



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»
РТУ МИРЭА**

**Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова
Кафедра неорганической химии имени А.Н. Реформатского**

И.А. КАРАВАЕВ

**Методические указания для учителей химии для подготовки к практическому
этапу Московского конкурса межпредметных навыков и знаний
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» в номинации «Инженерный класс»
по химико- технологическому направлению**

Москва, 2022

В предлагаемом методическом пособии кратко представлены основные разделы титриметрического анализа, освоение которых поможет учащимся профильных инженерных классов качественно подготовиться к сдаче практической части Конкурса. В пособии рассматриваются следующие разделы: «Основные понятия в титриметрическом анализе. Классификация методов титриметрического анализа», «Способы выражения концентраций в титриметрическом анализе», «Посуда, используемая в титриметрическом анализе и техника работы с ней», «Демонстрационный вариант практического этапа Конкурса», «Ответы и решение демонстрационного варианта».

Отличительной особенностью данного пособия является то, что оно, в первую очередь, направлено на развитие у учащихся именно практических навыков работы с химической посудой и оборудованием, умению приготовить растворы с заданной концентрацией, умению вести пересчет концентраций, правильно выбирать условия для проведения титрования. Поэтому сложные для понимания расчеты в данном методическом пособии опущены.

В конце пособия представлен список используемой и рекомендуемой литературы для подготовки к практическому этапу конкурса.

Настоящее методическое пособие рекомендовано, в первую очередь, учителям профильных химических классов для базовой подготовки учащихся к сдаче Конкурса. Пособие будет полезно также и самим учащимся для повторения и закрепления пройденного материала.

Введение

Практический этап Конкурса проводится в очной форме на базе РТУ МИРЭА. При выполнении работы обеспечивается строгое соблюдение порядка организации и проведения Конкурса. На выполнение заданий практического этапа Конкурса отводится 90 минут.

Задания практического этапа Конкурса разработаны преподавателями образовательных организаций высшего образования, участвующих в проекте «Инженерный класс в московской школе». Индивидуальный вариант участника выдается во время проведения практического этапа Конкурса из базы конкурсных заданий. Индивидуальный вариант участника включает 1 кейсовое задание, базирующееся на содержании элективных курсов “Химические и физико-химические методы анализа” и “Инженерный практикум”.

Задание считается выполненным, если ответ участника совпал с эталоном. Каждое задание оценивается в 10 или 20 баллов. Максимальный балл за выполнение всех заданий – 60 баллов. Для получения максимального балла за практический этап Конкурса необходимо дать верные ответы на все задания.

Основные понятия в титриметрическом анализе. Классификация методов титриметрического анализа

1. Титриметрическим анализом называется метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении объема раствора известной концентрации (титранта - T), израсходованного на реакцию взаимодействия с определяемым веществом (A).

2. Титрование – это процесс определения вещества (A) постепенным добавлением небольших количеств вещества с точно известной концентрации (титранта), при котором каким-нибудь способом (индикаторным или инструментальным) обеспечивают обнаружение момента, когда химическая реакция между анализируемым веществом и титрантом заканчивается.

3. Аликвотная доля анализируемого раствора (аликвота) – это точно известная часть анализируемого раствора, которая берется для проведения титриметрического анализа. Поскольку аликвотная часть раствора отбирается калиброванной пипеткой, то ее в формулах часто изображают как $V_{\text{пип}}$.

4. Точка эквивалентности (ТЭ) – это такой момент титрования, при котором количество прибавленного титранта (B) эквивалентно количеству титруемого вещества (A).

5. Конечная точка титрования (КТТ) – это момент титрования, при котором некоторое свойство раствора (например, окраска или изменение рН) оказывают заметное изменение. Важно отметить, что точка эквивалентности и конечная точка титрования часто не совпадают друг с другом.

6. Индикатор – это сложное органическое соединение, содержащее в своем составе так называемые хромофорные группировки, которое проявляет видимое изменение окраски в ТЭ или вблизи нее.

Требования, предъявляемые к реакциям в титриметрическом анализе

Химические реакции, протекающие между раствором точно известной концентрации (титрантом) и определяемым веществом, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Реакция должна протекать строго в стехиометрическом соотношении. Это означает, что в результате титрования процесс реакции между взаимодействующим веществом и титрантом должен сохранять определенное соотношение.
2. Реакция должна протекать с достаточной скоростью, чтобы титрование можно было провести быстро.
3. Реакция должна протекать количественно, т.е. практически до конца, т.е. константа равновесия реакции должна быть достаточно большой.
4. При титровании не должны протекать побочные реакции.
5. Химическая реакция должна позволять точно определять конечную точку титрования вблизи точки эквивалентности.

Реактивы, используемые в титриметрическом анализе

1. *Первичный стандарт (первичное стандартное вещество)* – вещество высокой степени чистоты, использующееся для установления концентрации титранта – для его стандартизации.
2. *Вторичное стандартное вещество (вторичный стандарт)* – вещество, использующееся для стандартизации; содержание активного компонента в нем определяется с помощью первичного стандарта.

Требования, предъявляемые к первичным стандартным веществам:

1. Высокая степень чистоты (строгий стехиометрический состав).
2. Отсутствие гигроскопичности.
3. Устойчивость на воздухе.
4. Большая молярная масса (будет уменьшать относительную ошибку при взвешивании).

5. Коммерческая доступность.

6. Отсутствие токсического воздействия на организм и окружающую среду.

В качестве первичных стандартов в аналитической химии часто используют, например, декагидрат тетрабората натрия (буру) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, дигидрат щавелевой кислоты – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА, трилон Б).

3. Под **стандартным раствором** понимают раствор, имеющий известную концентрацию активного компонента.

4. **Стандартизация** – процесс нахождения концентрации активного компонента в растворе. Стандартизацию осуществляют чаще всего путем титрования его стандартным раствором.

Классификация методов титриметрического анализа

Классификация методов титриметрического анализа основана на различных типах используемых реакций.

1. Кисотно-основное титрование (протолитометрия; метод нейтрализации) – титрование, основанное на реакции переноса протона от кислоты к основанию. В связи с этим различают ацидиметрическое титрование и алкалиметрическое титрование.

1.1. Ацидиметрическое титрование (ацидиметрия) – это титрование, основанное на определении веществ титрованием стандартным раствором кислоты.

1.2. Алкалиметрическое титрование (алкалиметрия) – это титрование, основанное на определении веществ путем их титрования стандартным раствором сильного основания.

2. Окислительно-восстановительное титрование (редоксиметрия, редоксиметрическое титрование) – титрование, сопровождаемое переходом одного и большего числа электронов от восстановителя к окислителю.

3. Осадительное титрование – это вид титрования, при котором титруемое (анализируемое) вещество при взаимодействии с титрантом выделяется из раствора в виде осадка.

4. Комплексонометрическое титрование – титрование вещества раствором специального соединения (комплексона), которое будет образовывать с определяемым веществом устойчивый растворимый комплекс.

Виды титрования, используемые в титриметрическом анализе

В титриметрическом анализе широко распространены следующие виды титрования:

1. прямое титрование;
2. обратное титрование,
3. косвенное титрование, или титрование по замещению;

В данном методическом пособии представлены основные расчеты только для проведения прямого титрования.

Прямое титрование – это такой вид титрования, при котором определяемое вещество непосредственно взаимодействует с титрантом. Основные типы расчетов, используемые при проведении прямого титрования представлены в разделе: «Ответы и решения демонстрационного варианта».

Способы выражения концентраций в титриметрическом анализе

1. Молярная концентрация – количество растворенного вещества А, содержащееся в одном литре раствора:

$$c(A) = n(A)/V(A)$$

Единица измерения – [моль/л].

2. Молярная концентрация эквивалента, или нормальность раствора (устаревшее название) – количество растворенного вещества А, соответствующее эквиваленту А, содержащееся в одном литре раствора:

$$c(1/z A) = n(1/z A)/V(A)$$

$1/z$ – фактор эквивалентности; рассчитывается для каждого участника на основании стехиометрии реакции;

$n(1/z A)$ – количество вещества, равное эквиваленту А в растворе, моль

Единица измерения молярной концентрации эквивалента [моль/л]

3. Титр $T(A)$ растворенного вещества А – это масса растворенного вещества А, содержащаяся в одном миллилитре раствора:

$$T(A) = m(A)/V(A) = c(1/z A) \cdot M(1/z A)/1000$$

$M(1/z A)$ – молярная масса эквивалента растворенного вещества А, г/моль

Единица измерения – [г/мл].

4. Массовая доля вещества (А) – это отношение массы вещества А к общей массе раствора:

$$\omega = m_{(в-ва)}/m_{(р-ра)} \times 100\%$$

Чаще всего массовую долю выражают в %.

Посуда, используемая в титриметрическом анализе и техника работы с ней

1. Мерные колбы

Мерные колбы применяют для приготовления растворов с заданными концентрациями. Мерные колбы бывают разного объема на 25, 50, 500, 1000 мл. Для приготовления титранта (раствора с точной концентрацией) часто используют мерные колбы на 1000 мл. Готовить стандартный раствор можно, используя фиксанал, либо по навеске (если титрант изначально представляет собой твердое вещество), либо разбавлением более концентрированного раствора (в случае, если титрант представляет собой концентрированный раствор кислоты).

В данном пособии будет подробно описан способ приготовления стандартного раствора титранта путем разбивания ампулы фиксанала, поскольку данный способ является достаточно простым, не требует проведения расчетов и фиксанальные ампулы большинства титрантов, в том числе и кислот, являются коммерчески доступными.

1. Перед приготовлением раствора необходимо убедиться в чистоте мерной колбы. Чтобы помыть мерную колбу необходимо залить в нее небольшое количество моющей смеси, имеющейся в лаборатории. Затем круговыми движениями распределить моющую смесь по стенкам посуды и также круговыми движениями аккуратно вылить моющую смесь в раковину. Затем промыть колбу водопроводной водой и тщательно ополоснуть дистиллированной водой.

2. Теперь необходимо приступить к помывке фиксанала. Необходимо удалить с фиксанала все надписи и тщательно промыть его под проточной водой. Затем несколько раз ополоснуть внешние стенки ампулы дистиллированной водой и протереть их фильтровальной бумагой.

3. Далее в мерную колбу необходимо поместить стеклянную воронку и используя боек, который прилагается в комплекте к фиксаналам, разбить ампулу над воронкой и аккуратно перенести все содержимое ампулы в колбу.

4. После этого необходимо промыть ампулу дистиллированной водой в объеме 6-кратным объему фиксанала. Все промывные воды аккуратно должны быть перенесены в колбу.

5. Далее ополаскиваем воронку дистиллированной водой и проводим растворение содержимого фиксанала в колбе, постепенно добавляя воды. Сначала наливают воду до $1/3$ или $1/2$ вместимости колбы и, не закрывая пробкой, кругообразными движениями перемешивают содержимое колбы. Затем добавляют ее до горла колбы, после чего приливают его тонкой струйкой из промывалки, немного не доводя до метки. Последние порции воды приливают в колбу из капельницы до тех пор, пока вогнутый мениск жидкости своей нижней частью не сольется с линией метки. При этом после добавления каждой капли колбу поднимают перед собой за верхнюю часть шейки (выше метки) так, чтобы метка находилась на уровне глаз. После доведения уровня жидкости до метки колбу закрывают пробкой и хорошо перемешивают полученный раствор, переворачивая колбу вверх вниз.

2. Пипетки

Пипетки предназначены для точного отбора жидких проб. Пипетки могут быть классифицированы на градуированные и неградуированные. Градуированные пипетки имеют шкалу деления, что позволяет отбирать различные объемы жидкости. Неградуированные пипетки не имеют шкалы, а рассчитаны только на строго заданный объем. К ним можно отнести широко используемые в лабораторном практикуме аналитические пипетки Мора. Пипетки калибруются на вытекание, т.е., если заполнить пипетку анализируемым раствором, а затем вылить этот раствор, то объем выливаемого раствора будет соответствовать вместимости пипетки. При отборе аликвоты и последующем ее перенесении в колбу для титрования, в носике пипетки остается всегда небольшое количество раствора. Его не в коем случае нельзя выдувать грушей в колбу, поскольку он уже учтен при проведении процедуры калибровки пипетки. Рассмотрим теперь правильную технику работы с пипеткой.

Техника работы с аналитической пипеткой Мора

1. Перед началом проведения эксперимента пипетку необходимо промыть одной из моющих средств, имеющейся в лабораторном практикуме, а затем несколько раз тщательно ополоснуть дистиллированной водой. Для этого пипетку необходимо взять правой рукой, а грушу для забора жидкости – левой рукой. При этом пипетку необходимо держать за верхний конец большим и средним пальцами.
2. Далее пипетку погружают в моющую смесь и засасывают раствор при помощи груши до тех пор, пока раствор не поднимется выше уровня риски на 3-5 см.
3. Затем закрывают верхний конец пипетки и переносят ее из колбы в раковину. Держа ее над раковиной и придав ей горизонтальное положение, сливают моющую смесь. Такую процедуру повторяют 2-3 раза. Затем пипетку промывают несколько раз дистиллированной водой. **Нельзя сливать раствор через верхний конец пипетки, иначе он попадет в грушу.**

Стоит отметить, что для отбора аликвотной части раствора проводят аналогичную процедуру, но с некоторыми уточнениями.

1. Для удобства работы анализируемый раствор наливают в чистый химический стакан.

2. Для отбора аликвоты анализируемого раствора помещают пипетку в стакан и засасывают жидкость до уровня, немного превышающего метку.
3. Закрывают верхний конец пипетки указательным пальцем и вынимают пипетку с жидкостью из раствора.левой рукой обтирают снаружи нижнюю часть пипетки полоской фильтровальной бумаги.
- 4.левой рукой берут химический стакан с раствором и держат его в наклонном положении (под углом 45°), а правой - приставляют нижний конец пипетки к внутренней стенке стакана. При этом пипетка должна находиться в строго вертикальном положении (угол 90°), а метка – на уровне глаз.
5. Слегка приоткрывают указательный палец, удерживающий жидкость в пипетке, и дают раствору плавно стечь до тех пор, пока нижний край мениска не будет на уровне метки.
6. снова быстро прижимают палец к верхнему краю пипетки и переносят отобранную порцию жидкости в коническую колбу (колбу Эрленмейера).

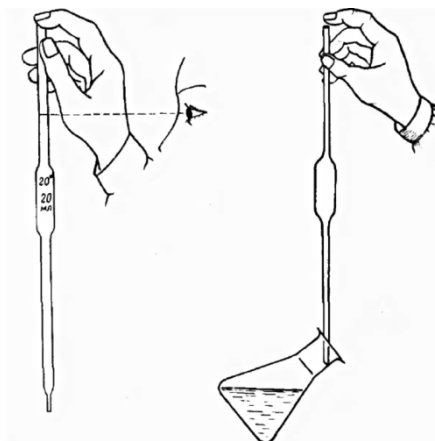


Рис.1. Техника отборы аликвотной доли

3. Бюретки

Еще одним из важнейших атрибутов химика-аналитика является **бюретка**. Основное ее назначение – это постепенное (по каплям) добавление титранта к анализируемому раствору. Она представляет собой длинную стеклянную трубку, с нанесенной шкалой деления, к суженному концу которой с помощью резинового шланга присоединяют оттянутый стеклянный капилляр. Затвором обычно служит стеклянный шарик соответствующего размера и диаметра, находящийся в резиновом шланге. Это так называемые шариковые бюретки. Вторая разновидность бюреток имеет в нижнем конце краник, аккуратным поворотом которого производят добавление титранта к анализируемому раствору. На практическом этапе конкурса обычно встречаются шариковые бюретки, но могут быть и бюретки с краником. Поэтому при подготовке крайне важно освоить технику работы с каждым из типов бюреток. Чтобы заставить вытекать титрант из шариковой бюретки, нужно слегка сжать резину сбоку в том месте, где помещается шарик. Стоит отметить, что если в качестве титранта выступают вещества, способные разрушать резину (например, перманганат и дихромат калия), то для титрования необходимо использовать только бюретки со стеклянным краном. Обращаю внимание на то, что бюретка градуирована по длине на миллилитры и их десятые доли.

Бюретка, точно также, как и пипетка, требует особых правил обращения. Ниже представлены основные из них.

Техника работы с бюреткой

1. Перед началом работы тщательно промывают бюретку в соответствии с указаниями, приведенными ранее для пипеток, после чего ее протирают снаружи фильтровальной бумагой.
2. Дважды ополаскивают бюретку раствором, который в ней будет находиться, при слитый раствор в титровании использовать нельзя.
3. Подготовленную к работе бюретку закрепляют вертикально на штативе, и через верхнюю ее часть, при помощи воронки для бюретки, наливают титрант таким образом, чтобы его уровень находился выше нулевой отметки.
4. После того, как титрант поместили в бюретку, необходимо удалить пузырьки воздуха из нижнего конца бюретки (носика). Для этого отгибают его кверху и выпускают жидкость до тех пор, пока весь воздух не будет удален.
5. Устанавливают уровень титранта в бюретке на нулевом уровне.
6. Для титрования опускают носик бюретки в коническую колбу (колбу Эрленмейера) с анализируемым раствором так, чтобы он был направлен в центр колбы.
7. Осуществляют процедуру титрования следующим образом: нажимают левой рукой на резиновый наконечник сбоку от шарика, при этом титрант из бюретки сливается в колбу. Колбу при этом необходимо вращать для перемешивания. Титрование прекращают, когда наступает резкое изменение окраски индикатора от приливания одной капли титранта, и записывают объем израсходованного раствора. Такую процедуру повторяют не менее 3-5 раз.
8. По окончании работы титрант из бюретки сливают, а бюретку промывают дистиллированной водой. В конце бюретку наполняют дистиллированной водой и закрывают верхнюю часть колпачком для защиты от попадания пыли и посторонних примесей.

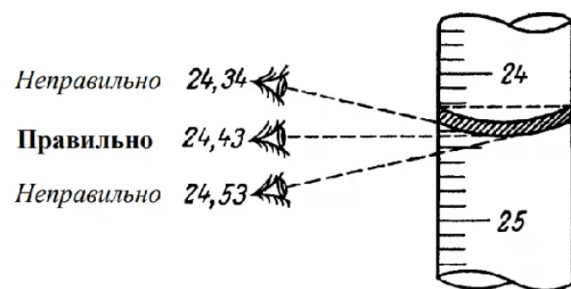


Рис.2. Определение положения мениска жидкость на бюретке

**Демонстрационный вариант практического этапа Московского конкурса
межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис.
Потенциал» в номинации «Инженерный класс» по химико-
технологическому направлению**

***Количественное определение содержания ионов цинка в анализируемом
растворе методом комплексонометрического титрования***

Задание:

Методом комплексонометрического титрования, определить молярную концентрацию ионов цинка в анализируемом растворе, выданном преподавателем.

Реактивы: 0,05 М раствор трилона Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты, ЭДТА), раствор аммиачного буфера (рН = 10), индикатор эриохром черный Т

Оборудование: Бюретка 25-50 мл – 1 шт, мерная колба 100 мл, колбы Эрленмейера - 100 мл – 3шт, пипетка Мора 10 мл – 1 шт, груша резиновая – 1 шт, воронка для бюретки –1 шт., мерный цилиндр 50 мл – 1 шт., шпатель для отбора индикатора – 1 шт.

Методика определения: Из мерной колбы на 100 мл в колбу Эрленмейера отбирают пипеткой Мора 10 мл анализируемого раствора, добавляют 20-25 мл аммиачного буферного раствора, отмеренного с помощью цилиндра, и вносят на кончике шпателя 5-6 мг индикатора эриохрома черного Т и интенсивно перемешивают содержимое колбы. Наблюдают окрашивание раствора в красно-фиолетовый цвет. Полученный раствор титруют стандартным раствором трилона Б до перехода окраски индикатора из красно-фиолетовой в синюю. Титрование осуществляют не менее 3-5 раз.

Результаты анализа отразить в виде отчета, в котором необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Указать результаты титрования (объем затраченного титранта для каждой пробы) в виде таблицы.
2. Вывести конечную формулу и рассчитать молярную концентрацию (моль/л) цинка в анализируемом растворе. Ответ записать с точностью до тысячных.
3. Вывести конечную расчетную формулу и рассчитать массу ионов цинка (г) в анализируемом растворе. Ответ записать с точностью до сотых.
4. Теоретически описать химические процессы, протекающие при комплексонометрическом титровании.

Критерии оценивания

Критерии оценивания	Баллы
1. Работа в соответствии правилами техники безопасности и эксплуатации лабораторной посуды: Правильная техника работы с бюреткой Правильная техника работы с аналитической пипеткой (отбор аликвотной части) Правильная техника проведения процедуры титрования	20 б 5 б 5 б 10 б
2. Вывод конечной формулы (с расчетом) молярной концентрации ионов цинка в анализируемом растворе Представлена конечная формула (без вывода) и расчет Не представлена формула и отсутствует расчет	10 б 5 б 0 б
3. Вывод конечной формулы (с расчетом), массы ионов цинка в анализируемом растворе Представлена конечная формула (без вывода) и расчет Не представлена формула и отсутствует расчет	10 б 5 б 0 б
4. Представлена формула и представлен расчет относительной погрешности Представлена формула и не представлен расчет относительной погрешности Не представлена формула и не представлен расчет относительной погрешности	10 б 5 б 0 б
5. Подробно описаны все химические процессы, протекающие при комплексонометрическом титровании При описании химических процессов учащимся допущено ряд неточностей Химические процессы не описаны вовсе	10 б 5 б 0 б

Максимальный балл, который может получить участник за практическую часть – 60 баллов. Минимальный – 30 баллов.

В случае дистанционной формы сдачи экзамена участнику будут выданы результаты экспериментальной части в формате наблюдений. Участнику также нужно будет проанализировать полученные результаты и теоретически описать процессы, лежащие в основе эксперимента.

Ответы и решение демонстрационного варианта

1. Результаты титрования удобно представлять в виде таблицы:

№	$V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+})$, мл	$V(\text{ЭДТА})$, мл
1		
2		
3		
4		
5		

$$V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) = \dots, \text{ мл}$$

2. Вывод конечной расчетной формулы для определения молярной концентрации(моль/л) ионов цинка в анализируемом растворе:

$$n(\text{ЭДТА}) = n(\text{Zn}^{2+})$$

$$c(\text{ЭДТА}) \cdot V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) =$$

$$c(\text{Zn}^{2+}) \cdot V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+})$$

$$c(\text{ЭДТА}) \cdot V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) / V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+}) =$$

+))

3. Вывод конечной расчетной формулы для определения массы ионов цинка в анализируемом растворе

$$n(\text{ЭДТА}) = n(\text{Zn}^{2+})$$

$$c(\text{ЭДТА}) \cdot V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) = c(\text{Zn}^{2+}) \cdot V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+})$$

$$c(\text{Zn}^{2+}) = c(\text{ЭДТА}) \cdot V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) / V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+})$$

также $c(\text{Zn}^{2+}) = n(\text{Zn}^{2+}) / V_{\text{к}}(\text{Zn}^{2+}) =$

$= m(\text{Zn}^{2+}) / M(\text{Zn}^{2+}) \cdot V_{\text{к}}(\text{Zn}^{2+})$, следовательно,

$$m(\text{Zn}^{2+}) = \frac{c(\text{ЭДТА}) \cdot V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА}) \times M(\text{Zn}^{2+}) \cdot V_{\text{к}}(\text{Zn}^{2+})}{V_{\text{min}}(\text{Zn}^{2+})}$$

где,

$n(\text{ЭДТА})$ – количество вещества ЭДТА, моль

$n(\text{Zn}^{2+})$ – количество вещества цинка в анализируемом растворе, моль

$V_{\text{ср.}}(\text{ЭДТА})$ – средний объем добавленного титранта, мл

$V_{\text{к}}$ – объем колбы, в мл

$V_{\text{пип}}$ – объем пипетки, в мл

$m(\text{Zn}^{2+})$ – масса ионов цинка в анализируемом растворе, в г

$M(\text{Zn}^{2+})$ – молярная масса цинка, г/моль

4. Теоретическое описание химических процессов, протекающих в результате комплексометрического титрования

При взаимодействии трилона Б с гидратом аммиака происходит депротонирование индикатора и образование комплексного соединения иона цинка с индикатором. Также происходит связывание ионов оксония с молекулами гидрата аммиака.

При взаимодействии титранта с аммиачным буферным раствором протекает реакция с образованием устойчивого при данном значении pH аниона ЭДТА. Далее протекает химическая реакция взаимодействия титранта с ионами цинка. В конечном итоге комплекс цинка с индикатором разрушается поскольку образуется более устойчивый комплекс с ЭДТА и высвобождается свободный индикатор.

Список используемой литературы

- [1] Харитонов, Ю.Я. Аналитическая химия (аналитика). Т.2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа: Учебник для вузов / Ю.Я. Харитонов. - М.: Высшая школа, 2010. - 559с.
- [2] Хаханина, Т.И. Аналитическая химия: Учебное пособие для бакалавров/ Т.И. Хаханина, Н.Г. Никитина. – М.: Юрайт, ИД Юрайт, 2012. – 278 с.
- [3] Ищенко А.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: В 2 т. Т. 2: Учебник/ А.А. Ищенко. – М.: Академия, 2012. -384 с.
- [4] Ищенко А.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: В 2 т. Т. 2: Учебник/ А.А. Ищенко. – М.: Академия, 2018. -512 с.