

Химическая олимпиада имени Германа Гесса

Заключительный этап

Практический тур

(ФИО участника)

(населенный пункт, школа, класс)

Москва, 17 марта 2026

Заполняется по результатам практикума:

Балл за практикум	Проверяющий	Подпись участника

Качественный изобретатель

Качественный анализ – дело нехитрое, как считают многие. Надо всего лишь смешать пробирки и посмотреть на осадок красивого цвета. Но, конечно же, на самом деле все сложнее. Нужно, чтобы реакция была воспроизводимой, работала даже при маленьких концентрациях вещества, была селективной по отношению к другим веществам. И чтобы аналитический сигнал был в виде четко идентифицируемого вещества (если это кристаллический осадок, ну к примеру, розового цвета, будет прелестно, но это наши фантазии, конечно же).

Мы придумали демонстрационный эксперимент, который показывает основные принципы качественного анализа и позволяет установить, какие катионы находятся в неизвестной смеси. Примерно то же самое мы ожидаем и от вас.

Вам требуется описать происходящее в демонстрационном эксперименте и определить неизвестные катионы в растворе. После вам выдаются растворы пяти катионов и отдельный **раствор Y**, содержащий два катиона из пяти. Ваша задача – придумать качественную реакцию на каждый катион, которая будет давать уникальный аналитический сигнал, и после с помощью выявленных качественных реакций определить катионы в вашем растворе.

Легенда к демонстрационному эксперименту

У вас есть три раствора – CuSO_4 , MnSO_4 , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$. С ними проводится серия демонстрационных экспериментов с реагентами, описанными в таблице ниже. С каждым раствором будет проведено шесть опытов, после чего аналогичные шесть опытов будут проведены с **раствором X**, полученным смешением двух растворов из изначального списка.

Легенда к экспериментальному блоку (пробирочным опытам)

У вас есть некоторое количество растворов, содержащих катионы Ti^{3+} , VO_2^+ , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} . Растворы, содержащие катионы Ti^{3+} и VO_2^+ , подкислены. Также у вас имеется набор следующих подписанных реактивов: растворы гидроксида натрия (NaOH), пероксида водорода (H_2O_2), аммиака (NH_3), диметилглиоксима (H_2dmg , считайте его одноосновной кислотой) и желтой кровяной соли ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$).

Часть 1. Демонстрационные эксперименты

№	Что сделали	Наблюдения	Уравнения реакций
1	$\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$	Образовался синий желеобразный осадок	$\text{CuSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Cu(OH)}_2\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
2	$\text{CuSO}_4 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$	Образовался черный осадок, выделяется бесцветный газ, раствор после зеленеет	$\text{Cu(OH)}_2 = \text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{Cu(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
3	$\text{CuSO}_4 + \text{NH}_3$	Образовался синий желеобразный осадок; при дальнейшем добавлении весь осадок растворился с образованием раствора василькового цвета	$\text{CuSO}_4 + 4\text{NH}_3 = [\text{Cu(NH}_3)_4]\text{SO}_4$ или $\text{CuSO}_4 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Cu(OH)}_2\downarrow$
4	$\text{MnSO}_4 + \text{NaOH}$	Образовался телесный желеобразный осадок, темнеющий со временем	$\text{MnSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Mn(OH)}_2\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
5	$\text{MnSO}_4 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$	Осадок темнеет	$\text{Mn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
6	$\text{MnSO}_4 + \text{NH}_3$	Образовался телесный желеобразный осадок, темнеющий со временем	$\text{MnSO}_4 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mn(OH)}_2\downarrow + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
7	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH}$	Образуется серо-зеленый осадок, при избытке растворяется с образованием изумрудного раствора	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NaOH} = 2\text{Cr(OH)}_3 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
8	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$	Раствор становится коричнево-желтым , выделяется бесцветный газ	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 10\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$
9	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NH}_3$	Образуется серо-зеленый осадок	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{NH}_3 = 2\text{Cr(OH)}_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

10	Раствор X + NaOH	Выпадает бирюзовый осадок	—
11	Раствор X + NaOH + H ₂ O ₂	Образование желтого осадка, после он становится коричневым , параллельно выделяется бесцветный газ	—
12	Раствор X + NH ₃	Выпадает светло-голубой осадок, раствор становится темно-синим	—

Выводы из демонстрационных опытов. Расшифруйте состав раствора X

Напишите ниже катионы переходных металлов, входящих в состав **раствора X**. Этот блок можно заполнить в самом конце, после того как вы проанализируете пробирочные опыты.

Катион 1	Катион 2
Cr ³⁺	Cu ²⁺

Ниже приведите **обоснование** того, почему вы решили, что в растворе содержатся именно такие катионы. Обоснование методом исключения не засчитывается. Назовите характерные реакции, которые помогли Вам в этом

По взаимодействию с аммиаком и цвету раствора можно понять, что в растворе есть катионы меди, по взаимодействию с перекисью можно понять, что в растворе были катионы хрома.

Часть 2. Экспериментальный блок (пробирочные опыты)

В таблице ниже запишите свои краткие наблюдения в ходе экспериментов, например, синий↓ или бесцветный↑.

	VO_2^+	Ni^{2+}	Co^{2+}	Fe^{3+}	Ti^{3+}	р-р Y
Цвет	желтый	зеленый	розовый	желтый	фиолетовый	фиолетовый
+ NaOH	оранжевый	яблочно-зеленый↓	синий↓	красно-бурый	синий↓	серо-бурый↓
+ H_2O_2	красный	—	—	бесцветный↑	красный	красно-оранжевый
+ NH_3	оранжевый	васильковый	бирюзовый↓	красно-бурый↓	синий↓	серый↓
+ H_2dmg	—	малиново-красный	оранжевый	—	—	малиновый
+ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	зеленый↓	яблочно-зеленый↓	серо-мутный↓	синий↓	желто-оранжевый↓	желтый

Полные наблюдения

Напишите свои полные наблюдения в проведенных взаимодействиях. Не забудьте написать соответствующие уравнения взаимодействий (можно как в ионном, так и в молекулярном виде).

№	Ион	Реактив	Наблюдения	Уравнения реакций
1	VO_2^+	+ NaOH	Раствор становится более оранжевым	$10\text{VO}_2^+ + 16\text{OH}^- = \text{V}_{10}\text{O}_{28}^{6-} + 8\text{H}_2\text{O}$ или любой анион с ванадием(V)
		+ H_2O_2	Смена окраски раствора на красный	$\text{VO}_2^+ + \text{H}_2\text{O}_2 = [\text{VO}(\text{O}_2)]^+ + \text{H}_2\text{O}$ или любой пероксокомплекс ванадия(V)
		+ NH_3	Раствор становится более оранжевым	$10\text{VO}_2^+ + 16\text{NH}_3 + 8\text{H}_2\text{O} = \text{V}_{10}\text{O}_{28}^{6-} + 16\text{NH}_4^+$ или любой анион с ванадием(V)

		+ H ₂ dmg	Видимых изменений нет	—
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпал зеленый осадок	$4VO_2^+ + [Fe(CN)_6]^{4-} = (VO_2)_4[Fe(CN)_6] \downarrow$
2	Ni ²⁺	+ NaOH	Выпал яблочно-зеленый осадок	$Ni^{2+} + 2OH^- = Ni(OH)_2 \downarrow$
		+ H ₂ O ₂	Видимых изменений нет	—
		+ NH ₃	Образовался васильковый раствор	$Ni^{2+} + 6NH_3 = [Ni(NH_3)_6]^{2+}$ или $Ni^{2+} + 2OH^- = Ni(OH)_2 \downarrow$
		+ H ₂ dmg	Образовался малиново-красный раствор	$Ni^{2+} + 2H_2dmg = Ni(Hdmg)_2 + 2H^+$
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпал яблочно-зеленый осадок	$2Ni^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = Ni_2[Fe(CN)_6] \downarrow$
		3	Co ²⁺	+ NaOH
+ H ₂ O ₂	Видимых изменений нет			—

		+ NH ₃	Выпал бирюзовый осадок	$\text{Co}^{2+} + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Co}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NH}_4^+$
		+ H ₂ dmg	Образовался оранжевый раствор	$\text{Co}^{2+} + 2\text{H}_2\text{dmg} = \text{Co}(\text{Hdmg})_2 + 2\text{H}^+$
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпал серо-мутный осадок	$2\text{Co}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{Co}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]\downarrow$
4	Fe ³⁺	+ NaOH	Выпал красно-бурый осадок	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$
		+ H ₂ O ₂	Выделяется бесцветный газ без запаха	$2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
		+ NH ₃	Выпал красно-бурый осадок	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NH}_4^+$
		+ H ₂ dmg	Видимых изменений нет	—
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпал синий осадок	$4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\downarrow$
5	Ti ³⁺	+ NaOH	Выпал черный осадок, который после синееет	$\text{Ti}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Ti}(\text{OH})_3\downarrow$

		+ H ₂ O ₂	Образовался красный раствор	$2\text{Ti}^{3+} + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{Cl}^- \rightarrow 2[\text{Ti}(\text{O}_2)_2\text{Cl}_2]^{2-} + 6\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ или любой пероксокомплекс титана(IV)
		+ NH ₃	Выпал черный осадок, который после синее	$\text{Ti}^{3+} + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Ti}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NH}_4^+$
		+ H ₂ dmg	Видимых изменений нет	—
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Выпал желто-оранжевый осадок	$4\text{Ti}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{Ti}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\downarrow$
6	p-p Y	+ NaOH	Выпал серо-бурый осадок	—
		+ H ₂ O ₂	Образовался красно-оранжевый раствор	—
		+ NH ₃	Образовался серый осадок	—
		+ H ₂ dmg	Образовался малиновый раствор	—
		+ K ₄ [Fe(CN) ₆]	Образовался желтый осадок с черными вкраплениями	—

Выводы из пробирочных опытов. Расшифруйте состав раствора Y

Напишите ниже катионы переходных металлов, входящих в состав раствора Y.

Катион 1	Катион 2
Ni^{2+}	Ti^{3+}

Ниже приведите **обоснование** того, почему вы решили, что в растворе содержатся именно такие катионы. Обоснование методом исключения не засчитывается. Назовите характерные реакции, которые помогли Вам в этом

Цвет исходного раствора и реакция с перекисью указывают на наличие катионов титана. Соответственно, реакция с диметилглиоксимом указывает на наличие катионов никеля.

Критерии оценивания

Часть 1

За каждую правильно заполненную клетку в наблюдениях и за верное уравнение реакции – по 1 баллу. Итого 10 баллов за наблюдения и 8 баллов за реакции. Суммарно 18 баллов.

За каждый правильный катион – по 1 баллу, за правильное обоснование – по 2 балла. Итого 6 баллов.

Часть 2

За каждую правильно заполненную клетку в наблюдениях и за верное уравнение реакции – по 1 баллу. Итого 30 баллов за наблюдения и 20 баллов за реакции. Суммарно 50 баллов.

За каждый правильный катион – по 1 баллу, за правильное обоснование – по 2 балла. Итого 6 баллов.

Если в уравнении реакции стоят неправильные коэффициенты, но все реагенты и продукты указаны правильно, то за реакцию ставится 0.5 балла.

Если в наблюдениях не указано сильное изменение свойств реакционной смеси во времени, то за наблюдение ставится 0.5 балла.

Итого: $18 + 6 + 50 + 6 = 80$ баллов