

10 класс

Решения и критерии

Решение задачи 1 (автор: Иванов А.В.)

1. Белый творожистый осадок, образующийся при добавлении к **K** раствора нитрата серебра – AgCl .

$$v(\text{AgCl}) = \frac{0,195 \text{ г}}{143,3 \text{ г/моль}} = 1,359 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Соединения **K** и **O** гарантированно содержат в своем составе железо. **O** образуется при прокаливании **K** на воздухе и представляет собой красно-коричневый порошок. Легко догадаться, что речь идет об оксиде железа (III). **O** – Fe_2O_3 .

$$v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{0,326 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 2,038 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Раствором гашеной извести улавливали углекислый газ.

$$v(\text{CaCO}_3) = \frac{1,632 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 1,632 \cdot 10^{-2} \text{ моль.}$$

Можно получить соотношение элементов Fe:C:Cl в соединении **K**:

$$\text{Fe:C:Cl} = 2 \times 2,038 \cdot 10^{-3} : 1,632 \cdot 10^{-2} : 1,359 \cdot 10^{-3} = 3:12:1.$$

Полученные значения свидетельствуют о том, что **K**, вероятнее всего, содержит в своем составе один хлор. Тогда его молярная масса:

$$M(\text{K}) = \frac{1,000 \text{ г}}{1,359 \times 10^{-3} \text{ моль}} \approx 735,8 \text{ г/моль.}$$

Вычитая отсюда три железа и хлор получим 532,3 г/моль. Углерод наверняка входит в **K** в состав ацетат-анионов, так как именно они участвовали в реакции образования кристаллов. Отнимая еще 6 ацетат-анионов (содержат 12 атомов углерода) получим 178,3 г/моль. Если допустить, что **K** – кристаллогидрат или содержит внутресферную воду (на это указывает явно чрезмерно высокая молярная масса) и попытаться отнести на нее остаточную массу, получится девять молекул воды и остаток в 16,3 г/моль, что очень близко к молярной массе кислорода. Дополнительным намеком на лиганд – кислород может быть зарядовый баланс: три Fe^{3+} , шесть CH_3COO^- и один Cl^- имеют суммарный заряд +2, а соединение должно быть электронейтральным. Действительно, **K** – $[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, трех-ядерный комплекс ацетата железа.

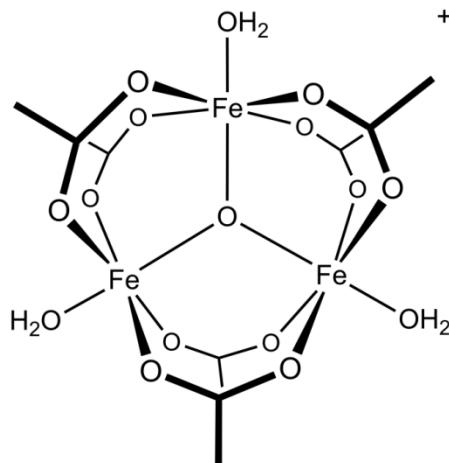
*Альтернативные варианты записи брутто-формулы **K** оцениваются полным баллом.*

2. Уравнения реакций:

- $3\text{FeCl}_3 + 6\text{NaCH}_3\text{COO} + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow + 6\text{NaCl} + 2\text{HCl}$
- $[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow [\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{NO}_3 + \text{AgCl} \downarrow$
- $4[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 49\text{O}_2 \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 48\text{CO}_2 \uparrow + 63\text{H}_2\text{O} \uparrow + 2\text{Cl}_2 \uparrow$
- или $2[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} + 24\text{O}_2 \rightarrow 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 24\text{CO}_2 \uparrow + 20\text{H}_2\text{O} \uparrow + 2\text{HCl} \uparrow$
- $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

Запись вышеуказанных уравнений реакций с комплексом $[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ без кристаллизационной и внутресферной воды также оценивается полным баллом.

3. Используя подсказку про ось симметрии 3-го порядка и знание о том, что для железа преимущественно характерно координационное число 6, получим следующую структуру:



4. Оценим, какое количество исходных солей вступало в реакцию:

$$v(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{8,11 \text{ г}}{270,5 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль.}$$

$$v(\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = \frac{8,16 \text{ г}}{136 \text{ г/моль}} = 0,06 \text{ моль.}$$

Получается, что соли вступали в реакцию в стехиометрическом соотношении и выход может быть рассчитан по любому из реагентов.

$$\eta = \frac{5,88 \text{ г}}{0,01 \text{ моль} \cdot 735,5 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 80\%$$

Список литературы:

1. Шова С.Г. И др. Синтез и исследование строения трехъядерных ацетатов железа состава $[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Fe}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3]\text{FeCl}_4 \cdot 2\text{CH}_3\text{COOH}$ //Журнал структурной химии. – 1998. – Т.39. – №.5. – С. 917.

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Соединение О – 1 балл, верный расчет соотношения	8

	Fe:C:Cl в соединении K – 2 балла, верная формула K – 5 баллов.	
2.	Уравнения реакций 1-4 – по 2 балла. Неверные коэффициенты при условии верной записи продуктов и реагентов – по 1 баллу.	8
3.	Строение катиона K	2
4.	Верно посчитан выход реакции	2
	ИТОГО:	20 баллов

Решение задачи 2 (автор: Иванов А.В.)

1. Установим состав минерала **A**. Представим его формулу в виде Me_xS_y , а атомную массу неизвестного металла обозначим за **M**. тогда из данных о массовой доле серы, получим что

$$\omega(S) = \frac{Ar(S) \cdot y}{Ar(S) \cdot y + M \cdot x} = 0.1868$$

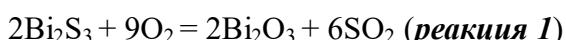
$$\omega(S) = \frac{32 \cdot y}{32 \cdot y + M \cdot x} = 0.1868$$

$$26.0224 \cdot y = 0.1868 \cdot x \cdot M, \text{ откуда } M = \frac{139.31 \cdot y}{x}$$

Для удобства перебора возможных значений **x** и **y** составим таблицу:

x	y	M, г/моль	Me
2	1	69.66	–
1	1	139.21	–
2	3	208.96	Bi
1	2	278.62	–

Единственным разумным вариантом является висмут. Таким образом, **A** = Bi_2S_3 (минерал висмутин). При сжигании висмутина на воздухе образуются оксид висмута (III) и сернистый газ (**X** = SO_2).



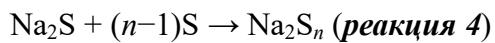
Поглощение SO_2 избытком гидроксида натрия приводит к образованию сульфита натрия:



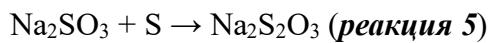
Таким образом, раствор содержащий Na_2SO_3 и NaOH прокипятили с серой. Сера, в первую очередь, диспропорционирует в щелочах:



А во-вторых может реагировать с Na_2S и Na_2SO_3 с образованием полисульфидов и тиосульфата натрия, соответственно:



Примечание: в качестве верного ответа засчитывается также уравнение реакции с указанием конкретного n , например: $\text{Na}_2\text{S} + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2$.



2. Масса 514 г соответствует одному молю висмутина.

$\Delta_r\text{H}^\circ = 3 \cdot \Delta_f\text{H}^\circ(\text{SO}_2) + \Delta_f\text{H}^\circ(\text{Bi}_2\text{O}_3) - 4,5 \cdot \Delta_f\text{H}^\circ(\text{O}_2) - \Delta_f\text{H}^\circ(\text{Bi}_2\text{S}_3) = -1313,4 \text{ кДж/моль}$, откуда следует, что $\Delta_f\text{H}^\circ(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 3 \cdot \Delta_f\text{H}^\circ(\text{SO}_2) + \Delta_f\text{H}^\circ(\text{Bi}_2\text{O}_3) - \Delta_r\text{H}^\circ = -155,6 \text{ кДж/моль}$

Тогда $Q_{\text{обр}} = 155,6 \text{ кДж/моль}$

3. Составим таблицу БПС:

	SO_2	O_2	SO_3
Было		0,2	0
Прореагировало			
Стало	0,05		0,2

Поскольку в начале никакого SO_3 не было, а при установлении равновесия его концентрация составила 0,2 моль/л, то все 0,2 моль/л образовались в результате реакции, а значит, в реакцию вступило 0,2 моль/л SO_2 и 0,1 моль/л O_2 (с учетом коэффициентов). Тогда исходная концентрация SO_2 равна $0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ моль/л}$, а равновесная концентрация O_2 $0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ моль/л}$.

	SO_2	O_2	SO_3
Было	0,25	0,2	0
Прореагировало	0,2	0,1	0,2
Стало	0,05	0,1	0,2

4.

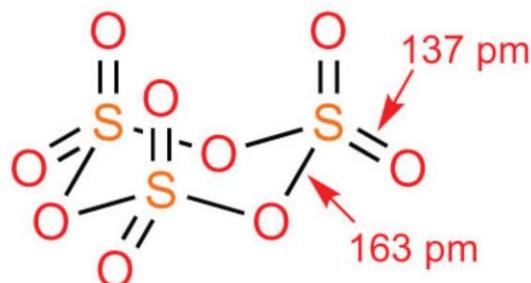
а) **Сдвинется в сторону продуктов** (По принципу Ле-Шателье сдвиг произойдет в сторону меньшего количества моль газов).

б) **Сдвинется в сторону реагентов** (за редчайшим исключением реакции соединения являются экзотермическими, а в данном случае это еще и реакция горения. По принципу Ле-Шателье для экзотермических реакций при увеличении температуры равновесие сдвигается в сторону образования реагентов).

в) **Сдвинется в сторону продуктов** (По принципу Ле-Шателье).

г) **Не сдвинется** (катализатор влияет лишь на скорость химических процессов, но не оказывает влияния на термодинамическое равновесие).

5. Структура γ -Y:



Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Формула A – 3 балла, X – 1 балл, по 1 баллу за уравнения <i>реакций 1-5</i> .	9
2.	Верный расчет теплоты образования A	3
3.	Вещество Y – 1 балл, исходный концентрации X и равновесная концентрация O₂ – по 1 баллу	3
4.	По 1 баллу за каждый верный аргументированный ответ Без обоснования – 0 баллов	4
5.	Структура γ -Y	1
	ИТОГО:	20 баллов

Решение задачи 3 (автор: Иванов А.В.)

1. Проще всего начать решение с анализа качественных признаков. Раствор **Б** при взаимодействии с соляной кислотой изменяет окраску с желтой на оранжевую, а затем концентрированной серной кислоты, образуется кислотный оксид красного цвета. Эти признаки явно намекают на превращения хрома.

Из массовой доли свинца, данной в условии, легко устанавливается формула минерала **А** – PbCrO_4 (минерал **крокоит**):

$$\omega(\text{Pb}) = \frac{207 \text{ г/моль}}{(207+52+16\cdot4) \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 64,09\% \text{ – сходится с условием.}$$

Газ, выделяющийся при нагревании вещества **В**, имеет плотность по гелию равную 11, значит молярная масса данного газа равна 44 ($11 \cdot 4 = 44$ г/моль). Очевидно, что этот газ — оксид углерода (IV). Можно сделать вывод, что в веществе **В** содержался карбонат ион CO_3^{2-} . Также, по условию, в результате разложения **В** образовалась вода. Можно предположить, что в соединение входит гидроксид ион OH^- . Далее проведем расчет, опираясь на процентное содержание металла (свинца).

Пусть, формула соединения $\text{Pb}_x(\text{CO}_3)_y(\text{OH})_z$

$$\omega(\text{Pb}) = 80,144\%$$

$$0.80144 = \frac{Ar(\text{Pb}) \cdot x}{Ar(\text{Pb}) \cdot x + M(\text{CO}_3) \cdot y + M(\text{OH}) \cdot z} = \frac{207,2 \cdot x}{207,2 \cdot x + 60 \cdot y + 17 \cdot z}$$

$$0.80144 \cdot (207.2x + 60y + 17z) = 207.2x$$

$$166.058x + 48.0864y + 13.6245z = 207.2x$$

$$48.0864y + 13.6245z = 41.142x$$

Решение $x = 3$; $y = 2$; $z = 2$ удовлетворяет уравнению, следовательно, формула соединения $\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ или $\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{PbCO}_3$ (вещество **В**).

При кипячении крокоита с карбонатом калия в качестве основных продуктов образуются основный карбонат свинца и хромат калия (K_2CrO_4 – **Б**). Понижение рН приводит к димеризации хромат анионов (**Д** – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), что легко можно подтвердить расчетом:

$$\omega(\text{K}) = \frac{39 \cdot 2 \text{ г/моль}}{(39 \cdot 2 + 52 \cdot 2 + 16 \cdot 7) \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 26,53\% \text{ – сходится с условием.}$$

При дальнейшем подкислении в осадок выпадает оксид хрома (VI) (**Е** – CrO_3). Оксид хрома (VI) действительно способен воспламенять бензин при комнатной температуре.

Достаточно известный факт, что как подсластитель в древнем Риме использовался ацетат свинца, сладкий на вкус. Ацетат получили при реакции оксида с уксусной кислотой, следовательно, **Г** – оксид свинца PbO . При реакции с гипохлоритом натрия образуется оксид свинца (IV) PbO_2 (**Ж**) и хлорид натрия.

Диоксид свинца – сильнейший окислитель, способный окислять соединения марганца до высшей степени окисления. Марганцевая кислота имеет фиолетовый цвет и придаёт соответствующую окраску раствору HMnO_4 – вещество **З**.

Итого:

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
PbCrO_4	K_2CrO_4	$\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$	PbO	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	CrO_3	PbO_2	HMnO_4

2.

- 1) $3\text{PbCrO}_4 + 3\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 \downarrow + 3\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$
- 2) $\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 \rightarrow 3\text{PbO} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CrO}_3 \downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{PbO} + \text{NaOCl} \rightarrow \text{PbO}_2 + \text{NaCl}$
- 6) $5\text{PbO}_2 + 5\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{HMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

3. Свинцово-кислотный аккумулятор состоит из следующих основных частей:

- Катодный материал: диоксид свинца (PbO_2)
- Анодный материал: металлический свинец (Pb)
- Электролит: водный раствор серной кислоты (H_2SO_4)
- Корпус аккумулятора.

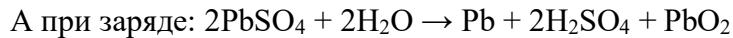
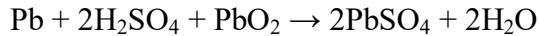
При погружении электродов (PbO_2 и Pb) в раствор электролита (H_2SO_4) между ними возникает разность потенциалов. Во время разряда происходит восстановление диоксида свинца на положительном электроде (катоде), и окисление свинца на отрицательном электроде (аноде):

на катоде: $\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (процесс восстановления)

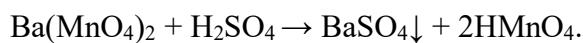


При пропускании зарядного тока протекают обратные процессы.

Общая реакция, протекающая при разряде:

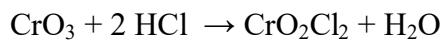


4. Еще один способ получения марганцевой кислоты заключается в действии раствора серной кислоты на перманганат бария:



Примечание: допускаются другие верные варианты.

5. При пропускании через CrO_3 сухого тока хлороводорода образуется хлористый хромил:

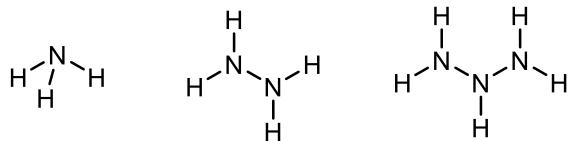


Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Вещества А-Б, Г-Ж – по 1 баллу, В – 2 балла. В случае отсутствия подтверждения расчетом и обоснования для веществ А, В, Д – 0 баллов. Верное название минерала – 1 балл.	9
2.	Уравнения реакций по 1 баллу	6
3.	Принцип работы – 1 балл, уравнения реакции – по 1 баллу.	3
4.	Верный способ получения – 1 балл.	1
5.	Верный ответ (формула или название) – 1 балл.	1
	ИТОГО:	20 баллов

Решение задачи 4 (автор: Мещеряков Н.В.)

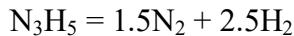
1. Начинаем с аммиака NH_3 , далее будут N_2H_4 и N_3H_5 .



2. Видно из первых трех соединений, что гомологическая разность равна NH , значит, поскольку первый член ряда – NH_3 , то общая формула – N_nH_{n+2} .

Можно решить и по-другому. Каждый азот образует 3 связи, и суммарно будет $3n$ связей, из которых $2(n-1)$ потратятся на связи N-N (поскольку они образуют скелет молекулы из $(n-1)$ связи, и каждая учитывается 2 раза). Тогда останется $3n - 2(n-1) = n+2$ связей N-H, и столько же будет и водородов.

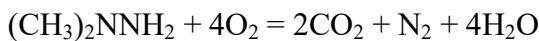
3. Представим, что триазан разложится на простые вещества (скорее всего так и будет из-за высокой энергии связи $\text{N}\equiv\text{N}$):



$$Q = 1.5E(\text{N} \equiv \text{N}) + 2.5E(\text{H} - \text{H}) - 2E(\text{N} - \text{N}) - 5E(\text{N} - \text{H})$$

$$Q = 1.5 \cdot 946 + 2.5 \cdot 436 - 2 \cdot 163 - 5 \cdot 388 = 243 \text{ кДж/моль}$$

4. Напишем уравнение сгорания гептила:



$$Q = 4E(\text{C} = \text{O}) + E(\text{N} \equiv \text{N}) + 8E(\text{O} - \text{H}) - 6E(\text{C} - \text{H}) - 2E(\text{C} - \text{N}) - \\ - E(\text{N} - \text{N}) - 2E(\text{N} - \text{H}) - 4E(\text{O} = \text{O})$$

$$Q = 4 \cdot 743 + 946 + 8 \cdot 463 - 6 \cdot 412 - 2 \cdot 305 - 163 - 2 \cdot 388 - 4 \cdot 497 = 1613 \text{ кДж/моль}$$

$$E = Qv = \frac{Qm}{M} = \frac{1613 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \cdot 1000 \text{ г}}{60 \frac{\text{г/моль}}{}} = 26.88 \text{ МДж}$$

Как видим из уравнения, при сгорании 1 моль гептила потратилось 4 моль газа, выделилось 7 моль газа. Тогда на 1 моль гептила добавочный объем соответствует 3 моль.

$$V = V_m \cdot 3v(\text{гептил}) = 22.4 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{60} = 1120 \text{ л}$$

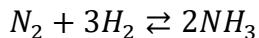
Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Структурная формула каждого вещества – 2 балла. Брутто-формула – 1 балл.	6
2.	Вывод формулы – 4 балла. Формула без вывода – 1 балл.	4
3.	Уравнение реакции – 1 балл. Расчет – 3 балла.	4
4.	Уравнение реакции – 1 балл. Расчет на 1 моль – 2 балла. Суммарная энергия – 1 балл. Объем – 2 балла.	6
	ИТОГО:	20 баллов

Решение задачи 5 (автор: Саватейкин Я.М.)

1. Выразите концентрационную константу равновесия (K_C) через K_p и рассчитайте значение K_C для этой реакции при 298 К.

Для реакции синтеза аммиака:



Согласно закону Менделеева-Клапейрона:

$$pV = nRT; p = \frac{n}{V}RT = CRT$$

Запишем K_p и K_C :

$$K_p = \frac{p_{NH_3}^2}{p_{N_2}p_{H_2}^3}$$

$$K_C = \frac{C_{NH_3}^2}{C_{N_2}C_{H_2}^3}$$

Подставим выраженные через концентрации давления:

$$K_p = \frac{C_{NH_3}^2 \cdot (RT)^2}{C_{N_2} \cdot (RT) \cdot C_{H_2}^3 \cdot (RT)^3} = \frac{C_{NH_3}^2}{C_{N_2}C_{H_2}^3} \cdot (RT)^{2-3-1} = K_c \cdot (RT)^{-2}$$

Выражая K_C , получаем:

$$K_C = K_p(RT)^2$$

Поскольку давление везде выражается в барах, то $R = 0.08314 \frac{\text{л}\cdot\text{бар}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

$$K_C = K_p \cdot (RT)^2 = 5.6 \cdot 10^{-7} \cdot (0.08314 \cdot 298)^2 = 3.437 \cdot 10^{-4}$$

Ответ:

$$K_C = K_p (RT)^2, K_C \approx 3.44 \cdot 10^{-4}$$

2. Расчёт объёмной доли (φ) аммиака в равновесной смеси при 298 К

Пусть к моменту наступления равновесия прореагировало x моль N_2 . Составим таблицу:

Вещество	Исходное количество, моль	Изменение, моль	Равновесное количество, моль	Равновесная концентрация, моль/л
N_2	1	$-x$	$1 - x$	$(1 - x)/10$
H_2	3	$-3x$	$3 - 3x$	$(3 - 3x)/10$
NH_3	0	$+2x$	$2x$	$2x/10 = x/5$

Запишем выражение для **концентрационной** константы равновесия K_C :

$$K_C = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

Подставим равновесные концентрации:

$$K_C = \frac{(x/5)^2}{((1-x)/10) \cdot ((3-3x)/10)^3} = \frac{400 \cdot x^2}{27 \cdot (1-x)^4}$$

Мы знаем, что $K_C \approx 3.44 \cdot 10^{-4}$. Это очень маленькое число, что говорит о том, что равновесие сильно смещено в сторону реагентов. Следовательно, x будет очень малой величиной, и мы можем сделать предположение, что $(1-x) \approx 1$ и $(3-3x) \approx 3$:

$$K_C \approx \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} \approx \frac{(x/5)^2}{((1)/10) \cdot (3/10)^3} = \frac{x^2 \cdot 400}{27}$$

Теперь приравниваем к известному значению K_C :

$$\frac{400 \cdot x^2}{27} = 3.44 \cdot 10^{-4}$$

$$x = \sqrt{\frac{3.44 \cdot 10^{-4} \cdot 27}{400}} \approx 0.004819 \text{ моль}$$

Теперь найдём равновесные количества веществ:

$$n_{NH_3} = 2x = 2 \cdot 0.004819 = 0.009638 \text{ моль}$$

$$n_{N_2} = 1 - x \approx 1 - 0.004819 = 0.995181 \text{ моль}$$

$$n_{H_2} = 3 - 3x \approx 3 - 0.014457 = 2.985543 \text{ моль}$$

Общее количество вещества в равновесной смеси:

$$n_{\text{общ}} = 0.009638 + 0.995181 + 2.985543 = 3.990362 \text{ моль}$$

Объёмная доля аммиака (φ) численно равна его мольной доле, так как все газы в смеси идеальные и находятся при одинаковых T и P .

$$\varphi(NH_3) = \frac{n_{NH_3}}{n_{\text{смеси}}} = \frac{0.009638}{3.990362} \approx 0.002415$$

Ответ:

$$\varphi(NH_3) \approx 0.0024 \text{ или } 0.24\%$$

3. Расчёт константы равновесия K_p при 500 К

Используем уравнение изотермы Вант-Гоффа:

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln K_p$$

В состоянии равновесия $\Delta_r G = 0$:

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K_p$$

Запишем изменение энергии Гиббса реакции при стандартных условиях:

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ$$

Приравняем обе части уравнений:

$$-RT \ln K_p = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ$$

Запишем это уравнение для двух температур ($T_1 = 298$ К и $T_2 = 500$ К), поделим обе части уравнения на RT_i и вычтем одно из другого, чтобы исключить энтропию:

$$\begin{aligned} \ln K_{p2} - \ln K_{p1} &= \left(-\frac{\Delta_r H^\circ}{RT_2} + \frac{\Delta_r S^\circ}{R} \right) - \left(-\frac{\Delta_r H^\circ}{RT_1} + \frac{\Delta_r S^\circ}{R} \right) \\ \ln \left(\frac{K_{p2}}{K_{p1}} \right) &= -\frac{\Delta_r H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{\Delta_r H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \end{aligned}$$

Подставим известные значения:

$$\ln \left(\frac{K_{p2}}{5.6 \cdot 10^{-7}} \right) = \frac{-46110}{8.314} \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{500} \right) \approx (-5546.7) \cdot 0.001356 \approx -7.520$$

$$\frac{K_{p2}}{5.6 \cdot 10^{-7}} = e^{-7.520} \approx 5.4 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{p2} = 5.6 \cdot 10^{-7} \cdot 5.4 \cdot 10^{-4} = 3.024 \cdot 10^{-10}$$

Ответ: $K_p(500\text{K}) \approx 3.02 \cdot 10^{-10}$

Система оценивания:

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Выход формулы связи K_C и K_p – 4 балла, численный	7

	расчет K_C – 3 балла.	
2.	Составление таблицы материального баланса или же верная запись уравнения для расчета прореагировавшего количества через константу – 2 балла, расчёт объёмной (мольной) доли – 4 балла.	6
3.	Численный расчёт $K_p(500K)$ – 7 баллов.	7
	Сумма:	20