

Министерство здравоохранения Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»

Кафедра общей и биоорганической химии

Авторы:

А.К. Довнар, старший преподаватель кафедры;
М.В. Одинцова, старший преподаватель кафедры;
Ж.Н. Громыко, старший преподаватель кафедры;
А.И. Макаренко, к.б.н, доцент кафедры.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для проведения лабораторного занятия
по учебной дисциплине «Медицинская химия»
для студентов

I курса лечебного факультета,
обучающихся по специальности 7-07-0911-01 «Лечебное дело»

Тема 3: Кислотно-основное титрование

Время: 2 часа

Утверждено на заседании кафедры
общей и биоорганической химии
(протокол от 23.05.2026 № 13)

УЧЕБНЫЕ И ВОСПИТАТЕЛЬНЫЕ ЦЕЛИ, МОТИВАЦИЯ ДЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

Учебная цель:

- формирование у студентов базовой профессиональной компетенции для решения диагностических, научно-исследовательских и иных задач профессиональной деятельности на основе знаний о сущности и классификации методов кислотно-основного титрования;
- формирование умений и навыков работы с мерной посудой, умения выполнять расчеты в титриметрическом анализе, готовить и стандартизировать раствор соляной кислоты определенной концентрации;
- ознакомление с ролью кислотно-основного титрования в медико-биологических исследованиях и клиническом анализе.

Воспитательная цель:

- развить свой целостно-личностный, духовный потенциал;
- сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;
- научиться соблюдать учебную и трудовую дисциплину, нормы медицинской этики и деонтологии;
- осознать социальную значимость своей будущей профессиональной деятельности.

Задачи:

В результате проведения учебного занятия студент должен

знать:

- теоретические основы метода кислотно-основного титрования (нейтрализации) и его виды (ацидиметрия и алкалиметрия);
- кислотно-основные индикаторы, выбор индикатора при проведении анализа;
- роль метода нейтрализации в медико-биологических исследованиях и клиническом анализе;

уметь:

- проводить расчеты в методе кислотно-основного титрования на основе закона эквивалентов;
- правильно выбирать вид кислотно-основного титрования, рабочий раствор, стандартный раствор, способ фиксирования точки эквивалентности при проведении анализа;

владеть:

- навыками приготовления и стандартизации растворов соляной кислоты определенной концентрации;
- навыками проведения кислотно-основного титрования.

Мотивация для усвоения темы:

Методы кислотно-основного титрования широко используются в медико-биологических исследованиях.

Кислотно-основное титрование позволяет решать многие задачи, возникающие при клиническом анализе биологических жидкостей, как при постановке диагноза, так и при

лечении больных. Определение кислотности желудочного сока, буферной емкости крови и спинномозговой жидкости – примеры использования кислотно-основного титрования в клинической практике. Кроме того, при помощи метода нейтрализации можно анализировать лекарственные вещества, устанавливать доброкачественность продуктов питания (например, молока).

Большое значение имеет рассматриваемый метод при санитарно-гигиенической оценке объектов окружающей среды. Промышленные стоки могут содержать как кислые, так и щелочные продукты. Закисление или защелачивание природных водоемов и почвы может привести к необратимым последствиям, в связи с чем контроль кислотно-основного баланса чрезвычайно важен.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

1. Методические рекомендации для студентов по теме «Кислотно-основное титрование».
2. Учебные таблицы:
 - а) периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева;
 - б) таблица растворимости кислот, оснований и солей;
3. Справочные материалы по основным физико-химическим величинам.
4. Химические реактивы и оборудование, необходимые для проведения лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ТЕМЕ ЗАНЯТИЯ

1. Теоретические основы кислотно-основного титрования (метод нейтрализации).
2. Важнейшие индикаторы метода.
3. Расчеты в методе кислотно-основного титрования.

ХОД ЗАНЯТИЯ

Теоретическая часть

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО ТИТРОВАНИЯ (МЕТОД НЕЙТРАЛИЗАЦИИ)

К методу кислотно-основного титрования относят все определения, в основе которых лежит реакция нейтрализации:



В зависимости от природы титранта, используемого в анализе, различают **2 типа кислотно-основного титрования:**

1) ацидиметрия;

- *рабочие растворы:* растворы HCl , H_2SO_4 ;
- *первичные стандарты:* растворы $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (бура), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;
- *анализируемые растворы:* растворы сильных и слабых оснований, солей слабых кислот;

2) алкалиметрия;

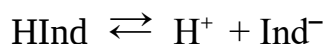
- *рабочие растворы:* растворы NaOH , KOH ;

- *первичные стандарты*: растворы $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (щавелевая кислота) и $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ (янтарная кислота);
- *анализируемые растворы*: растворы сильных и слабых кислот, солей слабых оснований [1-8].

2. ВАЖНЕЙШИЕ ИНДИКАТОРЫ МЕТОДА

Реакции между кислотами и основаниями не сопровождаются, как правило, какими-либо внешними эффектами, поэтому для фиксирования точки эквивалентности приходится использовать специальные вещества – индикаторы.

Кислотно-основные индикаторы – слабые кислоты или основания, степень ионизации которых определяется концентрацией катионов водорода в растворе. Для индикатора-кислоты HInd в водном растворе существует равновесие:



Молекулярная HInd и ионная Ind^- -формы индикатора имеют разную окраску. Таким образом, концентрация ионов H^+ влияет на соотношение концентраций HInd и Ind^- , что, в свою очередь, определяет характер или яркость окраски. Индикаторы изменяют свою окраску не скачкообразно, а плавно, т.е. в определенном интервале значений pH , называемом *интервалом перехода окраски*. Для каждого индикатора можно определить значение pH , при котором происходит наиболее отчетливое изменение окраски. Это значение pH называют *показателем титрования индикатора*. Кислотно-основные индикаторы характеризуются различными показателями титрования. Для правильного определения точки эквивалентности нужно в каждом отдельном случае выбирать такой индикатор, чтобы его показатель титрования (pT) был наиболее близок к pH раствора в точке эквивалентности.

Таблица 1 – Кислотно-основные индикаторы

Название индикатора	Интервал перехода окраски, pH	Окраска	
		Кислая среда	Щелочная среда
Метилоранж	3,1 – 4,4	Розовая	Желтая
Лакмус	5,0 – 8,0	Красная	Синяя
Фенолфталеин	8,0 – 10,0	Бесцветная	Малиновая

В аналитической практике при титровании сильных кислот сильным основанием чаще других применяют метилоранж и фенолфталеин; при титровании слабого основания сильной кислотой – метилоранж; при титровании слабой кислоты сильным основанием – фенолфталеин. При наличии в растворе двух кислот, двух оснований или двух гидролизующихся солей фиксируют две точки эквивалентности при помощи двух индикаторов [1-8].

3. РАСЧЕТЫ В МЕТОДЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО ТИТРОВАНИЯ

Расчеты в кислотно-основном методе титрования базируются на законе эквивалентов.

В точке эквивалентности количество молей эквивалента анализируемого вещества равно количеству молей эквивалента титранта:

$$n(1/z A) = n(1/z T)$$

Для нахождения концентрации определяемого компонента в растворе или его массы удобно использовать следующие формулы:

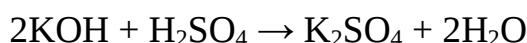
$$C(1/z A) \cdot V(A) = C(1/z T) \cdot V(T)$$

$$\frac{m(A)}{M(1/z A)} = \frac{C(1/z T) \cdot V(T)}{1000}$$

Пример 1. Для нейтрализации 50 мл раствора KOH было использовано 12,5 мл 0,5 М раствора H₂SO₄. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента KOH в растворе?

Решение:

1. Уравнение химической реакции, лежащей в основе титрования:



2. Согласно закону эквивалентов, в точке эквивалентности:

$$n(1/z \text{ KOH}) = n(1/z \text{ H}_2\text{SO}_4)$$

3. Выражаем количество вещества эквивалентов через соответствующие величины, исходя из условия задачи:

$$C(1/z \text{ KOH}) \cdot V(\text{KOH}) = C(1/z \text{ H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$C(1/z \text{ KOH}) = \frac{V(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot C(1/z \text{ H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{KOH})};$$

$$C(1/z \text{ H}_2\text{SO}_4) = \frac{C(\text{H}_2\text{SO}_4)}{f_z(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,5}{0,5} = 1 \text{ моль/л}$$

$$C(1/z \text{ KOH}) = \frac{12,5 \cdot 1}{50} = 0,25 \text{ моль/л}$$

Ответ: C(1/z KOH) = 0,25 моль/л

Практическая часть

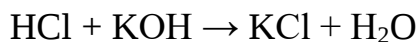
Инструктаж по правилам техники безопасности перед проведением лабораторной работы.

Лабораторная работа № 1

Определение массы KOH в исследуемом растворе

Получите у лаборанта анализируемый раствор KOH в мерной колбе.

1. Уравнение реакции, лежащей в основе определения:



2. **Обоснование выбора индикатора:** титрование необходимо выполнять в присутствии фенолфталеина, т.к. исходный раствор, имеющий щелочную реакцию среды, в точке эквивалентности становится нейтральным, что позволяет наблюдать переход малиновой окраски в бесцветную.

3. Порядок титрования:

а) заполните бюретку рабочим раствором соляной кислоты известной концентрации;

б) анализируемый раствор KOH доведите до метки дистиллированной водой в мерной колбе на 50 мл;

в) в колбу для титрования отберите 10 мл исследуемого раствора калий гидроксида, добавьте 4 капли фенолфталеина;

в) оттитруйте рабочим раствором HCl при непрерывном перемешивании до обесцвечивания;

г) титрование выполните в трех повторностях. Результаты запишите в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты титрования исследуемого раствора KOH рабочим раствором соляной кислоты

№	V(KOH) мл	V(HCl) мл	C(1/zKOH) моль/л	T(KOH) г/мл	m(KOH) г
1					
2					
3					

4. Обработка результатов титрования:

В соответствии с законом эквивалентов:

$$n(1/z \text{ HCl}) = n(1/z \text{ KOH})$$

$$C(1/z \text{ HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = C(1/z \text{ KOH}) \cdot V(\text{KOH})$$

рассчитайте $C(1/z \text{ KOH})$, $T(\text{KOH})$, $m(\text{KOH})$ для трех повторностей.

Массу KOH в исследуемом растворе рассчитайте по формуле:

$$m(\text{KOH}) = T(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}), \text{ где } V = 50 \text{ мл}$$

Результаты вычислений занесите в таблицу 2.

5. Статистическая обработка результатов анализа:

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА результатов анализа позволяет существенно уменьшить влияние случайных ошибок на результат измерения. Она позволяет представить результаты многих определений в компактной форме и оценить надежность полученных результатов, т.е. степень их соответствия истинному содержанию элемента в образе.

Общепринятой является ниже приведенная методика статистической обработки результатов анализа:

1) расчет среднего арифметического значения определяемой величины ($X_{\text{ср.}}$):

$$X_{\text{ср.}} = \sum X_i / n,$$

где n – число измерений;

2) расчет отклонения отдельных измерений от среднего значения (d_i):

$$d_i = X_i - X_{\text{ср.}}$$

3) расчет средней квадратической ошибки (S^2) и стандартного отклонения (S):

$$S^2 = \frac{\sum d_i^2}{nf} \quad S = \sqrt{S^2},$$

где f – число степеней свободы, рассчитываемое по формуле:

$$f = n - 1;$$

4) расчет доверительного интервала результата среднего отклонения (ε_α), являющегося максимальной случайной ошибкой определения. Сущность этого понятия состоит в том, что при некоторой заданной вероятности и заданном числе степеней свободы f результат отдельного измерения X попадает в интервал $X_{\text{ср.}} \pm 2S$.

Доверительный интервал рассчитывается по формуле $\varepsilon_\alpha = \pm S \cdot t$, где t – коэффициент Стьюдента, значения которого при различных p и f приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты Стьюдента при различных значениях заданной вероятности и числа определений

$f = n - 1$	p		
	0,9	0,95	0,99
1	6,31	12,71	63,66
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,01	2,57	4,03

Границы, внутри которых может заключаться каждая определяемая величина X (границы доверительного интервала), определяются формулой:

$$X = X_{\text{ср.}} \pm \varepsilon_\alpha$$

ПРИМЕР: по результатам трех параллельных титрований рассчитайте массу вещества в растворе: $m_1 = 0,0583$ г; $m_2 = 0,0590$ г; $m_3 = 0,0578$ г.

1) найдем среднее арифметическое значение искомой величины:

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} = \frac{0,0583 + 0,0590 + 0,0578}{3} = 0,0584 \text{ г}$$

2) рассчитаем отклонения отдельных измерений от среднего значения:

$$d_1 = m_1 - m_{\text{ср.}} = 0,0583 - 0,0584 = -0,0001$$

$$d_2 = m_2 - m_{\text{ср.}} = 0,0590 - 0,0584 = 0,0006$$

$$d_3 = m_3 - m_{\text{ср.}} = 0,0578 - 0,0584 = -0,0006$$

3) вычислим среднюю квадратическую ошибку и стандартное отклонение:

$$S^2 = \frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}{n(n-1)} = \frac{(-0,0001)^2 + (0,0006)^2 + (-0,0006)^2}{3(3-1)} = 12,1 \cdot 10^{-8}$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{12,1 \cdot 10^{-8}} = 0,0003$$

4) найдем доверительный интервал, принимая заданную вероятность равной 0,95. В этом случае при трех параллельных измерениях коэффициент Стьюдента равен 4,30.

$$\varepsilon_{\alpha} = \pm S \cdot t = \pm 0,0003 \cdot 4,30 = \pm 0,0013$$

Ответ аналитической задачи должен быть представлен так:

$$m(\text{KOH}) = 0,0584 \pm 0,0013 \text{ (г)}$$

ФОРМА ОТЧЕТА:

1. Привести в молекулярной и молекулярно-ионной формах уравнения реакций, лежащих в основе выполненных определений.
2. Заполнить таблицу, приведенную в методических указаниях.
3. Привести расчеты массы вещества, содержащегося в исследуемом растворе.
4. Выполнить статистическую обработку полученных результатов.

Контроль усвоения темы

Проводится в форме письменной самостоятельной работы студентов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА (СРС)

Время, отведенное на самостоятельную работу, может использоваться студентами на:

- подготовку к лабораторным занятиям;
- конспектирование учебной литературы;
- выполнение заданий для самоконтроля знаний;
- подготовку тематических докладов, рефератов, презентаций.

Основные методы организации самостоятельной работы:

- изучение тем и проблем, не освещаемых на учебных занятиях;
- написание реферата и оформление презентации;
- выполнение заданий для самоконтроля знаний.

Перечень заданий СРС:

1. На титрование 0,2860 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в присутствии метилового оранжевого израсходовано 24,10 мл раствора HCl . Рассчитайте молярную концентрацию и титр раствора HCl .

Ответ: 0,08299 моль/л; 0,003029 г/мл

2. На титрование 20,00 мл раствора HCl с титром, равным 0,001825 г/мл, израсходовано 23,04 мл раствора NaOH. Вычислите молярную концентрацию эквивалента и титр раствора NaOH.

Ответ: 0,04 моль/л; 0,001600 г/мл

Контроль СРС осуществляется в виде:

- оценки устного ответа на вопрос, сообщения, доклада или презентации;
- индивидуальной беседы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болтromeюк, В. В. Общая химия : пособие для студентов учреждений высш. образования, обучающихся по специальностям 1-79 01 01 "Лечеб. дело", 1-79 01 02 "Педиатрия", 1-79 01 04 "Мед.-диагност. дело", 1-79 01 05 "Мед.-психол. дело", 1-79 01 06 "Сестр. дело" / В. В. Болтromeюк ; УО "ГрГМУ", Каф. общей и биоорганической химии. - Гродно : ГрГМУ, 2020. - 574 с. : ил., фот., табл. - Рек. УМО по высш. мед., фармацевт. образованию.

2. Ткачев, С. В. Общая химия : учеб. пособие для студентов учреждений высш. образования по специальностям "Лечеб. дело", "Педиатрия", "Стоматология", "Мед.-профилакт. дело" / С.В. Ткачев, В.В. Хрусталеv. - Минск : Вышэйшая школа, 2020. - 494, [1] с. : ил., табл. - Допущено М-вом образования Респ. Беларусь.

3. Ершов, Ю. А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. [В 2 кн.] Кн. 1 : учебник для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд ; под ред. Ю. А. Ершова. - 10-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. - 214, [1] с. : ил. - (Бакалавр. Академический курс). - Рек. УМО высш. образования. - Рек. М-вом образования и науки РФ.

4. Ершов, Ю. А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. [В 2 кн.] Кн. 2 : учебник для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд ; под ред. Ю. А. Ершова. - 10-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. - 359, [1] с. : ил., табл. - (Бакалавр. Академический курс). - Рек. УМО высш. образования. - Рек. М-вом образования и науки РФ.

5. Коллоквиум по медицинской химии : сб. заданий / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, БГМУ, Каф. общей химии ; В. В. Хрусталеv [и др.]. - Минск : БГМУ, 2022. - 35, [3] с.

6. Лабораторные работы по медицинской химии : практикум / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, БГМУ, Каф. общей химии ; В. В. Хрусталеv [и др.]. - Минск : БГМУ, 2022. - 46 с. : ил., табл.

7. Медицинская химия : нац. учебник : для студентов высш. учеб. заведений - мед. ун-тов, ин-тов и акад. / В.А. Калибачук, Л.И. Грищенко, В.И. Галинская и др. ; под ред. В.А. Калибачук. - 3-е изд., испр. - Киев : Медицина, 2017. - 399 с. : ил., табл. - Утв. М-вом образования и науки Украины.

8. Руководство к лабораторным занятиям по общей химии : учеб.-метод. пособие для студентов 1 курса лечеб. фак-та учреждений высш. мед. образования / Л. В. Чернышева [и др.]. - Гомель : ГомГМУ, 2019. - 144 с. - Режим доступа: <http://elib.gsmu.by/handle/GomSMU/4752>. Дата доступа: 05.05.2022.