

Решения и критерии оценивания олимпиадных заданий

Задача 1. Сибайское месторождение

Решение:

1. Вещество **A** можно определить по цвету «красной глины», слабым амфотерным свойствам, а также массовой доле кислорода. Если представить формулу оксида как M_xO_y , тогда атомные массы предположительных металлов равны:

$x \backslash y =$	1	2	3	4
1	37,2	74,4	111,6	148,8
2	18,6		55,8	
3	12,4	35,5		49,6

Таким образом, единственный адекватный вариант – $x = 2$, $y = 3$, где молярная масса металла равна 55,8, что соответствует железу Fe.

Значит, вещество **A** – Fe_2O_3 , **X** – Fe

2. Уравнения реакций:

- $Fe_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$
- $Fe_2O_3 + 2NaOH \rightarrow NaFeO_2 + H_2O$
- $Fe_2O_3 + MgO \rightarrow MgFe_2O_4$

3. До вещества **B** довольно легко догадаться из подсказок в тексте: по наличию железа в составе из-за образования оксида железа в качестве продукта сгорания и по наличию серы из-за образования газа с типичным запахом жженных спичек – SO_2 . Также подсказкой является популярное название минерала «золото дураков» – пирита. Соответственно, вещество **B** – дисульфид железа FeS_2 .

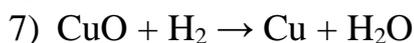
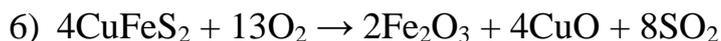
4. Уравнения реакций:

- $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$
- $2FeS_2 + 14H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 15SO_2 + 14H_2O$

5. Из текста задачи становится понятно, что вещество С – смешанный сульфид железа и металла Y. На свойства металла Y указывает свойство его черного оксида – слабая амфотерность. Предположим, что металл Y – медь Cu, тогда вещество С – CuFeS₂ (из молярной массы >180 г/моль). Тогда массовая доля серы будет в точности равна 34,91%:

$$\omega(S) = \frac{32 \cdot 2}{32 \cdot 2 + 63,5 + 56} \cdot 100\% = 34,91\%$$

6. Уравнения реакций:



7. Медь находит применение в электротехнике, ювелирном деле, используется как катализатор, медные сплавы применяются в машиностроении и авиастроении и т.д. Засчитывается любой разумный ответ.

Система оценивания:

1. Элемент X, вещество A по 0,5 балла	1 балл
2. Уравнения реакций 1-3 по 0,5 балла	1,5 балла
3. Вещество B 0,5 балла	0,5 балла
4. Уравнения реакций по 0,5 балла	1 балла
5. Вещества C, D, Y по 1 баллу	3 балла
6. Уравнения реакций 6-9 по 0,5 балла	2 балла
7. Две сферы применения по 0,5 балла	1 балл
ИТОГО:	10 баллов

Задача 2. Внимание! Газы!

Решение:

Определим молярную массу вещества **A**, через его плотность:

$$PV = nRT, PV = \frac{m}{M}RT, PV = \frac{\rho V}{M}RT, P = \frac{\rho RT}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{7,964 \cdot 8,314 \cdot (30 + 273)}{2 \cdot 101,325} = 99 \text{ г/моль}$$

В условии задачи дано количество атомов в 1 г вещества **A**. Найдем количество молекул вещества **A**, чтобы понять, сколько атомов содержится в одной молекуле **A**:

$$\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, N = \frac{m N_A}{M}$$

$$N \text{ (молекул)} = \frac{1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{99} \approx 6,081 \cdot 10^{21}$$

$$\frac{N \text{ (атомов)}}{N \text{ (молекул)}} = \frac{2,432 \cdot 10^{22}}{6,081 \cdot 10^{21}} \approx 4 \text{ атома в одной молекуле вещества.}$$

Газ **B** – окрашен, с резким запахом, вызывает раздражение дыхательных путей и был использован в Первую мировую войну как химическое оружие – это хлор (Cl_2). Логично предположить, что вещество **A** содержит в своем составе хлор. Тогда при пропускании его в раствор щелочи, скорее всего, образуется хлорид.

По условию задачи соль **E** активно реагирует с серной кислотой только будучи в твердом виде, это подходит под описание хлорида натрия.

Если соль **E** – NaCl , в дальнейших реакциях с гидроксидом бария и соляной кислотой участвует именно соль **D**.

Так как раствор после *реакции 2* разделили на равные части, то допустим, что количества газа и осадка, образующихся в *реакциях 3-4*, равны. Тогда молярная масса осадка:

$$M = \frac{1,989}{226,2 \div 1000 \div 22,4} = 197 \text{ г/моль}$$

Осадок – BaCO_3 , тогда соль **D** – Na_2CO_3

Логично предположить, что **A** также содержит углерод и кислород.

Проверим по молярной массе:

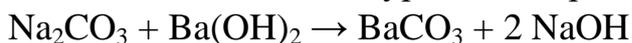
$99 - 35,5 \cdot 2 - 12 - 16 = 0$ – то есть вещество **A** – COCl_2 (фосген), ядовитый газ с запахом прелого сена. Проверим по *реакции 2*:



В раствор пропустили 2 г вещества **A**, найдем его количество:

$$n = \frac{2}{99} \approx 0,0202 \text{ моль}$$

Количество Na_2CO_3 по уравнению реакции также равно 0,0202 моль.



Количества осадка и газа сошлись.

1. Формулы веществ А-Е:

А – COCl_2

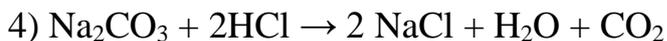
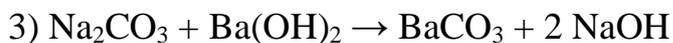
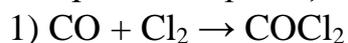
В – Cl_2

С – CO

Д – Na_2CO_3

Е – NaCl

2. Уравнения реакций 1-5:



В твердом виде NaCl активно реагирует с концентрированной H_2SO_4 , так как хлороводород в этом случае способен свободно выделяться. В разбавленном растворе, напротив, весь HCl поглощается водой, из-за чего мы не наблюдаем визуальных признаков реакции.

3. Возможный способ обнаружения:

$\text{COCl}_2 + 2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{AgCl} + \text{CO}_2 + 2\text{HNO}_3$ (визуальный признак: выпадение белого творожистого осадка)

Система оценивания:

1. Вещества А-Е по 1 баллу	5 баллов
2. Уравнения реакций 1-5 по 0,5 балла, объяснение 1 балл	3,5 балла
3. Любой разумный способ	1,5 балла
ИТОГО:	10 баллов

Задача 3. Азотные удобрения.

Решение:

1. Из реагентов, которых получается газ **A** логично утверждать, что это аммиак NH_3 .

Газ **B**, содержащий азот и буряющий на воздухе, – оксид азота (II), NO .
Бурый газ **B** – оксид азота (IV), NO_2

2. Уравнения реакций:

- 1) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$
- 2) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
- 3) $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$
- 4) $4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HNO}_3$
- 5) $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$ или
 $\text{HNO}_3 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow 2\text{NO} + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
- 7) $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$

3. Рассчитаем количество моль азотоводородной смеси по формуле Менделеева-Клапейрона:

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{250 \cdot 10^5 \cdot 450}{8,31 \cdot (450 + 273)} = 1,87 \text{ ммоль}$$

Так как смесь стехиометрическая, то количество азота и водорода - 0,4675 и 1,4025 Ммоль соответственно.

Учитывая выход реакции 18%, получим на выходе: $\nu(\text{NH}_3) = \frac{1,87 \cdot 2}{4} \cdot 0,18 = 168,3 \text{ кмоль}$

Чтобы узнать тепловой эффект реакции поделим выделяемое тепло на количество продукта:

$$Q_r = \frac{5,95 \cdot 10^9}{112,2 \cdot 10^3} = 53 \text{ кДж/моль}$$

4.

2,3 м³ газа соответствуют при н.у. $\frac{2,3 \cdot 10^3}{22,4} = 102,67 \text{ моль}$

Из уравнений реакций 2,3,4,5 следует, что из 1 молекулы **A** получается 1 молекула азотной кислоты, и соответственно 1 моль селитры получается из 2 моль аммиака. При 100% выходе реакций мы получаем:

$$\frac{102,67}{2} \cdot \frac{1}{0,94} \cdot (14 + 4 + 14 + 3 \cdot 16) = 4,37 \text{ кг удобрения}$$

Тогда общий выход синтеза составляет $\frac{1}{4,37} = 22,9 \%$

5. Для вычисления молярной массы мочевины необходимо провести расчёт

$$\text{по массовой доле азота : } M(\text{на 1 атом N}) = \frac{14}{0,4667} = 30 \text{ г/моль}$$

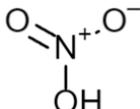
При двух атомах азота получаем 60 г/моль – 28 из них масса азота, 12 углерода, остальные 20 представляют собой кислород и 4 атома водорода.

Формулы веществ:

Аммиачная селитра – NH_4NO_3

Мочевина – $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (принимается также $\text{H}_4\text{N}_2\text{CO}$)

Селитряная кислота – азотная кислота HNO_3

Структурная формула азотной кислоты: 

6. Азотные удобрения, которые могут назвать участники:

Чилийская (натронная, натриевая) селитра NaNO_3

Индийская (калиевая, калийная) селитра KNO_3

Норвежская (кальциевая, известковая) селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Так же принимаются ответы:

Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Хлористый аммоний NH_4Cl

Карбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Сульфид аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$

Аммофос и диаммофос $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Цианамид кальция CaCN_2

Система оценивания:

- | | |
|---|------------------|
| 1. За каждое вещество А-В по 0,5 балла | 1,5 балла |
| 2. Уравнения <i>реакций</i> 1-7 по 0,5 балла | 3,5 балла |
| 3. Тепловой эффект реакции 0,5 балла | 0,5 балла |
| 4. Расчет общего выхода 1 балл | 1 балл |
| 5. Формула для каждой селитры, структура по 0,5 балла | 2 балла |
| 6. Формулы удобрений по 0,5 балла | 1,5 балла |

ИТОГО:

10 баллов

Задача 4. ИЗВЕСТНЫЕ горные породы

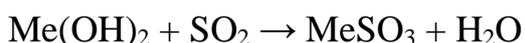
Решение и критерии оценивания:

1. Для начала найдем молекулярную формулу газа С. Шарик взлетает в том случае, если плотность газа внутри меньше плотности воздуха.

В нашем случае мы получаем простое уравнение, где X – молярная масса:

$0,625x + 0,375 \cdot 4 = 29$, откуда $x = 44$. Исходя из этого корня уравнения, самый логичный вариант – углекислый газ CO_2 .

Самое логичное предположение – наш оксид является оксидом щелочноземельного металла с формулой MeO , тогда схема дальнейших реакций выглядит так:



Используя молярные массы кислотных остатков, можно составить следующее уравнение, где x – молярная масса металла:

$\frac{1}{x+12+48} = \frac{1,2}{x+32+48}$, откуда $x = 40$, что соответствует молярной массе кальция **Ca**. Итак:

A – CaCO_3

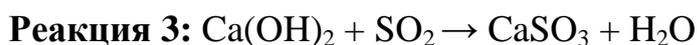
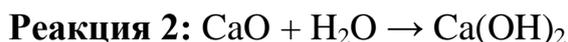
B – CaO

C – CO_2

D – Ca(OH)_2

E – CaSO_3

2. Уравнения реакций:



3. Определим количество веществ, взятых для эксперимента:

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{25}{100} = 0,25 \text{ моль};$$

$$m(\text{HCl}) = \rho(\text{раствора}) \cdot V(\text{раствора}) \cdot 0,12 = 57,24 \text{ г.}$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{57,24}{36,5} = 1,57 \text{ моль.}$$

По уравнению **реакции 4** легко можно увидеть, что количество соляной кислоты, вступающей в реакцию, вдвое больше количества карбоната кальция. Тогда, максимальное количество карбоната, способного вступить в реакцию с таким количеством кислоты равно $\frac{1,57}{2} = 0,785$ моль. Однако, в проведенном эксперименте изначально имеется всего 0,25 моль CaCO_3 , то есть соляная кислота **в избытке**. Расчет необходимо вести по уравнению **реакции 4**, по карбонату кальция:

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) = 0,25 \text{ моль, откуда}$$

$$V(\text{CO}_2)_{\text{max}} = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л.}$$

4. Прибор 1 называется **аппаратом Киппа**, склянка 2 с серной кислотой необходима для очистки выходящего газа от водяных паров.

Система оценивания:

1. Вещества А-Е по 1 баллу	5 баллов
2. Уравнения реакций 1-4 по 0,5 балла	2 балла
3. Расчет объёма 1 балл	1 балл
4. Название аппарата, использования склянки по 1 баллу	2 балла
ИТОГО:	10 баллов

Задача 5. Демонстрационный эксперимент

1. Раствор индикатора в воде (то есть до пропускания газа) будет иметь **нейтральную** среду. После пропускания аммиака в этот раствор среда станет **щелочной**, о чем и говорит изменение окраски *универсального индикатора* с зеленой на фиолетовую. Оранжевую окраску универсальный индикатор имеет в **кислой** среде, которая, как видно, устанавливается после пропускания газа А.

2. Для определения наличия восстановительной способности газа следует использовать раствор окислителя. Окислитель, имеющий в нейтральной среде малиновую окраску и реагирующий с аммиаком с образованием бурого осадка, – это перманганат калия.

Соль Б – KMnO_4 .

Для определения наличия окислительной способности газа следует использовать раствор восстановителя. Восстановитель, являющийся солью калия и реагирующий с озоном с образованием бурого осадка, – иодид калия.

Соль В – KI .

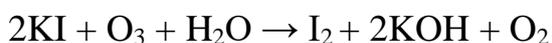
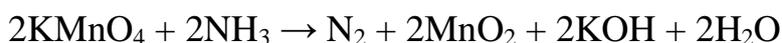


(Реакции в виде $2\text{KI} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{HPO}_4 + 2\text{HI}$ и $3\text{KI} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{K}_3\text{PO}_4 + 3\text{HI}$ оцениваются полным баллом).

Газ А – HI

Йодоводород растворяется в воде с образованием кислой среды, на что указывает оранжевая окраска индикатора, и реагирует с перманганатом калия с образованием бурой окраски йода. Наше предположение подтверждается ещё раз.

3. Реакции 2-4:



4. В лабораториях озон получают в озонаторах действием электрического заряда на кислород:



Аммиак обычно получают нагреванием смеси хлорида аммония гидроксидом кальция:



Система оценивания:

- | | |
|---|---------|
| 1. Среда в каждом из случаев по 1 баллу | 3 балла |
| 2. Газ А 1 балл, уравнение реакции 1 балл | 2 балла |
| 3. Уравнение реакции 1-3 по 1 баллу | 3 балла |
| 4. Получение аммиака и озона по 1 баллу | 2 балла |

ИТОГО: 10 баллов