

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2024/25
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. Продолжительность 90 минут

1 вариант

11 класс

Задача 11-1

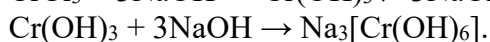
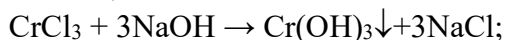
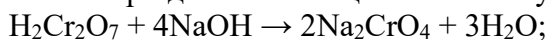
Метод хромирования широко используется в современной промышленности для защиты металлических изделий от коррозии, повышения твердости и придания привлекательного вида. Этот метод заключается в гальваническом нанесении тонкого слоя хрома на металлический предмет. Недостатком является большое количество жидких отходов, содержащих хром (VI), хром (III) и другие экотоксиканты.

Для установления состава сточной воды гальванического производства и ее дезактивации провели следующий эксперимент. К 1 л солянокислого раствора хрома добавили гидроксид натрия для создания сильнощелочной среды и прилили избыток брома. После добавления к полученному раствору избыточного количества раствора нитрата бария образовался осадок массой 1.265 г. На реакцию с таким же объемом исходного раствора хрома потребовалось 105 мл раствора сульфата железа (II) с концентрацией 0.1 моль/л. Напишите уравнения протекающих реакций. Установите концентрацию хрома в анализируемом растворе в мг/л. Какая доля (%) хрома находится в степени окисления +6?

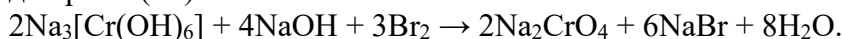
Решение

При описании эксперимента не уточняется степень окисления хрома в растворе. Поэтому будем учитывать возможность существования в солянокислом растворе хрома (III) CrCl_3 и хрома (VI) $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

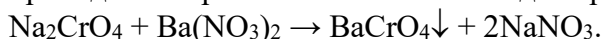
При добавлении щелочи к этому раствору протекают следующие реакции:



При добавлении брома к полученному раствору происходит окисление хрома (III) до хрома (VI):



Дальнейшее добавление к полученному раствору избытка раствора нитрата бария приводит к образованию желтого осадка хромата бария:



Найдем количества вещества хромата бария:

$$n(\text{BaCrO}_4) = m(\text{BaCrO}_4) / M(\text{BaCrO}_4) = 1.265 / 253 = 0.005 \text{ моль}.$$

Из химической формулы хромата бария видно, что

$n(\text{Cr}) = n(\text{BaCrO}_4) = 0.005 \text{ моль}$. Таким образом, концентрация хрома в исходной смеси равна $n(\text{Cr}) \cdot M(\text{Cr}) / V_{\text{р-ра}} = 0.005 \text{ моль} \cdot 52 \text{ г/моль} / 1 \text{ л} = 0.26 \text{ г/л} = 260 \text{ мг/л}$.

С сульфатом железа (II) реагирует только хром (VI):



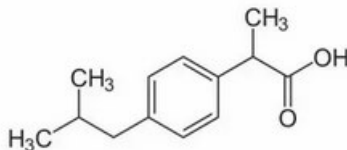
На реакцию с 1 л раствора потребовалось $0.105 \text{ л} \cdot 0.1 \text{ моль/л} = 0.0105 \text{ моль}$ FeSO_4 . По уравнению реакции с этим количеством сульфата железа взаимодействует $0.0105 / 3 = 0.0035 \text{ моль}$ хрома (VI). Таким образом, содержание хрома (VI) составляет $0.0035 / 0.005 = 0.7$ или 70%.

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнения реакций по 3 балла | 18 б. |
| 2. За расчет содержания хрома в мг/л | 4 б. |
| 3. За расчет содержания хрома (VI) в % | 3 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

Ибупрофен $C_{13}H_{18}O_2$ – это нестероидный противовоспалительный препарат, обладающий болеутоляющим и жаропонижающим действием. Он выпускается в виде таблеток, суспензий и гелей.

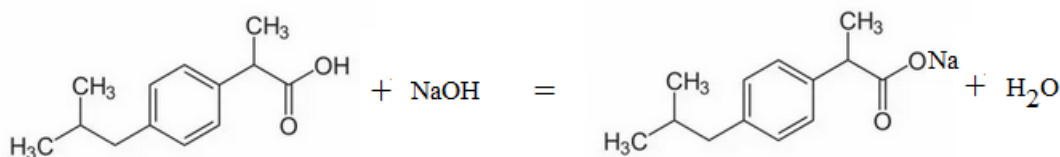


Вычислите массу ибупрофена, содержащего $6.02 \cdot 10^{23}$ атомов. В одной таблетке находится в 30 раз меньше ибупрофена. С каким объемом 0.1 моль/л раствора щелочи прореагирует ибупрофен из одной таблетки? Ответ подтвердите расчетами. Напишите уравнение протекающей реакции, используя графическую формулу.

Решение

$6.02 \cdot 10^{23}$ атомов – это 1 моль атомов. Найдем количество ибупрофена, содержащее 1 моль атомов. Для этого обозначим количество вещества ибупрофена через x моль. В соответствии с химической формулой $C_{13}H_{18}O_2$, x моль ибупрофена содержит $13 \cdot x$ моль атомов углерода, $18 \cdot x$ моль атомов водорода и $2 \cdot x$ моль атомов кислорода. Общее количество атомов $33 \cdot x$ моль или 1 моль. Из соотношения $33 \cdot x = 1$ находим, что $x = 0.03$ моль. Масса 0.03 моль ибупрофена равна:
 $0.03 \text{ моль} \cdot 206 \text{ г/моль} = 6.18 \text{ г}$. В одной таблетке ибупрофена находится $0.03 \text{ моль} / 30 = 0.001$ моль ибупрофена.

Уравнение реакции взаимодействия ибупрофена с щелочью:



Из уравнения видно, что с 0.001 моль ибупрофена взаимодействует 0.001 моль щелочи или $0.001 \text{ моль} / 0.1 \text{ моль/л} = 0.01 \text{ л}$ или 10 мл щелочи.

Разбалловка

За расчет массы ибупрофена	10 б.
За уравнение реакции	5 б.
За расчет объема щелочи	10 б.
Всего:	25 б.

Задача 11-3

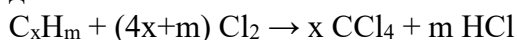
Бинарное вещество **A** (7 мг) хлорируется избытком хлора при 600°C с образованием 0.0005 моль жидкого бинарного вещества **B** с массовой долей углерода 7.79%, а также газообразного продукта **C**. Последний способен обесцветить 37 мл раствора фенолфталеина в 0.0135-молярной известковой воде. Газовая смесь **A** и **B** (2:1 по объему), имеет плотность по водороду 35. Нагревание этой смеси в присутствии малой добавки радикального инициатора пероксида бензоила (ПБ) дает единственный продукт - теломер **D**. Щелочной гидролиз вещества **D** при нагревании с избытком водного раствора NaOH с последующим подкислением соляной кислотой приводит к гидроксикарбоновой кислоте **E**.

Определите вещества **A** – **E**, составьте их графические формулы, уравнения реакций. ПБ – это $C_6H_5C(O)OOC(O)C_6H_5$.

Решение

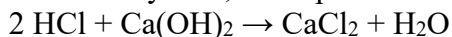
Бинарное вещество **A** является углеводородом, так как хлорируется до органического хлорида с выделением HCl. Обозначим формулу углеводорода **A** как C_xH_m . Жидкое бинарное вещество **B** содержит только углерод и хлор C_xCl_y , определим его формулу. $n(C) : n(Cl) = 7.79 / 12 : 92.21 / 35.5 = 0.649 : 2.597 = 4$. Жидкость **B** - это CCl_4 . Газообразный продукт хлорирования **C** – это HCl.

Жесткие условия хлорирования углеводорода **A** (600°C, избыток хлора) могут обеспечить деструктивное галогенирование с разрывом углеродного скелета, поэтому **A** может принадлежать к любому классу углеводородов и иметь углеродный скелет любой длины.



По количеству продукта CCl_4 0.0005 моль определим количество углерода в навеске 7 мг углеводорода **A**. $n(C \text{ в } C_xH_m) = 0.0005$ моль.

Теперь определим количество водорода в навеске 7 мг углеводорода **A**. Оно равно количеству HCl, оттитрованного известковой водой в присутствии фенолфталеина.



$$n(Ca(OH)_2) = 0.037 \text{ л} \cdot 0.0135 \text{ моль/л} = 0.0005 \text{ моль. } n(HCl) = 0.001 \text{ моль.}$$

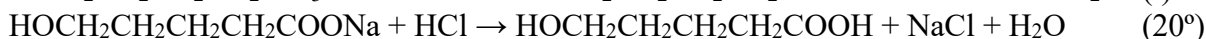
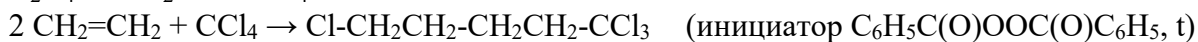
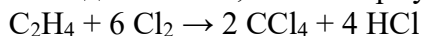
$$n(H \text{ в } C_xH_m) = 0.001 \text{ моль.}$$

Найдем формулу C_xH_m . $x : m = 0.0005 : 0.001 = 1 : 2$. **A** – это C_nH_{2n} (алкен или циклоалкан).

Определим молярную массу $M(C_nH_{2n})$ по известной плотности смеси газов ($2 C_nH_{2n} + 1 CCl_4$). Средняя молярная масса смеси $M(\text{смеси}) = 2 \cdot 35 = 70$ г/моль.

$$M(C_nH_{2n}) \cdot 0.667 + M(CCl_4) \cdot 0.333 = 70. \quad 14n \cdot 0.667 + 154 \cdot 0.333 = 70.$$

Отсюда $14n = 28$, $n = 2$. Формула C_2H_4 . **A** – этилен.



D – 1,1,1,5-тетрахлорпентан. **E** – 5-гидроксипентановая кислота.

Разбалловка

За определение вещества **A**

5 б.

За 5 уравнений по 4 б.

20 б.

Всего

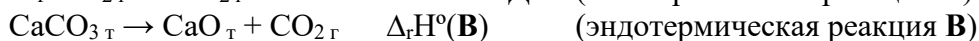
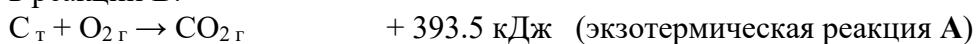
25 б.

Задача 11-4

В промышленности для получения негашеной извести пропускают воздух через нагретую смесь карбоната кальция с углем. Начинается экзотермическая реакция **A**, обеспечивающая энергией протекание эндотермической реакции **B**. Определите минимальную массовую долю угля в смеси для успешного протекания синтеза негашеной извести, если потери тепла пренебрежимо малы. Определите стандартную энтальпию $\Delta_r H^\circ$ реакции **B**. Известны стандартные значения энтальпий образования веществ $\Delta_f H^\circ$, кДж/моль: CO_2 (-393.5), CaO (-638), CaCO_3 (-1210). Запишите необходимые термохимические уравнения для указанных процессов. Напишите формулы гашеной извести, натронной извести, хлорной извести. Что представляет собой известковая вода и известковое молоко?

Решение

Теплота, выделяющаяся в реакции **A**, должна быть равна теплоте, поглощающейся в реакции **B**:



Определим $\Delta_r H^\circ(\text{B}) = \Delta_f H^\circ(\text{CaO}) + \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ(\text{CaCO}_3) = -638 - 393.5 + 1210 = +178.5 \text{ кДж/моль}$.

Пусть в состав исходной смеси входит 1 моль CaCO_3 и x моль угля. $n(\text{CaCO}_3) = 1$ моль, значит $m(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г}$. $\Delta_r H^\circ(\text{B}) = 178.5 \text{ кДж}$.

Тогда должно быть $\Delta_r H^\circ(\text{A}) = -178.5 \text{ кДж}$. Для этого $n(\text{угля}) = x = -178.5 / -393.5 = 0.454$ моль. $m(\text{угля}) = 0.454 \cdot 12 = 5.448 \text{ г}$. Массовая доля угля $5.448 / (5.448 + 100) = 0.0517$ (**5.17%**).

Гашеная известь - Ca(OH)_2 . Натронная известь – смесь NaOH и Ca(OH)_2 . Хлорная известь – CaOCl_2 , она, как правило, содержит примеси Ca(OCl)_2 , CaCl_2 , Ca(OH)_2 . Известковая вода – насыщенный раствор Ca(OH)_2 . Известковое молоко – суспензия CaCO_3 в воде.

Разбалловка

За 2 уравнения по 5 б.	10 б.
За расчет $\Delta_r H^\circ(\text{B}) = +178.5 \text{ кДж/моль}$	5 б.
За расчет $\omega(\text{угля}) = 5.17\%$	5 б.
За определение гашеной извести, натронной извести, хлорной извести известковой воды и известкового молока по 1 б.	5 б.
Всего	25 б

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2024/25
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. Продолжительность 90 минут

2 вариант

11 класс

Задача 11-1

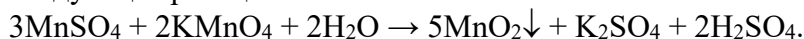
Угольные пастовые электроды используются в аналитической практике для вольтамперометрического определения различных веществ, которые окисляются или восстанавливаются на электроде при наложении потенциала. Для приготовления электрода мелкодисперсный графит смешивают с связующим материалом (например парафином, вазелиновым маслом и др.), получившуюся пасту помещают в пластиковый корпус и соединяют с электрохимической ячейкой медной проволокой. Для облегчения протекания электродной реакции поверхность графита предварительно модифицируют нанесением различных твердых веществ, проявляющих каталитические свойства.

Вычислите, какие объемы 0.02 моль/л растворов сульфата марганца и перманганата калия необходимо слить (в мл) в присутствии графита, чтобы получить 0.87 г графита, модифицированного оксидом марганца (IV). В расчетах учтите, что массовая доля оксида марганца (IV) в модифицированном графите должна составлять 0.1. Какую массу солей необходимо взять для приготовления такого объема растворов? Запишите уравнение реакции, которая протекает при модификации графита. В какой среде необходимо проводить реакцию? Ответ поясните.

Какой объем газа, измеренный при нормальных условиях, выделится при обработке модифицированного графита избытком соляной кислоты? Ответ подтвердите расчетами и соответствующей реакцией.

Решение

0.87 г модифицированного графита содержит $0.1 \cdot 0.87 = 0.087$ г MnO_2 или $0.087 \text{ г} / 87 \text{ г/моль} = 0.001$ моль. При модификации поверхности графита протекает следующая реакция:



Для получения 0.001 моль MnO_2 потребуется:

$$0.001 \cdot 3/5 = 0.0006 \text{ моль } \text{MnSO}_4 \text{ и } 0.001 \cdot 2/5 = 0.0004 \text{ моль } \text{KMnO}_4.$$

Для модификации необходимо взять:

$$0.0006 \text{ моль} / 0.02 \text{ моль/л} = 0.03 \text{ л или } 30 \text{ мл раствора } \text{MnSO}_4 \text{ и}$$

$$0.0004 \text{ моль} / 0.02 \text{ моль/л} = 0.02 \text{ л или } 20 \text{ мл раствора } \text{KMnO}_4.$$

Для приготовления этих растворов необходимо взять следующие массы веществ:

$$0.0006 \text{ моль} \cdot 151 \text{ г/моль} = 0.0906 \text{ г } \text{MnSO}_4; 0.0004 \text{ моль} \cdot 158 \text{ г/моль} = 0.0632 \text{ г } \text{KMnO}_4.$$

Модификацию необходимо проводить в нейтральной среде. В кислой и щелочной среде эта реакция не пойдет. В кислой среде KMnO_4 восстанавливается до Mn^{2+} , а в щелочной – до MnO_4^{2-} : $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnO}_4^- + \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$.

При обработке модифицированного графита избытком соляной кислоты протекает следующая реакция:

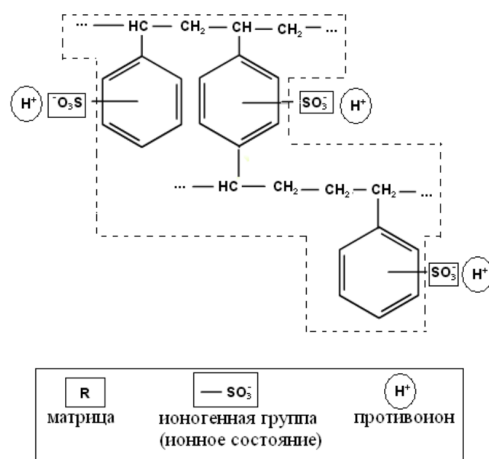


При растворении 0.001 моль MnO_2 выделится такое же количество хлора, который при нормальных условиях займет объем $22.4 \text{ л/моль} \cdot 0.001 \text{ моль} = 0.0224 \text{ л}$ или 22.4 мл.

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание 2 уравнений реакций по 5 б. | 10 б. |
| 2. За расчет объемов растворов MnSO_4 и KMnO_4 по 5 б. | 10 б. |
| 3. За расчет масс MnSO_4 и KMnO_4 по 1 б. | 2 б. |
| 4. За указание кислотности среды и объяснение | 2 б. |
| 5. За расчет объема газа | 1 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2



Ионообменные смолы (иониты) – это нерастворимые в воде твердые органические соединения, способные стехиометрически в эквивалентных соотношениях обмениваться собственными ионами с ионами из раствора. Их подразделяют на катиониты и аниониты в зависимости от того, какими ионами обмениваются – катионами или анионами. С точки зрения химического состава иониты представляют собой инертную органическую полимерную матрицу (R), к которой присоединены ионогенные группы, отвечающие за ионный обмен. Для катионитов такой группой может быть сульфогруппа $-\text{SO}_3\text{H}^+$, находящаяся в ароматическом кольце. В уравнениях

химических реакций формулу такого катионита в H^+ форме записывают в виде $\text{R-SO}_3\text{H}^+$.

50 мл водного раствора нитрата бария и азотной кислоты пропустили через катионит в H^+ форме. Полученный раствор реагирует с 15 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0.1 моль/л. Установите концентрацию растворенных веществ в исходном растворе в мг/мл, если он реагирует с 10 мл 0.05 моль/л сульфата натрия. Запишите уравнения протекающих реакций. В расчетах учтите, что все реакции протекают количественно (полностью), ионообменной емкости ионита достаточно для обмена всех катионов, находящихся в растворе.

Запишите уравнение реакции образования инертной матрицы катионита, учитывая, что она представляет собой сополимер стирола и дивинилбензола. При написании реакции используйте графические формулы веществ.

Решение

Исходный раствор взаимодействует с 10 мл 0.05 моль/л или 0.0005 моль сульфата натрия: $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NaNO}_3$.

Из уравнения реакции видно, что исходный раствор содержит такое же количество нитрата бария $n(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.0005$ моль.

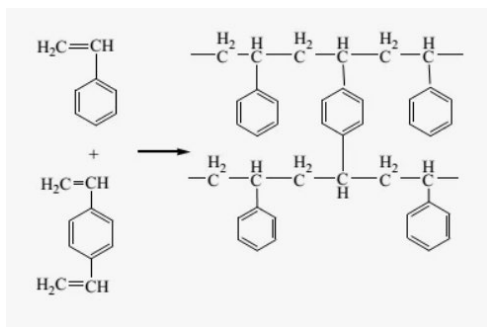
При пропускании раствора через катионит протекает следующая реакция: $2\text{R-SO}_3\text{H}^+ + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow (\text{R-SO}_3^-)_2\text{Ba}^{2+} + 2\text{HNO}_3$.

Раствор, прошедший через катионит, содержит азотную кислоту, которая изначально была в исходном растворе, и азотную кислоту, которая образовалась в результате ионного обмена ионов бария на смоле. В результате ионного обмена образовалось $0.0005 \text{ моль} \cdot 2 = 0.001$ моль HNO_3 .

Реакция азотной кислоты с гидроксидом натрия: $\text{HNO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
Общее количество HNO_3 в растворе после катионита равно количеству NaOH , прореагировавшему с этим раствором, то есть $0.015 \text{ л} \cdot 0.1 \text{ моль/л} = 0.0015$ моль. Следовательно, в исходном растворе находилось $0.0015 \text{ моль} - 0.001 \text{ моль} = 0.0005$ моль азотной кислоты.

Найдем массы и концентрации веществ в исходном растворе:
 $m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.0005 \text{ моль} \cdot 261 \text{ г/моль} = 0.1305 \text{ г}$ или 130.5 мг;
 $C(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 130.5 \text{ мг} / 50 \text{ мл} = 2.61 \text{ мг/мл}$;
 $m(\text{HNO}_3) = 0.0005 \text{ моль} \cdot 63 \text{ г/моль} = 0.0315 \text{ г}$ или 31.5 мг;
 $C(\text{HNO}_3) = 31.5 \text{ мг} / 50 \text{ мл} = 0.63 \text{ мг/мл}$.

Реакция полимеризации:



Разбалловка

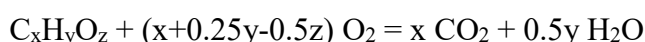
За расчет концентраций нитрата бария и азотной кислоты в мг/мл по 6 б.	12 б.
За уравнения реакций с Na ₂ SO ₄ и NaOH по 2 б.	4 б.
За уравнение реакции на смоле	4 б.
За уравнение реакции сополимеризации	5 б.
Всего:	25 б.

Задача 11-3

При полном сгорании 16.8 г жидкого вещества **A** выделяются 20.16 л CO₂ (н.у.) и 10.8 мл воды (4°C). Раствор нитрата серебра в аммиачной воде при нагревании со стехиометрическим количеством **A** выделяет осадок – продукт **B**, который после отделения фильтрованием не реагировал с соляной кислотой. Медленное упаривание оставшегося аммиачного фильтрата привело к выпадению бесцветных кристаллов соли **C**. Длительное нагревание соли **C** в атмосфере хлороводорода привело к образованию 0.3 моль органического вещества **D**, содержащего H (4.61% по массе), O (29.49%), Cl (32.72%), остальное - углерод. Действие на вещество **A** избытком раствора KMnO₄ при 20°C дает органическое соединение **E**.

Определите вещества **A**, **B**, **C**, **D**, **E**. Напишите уравнения реакций. Известно, что все атомы углерода в молекуле **A** имеют одинаковое гибридное состояние.

Решение



По объему CO₂ и H₂O определим массы и количества C, H, O в навеске 16.8 г вещества **A**.

$$n(C) = 20.16 \text{ л} / (22.4 \text{ л/моль}) = 0.9 \text{ моль. } m(C) = 0.9 \cdot 12 = 10.8 \text{ г.}$$

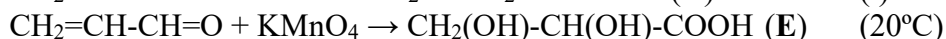
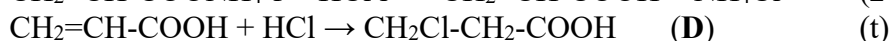
$$n(H) = 2 \cdot 10.8 \text{ г} / (18 \text{ г/моль}) = 1.2 \text{ моль. } m(H) = 1.2 \text{ г.}$$

$$m(O) = 16.8 - 10.8 - 1.2 = 4.8 \text{ г, } n(O) = 4.8 / 16 = 0.3 \text{ моль.}$$

$n(C) : n(H) : n(O) = 0.9 : 1.2 : 0.3 = 3 : 4 : 1$. Простейшая формула **A** C₃H₄O. Поскольку известно, что $n(D) = 0.3$ моль, то и $n(A) = 0.3$ моль, $M(A) = 16.8 / 0.3 = 56 \text{ г/моль}$. **A** – это пропеналь CH₂=CH-CH=O.



Соль **C** – это акрилат аммония. Вещество **B** – это Ag. Серебро не взаимодействует с HCl.



Разбалловка

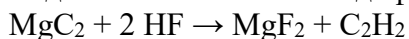
За определение веществ A , B , C , D , E по 3 б.	15 б.
За составление 5 уравнений реакций по 2 б.	10 б.
Всего	25 б.

Задача 11-4

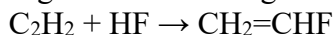
Бинарное соединение магния (14.4 г), содержащее 50% неметалла по массе, поместили в герметично закрытый сосуд объемом 24.64 л, заполненный сухим фтороводородом, под давлением 1 атм. при 0°C. После длительного выдерживания при 0°C для полного протекания реакции давление в сосуде снизилось до 73663 Па. Получившуюся смесь 2 газообразных веществ нагревали до полного расходования HF, в результате чего в сосуде осталось 0.3 моль смеси двух других газообразных веществ. Определите неизвестное соединение магния и все газообразные продукты, найдите количества фторсодержащих продуктов, определите среднюю молярную массу конечной газообразной смеси. Запишите уравнения всех протекающих реакций. Атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

Решение

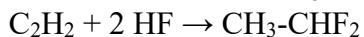
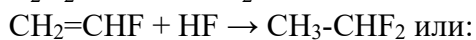
Исходное вещество – карбид (ацетиленид) магния MgC_2 .
 $n(MgC_2) = 14.4/48 = 0.3$ моль. $n(HF \text{ исходного}) = 24.64/22.4 = 1.1$ моль. При комнатной температуре весь карбид магния прореагировал с выделением ацетилена (0.3 моль), который составил 2-компонентную смесь с оставшимся HF (0.5 моль). Общее количество этих газов составило 0.8 моль, что соответствует пониженному давлению в сосуде $0.727 \cdot 1.1 = 0.8$ моль. В результате нагревания этой смеси сначала весь ацетилен 0.3 моль и 0.3 моль HF израсходовались с образованием 0.3 моль фторэтена, а затем оставшийся HF 0.2 моль прореагировал с частью фторэтена (0.2 моль) по правилу Марковникова с выделением 0.2 моль 1.1-дифторэтана.



Этин



Фторэтен



1,1-Дифторэтан

Конечная смесь будет содержать **0.1 моль фторэтена и 0.2 моль 1.1-дифторэтана**.
Молярные и объемные доли их будут равны соответственно: $\varphi_1 = 0.3333$, $\varphi_2 = 0.6667$.
 $M(\text{смеси}) = M_1 \cdot \varphi_1 + M_2 \cdot \varphi_2 = 46 \cdot 0.333 + 66 \cdot 0.667 = 15.33 + 44 = \mathbf{59.33}$ г/моль.

Разбалловка

За определение MgC_2	4 б.
За определение состава 2 смесей ($C_2H_2 + HF$), (C_2H_3F и $C_2H_4F_2$) по 6 б.	12 б.
За определение количеств $CH_2=CHF$ и CH_3-CHF_2 по 3 б.	6 б.
За определение $M(\text{смеси})$ 59.33 г/моль	3 б.
Всего	25 б.