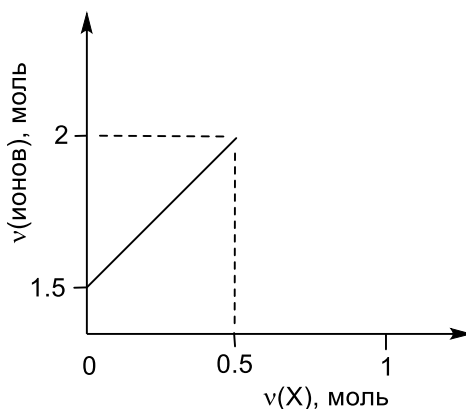


Олимпиада школьников «Ломоносов»
Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии
5-9 классы

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчёты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Ответы, записанные без расчетов и/или обоснований, не оцениваются.

Задача 1 (14 баллов)

К 1 л раствора хлорида бария добавляли раствор соли **X**. На графике изображена зависимость общего количества всех ионов в растворе от количества добавленного вещества **X**.



а) Найдите концентрацию BaCl_2 в исходном растворе.

б) Определите вещество **X**, если известно, что его раствор имеет щелочную среду.

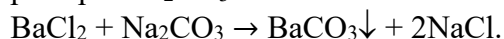
Подтвердите расчётом.

в) Продолжите график до $v(X) = 1$ моль.

Решение.

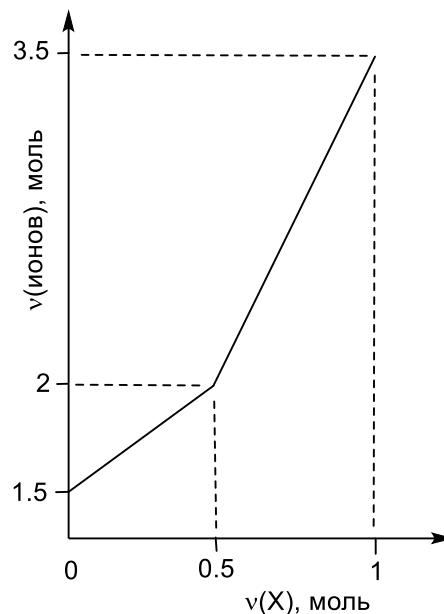
а) $v(\text{BaCl}_2) = 1.5 / 3 = 0.5$ моль, $C(\text{BaCl}_2) = 0.5$ моль/л.

б) **X** – карбонат или сульфит щелочного металла или аммония. Пример – Na_2CO_3 :



После добавления 0.5 моль Na_2CO_3 к 0.5 моль BaCl_2 в растворе будет только 1 моль NaCl , т. е. 2 моль ионов.

в) Если добавить 1 моль Na_2CO_3 , то после реакции в растворе будет 1 моль NaCl (2 моль ионов) и избыток 0.5 моль Na_2CO_3 (1.5 моль ионов), всего – 3.5 моль ионов.



Система оценивания.

а) Начальная концентрация BaCl_2 – 4 балла.

б) Формула **X** с расчётом или подтверждением – 6 баллов (без расчёта – 0 баллов)

в) График – 4 балла

Всего – 14 баллов

Задача 2 (14 баллов)

Жидкое вещество **X** массой 13.8 г, охлаждённое до 0 °С, поместили в сосуд объёмом 2.0 л и нагрели до 25 °С. При этом вещество полностью испарилось и частично (на 20%) разложилось с образованием единственного продукта. Давление в сосуде составило 223 кПа. При дальнейшем нагревании до 40 °С давление в сосуде выросло до 273 кПа. Установите формулу исходного вещества **X** (подтвердите расчётом), напишите уравнение его разложения и определите степень разложения при 40 °С.

Решение.

1) Количество вещества **X** в жидкости – $v_0(\text{X})$. Пусть при разложении молекулы **X** образуются 2 молекулы продукта **A**, тогда при 25 °С состав смеси:

$$v(\text{X}) = v_0(\text{X}) - 0.2v_0(\text{X}) = 0.8v_0(\text{X}),$$

$$v(\text{A}) = 2 \cdot 0.2v_0(\text{X}) = 0.4v_0(\text{X}),$$

$$v_{\text{общ}} = PV / RT = 223 \cdot 2.0 / 8.314 \cdot 298 = 0.18 \text{ моль} = 1.2v_0(\text{X}),$$

$$v_0(\text{X}) = 0.15 \text{ моль}, M(\text{X}) = 13.8 / 0.15 = 92 \text{ г/моль} - \text{N}_2\text{O}_4.$$

Уравнение разложения: $\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$.

2) Пусть степень разложения при 40 °С равна α , тогда

$$v(\text{X}) = v_0(\text{X})(1-\alpha),$$

$$v(\text{A}) = 2v_0(\text{X})\alpha,$$

$$v_{\text{общ}} = v_0(\text{X})(1+\alpha),$$

$$v_{\text{общ}} = PV / RT = 273 \cdot 2.0 / 8.314 \cdot 313 = 0.21 \text{ моль} = 0.15 \cdot (1+\alpha),$$

$$\alpha = 0.4 = 40\%.$$

Ответ. **X** – N_2O_4 . 40%.

Система оценивания

Количества молей газа – $2 \times 2 = 4$ балла

Формула **X** – 5 баллов (без расчёта – 0 баллов), уравнение разложения – 1 балл, всего – 6 баллов

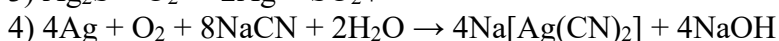
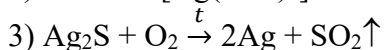
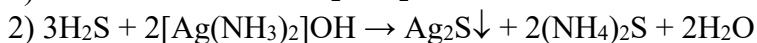
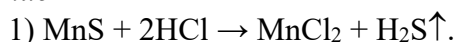
Степень разложения – 4 балла

Всего – 14 баллов

Задача 3 (12 баллов)

В университете провели (под тягой) демонстрационный эксперимент по теме «Элементы 11 группы». Сульфид марганца(II) растворили в концентрированной соляной кислоте, выделившийся газ пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили на воздухе, а твердый остаток после прокаливания растворили, также на воздухе, в концентрированном растворе цианида натрия. Составьте уравнения всех проведённых реакций.

Решение.



Система оценивания.

Уравнения реакций – по 3 балла (неверные вещества – 0 баллов, не уравнено – по 1,5 балла).

Всего – 12 баллов

Задача 4 (12 баллов)

Имеется 100 л (н.у.) смеси водорода и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси выделилось 228 кДж теплоты. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:



Определите объёмную долю водорода в исходной смеси. Предложите два варианта ответа.

Решение. В реакцию вступило: $\nu(\text{O}_2) = 228 / 570 = 0.4$ моль,
 $\nu(\text{H}_2) = 0.8$ моль.

- 1) Если H_2 был в недостатке, то его объёмная доля равна:

$$\begin{aligned}\varphi(\text{H}_2) &= 0.8 \cdot 22.4 / 100 = 0. \\ V_{\text{возд}} &= 5V(\text{O}_2) = 5 \cdot 0.4 \cdot 22.4 = 44.8 \text{ л,} \\ V(\text{H}_2) &= 100 - 44.8 = 55.2 \text{ л,} \\ \varphi(\text{H}_2) &= 55.2\%\end{aligned}$$

Ответ: 17.9% или 55.2%.

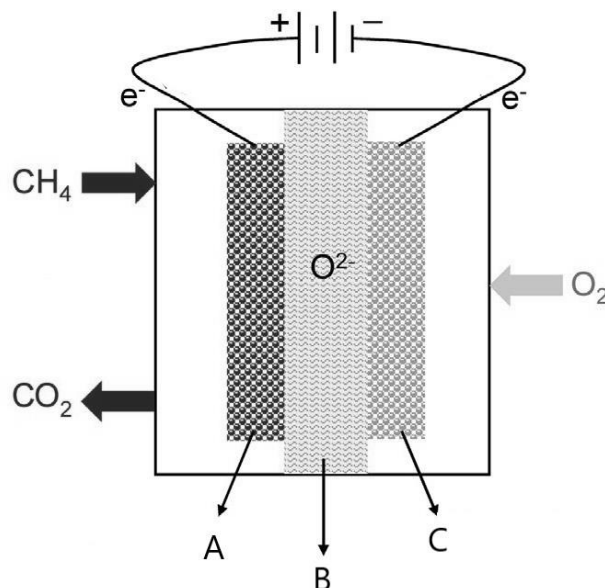
Система оценивания.

- 1) Расчёт количества вещества водорода и кислорода – по 2 балла, всего – 4 балла.
- 2) Идея про избыток-недостаток – 2 балла.
- 3) Каждый правильный расчёт объёмной доли – по 3 балла, всего – 6 баллов.

Всего – 12 баллов

Задача 5 (20 баллов)

Один из современных источников тока – твердооксидный метановый топливный элемент. В качестве электролита используют керамические оксидные материалы, способные проводить ионы кислорода O^{2-} (других ионов в устройстве нет). Схема такого элемента приведена на рисунке.



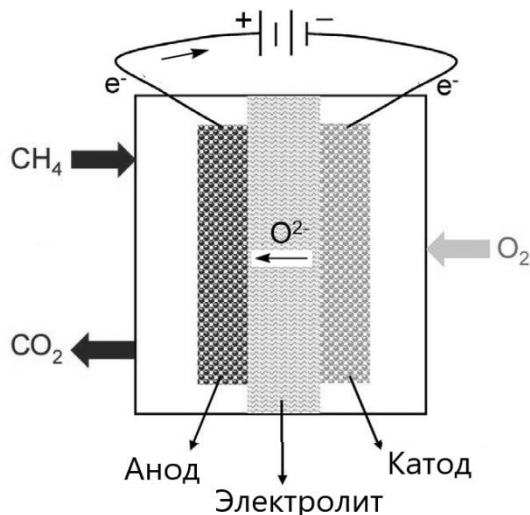
- 1) Поставьте в соответствие буквам А, В и С части топливного элемента – катод, анод и электролит.
- 2) Укажите направление движения электронов (слева направо или справа налево).
- 3) Укажите направление движения ионов O^{2-} (слева направо или справа налево).
- 4) Напишите уравнения полуреакций на катоде и аноде, а также суммарное уравнение реакции.

5) За один час работы элемента израсходовано 1.14 л метана (25 °С, 1 атм). Рассчитайте силу тока, создаваемого источником. Постоянная Фарадея $F = 96500$ Кл/моль.

Решение. 1) На аноде происходит окисление метана $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_2$, анод – А, на катоде – восстановление кислорода $\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}^{2-}$, катод – С, между ними – электролит В.

2) Восстановитель отдаёт электроны в цепь, и они движутся от анода к катоду, т. е. слева направо.

3) Ионы O^{2-} движутся от катода к аноду, т. е. справа налево.



4) Анод: $\text{CH}_4 + 4\text{O}^{2-} - 8e \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Катод: $\text{O}_2 + 4e \rightarrow 2\text{O}^{2-}$.

Суммарное уравнение: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

5) $\nu(\text{CH}_4) = PV / RT = 101.3 \cdot 1.14 / (8.314 \cdot 298) = 0.0466$ моль,

$\nu(e) = 8 \cdot 0.0466 = 0.373$ моль.

Сила тока: $I = 0.373 \cdot 96500 / 3600 = 10$ А.

Ответ: 5) 10 А.

Система оценивания.

1) По 2 балла за каждое правильное соответствие, всего – 6 баллов.

2) Правильный ответ – 2 балла.

3) Правильный ответ – 2 балла.

4) По 2 балла за каждое уравнение (полуреакции со степенями окисления – по 1 баллу), всего – 6 баллов.

5) Моли метана – 1 балл, моли электронов – 1 балл, сила тока – 2 балла, всего – 4 балла.

Всего – 20 баллов

Задача 6 (18 баллов)

Смесь двух твёрдых веществ, сложного и простого, взятых в мольном соотношении 16 : 1, реагирует без остатка, образуя смесь двух газообразных веществ, сложного и простого, в мольном соотношении 1 : 2 (реакция 1), имеющая плотность по углекислому газу 2.8. При пропускании газовой смеси через избыток раствора щёлочи (реакция 2) объём газа уменьшается на треть, а масса – на 29.2%. Оставшийся газ является компонентом воздуха (в очень маленькой концентрации), который и служит его основным источником. Установите формулы всех веществ (подтвердите расчётом) и напишите уравнения обеих реакций.

Решение. Начнём с газовой смеси. Пусть в смеси был 1 моль сложного вещества и 2 моль простого вещества.

$$M(\text{смеси}) = 2.8 \cdot 44 = 123.2 \text{ (г/моль)} = (M_1 + 2M_2) / 3,$$

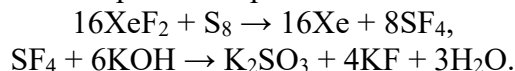
$$M(\text{смеси}) = 123.2 \cdot 3 = 370 \text{ (г)}.$$

Объём уменьшается на треть, следовательно, поглотилось сложное вещество:

$$M_1 = 370 \cdot 0.292 = 108 \text{ г/моль},$$

простое вещество: $M_2 = (370 - 108) / 2 = 131 \text{ г/моль} - \text{Xe}$.

Тогда исходное сложное вещество – один из фторидов ксенона, а простое вещество, судя по мольному соотношению, – S_8 . При взаимодействии с фторидом ксенона сера превращается во фторид SF_4 ($M = 108 \text{ г/моль}$). Из мольного соотношения 16:1 следует, что исходный фторид ксенона – XeF_2 . Уравнения реакций:



Ответ: XeF_2 , S_8 , Xe , SF_4 .

Система оценивания.

Формулы четырёх веществ (с расчётом) – по 3 балла, всего – 12 баллов

Уравнения реакций – по 3 балла, всего – 6 баллов

Всего – 18 баллов

Задача 7 (10 баллов)

Долгоживущий радионуклид X при β -распаде превращается в устойчивый нуклид Y , содержащий равное число протонов и нейтронов. Параллельно с β -распадом происходит захват электрона нуклидом X , в результате образуется нуклид Z , в котором число нейтронов составляет 55% от массового числа. Установите формулы всех нуклидов (подтвердите расчётом) и напишите уравнения ядерных превращений.

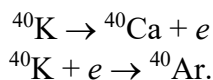
Решение. При β -распаде заряд ядра увеличивается на 1, при захвате электрона уменьшается на 1, а массовое число в обоих случаях не меняется.

Пусть формула нуклида $\text{X} - {}^A_Z\text{X}$, тогда $\text{Y} - {}^A_{Z+1}\text{X}$, $\text{Z} - {}^A_{Z-1}\text{X}$. По условию,

$$\begin{cases} Z + 1 = A/2 \\ A - (Z - 1) = 0.55A \end{cases}$$

$A = 40$, $Z = 19$. Исходный нуклид – калий-40: $\text{X} - {}^{40}_{19}\text{K}$, $\text{Y} - {}^{40}_{20}\text{Ca}$, $\text{Z} - {}^{40}_{18}\text{Ar}$.

Уравнения распада:



Ответ: $\text{X} - {}^{40}_{19}\text{K}$, $\text{Y} - {}^{40}_{20}\text{Ca}$, $\text{Z} - {}^{40}_{18}\text{Ar}$.

Система оценивания.

По 2 балла за каждый нуклид (с расчётом) – всего 6 баллов.

По 2 балла за каждое ядерное уравнение – всего 4 балла.

Всего – 10 баллов.