

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

2024-2025 учебный год

Решения заключительного этапа

7-8 класс

Задача 1. Меламин

- Брутто-формулу меламина можно получить, внимательно рассмотрев его структурную. По ней видно, что молекула меламина состоит из трёх атомов углерода, шести атомов водорода и шести атомов **X**. То есть, формула — $\text{C}_3\text{H}_6\text{X}_6$.
- Валентность для каждого из элементов так же можно получить из структурной формулы меламина. Хорошо видно, что каждый атом углерода образует ровно **4** химических связей (одну двойную и две одинарные с атомами **X**), водород образует ровно **1** связь — с атомом **X**, а **X** имеет число валентности, равное **3** — он образует либо две связи с атомами водорода и одну с атомом углерода, либо одну двойную и одну одинарную с двумя разными атомами углерода. Таким образом,

Элемент	C	H	X
Валентность	4	1	3

- Элемент **X** можно определить, составив уравнение на основе его известной массовой доли в меламине:

$$\frac{6 \cdot Mr(X)}{12 \cdot 3 + 1 \cdot 6 + 6 \cdot Mr(X)} = \frac{2}{3},$$

$$\frac{6 \cdot Mr(X)}{42 + 6 \cdot Mr(X)} = \frac{2}{3},$$

$$18Mr(X) = 84 + 12Mr(X),$$

откуда из последнего $Mr(X) = \frac{84}{6} = 14$ г/моль. Это соответствует **азоту**. То есть, меламин — это $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$.

- По приведённым схемам, которые описывают процесс синтеза меламина из мочевины, хорошо видно, что из 6 моль мочевины образуется 1 моль меламина (по условию задачи все коэффициенты в этих реакциях уже

расставлены). Производства меламина составляет 40 тыс тонн в год, это соответствует 10 тыс тонн каждые 3 месяца. Определим количества моль меламина:

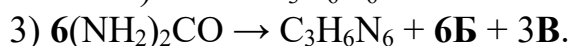
$$\frac{10000 \cdot 1000 \cdot 1000 \text{ г}}{126 \text{ г/моль}} \approx 793,65 \cdot 10^5 \text{ моль. С учётом выхода меламина в } 95 \%,$$

количество мочевины, которые необходимо для синтеза, равно $\frac{793,65 \cdot 10^5}{0,95} \cdot 6 =$

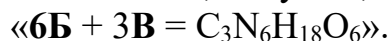
$5,01 \cdot 10^8$ моль. Выразим это количество в тоннах:

$$\frac{5,01 \cdot 10^8 \cdot 60}{1000 \cdot 1000} \approx \mathbf{30075,12} \text{ тонны/3 месяца.}$$

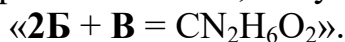
5. Заметим, что вещество **A** — продукт первой реакции и исходное вещество во второй. Умножим первое уравнение реакции на 6 и суммируем со вторым, получим:



Из 6 молекул $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ вычтем $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$, получим, что



Поделим обе части этого «уравнения» на 3, получим, что



Две молекулы **B** и одна молекула **B** составляют формулу $\text{CN}_3\text{H}_6\text{O}_2$. Хорошо видно, что **B** = NH_3 , **B** = CO_2 .

Не составит труда определить формулу **A**, например, по первому уравнению реакции:

$(\text{NH}_2)_2\text{CO} \rightarrow \text{A} + \text{NH}_3$, из формулы мочевины вычтем формулу аммиака, получим, что **A** = HCNO . Это циановая кислота.

Система оценивания:

- | | |
|---|----------|
| 1. Брутто-формула | 2 балла |
| 2. Валентности по 2 балла | 6 баллов |
| 3. Установлено, что X = N | 2 балла |
| 4. Получен верный ответ любым разумным способом — 4 балла . Если верный ответ не получен, оцениваются шаги решения: | 4 балла |
| а) количество моль меламина, производимое за 3 месяца — 1 балл ; | |
| б) вывод о том, что количество моль мочевины совпадает с количеством меламина — 1 балл ; | |
| в) учтён выход реакции производства меламина (95 %) — 1 балл . | |
| 5. Формулы веществ A , B и B по 2 балла | 6 баллов |

ИТОГО 20 баллов

Задача 2. Взрывчатка

1. Исходя из описания веществ, которые используются для изготовления дымного пороха, можно сделать вывод, что взяли калиевую селитру KNO_3 , серу S и уголь C.

Можем проверить массовую долю калия в нитрате калия:

$$\omega(\text{K}) = \frac{39}{39 + 14 + 48} = 0,386 \text{ или } 38,6 \%$$

По описанию соли Г можно предположить, что это – хлорат калия KClO_3

$$\omega(\text{K}) = \frac{39}{39 + 35,5 + 48} = 0,3184 \text{ или } 31,84\%,$$

что соответствует условию задачи.

Так как при разложении соли Д не образуется твёрдых продуктов, то можно предположить, что это – соль аммония. По массовой доле азота определяем, что это – нитрат аммония NH_4NO_3 :

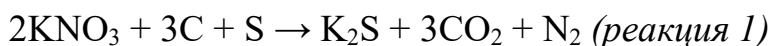
$$\omega(\text{N}) = \frac{14 \cdot 2}{14 \cdot 2 + 4 + 48} = 0,35 \text{ или } 35,0 \%$$

Вещество Е белого цвета может светиться в темноте и образовано элементом V группы, что позволяет определить, что это белый фосфор P_4 .

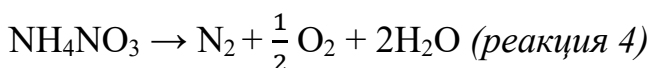
Таким образом, вещества зашифрованные в задаче:

А	KNO_3
Б	S
В	C
Г	KClO_3
Д	NH_4NO_3
Е	P_4

2. Уравнения реакций:



$\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ (реакция 3) (вариант с получением NH_4NO_2 не подходит, поскольку он не может образоваться при разложении нитрата аммония)





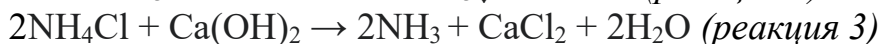
3. Тривиальное название вещества Г – бертолетова соль.

Система оценивания:

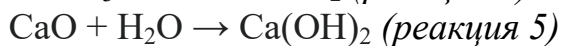
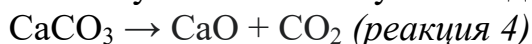
1. Формулы соединений А-Е по 2 балла	12 баллов
2. Уравнения реакций 1-3 по 1 баллу	7 баллов
Уравнения реакций 4 и 5 по 2 балла	
3. Тривиальное название Г	1 балл
ИТОГО	20 баллов

Задача 3. Сода

1. При пропускании углекислого газа через раствор соли с аммиаком протекают следующие реакции:



Гашенную известь получают в две стадии:

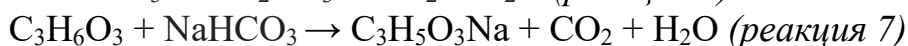
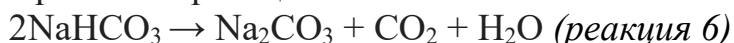


2. В 100 пачках соды содержится 50000 г, или же 595,23 моли гидрокарбоната натрия. Согласно уравнениям реакций, на синтез такого количества соды необходимо столько же моль хлорида натрия и в 2 раза меньше моль гашеной извести, а следовательно и известняка. Таким образом, массы исходных веществ:

$$m(\text{NaCl}) = 595,23 \cdot 58,44 = 34785,24 \text{ г}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{595,23}{2} \cdot 100 = 29761,5 \text{ г}$$

3. Уравнения реакций:



4. Рассчитаем количество моль углекислого газа, выделяющегося при разложении 5 г соды:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2} n(\text{NaHCO}_3) = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{84} = 0,03 \text{ моль}$$

Используя уравнение Клапейрона-Менделеева, найдем объем углекислого газа при температуре реакции:

$$pV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,03 \cdot 8,314 \cdot (160 + 273)}{101,325} = 1,06 \text{ л}$$

5. Используя то же уравнение, найдем объем углекислого газа при комнатной температуре:

$$pV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,03 \cdot 8,314 \cdot (25 + 273)}{101,325} = 0,73 \text{ л}$$

Соответственно, объем газа уменьшился на:

$$100 - \frac{0,73}{1,06 \div 100} = 31,13 \%$$

Система оценивания:

1. Уравнения <i>реакций 1-5 по 1 баллу</i>	5 баллов
2. Расчёт масс исходных веществ <i>по 2 балла</i>	4 балла
3. Уравнение <i>реакции 6 1 балл</i> Уравнение <i>реакции 7 2 балла</i>	3 балла
4. Расчёт объема углекислого газа	4 балла
5. Расчёт потери объема углекислого газа	4 балла
ИТОГО 20 баллов	

Задача 4. «Дух соли»

1. Вещество **X** является бинарным, так как получается при реакции двух простых веществ **Б** и **В**. Про **Б** сказано, что он является самым лёгким газом, что однозначно указывает на водород H_2 .

Для газа **В** дана относительная плотность по воздуху, из которой найдем молярную массу вещества:

$$M(B) = D_{\text{воздух}} \cdot M_{\text{воздуха}} = 2,45 \cdot 29 = 71 \text{ г/моль}$$

Исходя из молярной массы газа **В** и его жёлто-зеленого цвета, определяем, что это хлор Cl_2 .

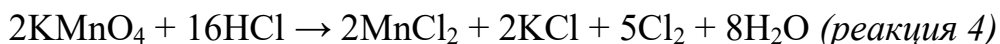
Тогда, вещество **X** – HCl .

Так как соль **A** бинарная и нам известна массовая доля натрия в ней, попробуем рассчитать ее молярную массу, если в соли содержится 1 атом Na :

$$M(\text{соли}) = \frac{M(Na) \cdot 1}{\omega(Na)} = \frac{23}{0,3931} = 58,5 \text{ г/моль}$$

Вычитая из молярной массы соли атомарную массу натрия, получаем остаток 35,5 г/моль, что соответствует 1 атому хлора. Тогда формула соли **A** – $NaCl$.

2. Уравнения реакций:



3. Найдём количество вещества каждого газа:

$$n(H_2) = \frac{V(H_2)}{V_m} = \frac{200}{22,4} = 8,93 \text{ моль}$$

$$n(Cl_2) = \frac{V(Cl_2)}{V_m} = \frac{300}{22,4} = 13,39 \text{ моль}$$

По уравнению реакции хлор и водород реагируют в равных количествах. Так как количество вещества хлора больше, то значит, что он находится в избытке. Следовательно, количество вещества образовавшегося HCl считаем по водороду.

Количество вещества HCl по уравнению реакции:

$$n(HCl) = 2n(H_2)$$

Масса HCl:

$$m(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) = 2n(\text{H}_2) \cdot M(\text{HCl}) = 8,93 \cdot 2 \cdot 36,5 = 651,89 \text{ грамм}$$

Так как плотность воды равна 1 г/мл, то объём воды равен массе.

651,89 грамм HCl растворяется в 800 граммах воды, откуда масса раствора:

$$800 + 651,89 = 1451,89 \text{ грамм}$$

Следовательно, массовая доля HCl в получившемся растворе:

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ора})} = \frac{651,89}{1451,89} \cdot 100 \% = 44,9 \%,$$

что почти соответствует максимальной концентрации соляной кислоты при нормальных условиях (при 0 °C).

4. Смесь концентрированных азотной и соляной кислот в соотношении 1:3 называется **царской водкой**.

Система оценивания:

1. Формулы X, А-В по 2 балла	8 баллов
2. Уравнения реакций по 2 балла	8 баллов
3. Расчёт массовой доли кислоты	3 балла
4. Название смеси кислот	1 балл
ИТОГО	20 баллов

Задача 5. Металлическая проволока

1. Дано: диаметр проволоки: 10 мм $\rightarrow$ радиус $r = 5 \text{ мм} = 0,5 \text{ см}$; длина: 20 см; плотность: 7,85 г/см³.

Объём проволоки:

$$V = \pi r^2 h = 3,14 \times (0,5 \text{ см})^2 \times 20 \text{ см} = 15,7 \text{ см}^3$$

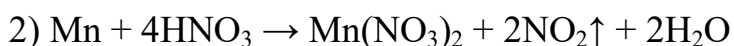
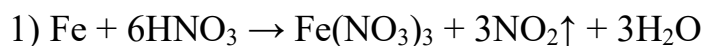
Масса образца:

$$m = \rho V = 7,85 \text{ г/см}^3 \times 15,7 \text{ см}^3 = 123,245 \text{ г}$$

2. Нерастворимый остаток после HNO₃: 1,109 г $\Rightarrow$ Масса растворившихся Fe + Mn:

$$m(\text{Fe} + \text{Mn}) = 123,245 \text{ г} - 1,109 \text{ г} = 122,136 \text{ г}$$

3. Уравнения реакций:



4. Объём NO₂: 146,63 л

Количество NO₂:

$$n(\text{NO}_2) = \frac{146,63 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 6,546 \text{ моль}$$

Пусть x — масса Fe, y — масса Mn.

Система уравнений:

$$1) x + y = 122,136 \text{ г}$$

$$2) \frac{3x}{55,85 \text{ г/моль}} + \frac{2y}{54,94 \text{ г/моль}} = 6,546 \text{ моль}$$

Решение:

$$x = 121,298 \text{ г (Fe)}, y = 0,838 \text{ г (Mn)}$$

5. Массовые доли:

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{121,298 \text{ г}}{123,245 \text{ г}} \times 100 \% = 98,42\%$$

$$\omega(\text{Mn}) = \frac{0,838 \text{ г}}{123,245 \text{ г}} \times 100 \% = 0,68 \%$$

6. Масса осадка уменьшилась за счёт растворения хрома.

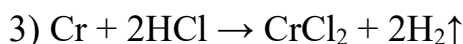
7. Первоначальная масса остатка: 1,109 г

После растворения в HCl: 0,961 г

$$m(\text{Cr}) = 1,109 \text{ г} - 0,961 \text{ г} = 0,148 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Cr}) = \frac{0,148 \text{ г}}{123,25 \text{ г}} \times 100 \% = 0,12 \%$$

8. Уравнение реакции:



Засчитывается полным баллом также образование CrCl_3 .

9. Масса углерода:

$$m(\text{C}) = 0,961 \text{ г} - 0,727 \text{ г} = 0,234 \text{ г}$$

Массовая доля углерода:

$$\omega(\text{C}) = \frac{0,234 \text{ г}}{123,25 \text{ г}} \times 100 \% = 0,19 \%$$

10. Уравнение реакции:



11. Массовая доля примесей:

$$\omega(\text{прочие примеси}) = 100 \% - (98,42 \% + 0,68 \% + 0,12 \% + 0,19 \% + 0,27 \%) = 0,32 \%$$

12. Так как массовая доля углерода равна 0,19 %, то СтЗкп — низкоуглеродистая сталь

$$\omega(\text{прочие примеси}) = 100 \% - (98,42 \% + 0,19 \%) = 1,39 \%,$$

следовательно марка СтЗкп относится к низколегированной стали

	Fe	C	Si	Mn	Cr	примеси
m, г	121,298	0,234	0,333	0,838	0,148	0,394
ω , %	98,42	0,19	0,27	0,68	0,12	0,32

Система оценивания:

- | | |
|--|----------------|
| 1. Объём проволоки <i>1 балл</i> | 2 балла |
| Масса образца <i>1 балл</i> | |
| 2. Масса железа и марганца в образце | 1 балл |
| 3. Уравнения реакций <i>по 1 баллу</i> | 2 балла |
| 4. Количество NO_2 <i>1 балл</i> | 3 балла |
| Правильная система уравнений <i>1 балл</i> | |
| Массы железа и марганца отдельно <i>1 балл</i> | |
| 5. Массовые доли <i>по 1 баллу</i> | 2 балла |
| 6. Указание на хром Cr | 1 балл |
| 7. Масса Cr <i>1 балл</i> | 2 балла |
| Массовая доля Cr <i>1 балл</i> | |
| 8. Уравнение реакции | 1 балл |
| 9. Масса углерода <i>1 балл</i> | 2 балла |
| Массовая доля углерода <i>1 балл</i> | |

10. Уравнение реакции	1 балл
11. Массовая доля примесей	1 балл
12. Указания на виды стали <i>по 1 баллу</i>	2 балла
ИТОГО	20 баллов