

**Демонстрационный вариант заданий практического этапа Конкурса  
предпрофессиональных умений «Предпрофессиональная мастерская  
инженерного и информационно-технологического профилей»  
на площадке ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»**

*Номинация: «Инженерный класс»*

*Направление практического этапа: «Химико-технологическое»*

**Задание**

Определить содержание ионов магния в анализируемом растворе № 7-Д в соответствии с предложенной инструкцией. Рассчитать содержание ионов кальция в анализируемом растворе, считая, что ионов кальция содержится в два раза больше, чем ионов магния.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЁСТКОСТИ ВОДЫ**

**1. Оборудование и материалы**

- этилендиаминтетрауксусной кислоты динатриевая соль (трилон Б), стандартный 0,1 н раствор;
- кислотный хром тёмно-синий или эриохром чёрный Т;
- сурексид или флуорексон;
- стакан стеклянный;
- мерный цилиндр вместимостью 100 см<sup>3</sup>;
- коническая колба для титрования вместимостью 250 см<sup>3</sup>;
- воронки конические;
- бюретки вместимостью 25 см<sup>3</sup>;
- анализируемый раствор;
- дистиллированная вода.

**2. Теоретические основы метода**

Общей жёсткостью воды называют суммарное содержание (концентрацию) ионов кальция и магния в воде, выраженную в мг-экв/дм<sup>3</sup>. Жёсткость иногда измеряют в градусах жёсткости (таблица 1).

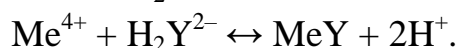
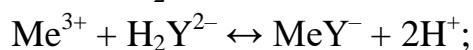
В соответствии с природой соединений, обуславливающих жёсткость, различают карбонатную (временную) Ж<sub>к</sub> и некарбонатную (постоянную) Ж<sub>н</sub>. То есть общая жёсткость воды рассматривается как сумма карбонатной и некарбонатной Ж<sub>к</sub> + Ж<sub>н</sub> = Ж<sub>о</sub>.

## Соотношение между единицами жёсткости воды

Сопоставляемые единицы	1 мг-экв/дм <sup>3</sup> (ммоль-экв/дм <sup>3</sup> )	1 мкг-экв/дм <sup>3</sup> (мкмоль-экв/дм <sup>3</sup> )	1 нем. градус	1 англ. градус	1 франц. градус	1 амер. градус
1 мг-экв/дм <sup>3</sup> (ммоль-экв/дм <sup>3</sup> )	1	1000	1,804	3,511	5,005	50,045
1 мкг-экв/дм <sup>3</sup> (мкмоль-экв/дм <sup>3</sup> )	0,001	1	0,0028	0,0035	0,005	0,05
1 нем. градус	0,35663	356,63	1	1,25	1,79	17,85
1 англ. градус	0,28483	284,83	0,8	1	1,43	14,25
1 франц. градус	0,19982	199,82	0,56	0,7	1	10
1 амер. градус	0,01998	19,98	0,056	0,07	0,1	1

Карбонатная жёсткость – это количество ионов кальция и магния, эквивалентное содержанию иона гидрокарбоната в воде, и она обычно равна общей щелочности, если  $J_0 > Щ_0$ , в противном случае  $J_K = J_0$ . Некарбонатная жёсткость равна количеству ионов кальция и магния, которое связано с анионами сильных минеральных кислот – хлоридами, сульфатами, нитратами, и определяется по разности между общей и карбонатной жёсткостью ( $J_{HK} = J_0 - J_K$ ). Кроме того, в технологических целях часто выделяют виды жёсткости, связанные с присутствием каждого иона – кальциевую  $J_{Ca}$  и магниевую  $J_{Mg}$  соответственно. Количественно  $J_{Ca} + J_{Mg} = J_0$ .

Метод определения жёсткости основан на образовании ионами кальция и магния прочных бесцветных комплексов с анионом этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), общей формулы  $H_2Y^{2-}$ . Схематически взаимодействие комплексона с ионами металлов можно выразить уравнениями:



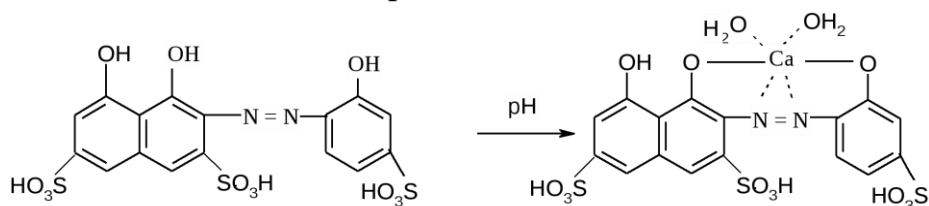
Из приведённых уравнений видно, что, независимо от знака заряда катиона, в реакции принимает участие один катион металла и один анион кислоты, т. е. образуется комплекс состава 1:1, при этом происходит замещение двух моль ионов водорода. Отсюда следует, что число эквивалентности для ЭДТА будет равно 2. Исходя из определения, молярная масса эквивалентов трилона Б будет равна:

$$M_{\text{экв}}(Na_2H_2Y \cdot 2H_2O) = \frac{M(Na_2H_2Y \cdot 2H_2O)}{2} = \frac{372,24}{2} = 186,12, \text{ г/моль.}$$

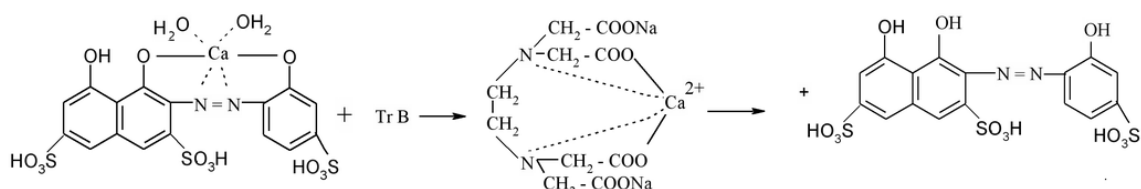
Наиболее часто используемыми индикаторами при проведении анализа являются эриохром чёрный Т, кислотный хром тёмно-синий и мурексид.

Для образования устойчивых комплексов между ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  с ЭДТА и индикаторами необходимо поддерживать определённое значение  $\text{pH} = 9-10$ . Для этого в пробу добавляют аммиачный буферный раствор, представляющий собой смесь  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

При добавлении в анализируемую воду раствора металлоиндикатора (например, кислотного хром тёмно-синего) он образует с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  комплексные соединения винно-красного цвета.



Затем к окрашенному раствору медленно добавляют раствор ЭДТА. Поскольку константы устойчивости комплексов ионов кальция и магния с ЭДТА выше, чем константы устойчивости комплексов ионов кальция и магния с индикатором, при добавлении ЭДТА комплексы кальция (магния) с индикатором разрушаются и образуются бесцветные комплексы ионов кальция (магния) с ЭДТА. В результате этого раствор приобретает голубую окраску свободного индикатора.



Для отдельного определения жёсткости, обусловленной каждым из ионов, необходимо создать условия, когда с трилоном Б будет реагировать только один из них. Проще всего в этом случае осадить магний в виде малорастворимого гидроксида  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , добавив к пробе раствор едкого натра. Кальций при этом остаётся в растворе, и его можно оттитровать трилоном Б.

Индикаторами в этом случае могут быть мурексид или флуорексон.

Магниевою жёсткость находят либо по разности между общей и кальциевой, либо осаждают кальций в виде малорастворимого оксалата, а магний затем оттитровывают трилоном Б, используя в качестве индикатора кислотный хром тёмно-синий.

По количеству ЭДТА, израсходованного до изменения окраски индикатора, рассчитывают содержание ионов кальция и магния.

Катионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , которые могут присутствовать в анализируемой воде, образуют с индикатором очень прочные комплексные соединения, и изменение окраски раствора в процессе титрования не происходит или идёт очень медленно даже при большом избытке ЭДТА. Это явление получило название «блокирование индикатора». Чтобы предотвратить конкурирующие реакции, мешающие ионы металлов необходимо из раствора удалить осаждением или экстракцией. Для предотвращения «блокирования» индикатора ионами  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  в анализируемую пробу вводят сульфид натрия, а ионами  $\text{Mn}^{2+}$  – гидроксилламин солянокислый.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Отобрать мерным цилиндром 100 мл пробы анализируемой воды.
2. Количественно перенести анализируемую воду в коническую колбу на 250 мл.
3. Ввести в пробу 2–3 капли индикатора кислотного хром тёмно-синего или несколько кристалликов твёрдой индикаторной смеси эриохрома чёрного Т.
4. Перемешать и медленно титровать (вводить по каплям) раствором трилона Б.
5. Пункт 4 выполняют до перехода окраски из красно-фиолетовой (винно-красной) в голубую (синевато-зелёную).
6. Записать израсходованный объём раствора трилона Б –  $V_{\text{ТБ}0}$ .
7. Попросить инженера лаборатории заполнить бюретку раствором трилона Б.
8. Повторить пункты 1–6 ещё один раз.

### 4. Обработка результатов анализа

Величины общей, кальциевой и магниевой жёсткости воды определяются по формуле:

$$J_0 = \frac{1000 \cdot V_0 \cdot C_{\text{экв}}(\text{Трилона Б})}{V_{\text{пр}}},$$

где  $V_0$  – расход раствора трилона Б на титрование пробы анализируемой воды при определении общей, кальциевой и магниевой жёсткости воды, соответственно,  $\text{см}^3$ ;  $C_{\text{экв}}(\text{Трилона Б})$  – молярная концентрация раствора трилона Б,  $\text{моль/дм}^3$ ;  $V_{\text{пр}}$  – объём пробы анализируемой воды,  $\text{см}^3$ ; 1000 – пересчётный коэффициент от  $\text{моль/дм}^3$  к  $\text{ммоль/дм}^3$ .

### Пример ответа

При проведение каждого титрования необходимо записать количество израсходованного титранта в таблицу. Рассчитать кальциевую жёсткость по расчётной формуле и вычислить среднее значение по трём измерениям. Все результаты записать в таблицу. Используя значения молярных масс эквивалентов, вычислить концентрации ионов кальция и магния.

### Раствор № 7-Д

Первое титрование $V_{\text{ТрБ}}$	8,9	мл
Второе титрование $V_{\text{ТрБ}}$	8,8	мл
Третье титрование $V_{\text{ТрБ}}$	8,9	мл
Первое титрование $J_{\text{Ca}}$	8,9	мг-ЭКВ/дм <sup>3</sup>
Второе титрование $J_{\text{Ca}}$	8,8	мг-ЭКВ/дм <sup>3</sup>
Третье титрование $J_{\text{Ca}}$	8,9	мг-ЭКВ/дм <sup>3</sup>
Среднее значение $J_{\text{Ca}}$	8,87	мг-ЭКВ/дм <sup>3</sup>
$[\text{Ca}^{2+}]$	177,4	мг/дм <sup>3</sup>
$[\text{Mg}^{2+}]$	53,22	мг/дм <sup>3</sup>

### Критерии оценки

№	Критерии	Максимальные баллы
1.	Практическая реализуемость решения	8 баллов
2.	Обоснование методов и применение современного оборудования	6 баллов
3.	Применение практических навыков (hard skills) в выполнении работы	5 баллов
4.	Правильность полученных результатов	7 баллов
5.	Правильность представления теории, на которой основана задача	7 баллов
6.	Самостоятельность выполнения работы	6 баллов
7.	Умение аргументировать заключения и выводы	6 баллов
8.	Умение отвечать на вопросы	5 баллов
9.	Культура публичного выступления	5 баллов
10.	Полнота ответов на дополнительные вопросы	5 баллов
<b>Максимально возможное количество баллов:</b>		<b>60 баллов</b>

**Тематический рубрикатор практического этапа  
Конкурса предпрофессиональных умений «Предпрофессиональная  
мастерская инженерного  
и информационно-технологического профилей»**

**Номинация:** *«Инженерный класс»*

**Направление практического этапа:** *Химико-технологическое*

1. Химические явления. Вещества
2. Химические уравнения. Типы реакций
3. Количество вещества. Молярная масса
4. Тепловой эффект химических реакций
5. Обобщённые сведения о классах неорганических веществ
6. Растворы. Растворимость
7. Процентная концентрация растворов
8. Плотность и концентрация растворов
9. Химическая связь и строение вещества
10. Комплексные соединения
11. Электролиты
12. Равновесия в растворах слабых электролитов
13. Комплексы металлов в растворах электролитов
14. Комплексометрия
15. Окислительно-восстановительные реакции в растворах
16. Гидролиз солей
17. Объёмные методы анализа
18. Определение pH
19. Буферные растворы. Буферная ёмкость
20. Удельная электропроводность. Определение ионного состава
21. Кислотность
22. Коагуляция. Флокуляция. Известкование
23. Основы теории фильтрования