

## Десятый класс

### Решение (автор: Апяри В.В.)

1. Поскольку при разбавлении общая масса введенного Fe(III) не изменяется, то верно равенство  $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$ , где  $c$  и  $V$  – массовая концентрация и объем раствора до (1) и после (2) разбавления. Отсюда выражаем искомую концентрацию Fe(III) после разбавления как:  $c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{10 \text{ мг/л} \cdot 1 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 1 \text{ мг/л}$ .

2. Найдем суммарную массу Fe(III), внесенного в пробирку:  $m = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2$ . Тогда итоговая массовая концентрация Fe(III) может быть выражена как:  $c = \frac{c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{1 \text{ мг/л} \cdot 5 \text{ мл} + 2 \text{ мг/л} \cdot 2 \text{ мл}}{5 \text{ мл} + 2 \text{ мл}} = 1,3 \text{ мг/л}$ .



Комплекс имеет красную окраску.

4. Константа устойчивости комплекса соответствует константе реакции его образования и может быть записана как:  $\beta_6 = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]^6}$ . Отсюда выразим искомую молярную концентрацию ионов  $\text{Fe}^{3+}$  как:  $[\text{Fe}^{3+}] = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}]}{\beta_6 \cdot [\text{SCN}^-]^6}$ .

Для того, чтобы ее найти, необходимо знать равновесную концентрацию комплекса и роданид-ионов. Поскольку константа устойчивости велика, можно считать, что практически все Fe(III) существует в виде комплекса, то есть

$$[\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}] = c(\text{Fe(III)}), \text{ моль/л} = \frac{c(\text{Fe(III)}), \text{ мг/л}}{1000 \cdot M(\text{Fe})} = \frac{0,56 \text{ мг/л}}{1000 \cdot 55,8 \text{ г/моль}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Общая концентрация роданид ионов в 1%-ном растворе равна

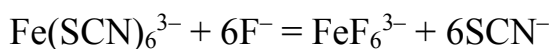
$$c(\text{SCN}^-) = \frac{\nu}{V(p-pa)} = \frac{m(\text{KSCN})}{M(\text{KSCN}) \cdot V(p-pa)} = \frac{\omega \cdot m(p-pa)}{100\% \cdot M(\text{KSCN}) \cdot V(p-pa)} = \frac{\omega \cdot \rho(p-pa)}{100\% \cdot M(\text{KSCN})}$$
$$= \frac{1\% \cdot 1000 \text{ г/л}}{100\% \cdot 97 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль/л}$$

Так как концентрация роданид-ионов на четыре порядка больше, чем Fe(III), то можно считать, что их равновесная концентрация равна общей и составляет 0,1 моль/л. Таким образом, у нас есть все величины для расчета

равновесной концентрации  $Fe^{3+}$ :  $[Fe^{3+}] = \frac{[Fe(SCN)_6^{3-}]}{\beta_6 \cdot [SCN^-]^6} = \frac{10^{-5}}{10^{24} \cdot 0,1^6} = 10^{-23} \text{ моль/л.}$

5. Fe(III) образует устойчивый фторидный комплекс. Поскольку его прочность выше, чем роданидного, последний разрушается, и окраска исчезает.

Реакция протекает в соответствии с уравнением:



### Система оценивания

Ответы на теоретические вопросы:

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Расчет концентрации Fe(III) после разбавления                  | 4 б |
| 2. Расчет концентрации Fe(III) после смешения                     | 4 б |
| 3. Уравнение реакции – 2 б, окраска комплекса – 2 б               | 4 б |
| 4. Расчет концентрации ионов $Fe^{3+}$                            | 4 б |
| 5. Объяснение исчезновения окраски – 2 б, уравнение реакции – 2 б | 4 б |

Выполнение практической части:

Оценивается, исходя из абсолютной погрешности определения участником содержания Fe(III) в анализируемом растворе, в соответствии с таблицей:

Абсолютная погрешность, $ c - c_{ист} $ , мг/л	Балл
< 0,2	60
0,2 – 0,4	58
0,4 – 0,6	54
0,6 – 0,8	48
0,8 – 1,0	40
> 1,0	30

Штрафы: в случае порчи лабораторной посуды, оборудования, пролива анализируемого или иного раствора снимается 4 балла и выдается новая посуда/раствор.

**ИТОГО**

**80 баллов**

## Реактивы, оборудование и методические указания

### На одного участника (если не указано иное)

**Реактивы:** стандартный раствор Fe(III) (10,0 мг/л) – 25 мл, анализируемый раствор Fe(III) (2,4; 2,8; 3,2 или 3,6 мг/л в зависимости от варианта задачи) – 25 мл, KSCN (или NH<sub>4</sub>SCN) (10%-ный раствор) – 25 мл, HNO<sub>3</sub> (1 М) – 25 мл, вода дистиллированная – 150 мл.

**Оборудование:** склянка на 25 мл с анализируемым раствором Fe(III) – 1 шт., пронумерованные градуированные пробирки на 10–15 мл с ценой деления не более 0,5 мл с пробками (например, пробирки центрифужные полипропиленовые ISO Lab на 15 мл) – 6 шт., штатив для пробирок, по возможности, позволяющий разместить 6 пробирок в ряд, – 1 шт., градуированная пипетка на 5 мл – 3 шт., резиновая груша или пипетатор – 1 шт., глазная пипетка с резиновым наконечником – 1 шт., капельница с дистиллированной водой на 25–50 мл – 1 шт., промывалка с дистиллированной водой на 100–200 мл – 1 шт., белый лист бумаги формата А4, согнутый пополам вдоль короткой стороны (до формата А5) – 1 шт.

### **Методические указания**

*Стандартный раствор Fe(III) (10,0 мг/л)* готовят один на всех участников с учетом того, что он также используется для приготовления анализируемых растворов. Для растворения исходного реагента (хлорид, нитрат или сульфат Fe(III) или железо-аммонийные квасцы) с целью предотвращения гидролиза используют 1 М азотную, серную или соляную кислоту.

Из этого же стандартного раствора готовят 4 варианта *анализируемых растворов Fe(III)* с концентрацией 2,4; 2,8; 3,2 и 3,6 мг/л. Концентрацию Fe(III) в анализируемом растворе, соответствующую варианту задачи каждого участника, записывают в таблицу для проверяющих.

*Рабочее место* участника и склянку с его анализируемым раствором маркируют порядковым номером этого участника. Градуированные пробирки нумеруют от 1 до 6.

Помимо расчетного числа, готовят 5 дополнительных комплектов для выполнения задачи (включая растворы веществ, оборудование) на случай порчи участником лабораторной посуды из своего комплекта или пролива растворов.

*Регламент* проведения задачи включает два этапа. Вначале участникам выдается Часть 1 задачи с теоретическими вопросами и чистые листы бумаги (можно отделить из середины тетради для выполнения экспериментального тура). Участникам необходимо напомнить подписать эти листы (ФИО, порядковый номер). На решение этой части отводится 45 мин, после чего работы собирают для проверки и выдают участникам Часть 2 задачи с методикой эксперимента и формулами для расчета содержания Fe(III). После этого участники приступают к выполнению эксперимента.