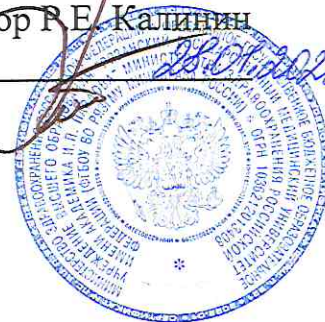


УТВЕРЖДАЮ
Председатель открытой олимпиады
школьников по химии
профессор В.Е. Калинин



**ЗАДАНИЯ ЗАОЧНОГО ТУРА ПО ХИМИИ
ВСЕГО БАЛЛОВ - 100 Б**

Задание 1 (4 балла)

Известно, что ^{210}Po подвергается α -распаду с периодом полураспада $\tau_{1/2} = 138$ дней. В ампулу поместили 105 мкг ^{210}Po . Какой объем газа (н.у.) образуется в ампуле через 276 дней? Какова масса свинца, образовавшегося за это время?

Решение

Уравнение реакции радиоактивного распада: $^{210}\text{Po} \longrightarrow ^{206}\text{Pb} + ^4\text{He}$

За 138 дней распалась половина радионуклида. За следующие 138 дней от оставшейся половины радионуклида распалась также половина, то есть в сумме распалось три четверти исходного количества полония, или $0,75 \cdot \nu(^{210}\text{Po})$.

Найдем исходное количество полония: $\nu(^{210}\text{Po}) = 105 \cdot 10^{-6} / 210 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ моль.

Найдем количества свинца и гелия: $\nu(\text{He}) = \nu(^{206}\text{Pb}) = 0,75 \cdot \nu(^{210}\text{Po}) = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 0,375 \cdot 10^{-6}$ моль.

Найдем объем гелия и массу свинца $V(\text{He}) = 0,375 \cdot 10^{-6} \cdot 22,4 = 8,4 \cdot 10^{-6}$ л = 8,4 мкл, $m(^{206}\text{Pb}) = 0,375 \cdot 10^{-6} \cdot 206 = 77,25 \cdot 10^{-6}$ г = 77,25 мкг.

Ответ: $V(\text{He}) = 8,4$ мкл, $m(^{206}\text{Pb}) = 77,25$ мкг.

За уравнение распада – 1 балл

За расчет доли распавшегося полония – 1 балл

За расчет объема гелия – 1 балл

За расчет массы свинца – 1 балл

Задание 2 (5 баллов)

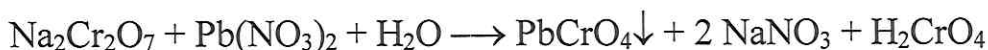
Индикатор бромкрезоловый зеленый в зависимости от величины рН раствора имеет разный цвет: синий при рН > 5,4 и желтый при рН < 3,8. К разбавленному раствору дихромата натрия добавили каплю бромкрезолового зеленого, цвет раствора стал зеленым. При добавлении туда же раствора нитрата свинца (II) цвет раствора стал желтым и выпал осадок. Объясните наблюдаемые явления. Приведите уравнения химических реакций.

Решение

Дихромат натрия в растворах не подвергается гидролизу (соль образована сильным основанием и сильной кислотой). Зеленый цвет раствора обусловлен

сочетанием желто-оранжевого цвета соли (в разбавленных растворах) и синего цвета индикатора $pH = 7 > 5,4$.

При добавлении соли свинца протекает реакция с выпадением в осадок хромата свинца (II):



Образуется свободная хромовая кислота (кислота средней силы), создающая кислую среду и имеющая желтый цвет в растворах, индикатор в кислой среде также приобретает желтый цвет. Раствор становится желтым. Образуется осадок хромата свинца (II).

За объяснение цвета зеленого раствора – 2 балла

За уравнение реакции – 1 балл

За объяснение цвета желтого раствора – 2 балла

Задание 3 (10 баллов)

Некоторое количество этанола, находившегося при $20^{\circ}C$, полностью испарили пропуская минимально необходимого количества (160 г) паров метанола с температурой $193,6^{\circ}C$. Получилась газообразная смесь спиртов с температурой $78^{\circ}C$. Ее подвергли каталитическому окислению кислородом с образованием смеси двух кислот. Кислоты нейтрализовали гидроксидом калия. Вычислите массу взятого этанола и массы полученных солей.

Известно, что теплоемкости спиртов составляют: $C_p(C_2H_5OH_{(ж)}) = 2,428$ кДж/(кг*град), $C_p(CH_3OH_{(г)}) = 1,622$ кДж/(кг*град), $\Delta H_{испарения}(C_2H_5OH_{(ж)}) = 839$ кДж/кг, $T_{кипения}(C_2H_5OH) = 78^{\circ}C$.

Решение

Пусть масса этанола составляет x кг. Количество теплоты, выделившееся при охлаждении 0,16 кг паров метанола от $193,6^{\circ}C$ до $78^{\circ}C$, равно количеству теплоты, поглощенному x кг этанола при нагревании от $20^{\circ}C$ до $78^{\circ}C$ и испарении его.

$$0,160 \text{ кг} * 1,622 \text{ кДж/(кг*град)} * (193,6 - 78) \text{ град} = \\ = x \text{ кг} * 2,428 \text{ кДж/(кг*град)} * (78 - 20) \text{ град} + x \text{ кг} * 839 \text{ кДж/кг}$$

$x = 0,0306$, то есть масса этанола составляет 30,6 г



$\nu(CH_3OH) = 160 / 32 = 5$ моль, поэтому $\nu(HCOOK) = 5$ моль и $m(HCOOK) = 5 * 84 = 420$ г

$\nu(C_2H_5OH) = 30,6 / 46 = 0,665$ моль, поэтому $\nu(CH_3COOK) = 0,665$ моль и $m(CH_3COOK) = 0,665 * 98 = 65,2$ г

Ответ: 30,6 г, $m(\text{HCOOK}) = 420$ г, $m(\text{CH}_3\text{COOK}) = 65,2$ г.

За алгебраическое уравнение, его решение и расчет массы этанола – 4 балла

За уравнения реакций 1–4 – по 1 баллу, итого 4 балла

За расчет масс солей – по 1 баллу, итого 2 балла

Задание 4 (10 баллов)

Бинарное соединение углерода и фтора массой 1,55 г подвергли разложению при высокой температуре и получили 0,438 г аморфного углерода и 265 мл смеси предельных фторуглеродов. Установите молярное соотношение элементов в исходном соединении углерода и фтора.

Решение

Протекает реакция:



Вычислим среднюю молярную массу предельных фторуглеродов $\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$:

$$v(\text{C}_n\text{F}_{2n+2}) = 0,265 / 22,4 = 0,0118 \text{ моль}, m(\text{C}_n\text{F}_{2n+2}) = 1,55 - 0,438 = 1,112 \text{ г}$$

$$\text{Соответственно, } M_{\text{ср}} = 1,112 / 0,118 = 94 \text{ г/моль.}$$

Так как формула предельного фторуглерода $\text{C}_n\text{F}_{2n+2}$, вычислим среднее значение n :

$$12 \cdot n + 2 \cdot 19 \cdot n + 2 \cdot 19 = 94, \text{ откуда } n_{\text{ср}} = 1,12 \text{ или } \langle \text{C}_{1,12}\text{F}_{4,24} \rangle$$

Вычислим массу углерода в смеси предельных фторуглеродов:

$$m_{\text{C}} = 1,12 \cdot v(\langle \text{C}_{1,12}\text{F}_{4,24} \rangle) = 1,12 \cdot 0,0118 = 0,0132 \text{ моль}, m_{\text{C}} = 0,0132 \cdot 12 = 0,159 \text{ г}$$

Вычислим суммарную массу углерода в исходном соединении:

$$0,438 \text{ (масса сажи)} + 0,159 \text{ (углерод в предельных фторуглеродах)} = 0,597 \text{ г}$$

Вычислим массу фтора:

$$1,55 - 0,597 = 0,953 \text{ г}$$

$$\text{Найдем молярное соотношение } \text{C} : \text{F} = 0,597 / 12 : 0,953 / 19 = 1 : 1$$

Возможно, это гексафторбензол C_6F_6 .

Ответ: 1 : 1.

За расчет v , m , $M_{\text{ср}}$ фторуглеродов – 3 балла

За расчет $n_{\text{ср}}$ – 2 балла

За расчет массы углерода в смеси фторуглеродов – 2 балла

За расчет суммарной массы углерода в исходном соединении – 1 балл

За расчет массы фтора – 1 балл

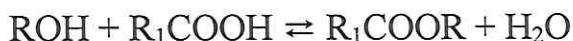
За расчет молярного соотношения – 1 балл

Задание 5 (16 баллов)

Безводные одноосновная кислота и одноатомный спирт вступают в реакцию этерификации в присутствии кислотного катализатора. При мольном соотношении спирт : кислота = 1 : 1 выход реакции составляет x , а при мольном соотношении спирт : кислота = 2 : 1 выход увеличивается на 25%. Определите x , вычислите константу равновесия реакции этерификации, найдите выход реакции при мольном соотношении 1 : 2.

Решение

Протекает реакция:



Выразим константу равновесия для мольного соотношения 1 : 1

	спирт	кислота	эфир	вода
Исходное количество	1	1	—	—
Прореагировало	x	x	—	—
Образовалось	—	—	x	x
Равновесное количество	$1 - x$	$1 - x$	x	x

$$K = x^2 / (1 - x)^2$$

Выразим константу равновесия для мольного соотношения 2 : 1

	спирт	кислота	эфир	вода
Исходное количество	2	1	—	—
Прореагировало	$1,25 * x$	$1,25 * x$	—	—
Образовалось	—	—	$1,25 * x$	$1,25 * x$
Равновесное количество	$2 - 1,25 * x$	$1 - 1,25 * x$	$1,25 * x$	$1,25 * x$

$$K = (1,25 * x)^2 / ((2 - 1,25 * x) / (1 - 1,25 * x))$$

Константа равновесия не зависит от концентраций реагентов, поэтому

$$x^2 / (1 - x)^2 = (1,25 * x)^2 / ((2 - 1,25 * x) / (1 - 1,25 * x))$$

Решаем и получаем: $x = 0,7$.

Вычислим константу: $K = 0,7^2 / (1 - 0,7)^2 = 5,44$

Выход реакции при соотношении спирт : кислота = 1 : 2 будет таким же как и при соотношении 2 : 1 и равен $0,7 * 1,25 = 0,875$.

Ответ: $\eta_1 = 0,7$; $K = 5,44$; $\eta_2 = 0,875$.

За уравнение реакции – 1 балл

За константу равновесия для мольного соотношения 1 : 1 – 5 баллов

За константу равновесия для мольного соотношения 2 : 1 – 5 баллов

За алгебраическое уравнение и его решение – 2 балла

За расчет константы – 1 балл

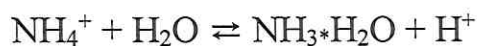
За анализ выхода реакции при соотношении 1 : 2 – 2 балла

Задание 6 (4 балла)

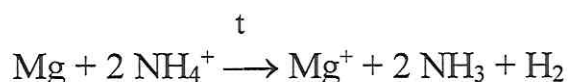
Объясните, почему магний растворяется в воде, содержащей соли аммония. Подтвердите уравнениями реакций.

Решение

Соли аммония гидролизуются по катиону и создают в растворе кислую среду:



Магний как активный металл растворяется в кислой среде.



За уравнение гидролиза и анализ реакции среды – 2 балла

За объяснение – 1 балл

За уравнение реакции – 1 балл

Задание 7 (15 баллов)

Смесь содержит 0,1 моль цинка и неизвестный металл. Эту смесь растворили в избытке соляной кислоты и получили смесь хлоридов массой 23,1 г. Если такую же смесь этих же металлов обработать хлором в соответствующих условиях, то масса полученных хлоридов составила бы 26,65 г. Установите неизвестный металл. Вычислите массовые доли металлов в смеси.

Решение

Протекают реакции:



Очевидно, что $y > x$, так как хлор более сильный окислитель чем катион водорода.

Рассчитаем массы хлоридов: $m(\text{ZnCl}_2) = 0,1 * 136 = 13,6$ г, $m(\text{MCl}_x) = 23,1 - 13,6 = 9,5$ г, $m(\text{MCl}_y) = 26,65 - 13,6 = 13,05$ г

По условию количества веществ хлоридов неизвестного металла равны. Составляем уравнение:

$$9,5 / (\text{M} + 35,5 * x) = 13,05 / (\text{M} + 35,5 * y)$$

Выразим М: $\text{M} = 95 * y - 130,5 * x$

При степенях окисления неизвестного металла +2 и +3 ($x = 2, y = 3$) $\text{M} = 24$ г/моль, что соответствует магнию, но магний не имеет переменных степеней окисления.

При степенях окисления неизвестного металла +2 и +4 ($x = 2, y = 4$) $M = 119$ г/моль, что соответствует **олову**.

При степенях окисления неизвестного металла +1 и +3 ($x = 1, y = 3$) $M = 154,5$, но такого металла нет.

При степенях окисления неизвестного металла +3 и +4 ($x = 3, y = 4$) молярная масса металла M имеет отрицательное значение.

Следовательно, неизвестный металл – олово.

Масса цинка в смеси $65 \cdot 0,1 = 6,50$ г.

Вычислим массу олова в смеси: $v(\text{SnCl}_2) = 9,5 / 190 = 0,05$ моль = $v(\text{Sn})$, $m(\text{Sn}) = 0,05 \cdot 119 = 5,95$ г.

Масса смеси составляет $6,5 + 5,95 = 12,45$ г. $\omega(\text{Zn}) = 52,2\%$, $\omega(\text{Sn}) = 47,8\%$.

Ответ: $\omega(\text{Zn}) = 52,2\%$, $\omega(\text{Sn}) = 47,8\%$.

За реакции 1, 2, 3, 4 – по 1 баллу, итого 4 балла

За расчет масс хлоридов – по 1 баллу, итого 3 балла

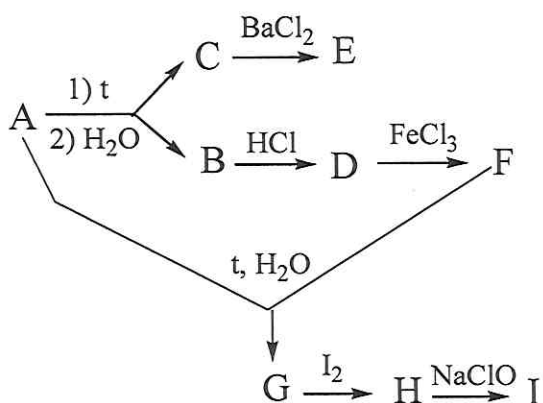
За алгебраическое уравнение и его преобразование – 2 балла

За анализ переходов в валентных состояниях – по 1 баллу, итого 4 балла.

За расчет массы олова и массовых долей металлов – 2 балла.

Задание 8 (17 баллов)

При нагревании 12,6 г соли А произошло ее диспропорционирование с образованием солей В и С. Продукты диспропорционирования растворили в воде. При подкислении полученного раствора соляной кислотой выделился газ D с характерным запахом, а при добавлении избытка раствора BaCl_2 выпало 17,5 белого осадка, нерастворимого в кислотах. Газ D взаимодействует с раствором хлорида железа (III) с образованием слабоокрашенного осадка F. При кипячении вещества F в растворе соли А образуется соединение G, обесцвечивающее йодную воду с образованием вещества H, содержащего йод. Соединение H взаимодействует с раствором гипохлорита натрия, образуя окрашенное вещество I. Определите и назовите вещества А, В, С, D, F, G, H, I. Ответ подтвердите расчетом. Приведите уравнения всех химических реакций.



Решение



(1)



A – сульфит натрия Na_2SO_3

B – сульфид натрия Na_2S

C – сульфат натрия Na_2SO_4

D – сульфат бария BaSO_4

F – сера S

G – тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

H – йодид натрия NaI

I – йод I_2

$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 12,6 / 126 = 0,1$ моль, $\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{3}{4} * 0,1 = 0,075$ моль

$\nu(\text{BaSO}_4) = 17,5 / 233 = 0,75$ моль, что соответствует условию.

За реакции (1 – 7) – по 1 баллу, итого 7 баллов

За расшифровку и названия веществ – по 1 баллу, итого 8 баллов

За расчет – 2 балла

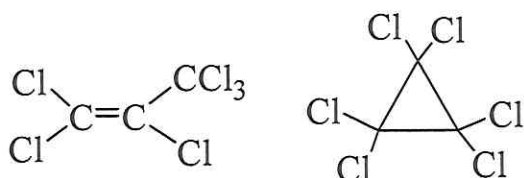
Задание 9 (5 баллов)

Неизвестное соединение содержит 14,5% углерода и 85,5% хлора по массе. Плотность паров этого соединения по воздуху составляет 8,62. Все атомы хлора в этом соединении химически эквивалентны. Используя это, определите его структуру и назовите.

Решение

$$\nu_{\text{C}} : \nu_{\text{Cl}} = 14,5 / 12 : 85,5 / 35,5 = 1,208 : 2,408 = 1 : 2.$$

Простейшая формула CCl_2 . $M = 8,62 * 29 = 250$, следовательно, молекулярная формула вещества – C_3Cl_6 . Существуют 2 изомера:



Второй изомер – гексахлорциклопропан содержит 6 химически эквивалентных атомов хлора.

Ответ: гексахлорциклопропан.

За вывод простейшей формулы – 1 балл

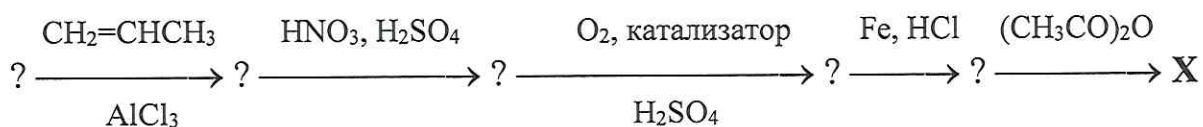
За вывод молекулярной формулы – 1 балл

За изомеры – 2 балла

За анализ и выбор изомера – 1 балл

Задание 10 (14 баллов)

В состав ряда нестероидных противовоспалительных препаратов входит вещество **X**. Известно, что **X** содержит 63,6 % углерода, 5,94 % водорода, 21,2 % кислорода и 9,26 % азота. Известно, что на нейтрализацию водного раствора 1,51 г **X** расходуется 10,0 мл раствора NaOH с концентрацией 1 моль/л. Расшифруйте схему синтеза вещества **X**, приведите все химические реакции. Назовите вещество **X**. Подтвердите расчетом.

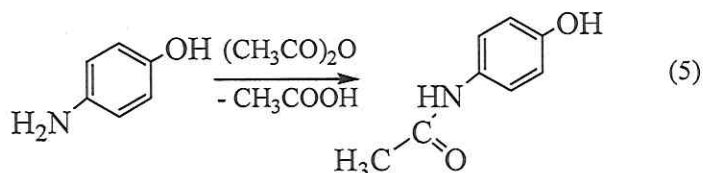
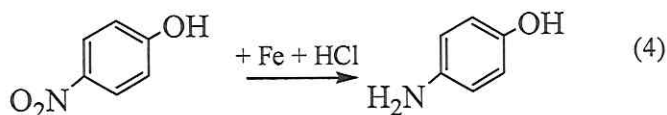
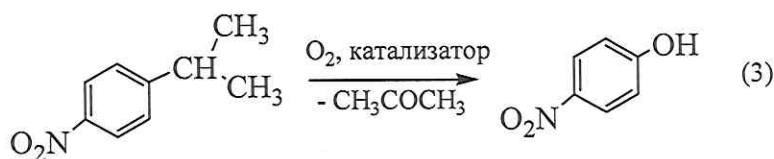
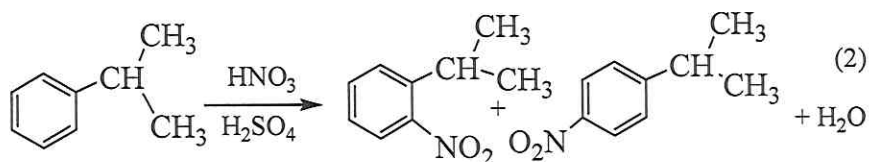
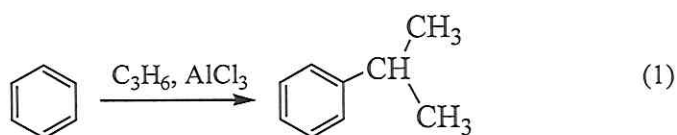


Решение

$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) : \nu(\text{N}) = 63,6 / 12 : 5,94 / 1 : 21,2 / 16 : 9,26 / 14 = 8 : 9 : 2 : 1$.

Формула вещества $\text{C}_8\text{H}_9\text{O}_2\text{N}$. Соединение содержит бензольное кольцо.

$\nu(\text{NaOH}) = 0,01$ моль, $\nu(\text{C}_8\text{H}_9\text{O}_2\text{N}) = 1,51 / 151 = 0,01$ моль. В соединении есть одна «кислая» группа – карбоксильная или фенольная.



X – это 4-ацетаминофенол.

За вывод формулы – 2 балла

За предположения о структуре – 3 балла

За формулу и название вещества **X** – 4 балла

За уравнения реакций – по 1 баллу, итого 5 баллов