

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 медико-профилактического факультета,
обучающихся по специальности 7-07-0911-02 «Медико-профилактическое дело»

Тема 2: Введение в титриметрические методы анализа

Время: 3 часа

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

УЧЕБНАЯ И ВОСПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, 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 методов титриметрического анализа;

– формирование у студентов навыков работы с мерной посудой; обучение выполнению расчетов в титриметрическом анализе, приготовлению и стандартизации растворов; ознакомление с ролью титриметрического анализа 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:

– формулировку закона эквивалентов и его математическое выражение;

– сущность и классификацию методов титриметрического анализа;

– сущность процесса титрования, понятие о точке эквивалентности и способах ее фиксирования;

– понятие о титрантах и способах их приготовления;

– реакции, используемые в титриметрическом анализе;

– роль титриметрического анализа в медико-биологических исследованиях и клиническом анализе;

уметь:

– выполнять расчеты в титриметрическом анализе на основе закона эквивалентов;

– выбирать метод титриметрического анализа при проведении исследований, рабочий и стандартный растворы, способ фиксирования точки эквивалентности;

– готовить и стандартизировать раствор титранта определенной концентрации;

– проводить титрование;

владеть:

– навыками выполнения расчетов результатов титриметрического анализа, основанных на законе эквивалентов;

– методикой проведения титриметрического анализа.

Мотивация для усвоения темы:

Титриметрический анализ является одним из простых и доступных способов получения химической информации. Он применяется в клинической биохимии для

диагностики ряда патологических состояний. Методы аналитической химии широко используются в биохимических, физиологических, санитарно-гигиенических и др. лабораториях для определения химического состава и количественного содержания отдельных компонентов органов и тканей, изучения обмена веществ, метаболизма лекарств, определения состава воды, почвы, воздуха и т.д. Диагностика большинства заболеваний включает изучение клинических анализов, выполняемых с использованием методов количественного и качественного анализа.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

1. Методические рекомендации для студентов по теме «Введение в титриметрические методы анализа».
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

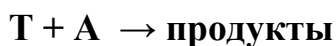
1. Основные понятия титриметрического анализа.
2. Классификация титриметрических методов анализа.
3. Закон эквивалентов. Расчеты в титриметрическом анализе.

ХОД ЗАНЯТИЯ

Теоретическая часть

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Титриметрический (объемный) анализ – метод количественного анализа, основанный на точном измерении объема раствора титранта (Т), израсходованного на реакцию с раствором анализируемого вещества (А) определенного объема:



На рисунке 1 показана схема установки для титрования.

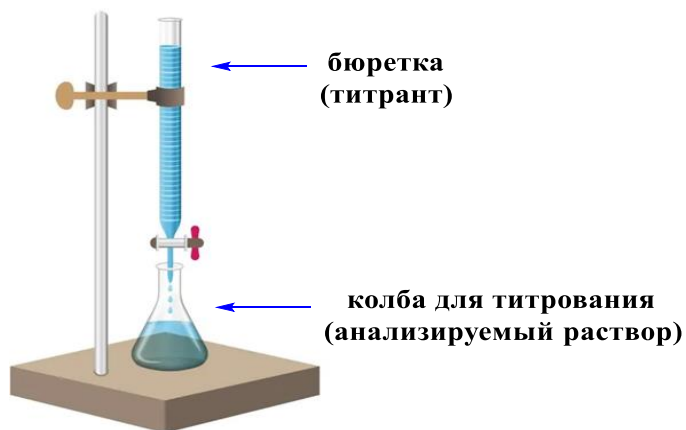


Рисунок 1 – Установка для титрования

Титрование – процесс постепенного добавления титранта к анализируемому раствору вещества, продолжающийся до точки эквивалентности.

Точка эквивалентности (момент эквивалентности) – момент титрования, когда количество вещества эквивалента титранта в добавленном растворе становится равным количеству эквивалента анализируемого вещества.

Достигнув точки эквивалентности, титрование заканчивают и отмечают объем раствора титранта, пошедший на данную реакцию. Точку эквивалентности определяют с помощью химических методов, используя индикаторы (вещества, которые в области точки эквивалентности изменяют свой цвет), или с помощью приборов, фиксирующих изменение какого-то свойства среды в процессе титрования (физико-химические методы: потенциометрические, кондуктометрические, фотоколориметрические и т.д.).

Титрант – раствор точно известной концентрации, применяемый для титрования. Титранты бывают двух видов: стандартные растворы (первичные стандарты) и стандартизованные (рабочие) растворы (вторичные стандарты).

Стандартные растворы готовят растворением точной навески вещества, взвешенной на аналитических весах, в определенном объеме растворителя. Зная массу растворенного вещества (m) и объем полученного раствора (V), можно вычислить его титр: $T = m/V$.

Для приготовления первичных стандартов применяют только вещества, удовлетворяющие требованиям:

- а) должны быть химически чистыми, т.е. содержание посторонних примесей не более 0,05-0,1 %;
- б) их состав должен строго соответствовать формуле;
- в) должны быть устойчивыми при хранении и в твердом виде, и в растворе;
- г) должны иметь (по возможности) большую молекулярную массу, чтобы уменьшить погрешность при взвешивании.

Если вещества не удовлетворяют этим требованиям, готовят *вторичные стандарты* в виде растворов с приблизительной концентрацией и затем определяют точную концентрацию растворенного вещества (стандартизируют) по подходящим первичным стандартам.

Для приготовления титрантов применяют также фиксаналы. *Фиксаналы* (стандарт-титры, первичные стандарты) – вещества в строго определенном количестве, обычно 0,1 моль, содержащиеся в стеклянных ампулах. Ампулу разбивают специальным бойком в воронке; содержимое переносят количественно в мерную колбу и разбавляют до определенного объема. Растворение содержимого фиксанала в мерной колбе позволяет сразу получать стандартный раствор, значительно сокращая время на его приготовление.

К реакциям, используемым в титриметрическом анализе, предъявляют определенные требования [1-6]:

- 1) реакция должна быть практически необратимой; константа равновесия реакции должна быть больше 10^8 ;
- 2) реакция должна протекать в соответствии со стехиометрическим уравнением реакции, без побочных продуктов;

3) реакция должна протекать с достаточно большой скоростью, т.е. за 1-3 секунды;

4) должен существовать надежный способ фиксирования точки эквивалентности.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Разнообразные методы титриметрического анализа можно классифицировать по типу используемых реакций и по способу проведения анализа [1, 5, 6].

Классификация методов анализа по типу реакции, которая лежит в основе метода:

- *кисотно-основное титрование* (реакции нейтрализации);
- *оксидиметрия* (окислительно-восстановительные реакции);
- *осадительное титрование* (реакции, сопровождающиеся образованием осадка);

Широко применяемый метод осадительного титрования – аргентометрическое титрование, в ходе которого определяют концентрацию анионов (CN^- , PO_4^{3-} , CrO_4^{2-} и др.), образующих малорастворимые соединения с ионами Ag: $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$

- *комплексометрия* (реакции комплексообразования).

В комплексометрии чаще всего используют динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты – трилон Б, Na_2 -ЭДТА. Этот комплексон хорошо растворим в воде и образует прочные комплексы с большинством ионов металлов в соотношении 1:1 вне зависимости от степени окисления иона металла, что очень удобно.

Классификация методов анализа по способу выполнения титрования:

- *прямое;*
- *обратное;*
- *косвенное титрование.*

Сущность прямого титрования заключается в постепенном добавлении титранта непосредственно к раствору анализируемого вещества до достижения точки эквивалентности.

Сущность обратного титрования заключается в добавлении к анализируемому раствору точно известного избытка титранта 1 с последующим определением его остатка, не вступившего в реакцию, с помощью титранта 2.

Сущность косвенного титрования заключается в добавлении к анализируемому веществу избытка реагента, вступающего с ним в реакцию, с последующим определением количества продукта реакции путем титрования.

Косвенное титрование применяют в тех случаях, когда прямое или обратное титрование раствора анализируемого вещества невозможно или вызывает затруднение, т.е. непосредственная реакция анализируемого вещества и титранта не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к реакциям, применяемым в титриметрии.

3. ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТОВ. РАСЧЕТЫ В ТИТРИМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Расчеты массы или концентрации определяемого компонента в титриметрии базируются на законе эквивалентов [1, 5].

Закон эквивалентов: вещества взаимодействуют друг с другом и образуются в результате химических реакций в количествах, пропорциональных их эквивалентам.

Или, другими словами, количества эквивалентов всех веществ, вступивших в реакцию и образовавшихся в результате реакции, численно равны между собой.

Для реакции $A + B \rightarrow C + D$ справедливо соотношение:

$$n(1/z A) = n(1/z B) = n(1/z C) = n(1/z D)$$

$n(1/z X)$ – химическое количество эквивалента вещества X , моль.

$$n(1/z X) = \frac{m(X)}{M(1/z X)} = \frac{m(X)}{f_z(X) \cdot M(X)}$$

Соответственно, массы реагирующих веществ и продуктов их взаимодействия пропорциональны их эквивалентным массам:

$$\frac{m(A)}{M(1/z A)} = \frac{m(B)}{M(1/z B)} = \frac{m(C)}{M(1/z C)} = \frac{m(D)}{M(1/z D)}$$

Расчеты в титриметрическом анализе основаны на том, что 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:

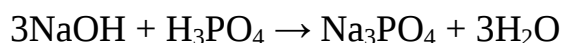
$$C(1/z A) \cdot V(A) = C(1/z T) \cdot V(T)$$

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

Пример 1. Сколько граммов H_3PO_4 содержится в растворе, если на его титрование в присутствии фенолфталеина затрачено 25,50 мл 0,2000 М раствора NaOH (при условии полной нейтрализации)?

Решение:

1. Уравнение химической реакции, лежащей в основе титрования:



2. Согласно закону эквивалентов, в точке эквивалентности:

$$n(1/z H_3PO_4) = n(1/z NaOH)$$

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

$$\frac{m(H_3PO_4)}{M(1/z H_3PO_4)} = \frac{C(1/z NaOH) \cdot V(NaOH)}{1000};$$

$$M(1/z \text{H}_3\text{PO}_4) = M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot f_z(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \cdot \frac{1}{3} = 32,67 \text{ г/моль}$$

4. Находим массу ортофосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{M(1/z \text{H}_3\text{PO}_4) \cdot C(1/z \text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{1000}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{32,67 \cdot 0,2000 \cdot 25,50}{1000} = 0,167 \text{ г}$$

Ответ: 0,167 г

Практическая часть

Инструктаж по правилам техники безопасности перед проведением лабораторной работы.

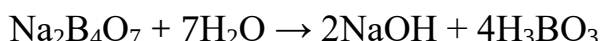
Лабораторная работа

Установление молярной концентрации эквивалента и титра рабочего раствора соляной кислоты по стандартному раствору натрий тетрабората.

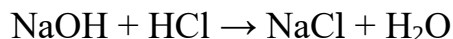
Выполнение опыта:

1. Уравнения реакций, лежащих в основе определения.

При растворении в воде бура сильно гидролизуеться по аниону с образованием слабой борной кислоты:



При титровании соляной кислотой равновесие гидролиза смещается практически полностью вправо, т.к. щелочь, выделяющаяся при гидролизе, нейтрализуется кислотой:



Суммируя эти два уравнения, получаем:



2. Выбор индикатора: раствор в точке эквивалентности содержит NaCl и свободную H_3BO_3 , которая обуславливает слабокислую реакцию среды; титрование выполняют в присутствии метилоранжа до перехода желтой окраски в красную.

3. Порядок титрования:

а) бюретку ополаскивают изнутри приготовленным раствором HCl и заполняют до нулевой отметки. Следят за тем, чтобы в носике бюретки не было пузырьков воздуха. Бюретку устанавливают в штативе строго вертикально;

б) готовят пробы раствора натрий тетрабората для титрования. Из общей лабораторной склянки в чистый стакан наливают около 50 мл раствора. Аналитической пипеткой переносят по 10 мл раствора в каждую из трех конических колб для титрования. В каждую колбу добавляют по 1-2 капли метилоранжа;

в) титруют раствор натрий тетрабората раствором HCl из бюретки. Первое титрование носит ориентировочный характер. Добавляя небольшими порциями из бюретки титрант, постоянно перемешивают содержимое колбы. Титрование

заканчивают, когда от 1 капли титранта произойдет изменение окраски из желтой в красную. Второе и последующие титрования проводят более точно. Сначала в колбу для титрования быстро добавляют титрант в объеме, меньшем на 0,5 мл объема, определенного при ориентировочном титровании. Затем титрант добавляют по каплям, внимательно следя за изменением окраски раствора. Титрование прекращают, когда заметное изменение окраски происходит при добавлении всего одной капли.

Титрование повторяют до тех пор, пока не будет получено три сходящихся, т.е. отличающихся друг от друга не более чем на 0,1 мл, результата. Все результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты титрования рабочего раствора HCl стандартным раствором Na₂B₄O₇

№	V(Na ₂ B ₄ O ₇), мл	V(HCl), мл	V _{ср.} (HCl), мл	C(1/z HCl), моль/л	T(HCl), г/мл
1	10,0				
2	10,0				
3	10,0				

4. Расчет результатов:

а) объем раствора HCl, пошедший на титрование, находят как среднее арифметическое из 3-х результатов:

$$V_{\text{ср.}}(\text{HCl}) = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

б) вычисления молярной концентрации эквивалента и титра производят с использованием закона эквивалентов;

по закону эквивалентов: $n(1/z \text{ HCl}) = n(1/z \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)$

$$C(1/z \text{ HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = C(1/z \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) \cdot V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)$$

$$C(1/z \text{ HCl}) = \frac{C(1/z \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) \cdot V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}{V(\text{HCl})}$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{C(1/z \text{ HCl}) \cdot M(1/z \text{ HCl})}{1000}$$

Результаты вычислений заносят в таблицу 1.

ФОРМА ОТЧЕТА:

1. Привести в молекулярной и молекулярно-ионной формах уравнения реакций, лежащих в основе выполненных определений.

2. Заполнить таблицу 1.

3. Привести расчеты молярной концентрации эквивалента и титра рабочего раствора HCl.

Контроль усвоения темы

Проводится в форме устного опроса 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. Сколько миллилитров 0,1 М раствора AgNO_3 будет использовано для титрования 5 мл 0,2 М раствора NaCl :

- а) 5 мл; б) 1 мл; в) 2,5 мл; г) 10 мл; д) 100 мл?

2. Для титрования 5,0 мл раствора серной кислоты использовали 4,12 мл 0,102 М раствора NaOH . Рассчитайте молярную концентрацию эквивалента H_2SO_4 в анализируемом растворе.

Ответ: 0,0841 моль/л

3. 9,7770 г концентрированного раствора HNO_3 разбавили водой, чтобы получить 1 литр раствора в мерной колбе. Для титрования 25,0 мл полученного раствора использовали 23,40 мл 0,1040 М раствора NaOH . Определите массовую долю азотной кислоты в ее концентрированном растворе.

Ответ: 62,73 %

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. 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.

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

4. Общая и бионеорганическая химия : пособие / В.П. Хейдоров [и др.] ; под ред. В.П. Хейдорова. – Витебск : [ВГМУ], 2023. – 524, [1] с. – Режим доступа: https://www.elib.vsmu.by/bitstream/123/24676/1/Obshchaia_i_bioneorganicheskaia_khimiia_Khejdorov-VP_2023.pdf. – Дата доступа: 17.06.2023.

5. 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: 17.06.2023.

6. 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.