**Министерство образования и науки РТ**

**Казанский федеральный университет**

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии 2023–2024 гг.**

**Решения**

**Авторы задач:** Болматенков Д.Н., Хасаншина Л.И., Ромашова А.М., Гильманов А.Б., Миронов В.А., Лукаш Т.А. Под редакцией Седова И.А.

**Инструкция для жюри**

**Жирным шрифтом** выделены правильные ответы, за которые начисляются баллы, и разбалловка.

Во многих расчетных задачах оцениваются промежуточные шаги. Школьник может решать задачу не так, как в авторском решении, при этом, если он получил верный конечный ответ, решение должно быть оценено полным баллом как за этот ответ, так и за все шаги, ведущие к нему в авторском решении.

В многоступенчатых расчетных задачах за одну чисто арифметическую ошибку, приведшую к численно неверному ответу, суммарный балл за весь расчет не должен снижаться более чем наполовину.

Уравнения реакций с неверными или отсутствующими коэффициентами, как правило, оцениваются в половину от максимального количества баллов, а в тех случаях, когда уравнения без коэффициентов приведены в самом условии, в 0 баллов.

Школьники могут использовать при решении как округленные до целого числа, так и точные (1–3 знака после запятой) атомные массы элементов. В последнем случае ответ может содержать больше значащих цифр, чем приведено в данном решении.

При проверке работ одну и ту же задачу у всех участников должен проверять один человек.

Максимальный балл за каждую задачу различен и указан в конце решения. Максимальный балл за все задачи в 8 классе 70 баллов, в 9 классе 93 балла, в 10 классе 60 баллов, в 11 классе 67 баллов.

**8 класс**

**Задание 1.**

1. Поскольку число подсказок меньше числа элементов, некоторые элементы повторяются.

а) **Ca – кальций** (сульфат, карбонат, фторид);

б) **N – азот**;

в) **Y – иттрий**;

г) **O – кислород**;

д) **U - уран**;

е) **P - фосфор**;

ж) **La – лантан** (речь идёт о лантаноидах);

з) **Y – иттрий** (произведение молярного объёма и плотности даёт молярную массу иттрия);

и) **N – азот** (расчёт даёт молярную массу 28 г/моль, а кремний при н.у. не является газом);

к) **O - кислород**;

л) **W – вольфрам** (содержит в названии wolf (нем. «волк»)).

(**1 балл за каждый химический символ (всего 11), 1 балл за каждое новое название (всего 8)**; названия азота, иттрия и кислорода оцениваются однократно)

2. Загадана фраза **CaN YOU PLaY NOW?** (Можешь играть?) **(1 балл)**

**Всего максимум 20 баллов.**

**Задание 2.**

1. N(C12H22O11) = n(C12H22O11)·NA = m(C12H22O11)·NA/M(C12H22O11) = 6·6.022·1023/342 = **1.06·1022 (2 балла)**

N(H2O) = n(H2O)·NA = m(H2O)·NA/M(H2O) = V(H2O)·ρ(H2O)·NA/M(H2O) = 5·1·6.022·1023/18 = **1.67·1023 (2 балла)**

N(C57H104O6) = n(C57H104O6)·NA = m(C57H104O6)·NA/M(C57H104O6) = V(C57H104O6)·ρ(C57H104O6)·NA/M(C57H104O6) = 5.5·0.92·6.022·1023/884 = **3.45·1021 (2 балла)**

2. Количество атомов каждого типа может быть найдено как произведение количества молекул на число атомов в молекуле.

Для сахарозы: N(C) = 12· N(C12H22O11) = **1.27·1023 (1 балл);** N(H) = 22·N(C12H22O11) = **2.32·1023 (1 балл);** N(O) = 11·N(C12H22O11) = **1.16·1023 (1 балл)**.

Аналогично для воды: N(H) = **3.34·1023 (1 балл);** N(O) = **1.67·1023 (1 балл).**

И для подсолнечного масла: N(C) = **1.97·1023 (1 балл);** N(H) = **3.59·1023 (1 балл);** N(O) = **2.07·1022 (1 балл)**.

3. Больше всего атомов кислорода в ложке с **водой (1 балл).**

4. Больше всего атомов водорода в ложке с **подсолнечным маслом (1 балл).**

**Всего максимум 16 баллов.**

**Задание 3.**

1. Атомная масса бора в таблице – 10.811 а.е.м. Используя приведённое в условии уравнение, а также тот факт, что сумма долей должна составлять единицу, получим:

10.811 = 10*χ*1 + 11*χ*2 = 10*χ*1 + 11(1- *χ*1)

Откуда ***χ*1 = 0.189 (1 балл)**, а ***χ*2** = **0.811 (1 балл)**.

2. Атомная масса хлора в таблице – 35.453. Предполагая, что содержания изотопов строго равны 0.75 и 0.25, вычислим массу второго изотопа:

35.453 = 35·0.75 + 0.25X

Откуда X = 36.8. Так как масса нейтрона близка к целой, стоит ожидать, что второй изотоп будет иметь целое значение молярной массы. Ближайшее целое число – **37 а.е.м. (1 балл)**

Теперь рассчитаем точное содержание каждого изотопа, как это было сделано выше:

35.453 = 35*χ*1 + 37*χ*2 = 35*χ*1 + 37(1- *χ*1)

Откуда ***χ*1 = 0.774 (1 балл)**, а *χ*2 = **0.226 (1 балл)**.

**35Cl содержит 17 протонов, 17 электронов и 18 нейтронов (по 0.5 балла).**

**37Cl содержит 17 протонов, 17 электронов и 20 нейтронов (по 0.5 балла).**

3. Хлор более электроотрицательный элемент, чем бор, поэтому в соединении будет проявлять степень окисления –1. Для бора характерная положительная степень окисления +3. Тогда формула **X – BCl3 (2 балла)**.

Из изотопов бора 10B и 11B и изотопов хлора 35Cl и 37Cl можно составить **8 молекул (2 балла)** BCl3 с разной молекулярной массой. Наименее вероятна ситуация, когда в одной молекуле встречается самый редкий изотоп бора (10B) и три раза встречается самый редкий изотоп хлора (37Cl). Тогда масса этой молекулы будет равна 10 + 37·3 = **121 а.е.м. (2 балла).**

4. Начнем со второй части вопроса. Атомная масса изотопа **не равна (0,5 балла)** массовому числу этого изотопа, за исключением изотопа 12C. Массовое число представляет собой суммарное количество протонов и нейтронов в ядре и **всегда является целым (1 балл).**

Тем не менее, примем приближенно атомные массы изотопов за *y* и *y*+2:

*A*r(Cu) = 0.691*y* + 0.309(*y*+2) = *y* + 0.618 = 63.546, откуда *y* = 62.93 а.е.м. Массовое число является наиболее близким к *y* целым числом, т.е. ***x* = 63** **(1,5 балла).**

5. Атомную массу элементов без стабильных изотопов, которые практически не встречаются в природе, в таблице выделяют квадратными скобками []. В ряду лантаноидов такой знак можно наблюдать только у **прометия Pm (1 балл).**

**Всего максимум 19 баллов**

**Задание 4.**

1. Выразим отношение p2/p1, переведя температуру в кельвины:

*p*2/*p*1 = *T*2/*T*1 = (22 + 273)/(12+273) = 1.035

**Давление вырастет на 3.5 % (3 балла)**

2. Допустимые формульные выражения ***V*/*T* = const или *V*1/*T*1 = *V*2/*T*2 (2 балла за любой из вариантов)**

3. Используя вторую формулу, выразим ночную температуру (*Т*2):

*T*2 = *V*2*T*1/*V*1 = 0.97*T*1 = 0.97·(30+273) = 294 K = **21 °C (3 балла)**

4. Допустимые формульные выражения ***pV* = const или *p*1*V*1 = *p*2*V*2** **(2 балла за любой из вариантов)**

5. Если радиус увеличился в 4.8 раза, то объём увеличился в:



Тогда ***p*1 = *p*2*V*2/*V*1 = 110.6 атм (5 баллов)**

**Всего максимум 15 баллов.**

**9 класс**

**Задание 1.**

1. Для нахождения массовой доли карбоната натрия пересчитаем массу кристаллогидрата на массу соли:

m(Na2CO3) = m(Na2CO3·10H2O)·M(Na2CO3)/M(Na2CO3·10H2O) = 14.3·106/286 = 5.3 г

Масса раствора:

m(р-ра) = m(H2O) + m(Na2CO3·10H2O) + m(Na2SO4) + m(NaCl) = 200 + 14.3 + 14.2 + 23.4 = 251.9 г

Тогда массовая доля карбоната натрия:

ɷ(Na2CO3) = m(Na2CO3)/m(р-ра)·100% = 5.3/251.9·100% = **2.1% (2 балла)**

2. n(Na2SO4) = m(Na2SO4)/M(Na2SO4) = 14.2/142 = 0.1 моль

V(р-ра) = m(р-ра)/ρ = 251.9/1.13 = 222.9 мл = 0.223 л

С(Na2SO4) = n(Na2SO4)/ V(р-ра) = 0.1/0.223 = **0.449 М (2 балла)**

3. C(Na2CO3) = n(Na2CO3)/V(р-ра) = 0.05/0.223 = 0.224 М

Сн(Na2CO3) = z·C(Na2CO3) = 2·0.224 = **0.448 н (2 балла)**

4. m(H2O) = 200 г = 0.2 кг

Сm(NaCl) = n(NaCl)/m(H2O) = 0.4/0.2 = **2 моль/кг (2 балла)**

5. Так как нормальная концентрация больше молярной концентрации в z раз, то числа, которые при делении дают целое число являются нормальной и молярной концентраций. Так как 17.76/5.92 = 3, то:

**С(Х) = 5.92 М (1 балл)**

**Сн(Х) = 17.76 н (1 балл)**

Так как массовая доля обычно выражается в процентах, то она будет равна самому большому числу: **ɷ(Х) = 45% (1 балл)**  
Тогда: **Сm(X) = 8.35 моль/кг (1 балл)**

6. Нам известна масса вещества, найдем из массовой доли массу раствора. Массовая доля в долях: ɷ(Х) = 45% = 0.45  
m(р-ра) = m(X)/ɷ(Х) = 180/0.45 = **400 г (1 балл)**

Из моляльной концентрации найдем моли Х:  
m(H2O) = m(р-ра) – m(X) = 400 – 180 = 220 г = 0.22 кг

n(X) = Сm(X)**·** m(H2O) = 8.35·0.22 = 1.837 моль

Из молярной концентрации найдем объем раствора:  
V(р-ра) = n(X)/С(Х) = 1.837/5.92 = 0.3103 л = **310.3 мл (2 балла)**

ρ(р-ра) = m(р-ра)/V(р-ра) = 400/310.3 = **1.29 г/мл (2 балла)**

M(X) = m(X)/n(X) = 180/1.837 = **98 г/моль (2 балла)**

Так как раствор Х имеет кислую реакцию, логично предположить, что Х – это кислота. Так как z равен Сн(Х)/С(Х) = 17.76/5.92 = 3, следовательно, кислота трехосновная. Трехосновная кислота с молярной массой 98 г/моль – фосфорная, **H3PO4 (2 балла).**

**Всего максимум 21 балл.**

**Задание 2.**

1. **X**, **Y** и **Z** – сульфатные или сульфидные минералы, так как их можно использовать для получения серной кислоты. Поскольку практически любой синтез серной кислоты включает окисление SO2 до SO3, предположим, что **H** **– SO3 (2 балла)**, **Q** – **SO2 (2 балла)**. Смесь, содержащая 1 часть **R** и 2 части SO2, имеет среднюю молярную массу около 29·2 ≈ 58 г/моль. Так как 58 ≈ 2/3·64 + 1/3·M(**R**), M(**R**) ≈ 46 г/моль, причем реальная молярная массе несколько меньше этой величины. Поиск среди газов с близкими молярными массами наводит на CO2, который может образоваться при восстановлении чего-либо углеродом – это простое вещество, обозначенное в задаче буквой **U (U – C, 2 балла)**. Основной компонент песка – **SiO2 –** **S (2 балла)**.

Учитывая, что разложение минералов **X** и **Y** протекает обратимо и при небольших температурах, разумно предположить, что они являются гидратами. В ходе превращения **X** в **Z** потеря массы составляет 20.9 %. Предполагая, что в ходе разложения выделяется 1 молекула воды, получим M(X) = 18/0.209 = 86 г/моль, M(**Z**) = 68 г/моль. Так как в ходе обработки **Z** используется восстановитель, эта соль не может быть сульфидом и должна быть сульфатом. Подобрать сульфат с такой молярной массой невозможно, поэтому рассмотрим вариант с двумя молекулами воды. В этом случае M(**X**) = 172 г/моль, M(**Z**) = 136 г/моль. Последнее число соответствует молярной массе CaSO4 – малорастворимому сульфату (минерал ангидрит) (**Z – CaSO4, 2 балла**). Тогда **X** – **CaSO4·2H2O** **(2 балла)**, а расчёт по потере массы даёт для **Y** формулу **CaSO4·0.5H2O (2 балла)** (алебастр).

2. Уравнения реакций (**по 2 балла за уравнение**):

**CaSO4·2H2O = CaSO4·0.5H2O + 1.5H2O**

**CaSO4·0.5H2O = CaSO4 + 0.5H2O**

**2CaSO4 + 2SiO2 + С = 2CaSiO3 + 2SO2 + CO2**

**2SO2 + O2 = 2SO3**

**Всего максимум 26 баллов**

**Задание 3.**

1. **X – азот N. I – N2, II – NO, III – NH3, IV – NO2, V – HNO3, VI – N2H4, VII\* - NH4NO3, VII – N2O, VIII – [NH3OH]HSO4 (допускается запись, не отражающая строение), IX – N2O3. (по 1 баллу за элемент и каждое вещество)**

**Уравнения реакций (по 1 баллу за уравнение):**

**N2 + O2 = 2NO**

**2NO + O2 = 2NO2**

**NO2 + NO = N2O3**

**2H2O + 4NO2 + O2 = 4HNO3**

**3H2 + N2 = 2NH3**

**NH3 + HNO3 = NH4NO3**

**NH4NO3 = N2O + H2O**

**2NH3 + NaClO = N2H4 + NaCl + H2O**

**2NO + 3H2 + 2H2SO4 = 2[NH3OH]HSO4**

2. В соединении VII\* степени окисления азота в ионе аммония и нитрат-ионе равны **–3 и +5**,соответственно; можно также считать, что средняя степень окисления равна **+1** **(1 балл за любой из двух вариантов ответа)**.

3. Степени окисления серы и хрома в указанных соединения равны **+6 (по 1 баллу).** Формальное рассмотрение (при допущении, что с.о. кислорода –2) даёт степени окисления +7 и + 10, соответственно. Такая ситуация объясняется тем, что в обоих соединениях **часть атомов кислорода пероксидная и имеет с.о. –1 (1 балл)**.

**Всего максимум 24 баллов**

**Задание 4.**

1. Общая формула оксидов – M2On. Выразим массовую долю кислорода через n:



Решением которого будет M = 35*n*. При *n* = 2 молярная масса близка к массе галлия, однако для него нехарактерна степень окисления +2. При *n* = 4 молярная масса соответствует церию, который действительно образует оксид в с.о. +4 и, как следует из приведённых уравнений, также имеет оксид Ce2O3 (Y). Тогда **M – Ce (2 балла), X – CeO2 (2 балла), Y – Ce2O3 (2 балла).**

2. Если умножить коэффициенты в первой реакции на +2, а затем сложить её со второй реакцией, то соединения X и Y сократятся и останется уравнение вида: **2CO + O2 = 2CO2 (1 балл)**

Для получения её теплового эффекта необходимо повторить те же действия с теплотами первой и второй реакций:

Q = –85.4·2 + 736.8 = 566 кДж/моль; на 1 моль CO эффект составит 283 кДж (2 балла)

3. **2NH3 + 3N2O = 4N2 + 3H2O (1 балл)**

Q1 = 3·241.8 – 2·46.2 – 3·(–82.0) = 879.0 кДж/моль **(439.5 кДж на моль аммиака, 2 балла)**

**4NH3 + 6NO = 5N2 + 6H2O (1 балл)**

Q2 = 6·241.8 – 4·46.2 – 6·(–90.2) = 1807.2 кДж/моль **(451.8 кДж на моль аммиака, 2 балла)**

**8NH3 + 6NO2 = 7N2 + 12H2O (1 балл)**

Q3 = 12·241.8 - 8·46.2 – 6·(–33.5) = 2733.0 кДж/моль **(341.6 кДж на моль аммиака, 2 балла)**

**6NOx + 4*x*NH3 = (3+2*x*)N2 + 6*x*H2O (3 балла)**

4. NOx можно представить как смесь (2-*x*)NO и (*x*-1)NO2, где (2-*x*) и (*x*-1) – мольные доли газов в смеси. Тепловой эффект на 1 моль NO равен 301.2 кДж, а на 1 моль NO2 455.5 кДж. Тогда эффект на 1 моль NOx будет равен 301.2(2-*x*) + 455.5(*x*-1) = (146.9 + 154.3*x*) кДж на моль NOx. Для приведённой выше реакции он составит 6·(146.9 + 154.3*x*) = **881.4 + 925.8*x* кДж (3 балла)**.

**Всего максимум 22 балла**

**10 класс**

**Задание 1.**

1. Как алканы, так и их смеси могут быть описаны общей формулой CnH2n+2, где для смесей *n* может принимать дробное значение. Уравнение реакции сгорания имеет вид:

CnH2n+2 + (1.5*n*+0.5)O2 = *n*CO2 + (*n*+1)H2O

Тогда масса полученного CO2 равна 44*n*, а масса воды 18(*n*+1). Если масса воды вдвое меньше массы углекислого газа, то 22n = 18(*n* + 1), что даёт *n* = 4.5. Тогда смесь состоит из **бутана (*n* = 4)** **(2 балла)** и **пентана (*n* = 5) (2 балла)**, а их мольные доли равны по **0.5 (по 1 баллу за каждую мольную долю)**. Масса 1 моль смеси складывается из масс 0.5 моль бутана (29 г) и 0.5 моль пентана (36 г) и равна 65 г. Массовые доли веществ равны 29/65 **= 0.446 (1 балл)** и 36/65 = **0.554 (1 балл)**, соответственно.

2. Найдём параметры линейной зависимости теплоты сгорания от числа атомов углерода, решив систему уравнений вида:

Q2 = *a*·2 + *b* = 1560

Q3 = *a*·3 + *b* = 2220

Откуда *a* = 660, *b* = 240.

Тогда для *n* = 4.5 теплота сгорания равна 240 + 660·4.5 = **3210 кДж/моль (4 балла).**

**Всего максимум 12 баллов.**

**Задание 2.**

1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **линейный** | **угловой** | **пирамидальный** | **тетраэдрический** |

**(по 0.5 баллу за каждую структуру с верной геометрией)**

2. **I – BrO3- (1 балл), II – BrO- (1 балл), III – BrO2- (1 балл), IV – BrO4- (1 балл).**

**Уравнения реакций (по 1 баллу)**

**3Br2 + 6KOH = 5KBr + KBrO3 + 3H2O**

**Br2 + 5Cl2 + 12KOH = 10KCl + 2KBrO3 + 6H2O**

**Br2 + 2KOH = KBr + KBrO + H2O**

**3KBrO = 2KBr + KBrO3**

**2Br2 + 3AgNO3 + 2H2O = HBrO2 + 3AgBr + 3HNO3**

**KBrO3 + F2 + 2KOH = KBrO4 + 2KF + H2O**

**KBrO3 + XeF2 + 2KOH = KBrO4 + 2KF + H2O + Xe**

**KBrO3 + H2O = KBrO4 + H2 (электролиз\*)**

**\*допустима запись анодного процесса BrO3- + H2O – 2e- = BrO4- + 2H+**

3. Кристаллогидрат натриевой соли II имеет формулу NaBrO·nH2O. Массовая доля кислорода в нём составляет:



Откуда n = 5. Тогда соль имеет формулу **NaBrO·5H2O (1 балл)**

4. Анион X может быть образован только селеном. Проверка по массовой доле показывает, что речь идёт о 83SeO42-. Чтобы селен превратился в бром, должен произойти бета-распад:

** (2 балла)**

**Всего максимум 17 баллов.**

**Задание 3.**

1. При поглощении газа А раствором известковой воды, т.е. Са(ОН)2, выпадает осадок массой 55.5 г. Так как газ А был получен при окислении Х кислым раствором перманганата калия, вероятно, в начальном соединении содержался (-ись) ненасыщенный (-ые) фрагмент (-ы). Предположим, что продуктом окисления является углекислый газ, который образует с известковой водой нерастворимый карбонат кальция:

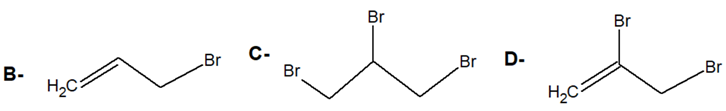
2) **CO2 + Ca(OH)2 = CaCO3 + H2O (1 балл)**

Тогда количество вещества углекислого газа 55.5/100 = 0.555 моль. Так как углекислый газ единственный продукт окисления Х, исходное вещество содержит либо только водород и углерод, либо водород, углерод и кислород, т.е. общая формула соединения Х CnHm или CnHmOy. Так как в Х содержится n атомов углерода, то углекислого газа будет в n раз больше, следовательно, отношение молей веществ Х и А в уравнении реакции 1 равно n.

Рассчитаем молярную массу Х, исходя из его массы, умноженной на неизвестное число углеродов n и делённой на количества вещества углекислого газа M(X) = 7.4·n/0.555. При подборе n целочисленное значение молярной массы 40 г/моль достигается при n = 3, тогда формула Х – С3Н4. Так как при окислении образуется только углекислый газ, исходным веществом является аллен, **СН2=С=СН2 (2 балла)**. Для случая с атомом кислорода в составе соединения Х реального решения нет.

**1) 5C3H4 + 16KMnO4 + 24H2SO4 = 15CO2 + 16MnSO4 + 8K2SO4 + 34H2O (1 балл)**

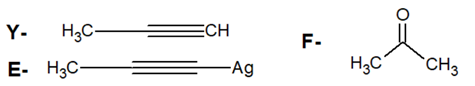
**2. За каждую верную структуру вещества 1 балл**

****

Рассчитаем суммарный выход реакции η = 0.83·0.97·0.91·0.60 = 0.44. Количество вещества аллена, образующегося в результате реакций составит 0.185 моль, следовательно, исходное количество вещества пропена 0.185/0.44 = 0.42 моль или 0.42·42 = **17.64 г (2 балла)**

3. Так как Y изомер X, его брутто-формула С3Н4. Полученный изомер вступает в реакцию с реактивом Толленса и в реакцию Кучерова, что говорит о наличии в структуре вещества Y тройной связи. Под это описание подходит одно возможное вещество – **пропин (Y) (2 балла)**.

**За каждую верную структуру 1 балл**



4. Для соединения с брутто-формулой С3Н4 степень ненасыщенности равна 2. Одна степень ненасыщенности достигается наличием в структуре либо двойной связи, либо цикла. Последний возможный изомер содержит в себе цикл и двойную связь. Таким образом, пропину и аллену изомерно одно вещество – циклопропен: **(2 балла за структуру)**



**Всего максимум 16 баллов.**

**Задание 4.**

1. Запишем уравнения реакций, для которых приведены данные в условии:

1. C2H6 + 3.5O2 = 2CO2 + 3H2O
2. C2H4 + 3O2 = 2CO2 + 2H2O
3. H2 + 0.5O2 = H2O

Реакция дегидрирования C2H6 = H2 + C2H4 может быть получена комбинированием реакций 1-3. Для этого из уравнения реакции 1 вычтем уравнения реакций 2 и 3. То же будет справедливо для термодинамических функций реакции:

Тогда Δ*H*дегидр = Δ*H*сгор 1 - Δ*H*сгор 2 - Δ*H*сгор 3 = -1559.7 + 1410.9 + 285.8 = **137 кДж моль-1 (2 балла)**

Таким же образом Δ*S*дегидр = Δ*S*сгор 1 - Δ*S*сгор 2 - Δ*S*сгор 3 = **120.5 Дж моль-1 К-1 (2 балла)**

2. Условие самопроизвольного протекания реакции при стандартных давлениях участников реакции – равенство нулю стандартной энергии Гиббса.

= 0

Откуда искомая температура *T* = Δ*H*°/Δ*S*° = 137000/120.5 = **1137 К (2 балла)**

3. Используя приведённые в условии формулы для стандартной энергии Гиббса, получим равенство:



или

 **(3 балла)**

Запишем выражение для константы равновесия:



Изначально давление этана в сосуде составляло 5 бар. Если в результате реакции давление этана снизилось на *x* и составило (5-x), а давления продуктов составили величину *x*, то верно следующее:



Решение данного уравнения даёт *x* = 3.27 (второй корень лишён физического смысла).

Количество полученного этилена может быть вычислено с использованием уравнения идеального газа:

 **(3 балла)**

После удаления этилена система содержит 3.27 бар водорода и 1.73 этана. Если в ходе протекания реакции дегидрирования давление этана снизится на y, то его парциальное давление составит (1.73-y), парциальное давления водорода составит (3.27+y), а парциальное давление этилена будет равно y. Тогда:



Откуда *y* = 1.02 бар.

4.

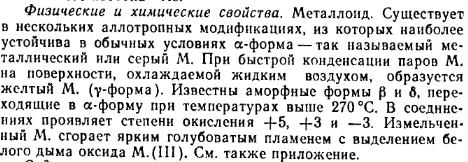
 **(3 балла)**

**Всего максимум 15 баллов.**

**11 класс**

**Задание 1.**

1. Практически дословно приведена цитата из справочника В. А. Филова «Неорганические соединения элементов V-VIII групп» серии «Вредные химические вещества»:



Из степеней окисления следует, что элемент относится к 15 группе. Сразу можно исключить азот (неметалл, газ, не горит) и фосфор (неметалл, наиболее устойчив красный фосфор, горит до оксида (V)). Висмут является металлом. Сурьма исключается из грамматических соображений (название элемента – мужского рода). Остаётся мышьяк – As. На него так же намекает буква М.

Итак, М. - **As, мышьяк** **(2 балла за символ, 1 балл за название)**

2. **Оксид - As2O3 (1 балл)**

**4As + 3O2 = 2As2O3 (1 балл)**

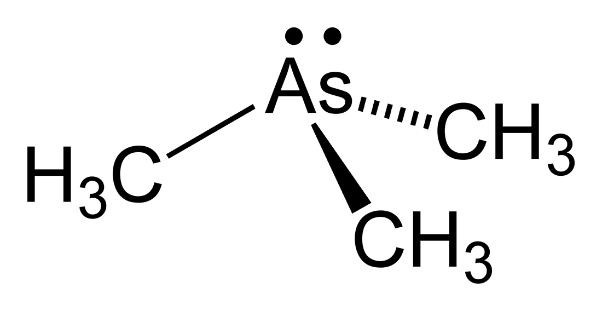
3. Отношение масс показывает, что с серой мышьяк реагирует 1 к 1 по молям: (75/2.3) : (32/1) ≈ 1 : 1. Чтобы отразить строение сульфида, корректно использовать формулу As4S4:

**а) 4As + 4S = As4S4 (2 балла, для AsS – 1 балл)**

**б) As4S4 + 7O2 = 2As2O3 + 4SO2 (2 балла, AsS повторно не штрафуется)**

**в) As2O3 + C = 2As + 3CO (2 балла, допустим вариант с CO2)**

4. Молярная масса вещества приблизительно равна 29·2.7 ≈ 78 г/моль, что соответствует арсину **AsH3 (1 балл)**.

5. 120·(1 – 0.0756) – 75 = 36 г/моль. Из соображений о валентности и оси симметрии можно сделать вывод о четырёхвалентном элементе с М = 12. Это углерод. Формула – **AsC3H9 либо As(CH3)3 (2 балла)**, структура ниже **(2 балла)**. Допустимо плоское изображение, допустимо раскрывать или не раскрывать CH3, допустимо не указывать НЭП. **За иные изомеры триметиларсина – 1 балл.**

**Всего максимум 16 баллов.**

**Задание 2.**

1. Для определения элементов, входящих в состав веществ **А**-**С**, стоит обратить внимание на описание их химических свойств. По условию, вещество **А** – жидкое соединение переходного металла, которое при восстановлении цинком в соляной кислоте дает фиолетовое окрашивание. Такое описание указывает на то, что **А** – **TiCl4 (1 балл)**, хлорид титана(IV), восстанавливающийся до фиолетового **H3[TiCl6] (допустимо TiCl3) (D) (1 балл)**. К тому же многие соединения титана с неметаллами известны своими исключительными свойствами (например, высокой прочностью). Описанные далее превращения с веществом **В** являются качественной реакцией на бор: триалкилбораты B(OR)3, получаемые по реакции со спиртом ROH, при небольшом нагревании улетают из раствора и сгорают на воздухе характерным зеленым пламенем. Так как **В** имеет общий элемент с **А**, то **В – BCl3 (1 балл)**, **E** – **B(OMe)3 (1 балл)**. Значит, вещество **Х** – борид титана, который можно получить совместным восстановлением хлоридов титана и бора газом **С**. Информация о том, что он сгорает в кислороде с «хлопком», однозначно дает понять, что **С – H2 (1 балл)**. Состав вещества **Х** можно установить по массовой доле бора в нем: **X – TiB2 (1 балл)**.

**2. 1) TiCl4 + 2BCl3 + 5H2 → TiB2 + 10HCl**

**2) 2TiCl4 + Zn + 6HCl → 2H3[TiCl6] + ZnCl2**

**3) BCl3 + 3CH3OH → B(OCH3)3 + 3HCl**

**4) 2B(OCH3)3 + 9O2 → B2O3 + 6CO2 + 9H2O**

**5) 2H2 + O2 → 2H2O**

**(по 1 баллу за уравнение)**

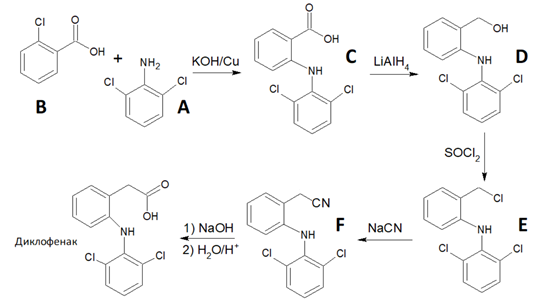
3. **А**, **В** и **С** вступают в реакцию синтеза **X** в соотношении 1:2:5. Если предположить, что наиболее оптимально подавать реагенты в стехиометрическом соотношении, то скорость подачи для **А** будет равняться 800:5 = **160 мл мин-1** **(1 балл)**, а для **В** - 160·2 = **320 мл мин-1 (1 балл)**.

4. Согласно стехиометрии, количество образующегося TiB2 равняется количеству подаваемого TiCl4. Количество TiCl4, подаваемое за минуту, равно *n* = 0.16:22.4 = 7.1·10-3 моль. Следовательно, теоретическая масса TiB2, нанесенная за 2 часа, будет равняться *m* = 7.1·10-3 · 2 · 60 · (47.87+10.81·2) = 59.21 г. С учётом выхода величина будет вдвое меньше, то есть 29.6 г. Объем этого покрытия равен *m*:ρ = 29.6:4.52 = 6.55 см3. Тогда можно определить площадь покрытия, поделив объем на толщину слоя: 6.55:(20·10-4) = **3275 см2 (3 балла)**.

**Всего максимум 16 баллов.**

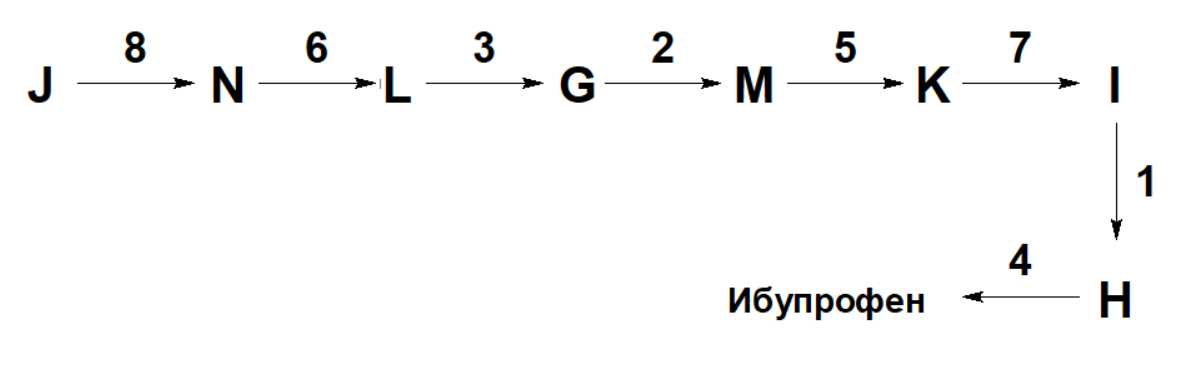
**Задание 3.**

1.



**За каждую верную структуру 2 балла**

2.



**За каждый верный сегмент «исходное вещество – реагент - продукт» - 1 балл.**

**Всего максимум 20 баллов**

**Задание 4.**

Изменение энтальпии может быть найдено с использованием следствия из закона Гесса:

Δр*H*°(мета – орто) = 19.1 – 17.3 = **1.8 кДж моль-1 (2 балла)**.

Разница в энтальпиях сгорания изомеров равна по модулю, но обратна по знаку разнице в их энтальпиях образования.

Тогда Δсгор*H*°(м-ксилол) =–4310.3 - 17.3 + 19.1 = **–4308.5 кДж моль-1   
(2 балла)**; Δсгор *H*°(м-ксилол) = –4310.3 - 18.0 + 19.1 = **–4309.2 кДж моль-1   
(2 балла)**.

Δр*S*°(мета – орто) = 353.8 - 358.5 = -**4.7 Дж моль-1 К-1 (2 балла)**.

K (500 K) = exp[–(1800 – (–4.7)·500)/(8.314·500)] = **0.368 (2 балла)**

Поскольку все реакции относятся к реакциям изомеризации, для ответа на вопрос 4 достаточно сравнить энергии Гиббса изомеров.

Δр*G*°(мета – орто) = 1800 + 4.7·500 = 4150 Дж моль-1

Δр*G*°(мета – пара) = (18000 – 17300) – (352.2 – 358.5)·500 = 3850 Дж моль-1

Δр*G*°(орто – пара) = 3850 – (4150) = –300 Дж моль-1

Сопоставляя относительную стабильность изомеров, получаем, что наименьшую энергию Гиббса будет иметь **мета-изомер. Следовательно, его содержание в смеси будет наибольшим** **(5 баллов за верный ответ с обоснованием расчётом, 0 баллов за ответ без обоснования).** Альтернативным решением является вычисление констант равновесий процессов.

**Всего максимум 15 баллов**