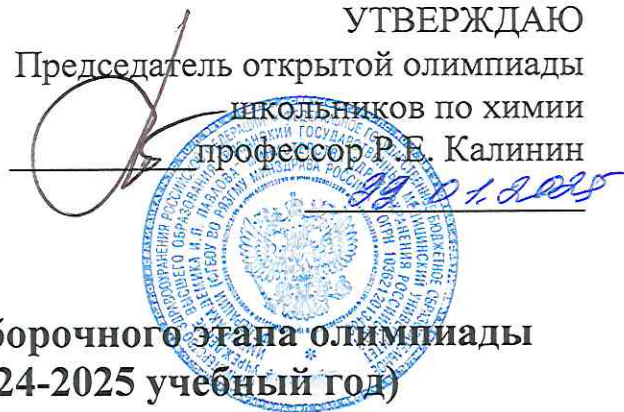


УТВЕРЖДАЮ
Председатель открытой олимпиады
школьников по химии
профессор Р.Е. Калинин



Вопросы и ответы на задания отборочного этапа олимпиады школьников по химии (2024-2025 учебный год)

Задача 1 (6 баллов)

Два соединения имеют состав $X_2Y_2O_3$ и X_2YO_3 . Первое соединение содержит 42,11% кислорода по массе и 56,14% элемента Y. Установите формулы неизвестных соединений и назовите их.

Решение

Поскольку в первом соединении три атома кислорода, можно рассчитать молярную массу этого вещества:

$$M_1 = 16 \cdot 3 / 0,4211 = 114 \text{ г/моль.}$$

Тогда масса Y составляет

$$M(Y) = 114 \cdot 0,5614 / 2 = 32 \text{ г/моль} - \text{это сера.}$$

$$M(X) = (114 - 48 - 64) / 2 = 1 \text{ г/моль} - \text{это водород.}$$

Неизвестные соединения – тиосерная $H_2S_2O_3$ и сернистая H_2SO_3 кислоты.

Ответ: $H_2S_2O_3$ и H_2SO_3 .

За расчет молярной массы – 2 балла

За определение элементов S и H – по 1 баллу, итого 2 балла

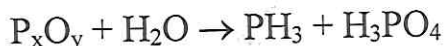
За формулы и названия веществ – по 1 баллу, итого 2 балла

Задача 2 (14 баллов)

Элемент фосфор образует ряд оксидов. Один из оксидов фосфора А растворили в горячей воде. При этом выделился газ В и образовался раствор С. При добавлении к раствору С молибденовой жидкости выделилось 78,18 г желтого осадка в расчете на безводную соль. Газ В при смешивании с газообразным йодоводородом образует 0,96 г бесцветных кристаллов D, разлагающихся водой. **Определите состав оксида фосфора и всех упомянутых веществ. Подтвердите выводы расчетом. Напишите реакцию взаимодействия этого оксида фосфора с водой и реакцию образования D. Рассчитайте массу А.**

Дополнение. Молибденовая жидкость используется в аналитической химии для открытия ортофосфат-иона. Она реагирует с ортофосфат-ионом в мольном соотношении 1 : 1 с образованием желтого осадка состава $(NH_4)_3PMo_{12}O_{40} \cdot 2H_2O$.

Решение



В – это PH_3 , С – это H_3PO_4

$\nu(PH_4I) = 0,96 / 162 = 0,00593$ моль, поэтому $\nu(PH_3) = 0,00593$ моль

$\nu((NH_4)_3PMo_{12}O_{40}) = 78,18 / 1877 = 0,04165$ моль $\Rightarrow \nu(H_3PO_4) = 0,04165$ моль.

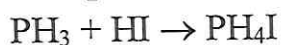
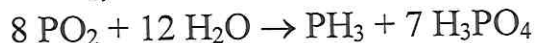
$\nu(PH_3) : \nu(H_3PO_4) = 0,00593 : 0,04165 = 1 : 7$

Подставляем коэффициенты $P_xO_y + H_2O \rightarrow PH_3 + 7 H_3PO_4$

Уравниваем воду по водороду $P_xO_y + 12 H_2O \rightarrow PH_3 + 7 H_3PO_4$

Определяем оксид фосфора PO_2

А – это PO_2 , В – это PH_3 , С – это H_3PO_4 , D – это PH_4I



$m(PO_2) = 0,00593 * 8 * 63 = 2,99$ г

За определение веществ А, В, С, D – по 1 баллу, итого 4 балла

За расчет молей PH_3 и H_3PO_4 – по 1 баллу, итого 2 балла

За составление уравнения гидролиза – 4 балла

За составление уравнения образования соли фосфония – 1 балл

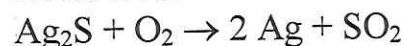
За определение формулы оксида и за расчет его массы – по 1 баллу, итого 2 балла

Задача 3 (7 баллов)

Черный сульфид металла подвергли обжигу на воздухе. В результате получили твердое серое вещество, которое взаимодействует с концентрированной азотной кислотой с образованием бесцветного раствора. При добавлении гидроксида натрия к этому раствору выпадает черно-коричневый осадок, растворимый в аммиаке. Полученный аммиачный раствор реагирует с уксусным альдегидом с образованием простого вещества в виде серого осадка или в виде зеркального налета. **Определите все описанные соединения и напишите все реакции. Подтвердите выводы расчетами, если масса исходного сульфида металла составляла 37,2 г, а масса полученного продукта после обжига – 32,4 г.**

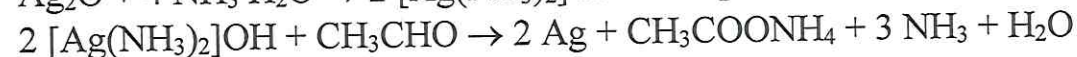
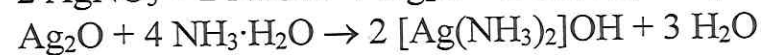
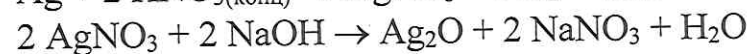
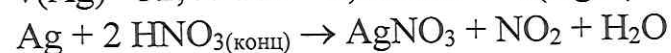
Решение

Из качественного описания понятно, что исходный сульфид – сульфид серебра.



Подтвердим предположение расчетом:

$\nu(Ag) = 32,4 / 108 = 0,3$ моль $\Rightarrow \nu(Ag_2S) = 0,15$ моль $\Rightarrow m(Ag_2S) = 0,15 * 248 = 37,2$ г



За каждую реакцию – по 1 баллу, итого 5 баллов

За расчет – 2 балла

Задача 4 (16 баллов)

Кристаллы полупроводников нанометрового размера, обладающие способностью к люминесценции, состоят из внутреннего ядра А и оболочки В. Вещества ядра и оболочки – это бинарные соединения.

Такие кристаллы можно синтезировать следующим образом. Вначале синтезируют ядро кристалла путем нагревания в органическом растворителе смеси миристата двухвалентного металла, содержащего 19,8% металла по массе, и оксида неметалла, содержащего 28,8% кислорода по массе.

Затем вокруг ядра наращивают оболочку. Вещество В оболочки образуется при нагревании в органическом растворителе олеата того же двухвалентного металла и октантиола.

Проведенный в таких условиях синтез приводит к образованию кристалла диаметром 7,6 нм, причем диаметр ядра составляет 2,7 нм. Оболочка состоит из слоев вещества В толщиной 0,35 нм.

Определите число слоев вещества В. Установите формулы веществ А и В. Приведите расчеты. Напишите уравнение реакции образования вещества В.

Дополнение:

Миристаты – это соли миристиновой кислоты, которая содержит 14 атомов углерода и имеет насыщенный углеводородный радикал.

Октантиол – это насыщенное соединение, содержащее 8 атомов углерода и принадлежащее к классу тиолов. Тиолы содержат функциональную группу SH и являются аналогами спиртов. Они могут обменивать водород тиольной группы SH на атомы металлов.

Решение

Миристат двухвалентного металла: $(C_{13}H_{27}COO)_2Me$, $M(Me) = x$ г/моль

$0,198 = x / (x + 454)$, $x = 112$, это кадмий Cd.

Оксид двухвалентного неметалла R_2O_n , $M(R) = x$ г/моль

$0,288 = (n * 16) / (2x + n * 16)$, $x = 19,78n$

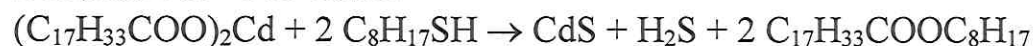
$$n = 1 \quad x = 20$$

$$n = 2 \quad x = 39,5$$

$$n = 3 \quad x = 59$$

$$n = 4 \quad x = 79 \text{ – единственное решение селен Se}$$

Вещество А – это **CdSe**.



Вещество В – это **CdS**.

$r_{\text{кристалла}} = 3,8$ нм, $r_{\text{ядра}} = 1,35$ нм, число слоев = $(3,8 - 1,35) / 0,35 = 7$ слоев

За определение металла – 2 балла

За определение неметалла – 4 балла

За формулу вещества А – 2 балла

За уравнение реакции – 4 балла

За формулу вещества В – 2 балла

За расчет числа слоев – 2 балла

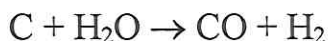
Задача 5 (12 баллов)

При взаимодействии угля с водой в соответствующих условиях образуется «водяной газ» – смесь CO, H₂ и паров воды. Каков состав водяного газа в процентах по массе, если при 800⁰C и давлении 1 атм он имеет плотность 0,18 г/л?

Дополнение:

Используйте уравнение Менделеева-Клапейрона и не забудьте пересчитать величины в единицы СИ.

Решение



$$pV = \nu RT \text{ или } pV = (m/M) * RT, \text{ откуда } M_{\text{смеси}} = \rho RT/p = 180 * 8,31 * 1073 / 101325 = 15,84 \text{ г/моль}$$

Пусть в 1 моле водяного газа x моль CO, x моль H₂ (согласно уравнению реакции) и $1-2x$ моль H₂O. Тогда $28x + 2x + 18(1-2x) = 15,84$ и $x = 0,36$.

$$\nu_{\text{CO}} = \nu_{\text{H}_2} = 0,36 \text{ моль, } \nu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0,72 = 0,28 \text{ моль.}$$

$$\omega_{\text{CO}} = 0,36 * 28 / 15,84 = 0,636, \omega_{\text{H}_2} = 0,36 * 2 / 15,84 = 0,045, \omega_{\text{H}_2\text{O}} = 0,28 * 18 / 15,84 = 0,319.$$

За расчет средней молярной массы смеси – 2 балла

За составление уравнения и его решение – 4 балла

За расчет количеств веществ компонентов – 3 балла

За расчет массовых долей компонентов – 3 балла

Задача 6 (16 баллов)

Смесь двух газообразных непредельных нециклических углеводородов при гидрировании образует только один углеводород. При пропускании 1,000 л (н.у.) этой смеси через раствор HgSO₄ в 50%-ной H₂SO₄ смесь полностью поглощается, и образуется 3,241 г смеси двух карбонильных соединений и только одного спирта. Определите качественный и количественный состав смеси углеводородов. Почему образуются два карбонильных соединения? Приведите все химические реакции и назовите все вещества.

Решение

В состав смеси входят алкен и алкин, причем количество атомов углерода 2, 3 или 4.



$$\nu_{\text{смеси}} = 1 / 22,4 = 0,446 \text{ моль, } \nu(\text{алкена}) = x \text{ моль, } \nu(\text{алкина}) = y \text{ моль.}$$

$$\begin{cases} x + y = 0,446 \\ (14n + 18) * x + (14n + 16) * y = 3,241 \end{cases}$$

$$x = 1,264 - 0,312n$$

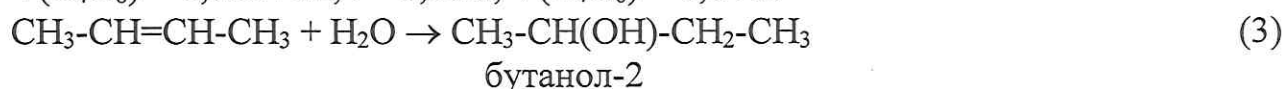
$$n = 2 \quad x = 0,64$$

x должен быть меньше 0,0446

n = 3 x = 0,328 x должен быть меньше 0,0446
 n = 4 x = 0,016 единственно возможное решение

Это бутен-2 (так как образуется только один спирт) и бутин-1 (так как образуется смесь двух карбонильных соединений по правилу и против правила Марковникова).

$$V(C_4H_8) = 0,016 \cdot 22,4 = 0,36 \text{ л}, V(C_4H_6) = 0,64 \text{ л}.$$



За уравнения реакций 1 и 2 – по 1 баллу, итого 2 балла

За составление системы уравнений – 2 балла

За перебор n = 2,3,4 и решение системы – 3 балла

За определение формул и названий исходных веществ – по 2 балла, итого 4 балла

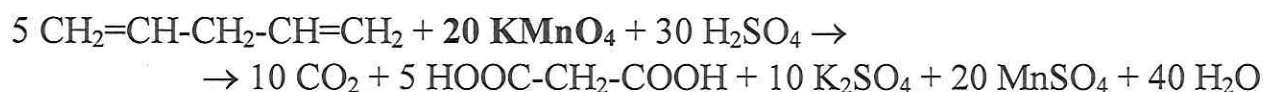
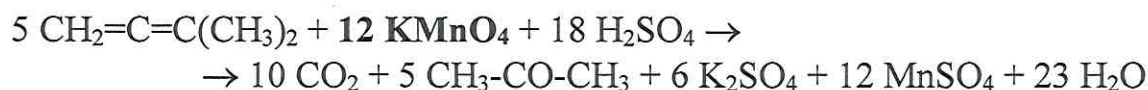
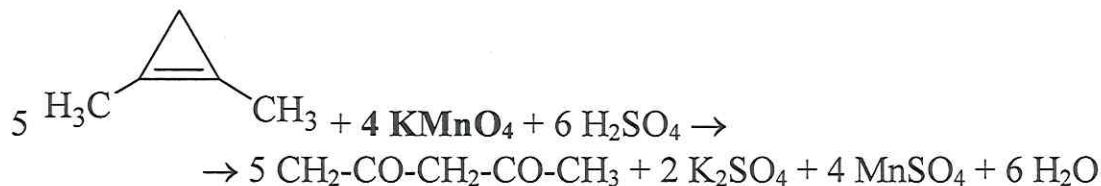
За уравнения реакций 3, 4 и названия продуктов – по 2 баллу, итого 4 балла

За объяснение образования двух карбонильных соединений – 1 балл

Задача 7 (15 баллов)

Четыре углеводорода состава C_5H_8 окисляются холодным водным раствором перманганата калия в присутствии разбавленной серной кислоты. Количество перманганата калия, израсходованного на окисление, относится между собой как 1 : 2 : 3 : 5. Приведите формулы этих углеводородов, назовите их и напишите уравнения реакций окисления.

Решение



$$4:8:12:20 = 1:2:3:5$$

1,2-диметилциклопропен-1, пентин-1, 3-метилбутадиен-1,2, пентадиен-1,4

За каждое уравнение и название исходного углеводорода – по 3 балла, итого 15 баллов

Тестовые задания

Задание 8.1 (2 балла)

Какие газовые смеси при одинаковых условиях могут иметь равную плотность? Возможно несколько верных ответов.

- а) смесь азота и кислорода и смесь криптона и углекислого газа
- б) смесь азота и метана и смесь этина и углекислого газа
- в) смесь аргона и хлора и смесь пропана и углекислого газа
- г) смесь неона и кислорода и смесь хлора и аргона

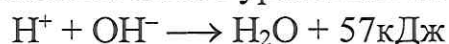
Задание 8.2 (3 балла)

Озон – очень ядовитый газ. Его предельно допустимое содержание в воздухе составляет всего $0,03 \text{ мг/м}^3$. При таком содержании озона сколько его молекул приходится на один миллиард молекул воздуха (н. у.)?

- а) 4
- б) 9
- в) 14
- г) 21

Задание 8.3 (3 балла)

В результате реакции, термохимическое уравнение которой

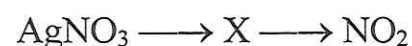


выделилось $28,5 \text{ кДж}$ теплоты. Какая масса (в граммах) серной кислоты была нейтрализована гидроксидом калия?

- а) 12,25
- б) 24,5
- в) 49
- г) 98

Задание 8.4 (2 балла)

Задана следующая схема превращений веществ:



Определите, какие из указанных веществ являются веществами X и Y.

- а) AgCl
- б) Fe_3O_4
- в) Fe_2O_3
- г) HNO_3
- д) Cr_2O_3

Задание 8.5 (4 балла)

Вещество X, содержащее $38,4\%$ углерода и $56,8\%$ хлора по массе, образуется при присоединении 1 моль хлора к углеводороду Y. Углеводород Y реагирует с аммиачным раствором оксида серебра. Установите строение вещества Y.

- а) этин
- б) пропин
- в) бутин-1
- г) бутин-2

Ответы

8.1	8.2	8.3	8.4	8.5
б, в	в	б	г, б	в