

9 класс
Решения и критерии

Решение задачи 1 (автор: Козырев Н.А.)

Данную задачу можно начать решать двумя способами. Первый из них состоит в знании некоторых исторических аспектов и качественных характеристик элементов. Так, лишь один из металлов периодической системы образует сладкие на вкус растворы солей, за что был прозван глюцинием и вместе с этим содержится в минерале, который является основным химическим компонентом таких драгоценных камней, как аквамарин, изумруд и т.д. Этот металл – **бериллий**.

Вторым способом является расчётный. В условии задачи дана массовая доля хлора в соли **A** (напоминаем, что именно из нее был разработан первый способ получения металла **X**, который, как следствие, ее и образует), из которой легко можно определить металл **X** и вещество **A**. Предположим, соединение **A** содержит в своем составе два атома хлора, тогда:

$$M(X) = \frac{71 \text{ г/моль}}{0,8875} - 71 \text{ г/моль} = 9 \text{ г/моль.}$$

Откуда, нетрудно догадаться, что **X** – **Be**, а соль **A** – **BeCl₂**.

При растворении бериллия в концентрированной азотной кислоте, очевидно, что образуется раствор нитрата бериллия, следовательно, **B** – **Be(NO₃)₂**. При его кристаллизации из водного раствора образуется некоторое соединение **B**, молярная масса которого в 1,54 раза превышает таковую для **B**, что наталкивает на мысль об образовании кристаллогидрата, постараемся ее подтвердить расчетами:

$$M(B) = 133 \text{ г/моль} \times 1,54 \cong 204,8 \text{ г/моль,}$$

$$n(H_2O) = \frac{204,8 \text{ г/моль} - 133 \text{ г/моль}}{18 \text{ г/моль}} \cong 4.$$

Как видно, из расчетов, молярная масса **B** практически идеально превосходит таковую для **B** на 4 M(H₂O). **B** - **Be(NO₃)₂·4H₂O**.

Так как бериллий расположен неподалёку от магния, логично предположить, что его нитрат будет разлагаться по аналогично схеме до оксида, следовательно, **Г** – **BeO**.

Из курса школьной химии, всем известно, что бериллий, ровно также, как и цинк, является амфотерным двухвалентным металлом, что дает ему способность к растворению в водных растворах щелочей с образованием комплексной соли. Откуда, **Д** – **Na₂[Be(OH)₄]**.

Соединение **E** является довольно нетипичным, из подсказки про координационное число (к.ч.) бериллия, равное 4, можно предположить, что оно является комплексной солью, более того, так как реакция протекает с раствором фторида аммония, логичным атомом в роли лиганда представляется фтор (в количестве 4, что следует из к.ч.), а в роли комплексообразователя – бериллий. На основе данных рассуждений, предполагаемая формула комплексной частицы выглядит так: $[\text{BeF}_4]^{2-}$, тогда в качестве катиона, исходя из реагентов, может выступать лишь аммоний. В итоге, оценочная формула вещества **E** выглядит следующим образом: $(\text{NH}_4)_2[\text{BeF}_4]$. Подтвердим наши предположения, рассчитав молярную массу **E** по массовой доле бериллия, данной в условии:

$$M(E) = \frac{9 \text{ г/моль}}{0,07438} = 121 \text{ г/моль},$$

$$121 \text{ г/моль} - 9 \text{ г/моль} - 2 \times 18 \text{ г/моль} - 4 \times 19 \text{ г/моль} = 0.$$

Что и требовалось доказать. **E** - $(\text{NH}_4)_2[\text{BeF}_4]$.

Вещество **Ж**, которое напоминает по своей структуре малахит, представляющий основный карбонат меди с формулой $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$, также образуется в результате взаимодействия хлорида бериллия с раствором карбоната натрия. Следовательно, **Ж** - $\text{Be}(\text{OH})_2 \cdot \text{BeCO}_3$.

Итого:

X	A	B	V	G	D	E	Ж
Be	BeCl_2	$\text{Be}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	BeO	$\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$	$(\text{NH}_4)_2[\text{BeF}_4]$	$\text{Be}(\text{OH})_2 \cdot \text{BeCO}_3$

1. $\text{BeCl}_2 + 2\text{K} = \text{Be} + 2\text{KCl};$
2. $\text{Be} + 4\text{HNO}_3 \text{ (к)} = \text{Be}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O};$
3. $\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{BeO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{O};$
4. $\text{Be} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + \text{H}_2;$
5. $\text{Be} + 4\text{NH}_4\text{F} + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2[\text{BeF}_4] + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2;$
6. $2\text{BeCl}_2 + 2(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Be}(\text{OH})_2 \cdot \text{BeCO}_3 + 4\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CO}_2.$

Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	За верное определение веществ X , A - Ж по 1 баллу.	8
2.	Уравнения реакций по 2 балла, если уравнено неверно – 1 балл.	12
ИТОГО:		20

Решение задачи 2 (автор: Плешаков Г.А.)

1. Поскольку металл **A** – ключевой элемент ядерной энергетики, это может быть уран. Наиболее часто встречается в природе в виде урановой смолки (U_3O_8). Проверим массовую долю кислорода в нём:

$$\omega(O) = 16 \cdot 7 \text{ г/моль} / (16 \cdot 7 \text{ г/моль} + 238 \text{ г/моль}) \approx 0.1520 \text{ или } 15.20\% \Rightarrow A = U, B = U_3O_8.$$

Далее происходит растворение урановой смолки в концентрированной азотной кислоте. Соль **B** содержит «сложный двухзарядный катион». Так как азотная кислота является окислителем, а степень окисления урана в U_3O_8 смешанная (+6 и +4), то, вероятно, катион содержит в себе уран в степени окисления +6. Так как он двухзарядный, то его формула – UO_2^{2+} . Докажем:

$$\omega(O) = 16 \cdot 2 \text{ г/моль} / (16 \cdot 2 + 238 \text{ г/моль}) \approx 0.3249 \text{ или } 32.49\%. \text{ Значит, формула } B = UO_2(NO_3)_2.$$

Оксид, мольная доля урана в котором 1/3 – это диоксид урана (IV), **Г** = UO_2 .

Определим соединение **Д**. При обработке оксида плавиковой кислотой и фтором образуется фторид урана. Так как фтор является сильным окислителем, предположим, что уран повышает свою степень окисления до +6 и образуется гексафторид урана UF_6 . Более лёгкая молекула **Д'**, по-видимому, содержит лёгкий изотоп урана. Его атомная масса $M(^{235}U) = 19 \cdot 6 \text{ г/моль} / 0.3266 = 19 \cdot 6 \text{ г/моль} = 235 \text{ г/моль} \Rightarrow D' = ^{235}UF_6$, а наше предположение о UF_6 верно, **Д** = UF_6 .

Таким образом:

A	B	В	Г	Д	Д'
U	U_3O_8	$UO_2(NO_3)_2$	UO_2	UF_6	$^{235}UF_6$



3. $^{235}UF_6$ используется в качестве сырья при получении топлива ($^{235}UO_2$) для атомных электростанций и других ядерных источников энергии.

Система оценивания:

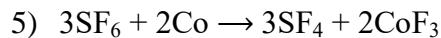
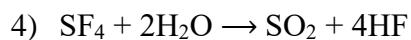
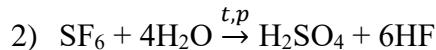
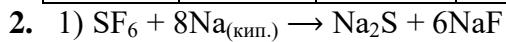
№	Элементы решения	Оценка
1.	Определены вещества A , B , В , Г , Д и Д' – по 2 балла, если нет подтверждения расчетом – по 1 баллу.	12
2.	Уравнения реакций 1 и 2 – по 3 балла, не уравнены – по 1,5 балла.	6
3.	Применение Д' – 2 балла.	2
ИТОГО:		20 баллов

Решение задачи 3 (автор: Плещаков Г.А.)

1. Начнём определение соединений исходя из соли кобальта, образующейся в ходе реакции.

Кобальт в солях наиболее часто принимает степень окисления +2, реже +3. Итак, $59/0.5086 - 59 = 57$ г/моль. Если кобальт +2, то таких солей не существует, если +3 – это фторид кобальта (III). Тогда одним из элементов **X** и **Y** является фтор. Поскольку в молекуле **A1** атомная доля **X** 1/7, то, вероятно, **Y** = F, а молекула имеет вид **XF**₆. Тогда **X** – элемент VI группы таблицы Менделеева: или сера, или селен, или теллур. Нам известна массовая доля фтора в **A2**, а формула **A2** **XF**_n. Перебором при $n = 4$ получаем, что **A2** = SF₄, тогда **A1** = SF₆, **X** = S. Значит, продуктами *реакции 1* будут **B** = Na₂S и **C** = NaF. *Реакция 2*, вероятно, не является окислительно-восстановительной, а больше похоже на гидролиз. В таком случае, **D** и **E** это H₂SO₄ и HF. При гидролизе SF₄ образуется **E** и оксид F, значит, **D** = H₂SO₄, **E** = HF, **F** = SO₂.

X	Y	A1	A2	B	C	D	E	F
S	F	SF ₆	SF ₄	Na ₂ S	NaF	H ₂ SO ₄	HF	SO ₂



3. Можно вспомнить следующие соединения: SF₂, S₂F₂, S₂F₁₀.

Система оценивания:

№	Элементы решения	Оценка
1.	Определены вещества X , Y , A1 , A2 , B , C , D , E , F – по 1.5 балла, если нет подтверждения расчётами – по 0.75 баллов, перепутаны вещества D и E – по 1 баллу.	13.5
2.	Верно записаны уравнения реакций 1 – 5 – по 1.2 балла, пропущены коэффициенты – по 0.6 баллов.	6
3.	Приведены верные варианты – по 0.25 балла за каждое, не больше 0.5 баллов.	0.5
ИТОГО:		20 баллов

Решение задачи 4 (автор: Степурина М.Д.)

1. Исходя из справочной информации, массовое отношение взятых оксидов составляет 1:9 ($\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$). Пусть было взято 10 г SnO_2 и 90 г In_2O_3 . Найдем их количества вещества:

$$\vartheta(\text{SnO}_2) = \frac{10 \text{ г}}{119 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 2 \cdot 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,0662 \text{ моль};$$

$$\vartheta(\text{In}_2\text{O}_3) = \frac{90 \text{ г}}{2 \cdot 115 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 3 \cdot 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,3237 \text{ моль};$$

$$\text{Отсюда, } \frac{\vartheta(\text{SnO}_2)}{\vartheta(\text{In}_2\text{O}_3)} = \frac{0,0662 \text{ моль}}{0,3237 \text{ моль}} = \frac{0,2045}{1}.$$

$$\text{Итого: } \text{SnO}_2 : \text{In}_2\text{O}_3 = 0,2045 : 1 = \frac{0,2045}{0,2045} : \frac{1}{0,2045} = 1 : 4,89$$

Принимаются любые численно верные соотношения. Ответ без расчетов не принимается.

2. Начнем с определения соединения **B**. Очевидно, что **B** содержит в своем составе олово и воду.

Попробуем подобрать количество гидратной воды, добиваясь целочисленной $M(E)$:

$$\frac{n \cdot 18}{n \cdot 18 + M(E)} = 0,2564;$$

$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$
M=52,2	M=104,4	M=156,6	M=208,8	M=261	M=312,2

Попробуем предположить, что в соединении **E** содержится только один атом олова, в таком случае, при $n=5$, на анионы в **E** приходится 142 г/моль. Предположим, что анионы однозарядные, в таком случае на один анион приходится $\frac{142 \text{ г/моль}}{4} = 35,5 \text{ г/моль}$, что соответствует атомной массе хлора. В таком случае, **E** – SnCl_4 , **B** – $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. По (реакции 1) очевидно, что при подщелачивании раствора, олово перейдет в гидратированный оксид **C** – $\text{SnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где количество воды непостоянно.

Далее перейдем к определению соединения **A**. Известно, что **A**, также, как и **B**, содержит ионы хлора и гидратную воду. Логично, что **A** содержит и индий, соответственно, **A** – $\text{InCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Известно, что соединения брали в стехиометрическом соотношении, а значит, что $\frac{\text{Sn}}{\text{In}} = \frac{0,2045}{2} = 0,102$ (так как в In_2O_3 два атома индия). В таком случае, распишем мольное соотношение:

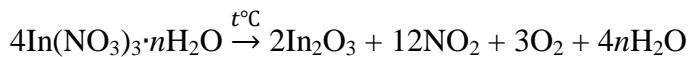
$$\frac{0,1478 \text{ г}}{\left(119 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 4 \cdot 35,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 4 \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}\right)} = \frac{0,2045}{2};$$

$$\frac{1,2115 \text{ г}}{\left(115 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 3 \cdot 35,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + n \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}\right)}$$

$$\frac{0,1478 \text{ г} \cdot (115 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 3 \cdot 35,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + n \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}})}{(119 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 4 \cdot 35,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 4 \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}) \cdot 1,2115 \text{ г}} = \frac{0,2045}{2};$$

Отсюда $n=4$, тогда **A** – $\text{InCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. При подщелачивании раствора, получим **D** – In(OH)_3 .

Осталось определить нитрат **F**, который также содержит индий. **F** – $\text{In(NO}_3)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. При разложении, проходит реакция:



Исходя из этой реакции, можно предположить, что

$$\frac{2 \cdot 115 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 3 \cdot 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{2 \cdot (115 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 3 \cdot 62 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + n \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}})} = 1 - 0,5643;$$

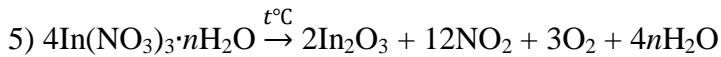
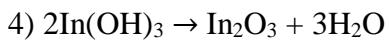
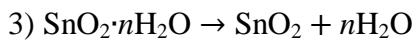
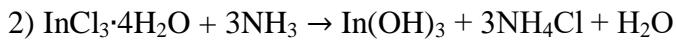
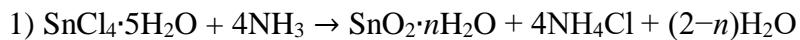
$n = 1$, **F** – $\text{In(NO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Таким образом:

A	B	C	D	E	F
$\text{InCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{SnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	In(OH)_3	SnCl_4	$\text{In(NO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

SnO(OH)_2 или Sn(OH)_4 оцениваются в половину балла.

3. Уравнения реакций:



4. Помимо использования в ITO, большое количество олова используется в качестве компонента бронзы, также его используют для изготовления тары пищевых продуктов, для припоя в электронике и в качестве коррозионностойкого покрытия.

В качестве ответа достаточно привести только две области применения олова.

Список литературы:

1. Korösi, L., Papp, S., Beke, S., Pécz, B., Horváth, R., Petrik, P., Agócs, E., & Dékány, I. (2012). Highly transparent ITO thin films on photosensitive glass: Sol-gel synthesis, structure, morphology and optical properties. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 107(2), 385–392. <https://doi.org/10.1007/s00339-012-6765-1>

Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Верно найдено мольное соотношение оксидов – 4 балла	4
2.	Верные формулы A-F – по одному баллу каждая	6
3.	Верные уравнения <i>реакций 1-5</i> – по одному баллу каждое	5
4.	Верные две области применения олова – по 2,5 балла за каждую	5
	ИТОГО:	20 баллов

Решение задачи 5 (автор: Улановская М.А.)

1. Рассчитаем энталпию каждой реакции, используя энталпии образования веществ:

$$\begin{aligned}\Delta H_1 &= 4\Delta_f H_{298}^{\circ}(NO_{(г.)}) + 6\Delta_f H_{298}^{\circ}(H_2O_{(г.)}) - 4\Delta_f H_{298}^{\circ}(NH_3_{(г.)}) \\ &= 4 \cdot 90,31 + 6 \cdot (-241,82) - 4 \cdot (-46,2) = -904,88 \text{ кДж/моль}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_2 &= 2\Delta_f H_{298}^{\circ}(N_2O_{(г.)}) + 6\Delta_f H_{298}^{\circ}(H_2O_{(г.)}) - 4\Delta_f H_{298}^{\circ}(NH_3_{(г.)}) \\ &= 2 \cdot 82,01 + 6 \cdot (-241,82) - 4 \cdot (-46,2) = -1102,1 \text{ кДж/моль}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= 6\Delta_f H_{298}^{\circ}(H_2O_{(г.)}) - 4\Delta_f H_{298}^{\circ}(NH_3_{(г.)}) = 6 \cdot (-241,82) - 4 \cdot (-46,2) \\ &= -1266,12 \text{ кДж/моль}\end{aligned}$$

2. Чтобы определить энергию связи в данных молекулах, рассмотрим реакции (1) и (3). Для начала найдем энергию связи в молекуле кислорода из первой реакции:

$$4 \cdot 3E_{\text{св}}(N - H) + 5E_{\text{св}}(O = O) - 4E_{\text{св}}(N = O) - 6 \cdot 2E_{\text{св}}(O - H) = \Delta H_1$$

$$12 \cdot 391 + 5E_{\text{св}}(O = O) - 4 \cdot 630 - 12 \cdot 465 = -904,88$$

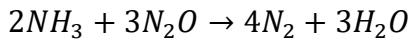
Откуда $E_{\text{св}}(O=O) = 500,6 \text{ кДж/моль}$. Теперь определим энергию в молекуле азота:

$$4 \cdot 3E_{\text{св}}(N - H) + 3E_{\text{св}}(O = O) - 2E_{\text{св}}(N \equiv N) - 6 \cdot 2E_{\text{св}}(O - H) = \Delta H_3$$

$$12 \cdot 391 + 3 \cdot 500,6 - 2E_{\text{св}}(N \equiv N) - 12 \cdot 465 = -1266,12$$

$$E_{\text{св}}(N \equiv N) \approx 940 \text{ кДж/моль}$$

3. Реакция 4:



Теперь произведем расчет энталпии данной реакции:

$$\Delta H_4 = 4\Delta_f H_{298}^{\circ}(N_{2(r.)}) + 3\Delta_f H_{298}^{\circ}(H_2O_{(r.)}) - 3\Delta_f H_{298}^{\circ}(N_2O_{(r.)}) - 2\Delta_f H_{298}^{\circ}(NH_3_{(r.)})$$
$$= 3 \cdot (-241,82) - 3 \cdot 82,01 - 2 \cdot (-46,2) = -879,09 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Расчет энталпии каждой реакции по 3,25 балла.	9,75
2.	Расчет энергии связи в молекулах O ₂ и N ₂ по 3 балла.	6
3	Уравнение <i>реакции 4</i> – 1 балл, расчет энталпии реакции – 3,25 балла.	4,25
	ИТОГО:	20