Химия · 9 класс

Муниципальный этап · 2026-2027 учебный год
Ответы с расчётами и пояснениями для проверки работ

Задача 1. Распознавание растворов

A	B	C	D	E	F
$BaCl_2$	$Na_2S_2O_3$	$FeCl_3$	HCl	KI	Na_2CO_3

C узнаём по жёлтой окраске Fe^{3+}. B даёт с C кратковременную фиолетовую окраску, а с кислотой D - серу и SO_2. E даёт с C йод. F с кислотой выделяет CO_2, с C - $Fe(OH)_3$ и CO_2. Оставшийся раствор A - $BaCl_2$.

A + B: белый осадок тиосульфата бария

$$BaCl_2 + Na_2S_2O_3 \rightarrow BaS_2O_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Ba^{2+} + S_2O_3^{2-} \rightarrow BaS_2O_3\downarrow$$

A + F: белый осадок карбоната бария

$$BaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow BaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_3\downarrow$$

B + C: фиолетовая окраска, затем её исчезновение

Сначала образуется непрочный комплекс железа(III) с тиосульфатом. Упрощённая запись комплексообразования:

$$FeCl_3 + Na_2S_2O_3 \rightleftharpoons [Fe(S_2O_3)]Cl + 2NaCl$$

$$Fe^{3+} + S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons [Fe(S_2O_3)]^{+}$$

Затем Fe^{3+} восстанавливается до Fe^{2+}, а тиосульфат окисляется до тетратионата; окраска комплекса исчезает:

$$2FeCl_3 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow 2FeCl_2 + Na_2S_4O_6 + 2NaCl$$

$$2Fe^{3+} + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 2Fe^{2+} + S_4O_6^{2-}$$

Подтверждение природы фиолетового комплекса: 27th Baltic Chemistry Olympiad, 2019, задача Colourful kinetics: https://www.eko.ut.ee/pdf/bcho/bcho2019p.en.pdf

Задача 1. Остальные реакции

B + D: помутнение и бесцветный газ

$$Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + S\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow S\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$$

Помутнение вызывает тонкодисперсная сера; выделяющийся газ - SO_2.

C + E: бурое окрашивание

$$2FeCl_3 + 2KI \rightarrow 2FeCl_2 + I_2 + 2KCl$$

$$2Fe^{3+} + 2I^- \rightarrow 2Fe^{2+} + I_2$$

Окраску обусловливает йод; в присутствии избытка иодида также образуется I_3^-: $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$.

C + F: бурый осадок и бесцветный газ

$$2FeCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6NaCl$$

$$2Fe^{3+} + 3CO_3^{2-} + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

Происходит взаимное усиление гидролиза. Бурый осадок - гидроксид железа(III), а не $Fe_2(CO_3)_3$.

D + F: выделение бесцветного газа

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CO_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow CO_2\uparrow + H_2O$$

Для проверки. Приведены все семь пар с видимыми признаками из таблицы. Для пары B + C нужны и объяснение появления комплекса, и итоговая окислительно-восстановительная реакция. Осаждение BaS_2O_3 принимается по фактически указанному наблюдению; оно зависит от концентраций растворов.

Задача 2. Абразивы

1. A - **углерод C**; A_1 - **алмаз**, A_2 - **графит**. Другой пример аллотропии: O_2 (кислород) и O_3 (озон). Также допустимы белый и красный фосфор либо ромбическая и моноклинная сера.

2. Для карбида состава EC: $\omega(C) = 12/(A_r(E) + 12)$.

X: $A_r(E) = 12/0{,}30 - 12 = 28 \rightarrow$ Si.

Y: $A_r(E) = 12/0{,}0612 - 12 \approx 184 \rightarrow$ W.

X = SiC, карбид кремния, тривиальное название **карборунд**.
Y = WC, карбид вольфрама.

3. Определение K, L, M

$M(L) \approx 0{,}586 \cdot 29 \approx 17$ г/моль → **L = NH_3**, аммиак.

Используем уравнение идеального газа; температура 2000 + 273,15 = 2273,15 K, давление 1 атм, R = 0,082057 л·атм/(моль·K).

$n(NH_3) = 46{,}64 / (0{,}082057 \cdot 2273{,}15) \approx 0{,}250$ моль.

$m(K, \text{теор.}) = 5{,}937/0{,}95 \approx 6{,}249$ г ≈ 6,25 г.

Для нитрида бора BN: M ≈ 25 г/моль, $n(BN) \approx 6{,}25/25 = 0{,}250$ моль. На 0,250 моль BN нужно 0,125 моль B_2O_3: 0,125·70 = 8,75 г, что точно соответствует условию.

B_2O_3 + 2NH_3 → 2BN + 3H_2O (2000 °C)

K = BN, нитрид бора; **M = B_2O_3**, оксид бора(III).

4. Сходство с углеродом

Пара атомов B и N имеет столько же валентных электронов, сколько два атома C: 3 + 5 = 4 + 4. Поэтому BN образует сходные пространственные структуры: гексагональный BN напоминает графит, а кубический BN - алмаз и обладает высокой твёрдостью. Нельзя приписывать высокую абразивную способность любой модификации BN.

Для проверки. Числа задачи рассчитаны с округлёнными $A_r(B) = 11$, $A_r(N) = 14$. С точными массами из приложенной таблицы выход немного отличается от 95%; это округление исходных данных, а не иной состав K. Молярный объём 22,4 л/моль при 2000 °C использовать нельзя.

Задача 3. Растворимость

1. Необычно ведёт себя **$Ce_2(SO_4)_3$, сульфат церия(III)**: его растворимость с нагреванием уменьшается.

2. Дихромат калия при 50 °C

По графику S ≈ 30 г $K_2Cr_2O_7$ на 100 г воды. В 200 г воды растворится примерно 60 г соли, а около 40 г останется в осадке.

$\omega(K_2Cr_2O_7) = 60 / (200 + 60) \approx$ **0,2308 = 23,1%**.

Нерастворившуюся соль не включают в массу раствора.

3. Кристаллизация нитрата свинца(II)

По графику: $S_{40} \approx 75$ г/100 г воды; $S_{10} \approx 45$ г/100 г воды.

$m(H_2O) = 300 \cdot 100/(100 + 75) \approx 171{,}43$ г.

$m(\text{осадка}) = 171{,}43 \cdot (75 - 45)/100 \approx$ **51,4 г**.

4. Раствор из $CaCl_2 \cdot 2H_2O$

По графику $S_{20}(CaCl_2) \approx 75$ г безводной соли на 100 г воды. В 500 г насыщенного раствора требуется:

$m(CaCl_2) = 500 \cdot 75/(100 + 75) \approx 214{,}29$ г.

Кристаллогидрат содержит 111/147 своей массы в виде $CaCl_2$. Поэтому:

$m(CaCl_2 \cdot 2H_2O) = 214{,}29 \cdot 147/111 \approx$ **283,8 г**.

$m(\text{добавляемой воды}) = 500 - 283{,}8 \approx 216{,}2$ г.

Для проверки. Вода кристаллизации входит в общую массу воды раствора. По точным атомным массам получается около 283,9 г; различие несущественно на фоне точности графика. Для пункта 3 общая формула: $m(\text{осадка}) = 300(S_{40} - S_{10})/(100 + S_{40})$. Обоснованное округление значений, считанных с рисунка, следует учитывать при проверке.

Задача 4. Состав сплава

Уравнения реакций

$3Ag + 4HNO_3 \rightarrow 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$

$In + 4HNO_3 \rightarrow In(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O$

$3Cd + 8HNO_3 \rightarrow 3Cd(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$

Расчёт по приложенной периодической таблице

Принимаем, что электролитически выделено всё серебро: m(Ag) = 8,00 г. Следовательно, m(In) + m(Cd) = 2,00 г. Молярные массы: Ag 107,87; In 114,82; Cd 112,41 г/моль.

$n(NO) = 0{,}912/22{,}4 = 0{,}0407143$ моль.

На образование 1 моль NO затрачивается 3 моль электронов. Серебро отдаёт 1 электрон на атом, индий - 3, кадмий - 2. Пусть x = m(In), тогда m(Cd) = 2 − x.

$8/107{,}87 + 3x/114{,}82 + 2(2 - x)/112{,}41 = 3 \cdot 0{,}0407143$.

$x \approx 1{,}4870$ г; $m(Cd) \approx 0{,}5130$ г.

Металл	Масса, г	Массовая доля
Ag	8,000	80,00%
In	1,487	14,87%
Cd	0,513	5,13%

Проверка: сумма масс 10,00 г; подстановка в уравнение электронного баланса даёт V(NO) = 0,912 л.

Для проверки. При школьном округлении Ag = 108, In = 115, Cd = 112 получаются 80,00%; 15,01%; 4,99%, то есть примерно **80%, 15%, 5%**. Эти ответы также допустимы при явно указанном округлении. Если 8,00 г - лишь часть серебра, а не всё серебро, состав однозначно не определяется; решение использует обычное для такой задачи предположение о полном выделении Ag.

Задача 5. Распад трития

1. Ядерное уравнение

$^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu}_e$

Образуются гелий-3, электрон (β⁻-частица) и электронное антинейтрино. Сохраняются массовое число и суммарный электрический заряд: 3 = 3 + 0; 1 = 2 − 1.

2. Полная выделяющаяся энергия

$N = (m/M)N_a = (1{,}00/3{,}00) \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \approx 2{,}0067 \cdot 10^{23}$ ядер.

$E_1 = 18{,}6 \cdot 10^{3} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 2{,}976 \cdot 10^{-15}$ Дж.

$E = NE_1 \approx$ **$5{,}97 \cdot 10^{8}$ Дж** (около 597 МДж).

3. Масса, эквивалентная выделившейся энергии

$\Delta m = E/c^2 = 5{,}97184 \cdot 10^{8} / (3{,}00 \cdot 10^{8})^2$

$\Delta m \approx$ **$6{,}64 \cdot 10^{-9}$ кг = $6{,}64 \cdot 10^{-6}$ г = 6,64 мкг**.

Для проверки. Это суммарная энергия распада по условию. В видимый свет превращается только её часть; энергия распределяется между продуктами распада, в том числе уносится антинейтрино. В формулу $E = \Delta mc^2$ массу подставляют в килограммах.