

### Случай в ресторане Тридевятого Королевства

Однажды парочка известных персонажей серии мультипликационных художественных фильмов (рис. 1) заглянула на завтрак в небольшой ресторанчик столицы Тридевятого Королевства. Друзья были немного уставшие после долгого приключения по спасению ослика и захотели утолить жажду. Когда официант подошел к столику, Шрек заказал фирменный **зеленый коктейль** для улучшения кровообращения, а Кот — **желто-рыжий нектар** для восстановления сил. Каково было горе официанта, когда он обнаружил, что этих напитков осталось всего по одной бутылочке, а рецепт на изготовление куда-то пропал... Благо, работник заведения хорошо учился в школе и решил самостоятельно исследовать состав жидкостей, чтобы быстро сделать новые порции из запасов веществ в подсобке. Мы предлагаем и вам проследовать за находчивым официантом, чтобы не расстроить великих героев того времени и места. Для упрощения задачи сообщим вам, что каждый из напитков является смесью трех веществ. Удачи!



Рисунок 1. Шрек и Кот поражены твоей неудачей в задаче про америций.

**Легенда к демонстрационному эксперименту:**

Есть два цветных раствора — один желтого цвета (раствор **Ж**), другой — зеленого цвета (раствор **З**). С ними проводится серия демонстрационных экспериментов, включающая как физические, так и химические исследования.

**Легенда к экспериментальному блоку (пробирочным опытам):**

У вас есть некоторое количество растворов **Ж** и **З**, а также набор следующих подписанных реактивов: растворы роданида калия  $KSCN$ , ванилина ( $C_8H_8O_3$ ), оксалата калия, тиосульфата натрия, нитрата серебра и нитрита натрия.

**Теоретический вопрос:** приведите формулы оксалата калия, тиосульфата натрия и нитрита натрия.

Оксалат калия —  $K_2C_2O_4$  ; тиосульфат натрия —  $Na_2S_2O_3$ ; нитрит натрия —  $NaNO_2$

**Часть 1. Демонстрационный эксперимент**

Запишите наблюдения по каждому из опытов, затем постарайтесь сделать вывод о том, какой может быть состав растворов.

**Разбавление дистиллированной водой**

Раствор **Ж** — окраска постепенно ослабевает за счет разбавления.

Раствор **З** — изначально вода не смешивается с ним, однако, если перемешать хорошенько, то образуется раствор синего цвета.

**Окраска пламени**

Раствор **Ж** — при внесении в пламя капельки раствора виден кирпично-красный цвет.

Раствор **З** — при внесении в пламя капельки раствора видно интенсивное желтое окрашивание.

Демонстрационные реакции с растворами Ж и З

№	Что сделали	Наблюдения	Уравнения реакций
1а	Добавили NaOH в Ж	Образуется осадок бурого цвета, со временем он оседает	$\text{FeCl}_3 + 3 \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3 \text{NaCl}$
1б	Добавили Ж в NaOH	Образуется осадок бурого цвета, со временем он оседает	$\text{FeCl}_3 + 3 \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3 \text{NaCl}$
1в	Добавили NaOH в З	В верхнем слое образуется сине-голубой осадок	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2 \text{NaCl}$
1г	Добавили З в NaOH	Образуется светло-голубой осадок	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2 \text{NaCl}$
2а	Добавили NH <sub>3</sub> в Ж	Образуется осадок бурого цвета, со временем он оседает	$\text{FeCl}_3 + 3 \text{NH}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3 \text{NH}_4\text{Cl}$
2б	Добавили Ж в NH <sub>3</sub>	Образуется осадок бурого цвета, со временем он оседает	$\text{FeCl}_3 + 3 \text{NH}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3 \text{NH}_4\text{Cl}$
2в	Добавили NH <sub>3</sub> в З	В верхнем слое происходит окрашивание в синий цвет, на границе между слоями видно светло-голубой осадок	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2 \text{NH}_4\text{Cl}$ $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4 \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
2г	Добавили З в NH <sub>3</sub>	Образуется синий раствор	$\text{CuCl}_2 + 6 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 2 \text{NH}_4\text{Cl}$

3а	Добавили NaF в Ж	Нет видимых наблюдений	$\text{FeCl}_3 + 6 \text{NaF} \rightarrow \text{Na}_3[\text{FeF}_6] + 3 \text{NaCl}$
3б	Добавили Ж в NaF	Цвет раствора бледнеет, образуется белая муть или осадок	$\text{FeCl}_3 + 6 \text{NaF} \rightarrow \text{Na}_3[\text{FeF}_6] + 3 \text{NaCl}$ $\text{CaCl}_2 + 2 \text{NaF} \rightarrow 2 \text{NaCl} + \text{CaF}_2\downarrow$
3в	Добавили NaF в З	В верхнем слое цвет раствора становится светло-голубым, может быть белая муть сверху	$\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{CuCl}_2$ (посинение слоя раствора в 3в и 3г, происходит из-за локального уменьшения концентрации хлорид-ионов). Принимается также $\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] + 4 \text{NaF} \rightarrow \text{Na}_2[\text{CuF}_4] + 4 \text{NaCl}$ Принимается реакция с образованием $\text{CuF}_2$ или $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , если в наблюдениях есть муть
3г	Добавили З в NaF	Образуется светло-голубой раствор, возможно образование светло-голубой мути	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{NaF} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2 \text{NaCl} + 2 \text{HF}$ (образование помутнения в подгидролизованном растворе NaF в 3г) Принимается реакция с образованием $\text{CuF}_2$

**Выводы из демонстрационных опытов. Расшифруйте катионный состав Ж и З, обоснуйте свой выбор**

Впишите в соответствующие клеточки растворов те вещества, которые содержатся в растворах. Помните, что оба раствора представляют из себя смесь трех веществ. Этот блок можно заполнить в самом конце, после того, как вы проанализируете пробирочные опыты.

Раствор	Вещество 1	Вещество 2	Вещество 3
<b>Ж</b>	$\text{FeCl}_3$	$\text{CaCl}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
<b>З</b>	$\text{CuCl}_2$	$\text{NaCl}$ (конц)	$\text{H}_2\text{O}$

**Обоснование:**

Так как наши объекты — это растворы, то, очевидно, что один из компонентов смеси — вода. По окраске пламени возможно определить, что в растворе **Ж** присутствует  $\text{Ca}^{2+}$ , а в растворе **З** —  $\text{Na}^+$ . Также кальций подтверждается образованием нерастворимого  $\text{CaF}_2$  в одном из демонстрационных опытов. Выявить железо возможно с помощью характерных реакций образования бурого гидроксида железа (III), а также с помощью цвета самого раствора **Ж**, так как желтых растворов крайне мало. Медь в растворе **З** угадывается по реакциям со щелочью и аммиаком — в обоих случаях образуются характерные окрашенные соединения меди. Необычный цвет раствора (не синий) связан с огромной концентрацией хлорид-анионов, так как в **З** растворен большой избыток  $\text{NaCl}$ . На этот факт указывает то, что раствор **З** лениво смешивается с водой — у них слишком разные плотности (также это заметно в пробирочном опыте с тиосульфатом натрия). Доказать то, что анион — именно хлорид, а не другой, можно в пробирочной части, из демонстрационных экспериментов это, увы, доказать или опровергнуть нельзя.

Часть 2. Экспериментальный блок (пробирочные опыты)

В таблице ниже запишите свои наблюдения в ходе экспериментов, приведите уравнения реакций, которые описывают данные наблюдения

Реактив	Что сделали?	Наблюдения	Уравнения реакций
AgNO <sub>3</sub> , раствор Ж	Изб. Ж + AgNO <sub>3</sub>	Белый творожистый осадок	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$ (также принимаются любые верные молекулярные уравнения)
	Изб. AgNO <sub>3</sub> + Ж	Белый творожистый осадок	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$ (также принимаются любые верные молекулярные уравнения)
AgNO <sub>3</sub> , раствор З	Изб. З + AgNO <sub>3</sub>	Белый осадок образуется и растворяется при перемешивании	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$ (также принимаются любые верные молекулярные уравнения) $AgCl_{(тв)} + NaCl_{(изб)} \rightarrow Na[AgCl_2]_{(р-р)}$
	Изб. AgNO <sub>3</sub> + З	Белый творожистый осадок	$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$ (также принимаются любые верные молекулярные уравнения)
KSCN, раствор Ж	Изб. Ж + KSCN	Кроваво-красный раствор	$FeCl_3 + 3 KSCN \rightarrow Fe(SCN)_3 + 3 KCl$ (принимаются реакции с комплексами)
	Изб. KSCN + Ж	Кроваво-красный раствор	$FeCl_3 + 3 KSCN \rightarrow Fe(SCN)_3 + 3 KCl$ (принимаются реакции с комплексами)
KSCN, раствор З	Изб. З + KSCN	Выпадает черный осадок	$CuCl_2 + 2 KSCN \rightarrow Cu(SCN)_2 \downarrow + 2 KCl$
	Изб. KSCN + З	Выпадает черный осадок, с течением времени превращается в мутный желтый раствор	$CuCl_2 + 2 KSCN \rightarrow Cu(SCN)_2 \downarrow + 2 KCl$ $2 Cu(SCN)_2 \rightarrow 2 CuSCN + (SCN)_2$

Реактив	Что сделали?	Наблюдения	Уравнения реакций
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , раствор Ж	Изб. Ж + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Возникает бурое окрашивание, которое потом медленно пропадает; может быть муть	$\text{Fe}^{3+} + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow [\text{Fe}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ (бурый комплекс); может быть другой вариант тиосульфатного комплекса Fe <sup>3+</sup> $[\text{Fe}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^- \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 0.5 \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ (восстановление железа и обесцвечивание) Муть от разложения тиосерной кислоты до S
	Изб. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ж	Возникает красно-фиолетовое окрашивание, которое медленно пропадает	$\text{Fe}^{3+} + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow [\text{Fe}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^-$ (бурый комплекс) ; может быть другой вариант тиосульфатного комплекса Fe <sup>3+</sup> $[\text{Fe}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^- \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 0.5 \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ (восстановление железа и обесцвечивание)
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , раствор З	Изб. З + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Жидкости плохо смешиваются, при интенсивном перемешивании заметно, что раствор приобретает разные оттенки зеленого цвета в зависимости от высоты	$\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2] + 4 \text{NaCl}$ (частично в верхних слоях)
	Изб. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + З	Отсутствие видимых изменений, образуется бесцветный раствор	$\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2] + 4 \text{NaCl}$

NaNO <sub>2</sub> , раствор Ж	Изб. Ж + NaNO <sub>2</sub>	Бурое окрашивание в верхнем слое раствора	$2 \text{FeCl}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{FeCl}_2 + \text{NaNO}_3 + 2 \text{HCl}$ $3 \text{NaNO}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{NaNO}_3 + 2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NO}$ $\text{FeCl}_2 + \text{NO} \rightarrow [\text{Fe}(\text{NO})]\text{Cl}_2$ (бурое окрашивание) Возможен вариант бурого из-за гидролиза Fe <sup>3+</sup>
	Изб. NaNO <sub>2</sub> + Ж	Бурий раствор	$2 \text{FeCl}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{FeCl}_2 + \text{NaNO}_3 + 2 \text{HCl}$ $3 \text{NaNO}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{NaNO}_3 + 2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NO}$ $\text{FeCl}_2 + \text{NO} \rightarrow [\text{Fe}(\text{NO})]\text{Cl}_2$ (бурое окрашивание) Возможен вариант бурого из-за гидролиза Fe <sup>3+</sup>
NaNO <sub>2</sub> , раствор З	Изб. З + NaNO <sub>2</sub>	Верхний слой приобретает оливковый цвет	$\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] + 4 \text{NaNO}_2 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Cu}(\text{NO}_2)_4] + 4 \text{NaCl}$ (другие лиганды – другая окраска)
	Изб. NaNO <sub>2</sub> + З	Интенсивно окрашенный светло-зеленый раствор	$\text{Na}_2[\text{CuCl}_4] + 4 \text{NaNO}_2 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Cu}(\text{NO}_2)_4] + 4 \text{NaCl}$ (другие лиганды – другая окраска)
K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , раствор Ж	Изб. Ж + K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Мутнеет раствор <i>или</i> на короткое время образуется белый осадок, который растворяется	$\text{CaCl}_2 + \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2 \text{KCl}$ (помутнение) $\text{CaC}_2\text{O}_4 + 2 \text{FeCl}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{Fe}(\text{OH})\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (растворение мути в отчасти кислом растворе FeCl <sub>3</sub> )
	Изб. K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + Ж	Выпадает белый осадок, раствор обесцвечивается	$\text{CaCl}_2 + \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2 \text{KCl}$ (осадок) $\text{FeCl}_3 + 3 \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{K}_3\text{Fe}[(\text{C}_2\text{O}_4)_3] + 3 \text{KCl}$ (обесцвечивание)
K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , раствор З	Изб. З + K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Светло-голубая муть	$\text{CuCl}_2 + \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CuC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2 \text{KCl}$ (помутнение)
	Изб. K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + З	Голубой раствор	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{K}_2[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2] + 2 \text{KCl}$

Реактив	Что сделали?	Наблюдения	Уравнения реакций
Ванилин, раствор Ж	Изб. Ж + Ванилин	Раствор темнеет (зеленеет)	$3 \text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3 + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}(\text{C}_8\text{H}_7\text{O}_3)_3 + 3 \text{H}^+$ (сине-фиолетовый комплекс) Принимается вариант $3 \text{Ванилин} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe} \cdot \text{ванилин}_3^{3+}$
	Изб. ванилина + Ж	Образовался сине-фиолетовый раствор	$3 \text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3 + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}(\text{C}_8\text{H}_7\text{O}_3)_3 + 3 \text{H}^+$ (сине-фиолетовый комплекс) Принимается вариант $3 \text{Ванилин} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe} \cdot \text{ванилин}_3^{3+}$
Ванилин, раствор З	Изб. З + Ванилин	Нет изменений	—
	Изб. ванилина + З	Нет изменений	—

**Выводы из пробирочных опытов.**

Сделайте вывод об анионном составе растворов. **Впишите вещества в табличку на странице 5.**

Реакция растворов **Ж** и **З** с нитратом серебра позволяет уверенно сказать, что исходные соли — хлориды (хотя бы одна из двух). Также можно обратить внимание, что большинство реакций и изменений цветов происходят из-за реакций, связанных с комплексами – различные частицы заменяют хлорид-анионы вокруг ионов железа или меди, в итоге растворы меняют свои цвета, иногда весьма значительно. Реакция с оксалатом подтверждает то, что исходно в растворе **Ж** был именно кальций (а не литий, например).

**Заключительный вопрос:** очевидно, что в реальной жизни растворы **Ж** и **З** нельзя пить, но мы спросим, какую пользу организму могут принести вещества или элементы каждого из растворов? **Хлорид натрия необходим для поддержания баланса базовых клеточных процессов, а железо и кальций как элементы теоретически могут быть полезны для кровообращения и укрепления костной ткани, соответственно. Вода — основа всего живого.**

## РАЗБАЛЛОВКА.

### Демонстрационная часть — 38 баллов максимум:

2 наблюдения по разбавлению + 2 по пламени + 12 по пробиркам по 1 баллу — 16 баллов максимум

По 1 баллу за каждую уникальную реакцию из блока демонстраций — 9 баллов максимум.

Вывод о составе растворов:

Вода – по 0,5 балла за каждый раствор, 1 балл максимум

Катион кальция – 3 балла максимум

Катион железа (III) – 3 балла максимум

Катион натрия – 3 балла максимум

Катион меди (II) – 3 балла максимум

### Экспериментальная часть — 42 балла максимум:

24 наблюдения по 1 баллу — 24 балла максимум.

14 реакций или наборов реакций – 14 баллов максимум.

Вывод о наличии анионов хлора – 3 баллов максимум.

Ответ о пользе элементов или веществ – 1 балл максимум.

**ИТОГОВЫЙ МАКСИМУМ:  $38 + 42 = 80$  БАЛЛОВ.**