

Девятый класс

Задача 9-1 (авторы – А. А. Дроздов, М. Н. Андреев)

1. Газ, не поддерживающий горения и не изменяющий окраски индикаторов, вероятно, азот. Найдем количество газа. Оно равно $n = pV/RT = 0,125$ моль. Распространенный метод получения азота заключается в нагревании смеси растворов нитрита щелочного металла и раствора соли аммония. Наряду с азотом в ходе реакции образуется соль щелочного металла в количестве, эквивалентном количеству азота. Тогда $M(\text{соли}) = 7,31 / 0,125 = 58,5$ г/моль, что соответствует хлориду натрия. Эта соль растворима в воде, образует бесцветные кубические кристаллы.
2. Таким образом, один из исходных растворов представляет собой нитрит натрия, а другой – хлорид аммония. Масса вещества 1 равна $m_1 = 100 \cdot 1,026 \cdot 0,084 = 8,62$ г, $M = 8,62 / 0,125 = 69$ г/моль, что соответствует нитриту натрия. Масса вещества 2 равна $m_2 = 100 \cdot 1,06 \cdot 0,0631 = 6,69$ г. Тогда $M(\text{соли}) = 6,70 / 0,125 = 53,5$ г/моль. Это соответствует хлориду аммония.

Итак, вещество 1 – NaNO_2 , вещество 2 – NH_4Cl . Неизвестный газ – азот.

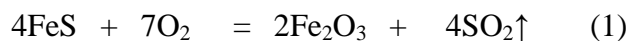
3. Массовая доля соли равна $7,31 / 205,1 = 3,56$ %.
4. Уравнение реакции 1: $\text{NaNO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} = \text{N}_2 + \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$.
5. Азот можно получить разложением азидов щелочных металлов:
$$2\text{NaN}_3 = 2\text{Na} + 3\text{N}_2 \quad (2).$$

Система оценивания:

Определение каждого из трех веществ – по 4 балла	4 балла · 3 = 12 баллов
Определение массовой доли соли в растворе	4 балла
Уравнение реакции	2 балла
За один метод получения азота	2 балла
Итого	20 баллов

Задача 9-2 (автор – В. Долженко)

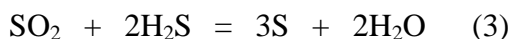
1) Уравнения реакций:



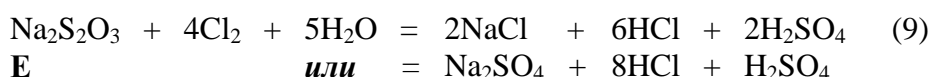
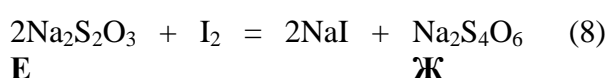
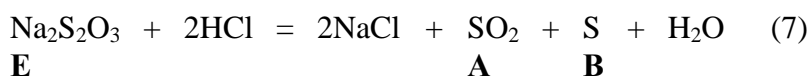
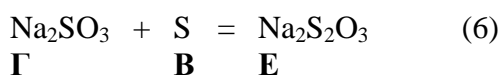
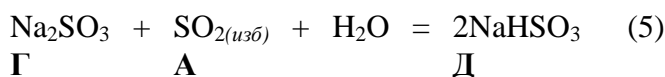
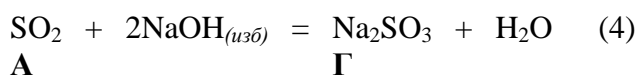
А



Б



А Б В



2) Состав кристаллогидрата **Е**:

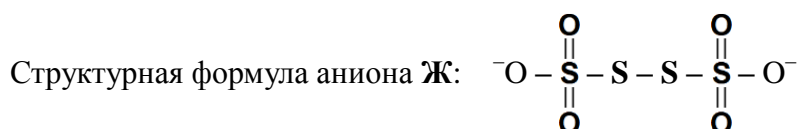
$$M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158.11 \Rightarrow 18n = (158.11 + 18n) \cdot 0.3629 \Rightarrow n = 5 \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

3) Состав кристаллогидрата **Ж**:

Так как дан состав кристаллогидрата, то недостает массовой доли атомов H, вычисляем: $\omega(\text{H}) = 100 \% - 15.03 \% - 41.83 \% - 41.83 \% = 1.31 \%$.

Э	M, г/моль	Масса Э в 100г в-ва, г	Кол-во в-ва Э, моль	Число атомов элементов в простейшей формуле вещества Ж
Na	23,0	15.03	0.65	1
S	32.07	41.83	1.30	2
O	16,0	41.83	2.61	4
H	1.01	1.31	1.30	2

Таким образом, простейшая формула кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, но так как 1 моль **Ж** образуется из 2-х моль тиосульфата $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, уже содержащего 2 атома серы, эту формулу следует удвоить: **$\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**



Система оценивания:

уравнения 1 и 2 по 1 баллу

1·2 = 2 балла

уравнения 3–9 по 2 балла

2·7 = 14 баллов

расчет состава кристаллогидрата **Е**

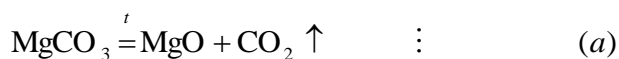
1 балл

Расчет состава кристаллогидрата Ж	2 балла
Графическая формула Ж	1 балл
ИТОГО: 20 баллов	

Задача 9-3 (автор А. И. Жиров)

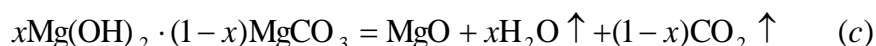
1. Бесцветным кристаллическим веществом X может быть карбонат, основной карбонат, гидрат карбоната магния: MgCO_3 , $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$ (в общем виде $x\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot (1-x)\text{MgCO}_3$, где $0 < x < 1$), $\text{MgCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ соответственно.

Потеря массы при прокаливании и действии соляной кислоты для **безводного карбоната магния** должна быть одинаковой, согласно уравнениям реакций *a* и *b*.

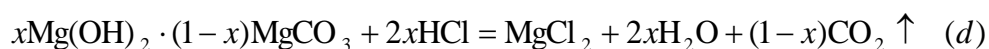


Потеря массы при растворении X в HCl составляет $(100 + 10) - 106.82 = 3.18$ г. Потеря массы в % составит $3.18 / 10 = 0.318$, или 31.8 %. Согласно уравнению *b*, при растворении 10 г безводного карбоната потеря массы должна составить $44 / 84.3 = 0.522$, или 52 %. Тогда реальная потеря массы при растворении меньше, чем теоретическая. Значит, был или основной карбонат, или кристаллогидрат.

Для основного карбоната в общем виде уравнение реакции термического разложения запишется



Уравнение реакции с кислотой



Потеря массы в результате термического разложения будет определяться значением *x* и будет лежать в пределах от 0.5219 (для $x = 0$) до 0.2135 (для $x = 1$). Это в любом случае меньше, чем в условии задачи.

Для основного карбоната в виде $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$ реакции термического разложения и с кислотой можно записать



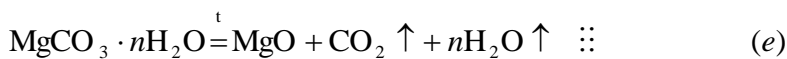
Потеря массы в реакции (c) составит

$$\frac{44 + 18}{24.3 \cdot 2 + 17 \cdot 2 + 60} = \frac{62}{142.6} = 0.4348$$

Это значение меньше, чем 0.708, значит это не основной карбонат.

Остался последний случай – кристаллогидрат.

Определим число молекул воды в $\text{MgCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, используя уравнение реакции термического разложения (e)



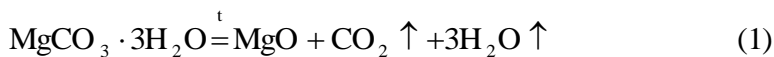
В реакции (e) относительная потеря массы по условию задачи

$$\Delta m = \frac{M(\text{CO}_2) + nM(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{MgCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O})} = 0.708$$

$$44 + 18n = 0.708(84.3 + 18n)$$

$$n = 15.68 / 5.25 = 3$$

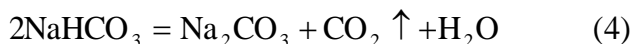
состав X – $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$



2. Реакция получения



3. При нагревании гидрокарбоната натрия происходит реакция



4. Кроме нагревания можно использовать продувание раствора инертным

газом, например, азотом, уносящим углекислый газ, для смещения равновесия и увеличения концентрации карбонат-иона.

Система оценивания

1. Предположение состава вещества X (карбонат, основной карбонат, кристаллогидрат карбоната) по 1 баллу за каждое $3 \cdot 1 = 3$ балла

Расчет потери массы при растворении в соляной кислоте 2 балла

Уравнения реакций растворения X и его термического разложения

По 2 балла за каждое $2 \cdot 2 = 4$ балла

Установление состава кристаллогидрата:

- химическая составляющая (уравнение (e) и (g)) 2 балла

- расчеты	4 балла
2. уравнение реакции получения X	2 балла
3. уравнение реакции при нагревании раствора гидрокарбоната	2 балла
4. Путь проведения синтеза	1 балл
Итого	20 баллов

Задача 9-4 (авторы И. А. Седов, О. В. Архангельская)

1. Из условия следует, что А, В и С являются оксидами одного и того же элемента.

Из таблицы 1 следует, что с 8 г кислорода будет соединяться A_r / B где B – валентность металла, а A_r – его молярная масса:

B	Формула оксида	Масса металла, г, соединяющегося с 8 г кислорода
1	Me_2O	$2 A_r / 2 = A_r / 1$
2	MeO	$A_r / 2$
3	Me_2O_3	$A_r / 3$
4	MeO_2	$A_r / 4$
5	Me_2O_5	$A_r / 5$
	И так далее	A_r / B

Для А: 88,15 г Me ——— 11,85 г кислорода
 A_r / B ——— 8 г кислорода
 Отсюда $A_r = 88,15 \cdot 8 B / 11,85 = 59,5 B$

Для В: 84,80 г Me ——— 15,20 г кислорода
 A_r / B ——— 8 г кислорода
 Отсюда $A_r = 84,80 \cdot 8 B / 15,20 = 44,63 B$

Для С: 83,22 г Me ——— 16,78 г кислорода
 A_r / B ——— 8 г кислорода
 Отсюда $A_r = 39,68 B$

Возможные A_r в соединениях А, В и С:

B	A		B		C	
	A_r	Me	A_r	Me	A_r	Me
1	59,5	Ni	44,63	Sc	39,68	Ar, Ca
2	119	Sn	89,26	Y	79,36	Se, Br
3	178,5	Hf	133,89	Cs	119,04	Sn
4	238	U	178,52	Hf	158,72	Tb
5	297,5	–	223,15	Fr	198,4	Au
6	357	–	267,78	–	238,08	U
7	416,5	–	312,41	–	277,76	

По условию задачи в каждом из трех оксидов содержится один и тот же элемент. Из таблицы следует, что это могут быть Sn, Hf и U. Олово можно отбросить сразу, так как оно не бывает трехвалентным. Hf может проявлять валентности 2, 3 и 4. Правда, из оксидов известно только соединение HfO_2 . Этот оксид обязательно должен был проявиться в колонке соединения С. Но его там нет.

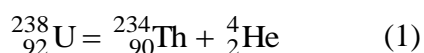
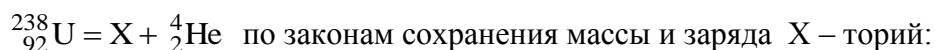
Остается только уран. Два оксида мы обнаружили: UO_2 – соединение А и UO_3 – соединение С

Теперь определим соединение В. Обозначим его как U_xO_y .

$$x : y = \frac{82,80}{238} : \frac{15,20}{16} = 0,356 : 0,95 = 1 : 6,67 = 3 : 8,$$

Итак, имеем UO_2 , U_3O_8 и UO_3 .

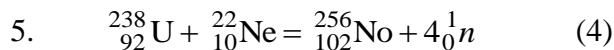
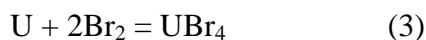
2. При разложении оксидов газом **X** может быть только кислород. Но из оксидов кислород получить крайне трудно. А оксиды урана практически не разлагаются. Но в случае урана может идти не только химический, но и **радиоактивный распад** с образованием гелия (газ X):



3. Ядерные (атомные) реакторы.

4. Чем активнее галоген, тем более сильным окислителем он является. В соединениях А и С уран проявляет степени окисления + 4 и + 6. Исходя из силы

окислителей и размеров их атомов, уравнения реакций урана с фтором и бромом выглядят следующим образом:

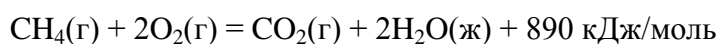


Система оценивания

1. Обоснованное определение соединений А, В и С	4·2,5 = 10 баллов
2. Определение X	2 балла
Уравнение реакции 1	2 балла
3. Название установок	0,5 балла
4. Уравнения реакций 2 и 3	2·1,5 = 3 балла
Обоснование	1,5 балла
5. Уравнение реакции 5	1 балл
ИТОГО	20 баллов

Задача 9-5 (автор В. В. Ерёмин)

При решении задачи надо учитывать: а) избыток-недостаток, б) то, что теплота прямо пропорциональна количеству. В качестве примера приведем расчет для сгорания метана:



$$\nu(\text{CH}_4) = 1000 / 16 = 62.5$$

$$\nu(\text{O}_2) = 1000 / 32 = 31.25 \text{ – недостаток. Расчет теплоты – по кислороду.}$$

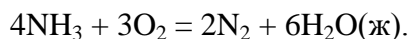
$$Q = 890 \cdot 31.25 / 2 = 13900 \text{ кДж.}$$

Очевидно, что наибольшая теплота – в реакциях сгорания. Проведем аналогичные расчеты для других веществ, результаты сведем в таблицу:

Уравнение реакции	Теплота реакции для $m_1 = m_2 = 1$ кг. Q , кДж
$C(\text{графит}) + O_2(\text{г}) = CO_2(\text{г})$	$394 \cdot (1000/32) = 12\ 300$
$2C(\text{графит}) + O_2(\text{г}) = 2CO(\text{г})$	$221 \cdot (1000/32) = 6\ 900$
$CH_4(\text{г}) + 2O_2(\text{г}) = CO_2(\text{г}) + 2H_2O(\text{ж})$	$890 / 2 \cdot (1000/32) = 13\ 900$
$2C_2H_2(\text{г}) + 5O_2(\text{г}) = 4CO_2(\text{г}) + 2H_2O(\text{ж})$	$2600 / 5 \cdot (1000/32) = 16\ 250$
$C_2H_4(\text{г}) + 3O_2(\text{г}) = 2CO_2(\text{г}) + 2H_2O(\text{ж})$	$1411 / 3 \cdot (1000/32) = 14\ 700$
$2H_2(\text{г}) + O_2(\text{г}) = 2H_2O(\text{ж})$	$572 \cdot (1000/32) = 17\ 900$
$S(\text{тв}) + O_2(\text{г}) = SO_2(\text{г})$	$297 \cdot (1000/32) = 9\ 300$
$2S(\text{тв}) + 3O_2(\text{г}) = 2SO_3(\text{г})$	$792 / 3 \cdot (1000/32) = 8\ 250$

Всю таблицу заполнять необязательно. Некоторые теплоты очевидно меньше, чем у метана, их рассчитывать нет необходимости. Ясно также, что теплота сгорания С до СО – меньше, чем до CO_2 .

Можно сжечь еще аммиак или сероводород. Рассчитаем теплоты реакций по закону Гесса:



$$Q = 6Q_{\text{обр}}(H_2O(\text{ж})) - 4Q_{\text{обр}}(NH_3) = 6 \cdot (572/2) - 4 \cdot (92/2) = 1532 \text{ кДж/моль реакции.}$$

Если аммиака и кислорода взято по 1 кг, то кислород – в недостатке:

$$Q = 1532 / 3 \cdot (1000/32) = 15\ 600 \text{ кДж.}$$



$$Q = 2Q_{\text{обр}}(H_2O(\text{ж})) + 2Q_{\text{обр}}(SO_2) - 2Q_{\text{обр}}(H_2S) = 2 \cdot (572/2) + 2 \cdot 297 - 2 \cdot 21 = 1145 \text{ кДж/моль реакции.}$$

Если сероводорода и кислорода взято по 1 кг, то кислород – в недостатке:

$$Q = 1145 / 3 \cdot (1000/32) = 11\ 900 \text{ кДж.}$$

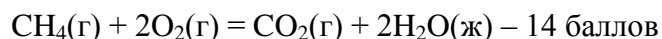
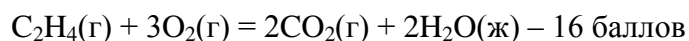
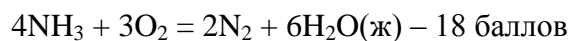
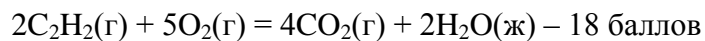
Ответ. Наибольшая теплота – при сгорании водорода. $Q = 17\ 900$ кДж.

Система оценивания

20 баллов – правильный ответ с правильным расчетом, если приведены разумные доказательства того, что теплота максимальна. Если доказательств нет, а только правильный ответ с расчетом, – 10 баллов.

Для других реакций – ниже указаны баллы при наличии каких-то аргументов (пусть даже не совсем ошибочных) в пользу данной реакции. Если приведен только расчет для одной реакции без обоснования, ставится **половина от указанной ниже суммы**.

Максимальные баллы за выбор других реакций (в случае правильного расчета теплового эффекта на моль реакции и на 1 кг реагентов):



Сгорание С или H₂S – 10 баллов, остальные реакции – 0 баллов, даже в случае правильного расчета.

За неверный расчет теплового эффекта – минус 5 баллов при неучете избытка-недостатка и минус 5 баллов при неверном расчете Q на моль реакции. При отсутствии обоснования – половина от максимального балла за расчет теплоты сгорания для данного процесса.

ИТОГО

20 баллов