

Конкурс по химии

Задания

В скобках после номера задачи указаны классы, которым эта задача рекомендуется. Ученикам *8 класса (и младше)* предлагается решить 1–3 задачи, ученикам *9–10 классов* — 2–4 задачи. Можно решать и задачи старших классов. Решённые задачи класса младше своего не влияют на оценку.

11-классникам достаточно записать полные верные решения двух задач. На случай, если какое-то ваше решение окажется неверным или будет зачтено только частично, жюри рекомендует вам решать также и остальные задачи для 11 класса.

1. (8) Ангидридом кислоты называется оксид, который при взаимодействии с водой образует эту кислоту. Например, ангидридом серной кислоты является оксид SO_3 . Составьте формулы ангидридов следующих кислот:

- 1) HClO , 2) HClO_4 , 3) HNO_3 , 4) H_3PO_3 , 5) $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Укажите степени окисления элементов в оксидах.

2. (8) Молекулярная масса бромида щелочного металла в 1,76 раз больше молекулярной массы хлорида этого же металла. Назовите металл и запишите уравнения его реакции с кислородом и с водой.

3. (8–9) Нитрат калия массой 10,1 г растворили в 43,2 г воды.

а) определите массовую долю вещества в полученном водном растворе;

б) сколько молекул воды приходится на один атом калия в полученном растворе?

в) раствор упарили, удалив из него половину первоначально взятой воды, затем охладили до $20\text{ }^\circ\text{C}$. Определите массу выпавшего осадка, если максимальная растворимость нитрата калия при этой температуре составляет 31,6 г на 100 г воды.

4. (8–10) Юному химику Пете предоставили в распоряжение любое лабораторное оборудование, оксид серы(VI), воду и ещё одно вещество по его выбору. Петина задача — получить 10 новых веществ, используя имеющиеся у него вещества и продукты их превращений. Помогите Пете выполнить это задание — выберите реактив и запишите уравнения химических реакций получения новых веществ.

5. (9–10) На чашках весов уравновешены два стакана, каждый из которых содержит 100 г 20%-ной соляной кислоты. В один из них опустили 6 г магния, магний полностью растворился. Сколько граммов карбоната кальция надо опустить во второй стакан, чтобы весы снова пришли в равновесие? Испарением воды пренебречь.

6. (9–10) Во время Великой Отечественной войны для борьбы с ночными бомбардировщиками противника применялись аэростаты заграждения, наполнявшиеся водородом. В результате утечки газа водород постепенно вытеснялся воздухом. Это уменьшало подъёмную силу и делало опасным использование аэростатов, так как газовая смесь становилась взрывоопасной. Поэтому при содержании воздуха 17% газ в аэростате заменяли на свежий. Контроль состава газовой смеси проводили измерением плотности. При каком значении плотности (в г/л) заменяли газ в аэростате? (в расчёте на н. у., относительную молекулярную массу воздуха принять равной 29,0).

Какой способ получения водорода вы бы порекомендовали для наполнения аэростатов и почему?

7. (10–11) Ароматический углеводород состава C_8H_{10} при окислении превращается в кислоту. Если эта кислота массой 8,3 г прореагирует с кальцием, выделится 1,12 л водорода. Какое строение может иметь исходный ароматический углеводород? Напишите уравнение упомянутых реакций.

8. (10–11) В вашем распоряжении имеются три монеты — железная, медная и золотая; а также дистиллированная вода, водный раствор $FeCl_3$, химические стаканы и платиновая проволока. Кратко опишите последовательность действий, позволяющих покрыть слоем меди

- а) железную монету,
- б) золотую монету.

Приведите уравнения реакций.

9. (10–11) Имеется 5,6 г смеси серы и углерода. Смесь обработали избытком горячей концентрированной серной кислоты. В результате реакции выделилось 22,4 л газов, измеренных при н. у. Определите состав исходной смеси в массовых процентах.

10. (10–11) В замкнутом сосуде, содержащем кислород, сожгли 4,7 г органического вещества **A**, нанесённого на 22,2 г гидроксида кальция. После охлаждения сосуда там, кроме избытка кислорода, было обнаружено 8,1 мл воды и 30 г твёрдого неорганического вещества **B**. Определите формулы веществ **A** и **B**.

Решения

1. Для решения этой задачи важно понимать, что при взаимодействии оксида с водой с образованием кислоты (или основания) степень окисления элемента не меняется.

Значит, требуется подобрать оксид с той же степенью окисления элемента, что и в кислоте — это и будет ангидрид кислоты.

Посчитаем степени окисления элементов в приведенных кислотах и запишем оксиды этих элементов с той же степенью окисления:

	Кислота	Оксид
1	$\text{H}^{1+}\text{Cl}^{1+}\text{O}^{2-}$	$\text{Cl}_2^{1+}\text{O}^{2-}$
2	$\text{H}^{1+}\text{Cl}^{7+}\text{O}_4^{2-}$	$\text{Cl}_2^{7+}\text{O}_7^{2-}$
3	$\text{H}^{1+}\text{N}^{5+}\text{O}_3^{2-}$	$\text{N}_2^{5+}\text{O}_5^{2-}$
4	$\text{H}_3^{1+}\text{P}^{3+}\text{O}_3^{2-}$	$\text{P}_2^{3+}\text{O}_3^{2-}$
5	$\text{H}_2^{1+}\text{Cr}_2^{6+}\text{O}_7^{2-}$	$\text{Cr}^{6+}\text{O}_3^{2-}$

2. Обозначим молярную массу щелочного металла как x г/моль, тогда масса бромида этого металла составляет $(x + 80)$ г/моль, а хлорида — $(x + 35,5)$ г/моль. По условию задачи масса бромида в 1,76 раз больше массы хлорида, что позволяет нам составить уравнение:

$$x + 80 = 1,76(x + 35,5),$$

Решая это уравнение получим, что $x \approx 23,05$ г/моль, что соответствует молярной массе натрия.

Реакция с водой $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$. часто участники пишут реакцию с получением оксида натрия, но поскольку реакции с водой обычно проходят при её избытке, этот вариант является не совсем верным.

В условиях избытка кислорода при окислении натрия образуется пероксид натрия с небольшой примесью оксида, поэтому из двух возможных реакций натрия с кислородом выше оценивалась реакция с получением пероксида $2\text{Na} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{O}_2$.

3.

а) При растворении нитрата калия в воде масса раствора составила $10,1 + 43,2 = 53,3$ г, тогда массовая доля составляет $10,1/53,3 \approx 0,1895$ или 18,95%.

б) Количество KNO_3 в растворе $\nu(\text{KNO}_3) = \frac{10,1 \text{ г}}{101 \text{ г/моль}} = 0,1$ моль,

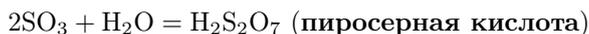
а количество воды $\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{43,2 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 2,4$ моль, т. е. молекул воды в 24 раза больше, чем «молекул» KNO_3 , а следовательно, и атомов калия.

в) Если испарилась половина воды, то в растворе её осталось 21,6 г, масса KNO_3 не изменилась и осталась 10,1 г. Можно составить пропорцию: если в 100 г воды растворяется 31,6 г соли, то в 21,6 г воды растворится

$$\frac{21,6 \text{ г}}{100 \text{ г}} \cdot 31,6 \text{ г} = 0,216 \cdot 31,6 \text{ г} = 6,8256 \text{ г}$$

В осадок выпало $10,1 - 6,8256 = 3,2744 \approx 3,27$ г KNO_3 .

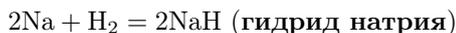
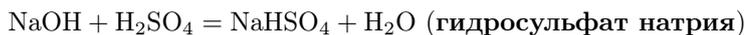
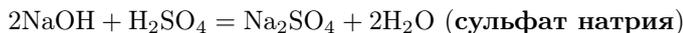
4. Для начала получим возможные новые вещества из двух реактивов, которые у нас уже есть.



$2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (электролиз воды, с добавлением небольшого количества серной кислоты, чтобы раствор проводил ток; **водород** на катоде и **кислород** на аноде)

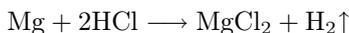
Теперь выберем ещё один реактив. Удачный вариант, который встречался в некоторых работах — металлический натрий.

$2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$ (**гидроксид натрия** и водород, но водород уже был получен раньше, то есть новое вещество здесь одно)



Таким образом, получено 10 веществ.

5. Запишем реакцию, прошедшую в первом стакане:



Тогда масса раствора изменилась следующим образом: увеличилась на 6 г добавленного магния, и уменьшилась на массу выделившегося водорода.

Найдём эту массу. Количество магния $\frac{6 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,25$ моль, количество соляной кислоты $\frac{20 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} \approx 0,548$ моль.

Кислота в избытке, значит выделилось 0,25 моль водорода массой 0,5 г.

Таким образом масса первого стакана увеличилась на 5,5 г.

Если во второй стакан добавить карбонат кальция, то произойдёт следующая реакция:



Пусть масса добавленного в стакан карбоната кальция равна m . В результате реакции выделится столько же молей CO_2 , сколько было добавлено молей CaCO_3 . Масса выделившегося CO_2 будет равна

$$\frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{CaCO}_3)} \cdot m = \frac{44 \text{ г/моль}}{100 \text{ г/моль}} \cdot m = 0,44m$$

Суммарно масса стакана изменится на $m - 0,44m = 0,56m$, что по условию должно равняться 5,5 г, отсюда $m = 5,5 \text{ г} / 0,56 \approx 9,82 \text{ г}$.

6. Определим плотность газовой смеси, состоящей из водорода и воздуха, где воздуха 17%. Доля воздуха в смеси 0,17 (по объёму или по молям)¹, а доля водорода — соответственно $1 - 0,17 = 0,83$.

Средняя молярная масса такой смеси:

$$\begin{aligned} M &= 0,17M(\text{возд.}) + (1 - 0,17)M(\text{H}_2) = \\ &= 0,17 \cdot 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 0,83 \cdot 2 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = (4,93 + 1,66) \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 6,59 \frac{\text{г}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

При нормальных условиях молярный объём этой газовой смеси (независимо от состава) равен 22,4 л/моль, поэтому её плотность составляет

$$\rho = \frac{M}{22,4 \text{ л/моль}} = \frac{6,59 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,29 \frac{\text{г}}{\text{л}}.$$

¹В условии задачи предполагалось, что 17% — это объёмная концентрация воздуха. Учитывая, что чётко это указано не было, принимались также и решения, предполагающие концентрацию 17% по массе. В этом случае объёмная концентрация кислорода в смеси составит примерно 0,29% и не является взрывоопасной.

Водород для таких аэростатов можно получать как на заводе, так и в поле обычными способами. В качестве требований к способу получения можно назвать следующие:

- 1) чистота получаемого газа (примеси других, более тяжёлых газов будут снижать подъёмную силу);
- 2) отсутствие вредных примесей (нельзя забывать, что перед тем, как заполнять аэростат заново, его содержимое чаще всего выпускали в атмосферу);
- 3) недорогое и доступное сырьё;
- 4) безопасность работ.

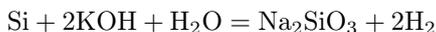
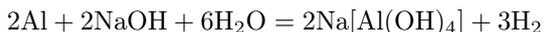
С учётом этих условий можно назвать такие способы получения водорода:

- электролиз воды с разделением продуктов, выделившихся на катоде (это и будет водород) и на аноде (кислород);
- пропускание паров воды над раскалённым железом:



(достоинствами вышеназванных способов являются дешёвое сырьё и отсутствие токсичных компонентов — исходных веществ и продуктов)

- реакция алюминия или кремния с раствором щёлочи:

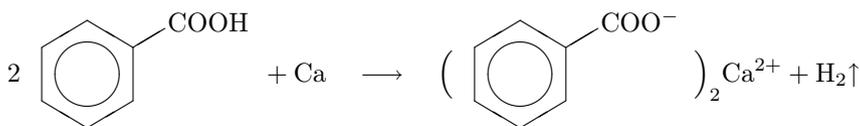


(взаимодействие со щёлочью предпочтительнее взаимодействия металлов с кислотой, так как щёлочь можно транспортировать в твёрдом виде, это проще и безопаснее, чем транспортировка жидких кислот; особенно это важно при получении водорода не на заводе, а непосредственно на месте).

- возможна также реакция цинка с серной кислотой (но не с соляной, так как в этом случае водород будет содержать её пары).

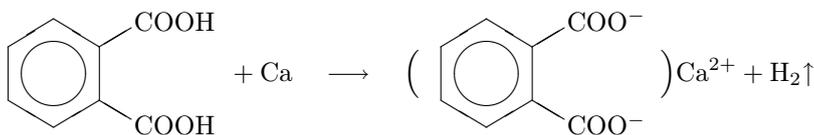
7. При окислении ароматических углеводородов их боковая цепь разрушается, и остаётся только ближайший к бензольному кольцу атом углерода, который окисляется до карбоксильной группы, образуя ароматическую кислоту. По условию, при взаимодействии 8,3 г этой кислоты с кальцием выделяется 1,12 л, или 0,05 моль водорода. В случае, если

исходный ароматический углеводород имел только одну боковую цепь, при окислении должна была получиться бензойная кислота молекулярной массой 122 г/моль.

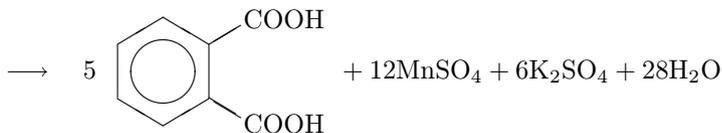
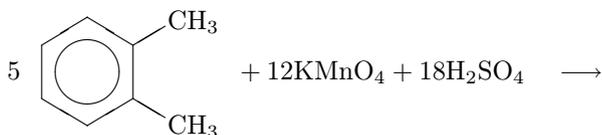


Тогда при взаимодействии этой кислоты с кальцием должно выделиться $\frac{8,3 \text{ г}}{122 \text{ г/моль}} \approx 0,068$ моль водорода. Это несоответствие можно объяснить тем, что кислота не одноосновная, а исходный ароматический углеводород содержит более одного заместителя в бензольном кольце.

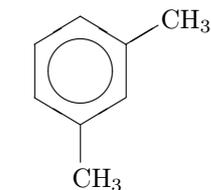
В случае двухосновной кислоты (фталевая кислота, молекулярная масса 122 г/моль) должно выделиться $\frac{8,3 \text{ г}}{166 \text{ г/моль}} = 0,05$ моль водорода, что соответствует условиям задачи.



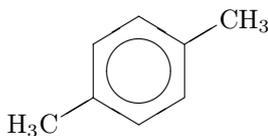
Фталевая кислота получается при окислении диметилбензола (ксилола):



Кроме указанного в уравнениях 1,2-диметилбензола существует ещё два изомера этого соединения:

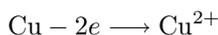
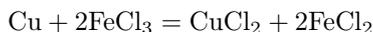


мета-ксилол



пара-ксилол

8. Чтобы покрыть монетки медью, мы будем использовать осаждение (восстановление) ионов меди из раствора. Поэтому прежде всего нужно перевести медь в раствор. Это можно сделать окислением металлической меди раствором хлорида железа(III). Железо стоит в ряду активности металлов левее меди, так что, казалось бы, металлическая медь не должна восстанавливать железо. Однако ряд активности относится к восстановлению металлов до свободного состояния (нулевая степень окисления), а в данном случае мы будем использовать восстановление Fe^{3+} до Fe^{2+} .



(полученный раствор не должен содержать избытка FeCl_3 , иначе в дальнейшем именно FeCl_3 и будет восстанавливаться, вместо меди).

а) Чтобы покрыть медью железную монетку, надо просто положить ее в полученный раствор.



Железо расположено в ряду активности металлов левее меди, поэтому оно вытесняет медь из раствора.

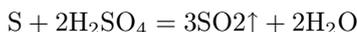
б) Чтобы покрыть медью золотую монетку, надо сконструировать гальваническую пару $\text{Fe}-\text{Au}$, соединив железную или золотую монетку проволокой, либо просто положить их так, чтобы они касались рёбрами.

Поскольку железо и золото имеют разную активность, то при таком контакте на золото перейдёт некоторый избыток электронов от железа (и этот избыток будет поддерживаться в процессе протекания описанных дальше реакций). Если мы поместим такую пару в раствор хлорида

меди, то ионы меди будут восстанавливаться этими избыточными электронами и металлическая медь будет осаждаться на золоте. С железной монетки будут переходить дополнительные электроны, и на них будут восстанавливаться новые ионы меди, а железо, оставшись без электронов, будет в виде ионов переходить в раствор. В конце концов золотая монета покроется слоем меди, а железная — частично растворится.

При этом суммарная реакция будет той же самой, что и в предыдущем случае: $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} = \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$.

9. Запишем уравнения реакций:



Обозначим количество углерода за x моль, а серы — y моль. Тогда масса смеси по условию:

$$m = (M(\text{C})x + M(\text{S})y) \text{ моль} = \left(12 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot x + 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot y \right) \text{ моль} = 5,6 \text{ г}$$

Отсюда получаем уравнение:

$$12x + 32y = 5,6$$

В ходе первой реакции выделилось всего $3x$ моль газов, а в ходе второй реакции — $3y$ моль газов; по условию суммарный объем этих газов составил 22,4 л, значит суммарное количество составляет 1 моль:

$$3x + 3y = 1$$

Мы получили систему линейных уравнений, решение которой даёт исходные количества простых веществ:

$$\begin{cases} 12x + 32y = 5,6 \\ 3x + 3y = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 12x + 32y = 5,6 \\ 12x + 12y = 4 \end{cases} \Rightarrow 20y = 1,6 \Rightarrow y = \frac{1,6}{20} = 0,08$$

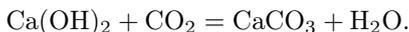
Теперь определим массовый процентный состав исходной смеси. Масса серы составляет $m(\text{S}) = M(\text{S}) \cdot y \text{ моль} = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0,08 \text{ моль} = 2,56 \text{ г}$; процентное содержание серы равно $\frac{m(\text{S})}{m} \cdot 100\% = \frac{2,56 \text{ г}}{5,6 \text{ г}} \approx 45,714\%$. Масса углерода соответственно равна $m(\text{C}) = m - m(\text{S}) = 5,6 \text{ г} - 2,56 \text{ г} = 3,04 \text{ г}$; процентное содержание углерода в смеси составляет $100\% - 45,714\% = 54,286\%$.

10. Объём воды 8,1 мл соответствует массе этой воды 8,1 г и количеству вещества $\frac{8,1 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,45$ моль.

Твёрдое вещество **Б** — CaCO_3 ; его масса 30 г, что соответствует $\frac{30 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,3$ моль.

Гидроксида кальция было как раз $\frac{22,2 \text{ г}}{74 \text{ г/моль}} = 0,3$ моль.

Таким образом, в сосуде прошла реакция



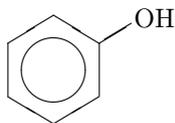
В этой реакции получается 0,3 моль воды. Значит при сгорании вещества **А** было получено $0,45 - 0,3 = 0,15$ моль воды (это соответствует 0,3 моль атомов Н) и 0,3 моль CO_2 (который полностью поглотился гидроксидом кальция).

Вещество **А** содержит таким образом $12 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0,3 \text{ моль} = 3,6$ г углерода и $1 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0,3 \text{ моль} = 0,3$ г водорода.

В сумме это 3,9 г, что меньше, чем исходная навеска вещества. Значит вещество **А** содержит ещё и кислород (других продуктов при горении не было, значит других элементов вещество не содержит²).

Масса кислорода равна $4,7 - 3,9 = 0,8$ г кислорода, что соответствует $\frac{0,8 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,05$ моль.

Соотношение элементов С:Н:О, входящих в состав вещества **А**, составляет $0,3 : 0,3 : 0,05$. При приведении к целым числам это даёт $6 : 6 : 1$, то есть формулу вещества можно записать как $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$. Скорее всего, вещество **А** — это фенол:



²Теоретически можно было бы предположить наличие в составе вещества **А** других элементов (или элемента). Но их свойства для выполнения условия задачи должны были бы быть чрезвычайно экзотическими: этот элемент или элементы должны как-то «встроиться» в структуру CaCO_3 , образуя другое вещество **Б** и не образуя при этом никаких других химических соединений (которых не должно быть по условию задачи). Естественно, при этом должны выполняться и все приведённые в решении арифметические соотношения. Вероятнее всего таких вариантов нет.

Пояснение для школьников, ещё не изучавших органическую химию.
В структурных формулах органических соединений для упрощения записи можно не обозначать атомы углерода (С) и водорода (Н) в случаях, когда их наличие однозначно определяется окружающими элементами формулы. Так, подразумевается, что атомы углерода расположены во всех местах разветвления, изгиба и на концах линий, обозначающих химические связи (если только в таком месте явно не обозначен другой атом). Кроме того, предполагается, что к каждому такому атому углерода присоединено столько атомов водорода, чтобы общее количество химических связей (в сумме обозначенных и необозначенных) этого атома углерода было равно 4.

Такие обозначения были использованы в решении задач № 7 и № 10.

Критерии оценивания и награждения

Решение каждой задачи оценивается целым неотрицательным числом баллов в соответствии с нижеприведёнными критериями.

Задача 1.

Формула каждого оксида — по 1 баллу (всего 5 баллов).

Степени окисления для каждого оксида — по 1 баллу (всего 5 баллов).

Всего 10 баллов.

Задача 2.

Уравнение для расчёта $\langle (x + 80) = 1,76(x + 35,5) \rangle$ — 2 балла.

Расчёт с получением атомной массы 23 — 2 балла.

Название металла «натрий» — 1 балл.

(Всего 5 баллов за определение натрия.)

То же самое подбором — тоже 5 баллов.

Реакция с водой $\langle 2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \rangle$ — 2 балла.

Реакция с кислородом $2\text{Na} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{O}_2$ — 3 балла

(с получением оксида Na_2O вместо пероксида Na_2O_2 — 1 балл).

Всего 10 баллов.

Задача 3.

Задание «а» — оценивается из 2 баллов.

Задание «б» — оценивается из 4 баллов.

Задание «в» — оценивается из 4 баллов.

Всего 10 баллов.

Задача 4.

10 баллов при наличии 5 веществ (по 2 балла за вещество).

Оксид SO_2 вместо SO_3 не оценивается.

Если правильных веществ, полученных по правильным реакциям, больше, то задача оценивается до 20 баллов.

Задача 5.

Уравнение реакции с магнием — 1 балл.

Уравнение реакции с карбонатом кальция — 1 балл.

Расчёт для магния оценивается из 3 баллов.

Расчёт карбоната кальция оценивается из 5 баллов.

Всего 10 баллов.

Задача 6.

Расчёт плотности газовой смеси взрывоопасной концентрации — оценивается из 4 баллов. Приведённая в условии величина объёмной (молярной) концентрации воздуха 17% была ошибочно понята как величина массовой концентрации — оценка не снижается, оценивается расчёт с такой концентрацией.

Способ (способы) получения водорода — оценивается из 3 баллов.

Обоснование применимости указанного способа (способов) получения водорода — оценивается из 3 баллов.

Всего 10 баллов.

Задача 7.

Реакция окисления ароматического углеводорода — 2 балла.

Расчёт молярной массы кислоты (166 г/моль), рассмотрение варианта одноосновной (бензойной) кислоты и обоснование варианта двухосновной, т. е. определение фталевой кислоты — оценивается из 6 баллов в совокупности.

Изомеры (орто, мета, пара) — 2 балла.

Всего 10 баллов.

Задача 8.

Окисление меди (получение ионов меди в растворе; раствор не должен содержать избытка FeCl_3) — 3 балла.

Осаждение меди на железе — 2 балла.

Осаждение меди на золоте с помощью гальванической пары Fe/Au (методика + пояснение) — оценивается из 5 баллов.

Всего 10 баллов.

Задача 9.

Реакции серы и углерода с горячей концентрированной серной кислотой — 3 балла.

Расчёт состава исходной смеси и полученный верный ответ — оценивается в совокупности из 7 баллов.

Всего 10 баллов.

Задача 10.

Определение вещества **Б** (CaCO_3) и его количества — 3 балла.

Расчёт количества молей атомов С, О и Н в веществе **А** — 5 баллов.

Приведение молярного соотношения С, О и Н к целым числам ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), указание вероятного варианта для такого соотношения (фенол) — 2 балла.

Всего 10 баллов.

При награждении учитывалась сумма баллов по всем задачам, а также класс, в котором учится участник. Во всех случаях были учтены результаты по задачам своего и старших классов; результаты по задачам, предназначенным для более младших классов, чем класс, в котором учится участник, на итоги не влияют.

Оценки «е» (балл многоборья) и «v» (грамота за успешное выступление на конкурсе по химии) ставились в соответствии с таблицей (нужно было набрать сумму баллов не менее указанной в таблице).

Класс	«е» (балл многоборья)	«v» (грамота)
5 и младше	2	3
6	3	4
7	3	5
8	4	7
9	5	11
10	6	16
11	10	20

В случае, если поставлена оценка «v», оценка «е» не ставится.

Оглавление

Конкурс по химии	1
Задания	1
Решения	3
Критерии оценивания и награждения	11