

Пермский край
2022-2023 учебный год
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 КЛАСС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

Решения и критерии оценивания

Представлен один из возможных вариантов решения задач

Общее максимальное количество баллов за задания олимпиады – 50 баллов.

Задача № 1

Медь в своих соединениях проявляет степени окисления +1 и +2, поэтому А и Б скорее всего бинарные соединения с различной степенью окисления меди.

Начнем с соединения А. Допустим, что оно имеет формулу Cu_nX_2 , где n – валентность элемента X, тогда:

$$w(X) = \frac{n \cdot A(X)}{64n + 2A(X)} \cdot 100 = 33,3$$

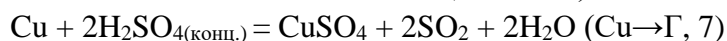
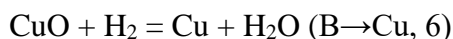
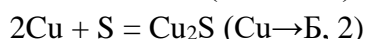
$$A(X) = \frac{21,12n}{n - 0,66},$$

при n = 1, A(X) = 62,1 – нет подходящего элемента,

при n = 2, A(X) = 31,5 – близко к сере (S).

Таким образом, **А** – это сульфид меди (II) CuS. Очевидно, что **Б** – это сульфид меди (I) Cu₂S, что можно подтвердить расчетом массовой доли серы в нем.

Запишем уравнения реакций, отвечающих схеме реакций:



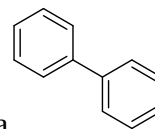
Таким образом, В – CuO, Г – CuSO₄.

Разбалловка

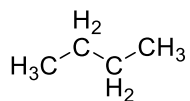
Определение вещества X	3 б.
Определение веществ А–Г	4 x 0,5 б. = 2 б.
Написание уравнений реакций (1)–(10)	10 x 0,5 б. = 5 б.
ИТОГО	10 б.

Задача № 2

Для получения этилбензола требуется взять бромбензол и этилбромид в качестве исходных соединений. Под действием натрия в качестве основного продукта будем получать этилбен-



зол. Однако в качестве побочных возможно образование дифенила и бутана




Очистка производится достаточно просто. Целевой этилбензол является жидкостью, бутан – газ, дифенил – кристаллическое соединение (температура плавления 70,5°C). Таким образом, бутан улетит, а от дифенила можно будет очистить перегонкой (температура кипения этилбензола 136°C, дифенила 254–255°C) или фильтрованием.

Массовая доля углерода в соединении А 85,71%, что соответствует соединению с простейшей формулой C_2H_4 .

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = 85,71 : 14,29 \Rightarrow n(\text{C}) : n(\text{H}) = \frac{85,71}{12} : \frac{14,29}{1} = 7,14 : 14,29 = 1 : 2$$

В условиях данной задачи это, вероятнее всего, алкен. Из бромбензола мы его получить не можем, остается только изопропилбромид. При отщеплении бромоводорода от изопропилбензола мы не сможем получить циклопропан, значит остается только пропен.

Таким образом, вещество А – пропен $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{H}}{\text{C}}=\text{CH}_2$.

Токсичная жидкость со специфическим сладковатым запахом Б – бензол , поскольку среди иных потенциальных продуктов жидкости отсутствуют.

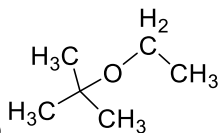
Вещество В также является алкеном согласно массовой доле углерода, также это подтверждается его способностью взаимодействовать с этиловым спиртом.

Таким образом, В – изобутилен $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{CH}_2}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{CH}_3$.

В соединении Г есть только 1 атом кислорода, который берется из молекулы этанола, значит мы можем установить его молярную массу:

$$M(\text{Г}) = \frac{16,00}{0,1569} = 102 \text{ г/моль.}$$

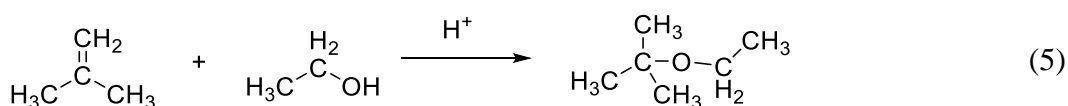
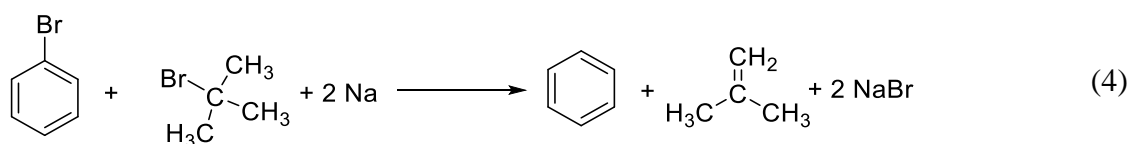
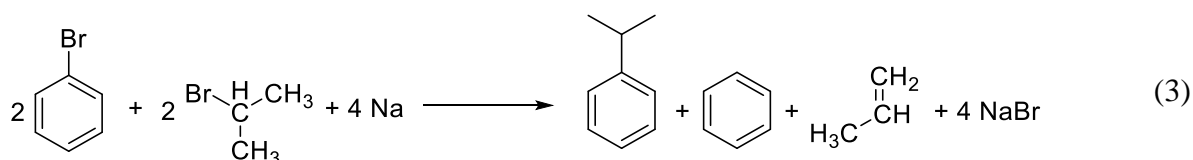
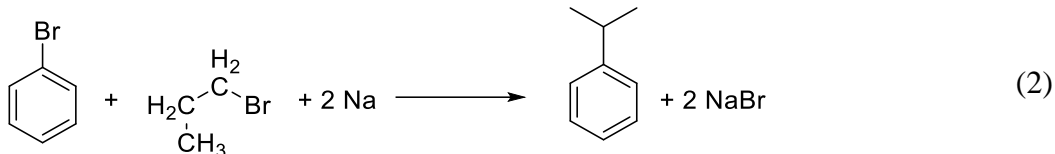
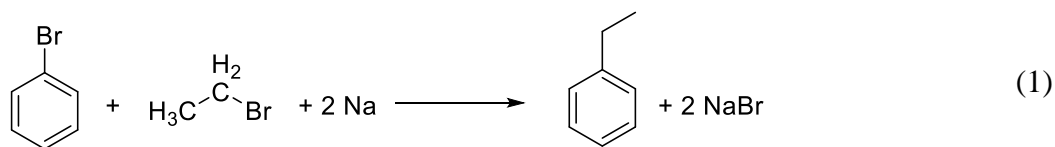
Молярная масса этанола составляет 46 г/моль, изобутилена 56 г/моль, значит вещество Г является продуктом присоединения этанола к изобутилену.



Таким образом, Г – третбутилэтиловый эфир.

С помощью массовой доли элемента А можно установить формулу вещества Б. Поскольку массовая доля элемента А велика, можем предположить, что оставшаяся масса приходится на какой-то легкий элемент, например, водород.

Уравнения реакций:



Считается, что одним из промежуточных продуктов является соединение состава $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}$, которое выступает в роли сильного основания, поэтому для вторичных алкилгалогенидов параллельно протекает реакция элиминирования, для третичных же реакция элиминирования является более выгодным направлением протекания реакции.

Разбалловка

Установление побочных продуктов реакции (1)	2 x 0,5 б. = 1 б.
Предложение способа очистки от побочных продуктов (1)	0,5 б.
Установление структурных формул соединений А–Г	4 x 0,5б. = 2 б.
Написание уравнений реакций (1)–(5). Для реакции (3) минус 0,25 б. за каждый отсутствующий побочный продукт	5 x 1б. = 5 б.
Объяснение образования алкенов	1,5 б.
ИТОГО	10 б.

Задача № 3

Начнем с определения кислоты Б, формулу которой представим, как $\text{H}_2\text{B}_x\text{O}_y$:

$$w(\text{B}) = \frac{11 \cdot x}{2 + 11x + 16y} = 0,2785$$

$$16y - 28,5x + 2 = 0$$

$$y = (28,5x - 2)/16$$

Далее подбором x определяем формулу кислоты: при $x = 1$, $y = 1,66$; $x = 2$, $y = 3,44$; $x = 3$, $y = 5,2$; $x = 4$, $y = 7$.

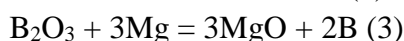
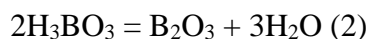
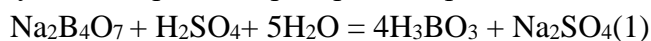
Таким образом, Б – тетраборная кислота $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$, ее натриевая соль – тетраборат натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

Выведем формулу кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O}$:

$$1 : x = \frac{100 - 47,12}{202} : \frac{47,12}{18} = 0,262 : 2,62 = 1 : 10$$

Таким образом, вещество А – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Запишем уравнения получения бора из тетрабората натрия:



Вещество В – борная кислота H_3BO_3 .

Из уравнения (1) следует, что из 1 моль тетрабората натрия образуется 4 моль борной кислоты, из уравнения (2) – из 4 моль борной кислоты образуется 2 моль оксида бора, из уравнения (3) – из 2 моль оксида бора образуется 4 моль бора. Таким образом из 1 моль тетрабората натрия образуется 4 моль бора.

Учитывая, что на каждой стадии мы теряем 5 % получим:

$$n(\text{B}) = 4 \cdot 0,95^3 = 3,43 \text{ моль}$$

Рассчитаем массу $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ необходимую для получения 1 т бора:

из 1 моль = 382 г $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ образуется 3,43 моль = 37,73 г бора

из X г $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ образуется 1 000 000 г бора

$$X = 1\,000\,000 \cdot 382 / 37,73 = 10\,124\,569,3 \text{ г (10,125 т)}$$

Таким образом, для производства 1 т бора потребуется 10,125 т $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Разбалловка

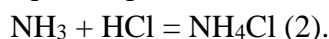
Определение веществ А, Б и В	3 x 1 б. = 3 б.
Написание уравнений (1)–(3)	3 x 1 б. = 3 б.
Расчет массы А для получения 1 т бора	4 б.
ИТОГО	10 б.

Задача № 4

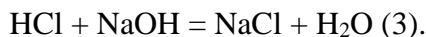
При нагревании смеси хлорида аммония и гидроксида натрия выделяется газообразный аммиак:



который поглощается раствором хлороводородной кислоты:



Хлороводородная кислота, которая не вступила в реакцию с аммиаком, способна реагировать с гидроксидом натрия:



По реакции (3) вычислим количество непрореагировавшей хлороводородной кислоты:

$$n'(\text{HCl}) = n(\text{NaOH}) = C(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,25 \cdot 0,08 = 0,02 \text{ моль.}$$

Количество выделившегося аммиака равно разнице исходного количества хлороводородной кислоты и количества непрореагировавшей хлороводородной кислоты:

$$n''(\text{HCl}) = n_0(\text{HCl}) - n'(\text{HCl}) = 0,5 \cdot 0,1 - 0,02 = 0,03 \text{ моль.}$$

По уравнениям реакций (1) и (2)

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = n(\text{NH}_3) = n''(\text{HCl}) = 0,03 \text{ моль.}$$

Тогда масса хлорида аммония в смеси:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,03 \cdot 53,5 = 1,605 \text{ г.}$$

Массовая доля хлорида аммония в смеси:

$$w(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{1,605}{3,20} \cdot 100 = 50,16\%$$

Чтобы убедиться, что хлорид аммония прореагировал полностью, вычислим количество вещества гидроксида натрия в смеси:

$$m(\text{NaOH}) = 3,20 - 1,605 = 1,595 \text{ г}$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{1,595}{40} = 0,04 \text{ моль.}$$

По реакции (1) хлорид аммония и гидроксид натрия реагируют в эквимолекулярном соотношении. Так как по расчету в смеси присутствует небольшой избыток гидроксида натрия, то хлорид аммония прореагирует полностью.

Разбалловка

Написание уравнений (1)–(3)	3 x 1 б. = 3 б.
Расчет массы хлорида аммония в смеси	4 б.
Расчет массовой доли хлорида аммония в смеси	1 б.
Доказательство полного превращения хлорида аммония	2 б.
ИТОГО	10 б.

Задача № 5

Элемент **X** сгорает и дает газ **Y**, который поглощают растения. Очевидно, что **Y** – углекислый газ, тогда **X** – углерод, а ${}^W\text{X}$ – радиоактивный изотоп углерод-14. В результате бета-распада ${}^{14}\text{C}$ образуется стабильный изотоп азота ${}^{14}\text{N}$ (изотоп ${}^V\text{Z}$). Азот с углеродом в электрической дуге образуют газообразное соединение дициан $(\text{CN})_2$ (вещество **A**).

Вычислим количество атомов изотопа ${}^{14}\text{C}$ в момент находки:

$$n = \frac{N}{N_A} \rightarrow N = n \cdot N_A = 2,05 \cdot 10^{-20} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 12341 \text{ атом}$$

При жизни тигра количество атомов изотопа ${}^{14}\text{C}$ было в 4,5 раза больше, то есть

$$N_0 = 12341 \cdot 4,5 = 55535 \text{ атомов}$$

Зная период полураспада (то есть время за которое количество атомов изотопа ${}^{14}\text{C}$ уменьшается в два раза) рассчитаем константу скорости реакции распада:

$$kt = \ln \frac{n_0}{n} \Rightarrow k = \frac{\ln \frac{n_0}{n}}{t} = \frac{\ln \frac{2}{1}}{5730} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ лет}^{-1}$$

Тогда возраст саблезубого тигра:

$$t = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{N_0}{N} = \frac{1}{1,21 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{55535}{12341} = 12430 \text{ лет}$$

Разбалловка

Определение элементов X и Z , изотопов ${}^W\text{X}$ и ${}^V\text{Z}$	4 x 1 б. = 4 б.
Определение соединений Y и A	2 x 0,5 б = 1 б
Расчет количества атомов ${}^{14}\text{C}$ в момент находки и во время жизни	2 x 0,5 б. = 1 б.
Расчет константы скорости реакции распада изотопа ${}^{14}\text{C}$	2 б
Определение возраста саблезубого тигра	2 б
ИТОГО	10 б