

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ
СТУДЕНТОВ ПО КУРСУ
«АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:
О.Ф. Стоянова,
И.В. Шкутина,
В.Ф. Селеменев

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2008

Утверждено научно-методическим советом фармацевтического факультета
14 мая 2008 г., протокол № 1500-05

Рецензент профессор, д-р хим. наук В.Н. Семенов

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре аналитической химии химического факультета Воронежского государственного университета.

Рекомендуется для студентов 2 курса высшего профессионального образования дневного, вечернего и 2, 3 курсов заочного отделений фармацевтического факультета.

Для специальности: 060108 – Фармация

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Тема I. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	5
Тема II. ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА. КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ (ПРОТОЛИТОМЕТРИЯ)	9
Тема III. ХРОМАТОГРАФИЯ	14
Тема IV. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА. СПЕКТРОМЕТРИЯ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЯХ. ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ	19
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ	22

ВВЕДЕНИЕ

Цель и задачи преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является обучение студентов теоретическим и практическим основам, классическим химическим и физико-химическим методам количественного анализа, а также овладение навыками идентификации веществ с помощью аналитических реакций качественного анализа.

Задача настоящего курса состоит в том, чтобы на основании полученных теоретических знаний и практического овладения методами химического и физико-химического анализов, а также методами расчета результатов эксперимента, студенты могли правильно выбирать методы исследования вещества в соответствии с поставленной перед ними проблемой, разработать схему анализа, практически провести его и интерпретировать полученные результаты.

Требования к уровню освоения содержания дисциплины

Студент должен знать и уметь использовать:

- методические аспекты аналитической химии с учетом особенностей анализа биологически активных веществ и лекарственных препаратов;
- вопросы метрологии химического анализа, источники ошибок количественного анализа, некоторые понятия математической статистики и представление результатов количественного анализа;
- классификацию методов качественного анализа, аналитическую классификацию катионов по группам, качественный анализ анионов и методы анализа смесей анионов различных групп;
- методы выделения, разделения и идентификации катионов и анионов;
- химические методы количественного анализа;
- теоретические основы инструментальных физико-химических методов анализа и их применение при проведении различных определений;
- умение выбрать наилучший метод или методы для конкретного этапа аналитических определений;
- разработка плана анализа, предусматривающего оценку последовательности операций;
- интерпретировать и представлять результаты анализа.

Студент должен иметь навыки:

1. Самостоятельно работать с учебной и справочной литературой по аналитической химии.
2. Отбирать среднюю пробу, составлять схему анализа, проводить качественный и количественный анализ вещества в пределах использования основных приемов и методов, предусмотренных программой.
3. Выполнять исходные вычисления, итоговые расчеты с использованием статистической обработки результатов количественного анализа.

4. Пользоваться мерной посудой, аналитическими весами.
5. Владеть техникой выполнения основных аналитических операций при качественном и количественном анализе вещества.
6. Готовить и стандартизировать растворы аналитических реагентов.
7. Работать с основными типами приборов, используемых в анализе (микроскопы, фотоэлектроколориметры, флуориметры, спектрофотометры, потенциометры, установки для кулонометрии, хроматографы и др.).
8. Оформлять протоколы анализов.
9. Применять полученные знания для анализа лекарственных средств и других биологически активных веществ.

Основные знания, необходимые для изучения аналитической химии:

– неорганическая, физическая и коллоидная химия (свойства элементов и их соединений, основы химической кинетики, теория термодинамики фазовых превращений, растворов электролитов, ионных равновесий, поверхностных явлений, способы расчета химических равновесий по известным исходным концентрациям и константе равновесия);

– органическая химия (свойства органических соединений, природа химических связей и электронные представления о строении органических соединений, механизмы реакций и методы анализа в органической химии);

– физика, биофизика (физические методы исследования, основы оптики, квантовой механики, основы термодинамики, поверхностные явления – адсорбция, десорбция, биофизика биологических мембран и процессы переноса через мембраны);

– основы высшей математики и информатики (статистический анализ экспериментальных данных и современное математическое обеспечение информатики и вычислительной техники);

– биохимия (основные закономерности метаболизма лекарственных средств, биохимические основы вариабельности метаболизма лекарств, клеточные мембраны, их свойства, механизм транспорта чужеродных соединений);

Тема I. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Актуальность темы. Самый ответственный этап работы химика-аналитика – это интерпретация и представление результатов. Профессиональный долг химиков-аналитиков – гарантировать, что получаемые ими результаты пригодны для решения тех задач, для которых они предназначены. Сотрудники аналитических лабораторий несут ответственность за то, что результаты предоставляемые заказчикам, являются правильными и могут быть проверены путем сопоставления с данными, полученными другими. Правильность результатов должна быть достаточной для верного при-

нения решений, базирующихся на их основе. Поэтому величину погрешности следует рассчитывать общепринятыми способами и представлять в легко интерпретируемой форме. Полная погрешность (неопределенность) результата должна быть рассчитана или хотя бы оценена и представлена вместе с самими результатами (либо отдельно по требованию заказчика).

Представляемые результаты должны включать среднюю измеренную величину и стандартное отклонение, характеризующее случайную погрешность. При представлении общей погрешности (неопределенности), включающей также и систематическую составляющую, необходимо дополнительно указать стандартное отклонение и число параллельных измерений.

Целью изучения темы является усвоение фундаментальных понятий, касающихся типов, источников и распространения погрешностей в химическом анализе; значение понятий «систематическая погрешность» и «правильность» в аналитической химии; рассмотрение основной информации, необходимой для представления аналитических данных.

План изучения темы

1. Значащие цифры и правила округления.
2. Классификация погрешностей: абсолютная погрешность, относительная погрешность, систематическая и случайная погрешность.
3. Обработка результатов анализа методами математической статистики. Основные понятия математической статистики и их применение в количественном анализе: генеральная и выборочная совокупность, математическое ожидание, дисперсия, стандартное отклонение, распределение Стьюдента. Сравнение дисперсий и средних.
4. Построение градуировочного графика.
5. Предел обнаружения. Диапазон определяемых содержаний.

Вопросы для самоконтроля

1. Смысл понятия «точность химического анализа»?
2. Что характеризует правильность химического анализа?
3. О чем свидетельствует близость результатов параллельных определений компонента?
4. Чем отличаются понятия «сходимость» и «воспроизводимость»?
5. Как проверить правильность результатов химического анализа?
6. Как повысить точность метода или методики?
7. Что такое «промах»?
8. Как выявить наличие «промаха»?
9. Что называют погрешностью химического анализа?
10. Перечислите основные признаки систематических погрешностей.
11. Приведите примеры источника систематических погрешностей.

12. Имеет ли значение абсолютная и относительная погрешность химического анализа?
13. Что такое «контрольный опыт»?
14. Приведите примеры систематических погрешностей, которые можно вычислить а priori?
15. Что должен сделать экспериментатор перед применением математической статистики для обработки данных химического анализа?
16. Что обозначают приемы «релятивизации» и «рандомизации» данных химического анализа?
17. Дайте определение генеральной и выборочной совокупности данных.
18. Когда химик-аналитик может считать, что имеет генеральную совокупность результатов?
19. Какому виду распределения подчиняются обычно данные химического анализа?
20. Назовите постоянные параметры нормального распределения случайной величины.
21. Что характеризует дисперсия, стандартное отклонение и относительное стандартное отклонение выборочной совокупности результатов химического анализа? Приведите формулы для расчета этих величин.
22. Как сравнить по воспроизводимости две выборочные совокупности результатов химического анализа?
23. Как доказать, что результаты двух выборочных совокупностей принадлежат одной и той же генеральной совокупности данных химического анализа?
24. Изложите суть метода наименьших квадратов (МНК).
25. Дайте определение понятия «аналитический сигнал».
26. Чем определяется интервал определяемых концентраций или количеств?
27. Дайте определение «предела обнаружения».
28. Что характеризует понятие «предела обнаружения»?
29. Как рассчитать предел обнаружения?
30. Что такое нижняя граница определяемых количеств или концентраций?
31. Чем определяются нижняя и верхняя границы определяемых количеств или концентраций?

Решение типовых задач

При сложении и вычитании результат имеет не больше значащих цифр после десятичной запятой, чем наименьшее число таких цифр среди всех исходящих значений.

Пример 1. Рассчитаем молекулярную массу HNO_3 . Атомные массы элементов равны: Н 1,00797; N 14,0067; O 15,9994.

Решение. Мол. масса = $1,00797 + 14,0067 + 47,9982 = 63,01287 \approx 63,0129$ г/моль.

При умножении и делении общее число значащих цифр результата равно наименьшему общему числу значащих цифр среди всех исходных данных.

Пример 2. Рассчитаем молярную концентрацию (М) 70%(масс.) раствора HNO_3 , имеющего плотность 1,413 кг/л.

Решение. $M = 1,413 \cdot \text{кг} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,70 \text{ г} \cdot \text{г}^{-1} \cdot 1000 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1} / 63,0129 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 15,6967 \approx 16$ моль/л.

При логарифмировании число цифр мантииссы логарифма равно числу значащих цифр исходной величины.

Пример 3. Чему равно значение рН для раствора $1,9 \cdot 10^{-2}$ М HNO_3 ?

Решение. $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 1,9 \cdot 10^{-2} = 1,7212 \approx 1,72$.

При потенцировании (вычислении антилогарифмов) число значащих цифр результата равно числу десятичных цифр мантииссы исходной величины.

Пример 4. Чему равна концентрация H^+ для раствора с рН 4,75?

Решение. $[\text{H}^+] = 10^{-4,75} = 1,7782 \cdot 10^{-5} \approx 1,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Пример 5. При титровании аликвоты соляной кислоты раствором гидроксида натрия получена серия значений объемов титранта (мл): 5,15; 5,28; 5,12; 5,16; 5,17. Является ли величина 5,28 мл промахом?

Решение. Применим Q-критерий и найдем отношение

$$Q_{\text{эксн}} = \frac{5,28 - 5,17}{5,28 - 5,12} = 0,69; \quad Q_{\text{крит}} (n = 5) = 0,64.$$

Поскольку $Q_{\text{эксн}} > Q_{\text{крит}}$, значение 5,28 мл является промахом.

При обнаружении промаха в любой серии данных его следует исключить, а оставшуюся серию проверить на промахи еще раз (промах может быть не один). Проверку и исключение промахов следует выполнять всегда перед вычислением среднего.

Пример 6. Из данных, приведенных в примере 5, рассчитайте среднее значение объема титранта и его доверительный интервал. Оцените воспроизводимость значений объемов титранта.

Решение. После исключения промаха 5,28 найдем среднее, дисперсию, стандартное отклонение:

$$\bar{x} = \frac{5,15 + 5,12 + 5,16 + 5,17}{4} = 5,15 \text{ мл};$$

$$V = \frac{(5,15 - 5,15)^2 + (5,12 - 5,15)^2 + (5,16 - 5,15)^2 + (5,17 - 5,15)^2}{4 - 1} = 4,67 \cdot 10^{-4};$$

$$S = \sqrt{V} = 2,16 \cdot 10^{-2} \text{ мл}.$$

Для расчета доверительного интервала выберем доверительную вероятность $P = 0,95$. Дисперсия V имеет $f = n - 1 = 3$ степени свободы, коэффициент Стьюдента $t (P = 0,95; f = 3) = 4,30$. Полуширину доверительного интервала находим как

$$\frac{t_{P,f} \cdot S}{\sqrt{n}} = \frac{4,30 \cdot 2,16 \cdot 10^{-2}}{2} = 0,05 \text{ мл} \text{ (в этой величине оставляем значащие цифры!).}$$

Таким образом, $x = 5,15 \pm 0,05$ мл (результат округляем, оставляем в нем только значащие цифры!).

Для характеристики воспроизводимости используем относительное стандартное отклонение:

$$S_r = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{2,16 \cdot 10^{-2}}{5,15} = 0,004.$$

Литература

1. Харитонов Ю.А. Аналитическая химия (аналитика) : в 2-х томах / Ю.А. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2000.
2. Основы аналитической химии : в 2-х томах / под ред. Ю.А. Золотова. – М. : Высш. шк., 1999.
3. Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2-х томах / Р. Кельнер [и др.]. – М. : Мир, АСТ, 2004.
4. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М. : Химия, 1989.

Тема II. ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА. КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ (ПРОТОЛИТОМЕТРИЯ)

Актуальность темы. Анализ химическими методами – та часть аналитической химии, в которой анализируемую пробу подвергают химическому взаимодействию с аналитическим реагентом. Химические реакции широко используются в методах качественного (идентификация) или количественного анализа. Кроме того, во многих методах разделения часто используются вспомогательные химические реакции, поэтому изучение теоретических основ предопределяет прогресс в области дальнейшего развития классических химических методов, к которым относится титриметрия.

Классические методы постепенно уступают место инструментальному анализу. Однако они остаются непревзойденными по точности: относи-

тельная погрешность определения редко превышает 0,1–0,2 %, тогда как погрешность большинства инструментальных методов – 2–5 %. Классические методы остаются стандартными для оценки правильности определений.

Основная область применения титриметрии – прецизионное определение больших и средних количеств веществ.

Цель изучения темы

– Ознакомиться с различными концепциями кислот и оснований, реакциями переноса протонов.

– Изучить концепцию рН, понять значение рН индикаторов и буферов.

– Научиться рассчитывать концентрации кислот и оснований, а также значение рН растворов и буферов по данным концентрациям.

– Понять суть титриметрических методов количественного анализа. Уяснить общие требования к реакциям в титриметрических методах: реакция должна протекать быстро, стехиометрично и не осложняться другими компонентами раствора. Важным требованием является легкость установления конечной точки титрования.

– Понять, что в гомогенных системах для титриметрии с успехом можно использовать кислотно-основные, окислительно-восстановительные и некоторые реакции комплексообразования. Реакции переноса протона протекают чрезвычайно быстро, и поэтому они очень удобны для титриметрии. Немаловажно и то, что имеется много химических индикаторов и инструментальных способов для обнаружения конечной точки титрования.

План изучения темы

1. Современная концепция кислот и оснований. Теория Бренстеда – Лоури. Протоноакцепторные и протонодонорные свойства в водных растворах.

2. Показатель кислотности рН.

3. Буферные растворы.

4. Сущность титриметрии. Классификация титриметрических методов. Стандартные растворы.

5. Кривые титрования.

6. Кислотно-основные индикаторы. Практическое применение кислотно-основного титрования.

7. Титрование в неводных средах.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие соединения являются в водном растворе кислотами, а какие основаниями с точки зрения протолитической теории Бренстеда – Лоури: HClO_4 , NH_3 , CO_3^{2-} , HS^- , H_2CO_3 , NH_4^+ , S^{2-} , HCOO^- , CH_3COOH , H_2F_2 , H_2PO_4^- ?

2. Что такое амфолит? Укажите, какие из приведенных соединений являются амфолитами: NH_4^+ , HCO_3^- , HF_2^- , CH_3NH_2 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$?
3. Дайте определение кислотно-основной реакции и сопряженной кислотно-основной пары.
4. Чем характеризуется сила кислоты и основания?
5. Как классифицируются растворители по своей способности принимать или отдавать протоны?
6. Какая реакция называется реакцией автопротолиза?
7. Напишите реакции автопротолиза безводной азотной, уксусной кислот, жидкого аммиака, этилендиамина, н-бутанола.
8. Какая связь между константой кислотности и константой основности сопряженной пары кислота–основание и константой автопротолиза растворителя?
9. От каких факторов зависит поведение кислот и оснований в неводных растворителях?
10. Как влияет диэлектрическая проницаемость растворителя на константы диссоциации кислот и оснований?
11. Назовите самые сильные кислоту и основание в воде, жидком аммиаке, в безводной серной кислоте, этаноле.
12. В каком из растворителей HNO_3 ($pK_{\text{SH}} = 2,6$), H_2SO_4 ($pK_{\text{SH}} = 3,6$), CH_3COOH ($pK_{\text{SH}} = 14,4$), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ($pK_{\text{SH}} = 19,0$) при одинаковой концентрации ионов лиония SH_2^+ , равной 7,0, среда будет нейтральной, кислой или щелочной?
13. Что такое нивелирующий и дифференцирующий эффекты растворителя? Какой эффект наблюдается в протофильных растворителях?
14. Почему в апротонных растворителях нивелирующий эффект отсутствует?
15. Как готовят буферные растворы? Чем определяется буферное действие этого раствора?
16. Дайте определение буферной емкости. Какие факторы влияют на буферную емкость?
17. В каком интервале рН наблюдается действие буферного раствора?
18. Как изменяется рН буферного раствора при разбавлении?
19. Чем объясняется буферное действие амфолитов?
20. При каком значении рН буферная емкость раствора максимальна?
21. Укажите способы выражения концентрации стандартных растворов.
22. Дайте определение химического эквивалента и фактора эквивалентности вещества.
23. Дайте определение молярной массы вещества и молярной массы эквивалента вещества.
24. Что такое титрант, титр по определяемому веществу?

25. Какие признаки положены в основу классификации титриметрических методов?
26. Что такое кривая титрования? В каких координатах строятся логарифмические и линейные кривые титрования?
27. Какова роль кривых титрования?
28. Что такое титрование, скачок титрования, точка эквивалентности, конечная точка титрования?
29. Изложите сущность прямого, обратного титрования и титрования заместителя.
30. Обязательно ли совпадение точки эквивалентности и конечной точки титрования?
31. Какова сущность метода кислотно-основного титрования? Как обнаружить конечную точку титрования в кислотно-основном титровании?
32. Приведите примеры первичных и вторичных стандартных растворов, используемых в кислотно-основном титровании. Напишите уравнения реакций, укажите факторы эквивалентности.
33. Почему тетраборат натрия считают универсальным стандартным веществом для кислотно-основного титрования? Напишите уравнения реакций и укажите факторы эквивалентности в каждом конкретном случае.
34. Почему раствор NaOH не должен содержать карбонат-ион? Перечислите способы приготовления раствора NaOH, не содержащего карбонат-иона.
35. Какие свойства растворителей следует учитывать при выборе растворителя для титрования кислот и их смесей (оснований и их смесей)?
36. В каких координатах стоят кривые титрования в методе кислотно-основного титрования?
37. Какие факторы и каким образом влияют на величину скачка и положение точки эквивалентности на кривых титрования сильных кислот сильными основаниями?
38. Какие факторы и каким образом влияют на величину скачка и положение точки эквивалентности на кривых титрования слабых кислот сильными основаниями?
39. Как меняется вид кривой титрования (величина скачка, положение точки эквивалентности) при изменении: а) концентрации растворов; б) величин констант кислотности или основности; в) температуры?
40. Каковы предельные значения констант кислотности или основности, а также концентраций кислот или оснований, при которых наблюдается скачок титрования?
41. Приведите примеры использования разных способов титрования (прямого, обратного, косвенного) в кислотно-основном титровании?
42. Можно ли и каким способом оттитровать борную кислоту раствором сильного основания в водной среде?

43. Можно ли и каким способом оттитровать борную кислоту раствором сильного основания в этиленгликоле?

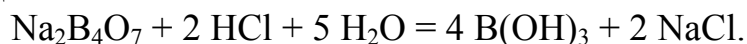
44. Можно ли и каким способом оттитровать ион аммония раствором сильного основания в водной среде?

45. Можно ли и каким способом оттитровать ион аммония раствором сильного основания в этаноле?

46. Можно ли и каким способом оттитровать аминокислоты раствором хлорной кислоты в ледяной уксусной кислоте?

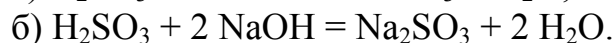
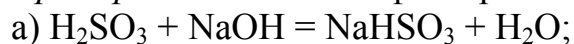
Решение типовых задач

Пример 1. Рассчитайте фактор эквивалентности тетрабората натрия в реакции



Решение. Одна молекула тетрабората натрия взаимодействует с двумя ионами водорода, следовательно, $f_{\text{ЭКВ}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 1/2$.

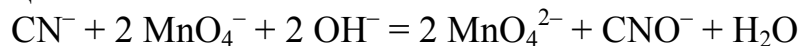
Пример 2. Рассчитайте фактор эквивалентности H_2SO_3 в реакциях:



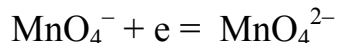
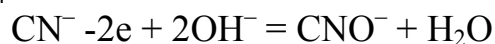
Решение. В реакции (а) только один ион водорода H_2SO_3 взаимодействует с NaOH , следовательно, $f_{\text{ЭКВ}}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1$.

В реакции (б) H_2SO_3 отдает два протона, отсюда $f_{\text{ЭКВ}}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1/2$.

Пример 3. Рассчитайте факторы эквивалентности ионов CN^- и MnO_4^- в реакции



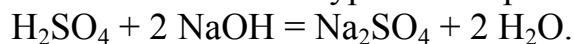
Решение. Напишем полуреакции окисления CN^- и восстановления MnO_4^-



Следовательно, факторы эквивалентности равны $f_{\text{ЭКВ}}(\text{CN}^-) = 1/2$, а $f_{\text{ЭКВ}}(\text{MnO}_4^-) = 1$.

Пример 4. Навеску серосодержащего органического вещества массой 0,1512 г сожгли в токе O_2 , выделившийся SO_2 поглотили раствором H_2O_2 . На титрование образовавшейся H_2SO_4 израсходовали 21,25 мл 0,1000 М раствора NaOH . Рассчитайте массовую долю (%) серы (32,06) в исходном веществе.

Решение. Напишем уравнение реакции



Следовательно, $f_{\text{ЭКВ}}(\text{S}) = 1/2$ и молярная масса эквивалента серы (M_s) равна $32,06 : 2 = 16,03$ г.

Рассчитаем массовую долю (%) серы в образце

$$\omega_s, \% = \frac{C_T V_T M_s \cdot 10^{-3} \cdot 100}{m_{\text{пробы}}} = \frac{0,1000 \cdot 21,25 \cdot 16,03}{10 \cdot 0,1512} = 22,53.$$

Пример 5. При титровании 0,0100 М раствора HCl 0,0100 М NaOH использовали индикаторы фенолфталеин (pT 9,0) и метиловый оранжевый (pT 4,0). Покажите расчетами, какой из индикаторов использовать целесообразнее.

Решение. Величина pH в ТЭ при титровании сильной кислоты сильным основанием определяется константой реакции титрования:

$$pH_{ТЭ} = \frac{1}{2} K_W = 7,0.$$

При использовании фенолфталеина (pT 9,0) погрешность титрования положительная (раствор перетитрован).

$$ПТ, \% = \frac{10^{-(14-pT)} \cdot 2}{C_0} \cdot 100 = \frac{10^{-5} \cdot 2}{10^{-2}} \cdot 100 = 0,2.$$

При использовании метилового оранжевого (pT 4,0) погрешность отрицательная (раствор недотитрован).

$$ПТ, \% = \frac{10^{-pT} \cdot 2}{C_0} \cdot 100 = -\frac{10^{-4} \cdot 2}{10^{-2}} \cdot 100 = -2 \text{ (индикатор непригоден).}$$

Литература

1. Бейтс Р. Определение pH. Теория и практика : пер. с англ. / Р. Бейтс. – Л. : Химия, 1968.
2. Робинсон Р. Растворы электролитов : пер. с англ. / Р. Робинсон, Р. Стокс. – М. : ИЛ, 1963.
3. Харитонов Ю.А. Аналитическая химия (аналитика) : в 2-х томах / Ю.А. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2000.
4. Харитонов Ю.А. Руководство к лабораторным занятиям по аналитической химии / Ю.А. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2002.
5. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы / под ред. Ю.А. Золотова. – М. : Высш. шк., 2002.
6. Фритц Дж. Количественный анализ / Дж. Фритц, Г. Шенк. – М. : Мир, 1978.

Тема III. ХРОМАТОГРАФИЯ

Актуальность темы. Хроматография – наиболее часто используемый аналитический метод. Новейшими хроматографическими методами можно проанализировать газообразные, жидкие и твердые вещества с молекулярной массой от 1 до 10^6 . С помощью хроматографии получена обширная информация о строении и свойствах многих классов органических соединений. Хроматографию с успехом применяют в исследовательских и клинических целях в самых разных областях биологии и медицины, в фармацевтике и криминалистике: для терапевтического мониторинга в связи с ростом нелегального употребления наркотиков, идентификации антибио-

тиков и отнесения их к той или иной группе антибактериальных препаратов, для анализа отдельных наиболее важных классов пестицидов.

Цель изучения темы. Понять основные принципы разделения веществ за счет распределения их между неподвижной и подвижной фазами. Изучить наиболее важные хроматографические методы, такие как газовая хроматография (ГХ), высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), тонкослойная хроматография (ТСХ) и ионная хроматография (ИХ).

План изучения темы

1. Принципы хроматографического разделения.
2. Обзор хроматографических методов.
3. Получение и параметры хроматографии.
4. Теории хроматографии.
5. Качественный и количественный анализ.
6. Газовая и газожидкостная хроматография.
7. Высокоэффективная жидкостная хроматография.
8. Тонкослойная хроматография.
9. Ионная хроматография.

Вопросы для самоконтроля

1. Коэффициент распределения компонента А больше, чем компонента В. Сравните V_R (А) и V_R (В); R_f (А) и R_f (В).
2. Можно ли сделать вывод о природе вещества на основании хроматографических данных?
3. В каком интервале значений может изменяться величина R_f ?
4. Как обнаруживают и идентифицируют компоненты на бумажных и тонкослойных хроматограммах?
5. Какие методы позволяют хроматографировать одновременно несколько образцов?
6. Нарисуйте выходную кривую при фронтальном способе получения хроматограммы смеси соединений А, В, С, если коэффициенты распределения увеличиваются от А и С.
7. Нарисуйте интегральную и дифференциальную кривые элюирования соединений А, В и С (пики разрешены до базовой линии).
8. В каком хроматографическом методе основной фактор, определяющий удерживание компонента, – растворение в неподвижной фазе?
9. Как зависит время (объем) удерживания от растворимости соединения в подвижной фазе?
10. Как изменяется время (объем) удерживания молекул в эксклюзионной хроматографии с увеличением их размера?

11. Что такое мертвый объем колонки? Какие объемы он в себя включает?
12. Почему в хроматографическую колонку вводят обычно малые количества определяемых соединений?
13. Что такое относительный удерживаемый объем и относительное время удерживания?
14. Что такое стандартное отклонение хроматографического пика? В каких единицах измеряется эта величина?
15. Что является наиболее важной причиной размывания хроматографического пика?
16. Почему пик неудерживаемого компонента может быть асимметричным?
17. Почему для оценки вкладов различных факторов в размывание хроматографического пика используют их дисперсии?
18. Как экспериментально определить высоту, эквивалентную теоретической тарелке?
19. Какая из теорий хроматографии дает основу для оптимизации хроматографического процесса?
20. Нарисуйте зависимость высоты, эквивалентной теоретической тарелке, от скорости потока подвижной фазы в газовой хроматографии.
21. Изобразите графически 4σ -разделение соединений А и В; чему равно в этом случае разрешение?
22. Изобразите графически 6σ -разделение соединений А и В; чему равно в этом случае разрешение?
23. Изобразите графическую зависимость эффективности колонки от селективности при $R_s = 1; 2$.
24. Как связана форма пика с видом изотермы сорбции?
25. Изобразите форму пятна на плоскостной хроматограмме, соответствующую линейной, выпуклой и вогнутой изотерме сорбции.
26. Назовите три способа детектирования в газовой и жидкостной хроматографии.
27. Какие детекторы предпочтительнее в хроматографическом анализе – универсальные или селективные?
28. Величина сигнала каких детекторов в газовой хроматографии зависит от природы газа-носителя?
29. Почему при использовании в качестве детектора катарометра теплопроводность газа-носителя должна быть как можно большей?
30. Какую информацию можно получить из хроматограмм при использовании двух последовательно соединенных детекторов?
31. Какие параметры хроматографического пика используют для количественного анализа?
32. Перечислите основные методы количественного хроматографического анализа. В каких случаях используют тот или иной метод?

33. В каких случаях в количественном хроматографическом анализе измеряют высоту пика, площадь пика?

34. Перечислите способы измерения площади хроматографического пика.

35. В каких координатах строят градуировочный график, чтобы некоторое изменение экспериментальных условий (температуры, скорости потока и др.) не оказывало влияния на количественное хроматографическое определение компонента?

36. Какие экспериментальные данные подтверждают, что исследователь проводит количественный хроматографический анализ в области линейности изотермы сорбции?

37. Какова роль подвижной фазы в газовой и жидкостной хроматографии?

38. Приведите примеры неподвижных фаз в газотвердофазной и газожидкостной хроматографии.

39. Какую неподвижную фазу в газожидкостной хроматографии называют селективной?

40. Приведите примеры неподвижных фаз в адсорбционной высокоэффективной жидкостной хроматографии.

41. Сравните размеры хроматографических колонок в газовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

42. Сравните скорость потока подвижной фазы в газовой и жидкостной хроматографии.

43. Почему в жидкостной хроматографии предпочитают подвижные фазы с низкой вязкостью?

44. Сравните эффективность различных вариантов газовой и жидкостной хроматографии. Как ее повысить?

45. Как вычислить эффективность капиллярной колонки в хроматографии?

46. Как влияет диаметр капиллярной колонки на ее эффективность?

47. Что такое градиентное элюирование в газовой и жидкостной хроматографии?

48. Какие преимущества дает программирование температуры в газовой хроматографии?

49. Чем отличается нормально- и обращено-фазовый вариант ВЭЖХ?

50. Как получить на основе гидрофобизированного силикагеля адсорбент для ион-парной хроматографии?

51. Как повысить элюирующую силу подвижной фазы в ионной хроматографии, в нормально-фазовой и обращено-фазовой ВЭЖХ?

52. Какие неподвижные фазы используют в ионной хроматографии для разделения анионов и катионов?

53. Какие выводы можно сделать на основании кривых титрования ионообменников? Какие их характеристики можно определить?

54. Что такое обменная емкость ионообменников?
55. Зависит ли селективность ионообменника от его емкости?
56. Как изменяется способность к катионному обмену при переходе от одного элемента к другому в группах Периодической системы?
57. Как провести деионизацию воды с помощью ионообменников? Напишите уравнения реакций.
58. Почему РЗЭ невозможно разделить при их элюировании с колонки, заполненной катионообменником, раствором хлорида натрия? Если же в элюент добавить цитрат, то ионы РЗЭ четко разделяются?
59. Как найти скорость, определяющую стадию ионного обмена?
60. Какая стадия процесса ионного обмена является лимитирующей при низких ($< 0,01$ М) и высоких ($> 0,01$ М) концентрациях сорбата?

Литература

1. Харитонов Ю.А. Аналитическая химия (аналитика) : в 2-х томах / Ю.А. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2000.
2. Основы аналитической химии : в 2-х томах / под ред. Ю.А. Золотова. – М. : Высш. шк., 1999.
3. Васильев В.П. Аналитическая химия : в 2-х ч. / В.П. Васильев. – М. : Высш. шк., 1989.
4. Юинг Д. Инструментальные методы химического анализа / Д. Юинг. – М. : Мир, 1989.
5. Сакодынский К.И. Аналитическая хроматография / К.И. Сакодынский, В.В. Бражников, С.А. Волков. – М. : Химия, 1993. – 464.
6. Прикладная хроматография / под ред. К.И. Сакодынского. – М. : Наука, 1984.
7. Березкин В.Г. Количественная тонкослойная хроматография / В.Г. Березкин, А.С. Бочков. – М. : Наука, 1980.
8. Количественный анализ хроматографическими методами / под ред. Э. Кац. – М. : Мир, 1990.
9. Стыскин Е.Л. Практическая ВЭЖХ / Е.Л. Стыскин, Л.Б. Ициксон, Е.В. Брауде. – М. : Химия, 1986.
10. Шпигун О.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод / О.А. Шпигун, Ю.А. Золотов. – М. : Изд-во МГУ, 1990.
11. Айвазов Б.В. Основы газовой хроматографии / Б.В. Айвазов. – М. : Высшая школа, 1977.

Тема IV. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА. СПЕКТРОМЕТРИЯ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЯХ. ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Актуальность темы. Контроль качества лекарственных веществ включает три основных этапа: испытание на подлинность (идентификация), испытание на чистоту (определение примесей) и количественное определение фармакологически активных компонентов. Фармацевтический анализ с применением спектроскопических методов осуществляется на всех этапах разработки: в процессе производства, контроля качества конечного продукта и многочисленных лекарственных форм, представляющих собой смесь нескольких лекарственных и вспомогательных веществ. Из-за столь широкого разнообразия объектов, требования к чувствительности, правильности, воспроизводимости, продолжительности анализа могут быть разными. Спектроскопические методы все шире внедряются в фундаментальные фармацевтические исследования и в практику фармацевтического анализа. Они используются для идентификации и количественного определения различных групп лекарственных веществ, их стандартных образцов, а также таблеток, мазей, инъекционных растворов, капель и других многокомпонентных лекарственных смесей.

Наиболее доступны для использования в фармацевтическом анализе спектрофотометрия в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) областях. Эти методы включены в Государственную Фармакопею СССР, в Международную Фармакопею.

Цель изучения темы. Познакомить студентов с теоретическими и практическими основами одного из самых широко применяемых в области медицины и фармации разделов спектрального анализа – молекулярной абсорбционной спектроскопии.

План изучения темы

1. Основы метода молекулярной абсорбционной спектроскопии. Основной закон светопоглощения и отклонения от него. Представление спектров поглощения. Измерение поглощения абсорбционными способами в УФ и видимой области.

2. Аналитическое применение спектрофотометрии в ультрафиолетовой (УФ) и видимой областях. Качественный анализ. Способы определения концентрации.

3. Инфракрасная спектроскопия. Основы метода. Техника эксперимента. Способы пробоподготовки. Аналитическая информация. Нормальные колебания. Групповые частоты. Интенсивность полос. Применение для структурного анализа. Количественный анализ по ИК спектрам.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните следующие термины: стационарные состояния, энергетические уровни, основное (нормальное) состояние, возбужденное состояние, поглощение, испускание, фотон, длина волны, частота, волновое число, спектральная линия, интенсивность спектральной линии, заселенность энергетических уровней, спектр поглощения, спектр испускания.
2. Объясните происхождение спектров испускания (эмиссионных) и спектров поглощения (абсорбционных) атомов и молекул с позиций квантовой теории.
3. Какими линиями характеризуются линии и полосы, наблюдаемые в спектрах испускания и поглощения?
4. Какие энергетические уровни и переходы изучают в: а) атомной спектроскопии; б) в молекулярной спектроскопии?
5. Для каких систем характерно появление: а) линейчатых; б) полосатых спектров?
6. Какие из указанных частиц K , Na , CO , Ar , N_2 , $CaOH$, MnO_4^- , CH_3 имеют в электронных спектрах линии, а какие – полосы?
7. Какой интервал длин волн отвечает оптическому диапазону?
8. Какой области спектра соответствует излучение с длиной волны: а) 703 нм; б) 11,5 см; в) 3,62 мкм? Каким энергетическим переходам оно отвечает? Какие методы анализа основаны на этих переходах?
9. Какие типы переходов в молекуле вызываются поглощением а) ультрафиолетового; б) видимого; в) инфракрасного излучения?
10. Изобразите схематически расположение энергетических уровней, соответствующих σ -, π - и n -молекулярным орбиталям, и укажите возможные типы электронных переходов между ними.
11. В каких диапазонах длин волн получают УФ-, видимые, ИК-спектры?
12. Объясните наблюдаемые цвета веществ, основываясь на их спектрах.
13. Приведите закон Бера и его основные ограничения.
14. Приведите блок-схему и опишите принципы работы спектрометра с монохроматором в УФ / видимой области.
15. Какую информацию можно получить, изучая оптические свойства веществ в УФ / видимом диапазоне?
16. Перечислите наиболее важные хромофоры в УФ / видимом диапазоне.
17. Как возникает поглощение, обусловленное полем лигандов, и в каком разделе аналитической химии это явление играет важную роль (приведите примеры)?
18. Опишите химические процессы и практические этапы колориметрического «сухого» определения глюкозы или мочевины в образцах сыворотки крови.

19. Перечислите и опишите особенности колебательной спектроскопии, обусловившие ее значимость для аналитической химии.

20. На какие четыре части делят спектральный ИК-диапазон и какую аналитическую информацию можно получить, работая в этих диапазонах?

21. Сравните способы генерации аналитического сигнала в ИК и УФ / видимой спектроскопии.

22. Изобразите и опишите основные узлы современных ИК спектрометров.

23. Какие источники излучения используют в ИК-спектрометрах при работе с ближним, средним, дальним ИК-диапазонами?

24. Какие детекторы используют в ИК-спектрометрах при работе с ближним, средним, дальним ИК-диапазонами?

25. Сравните основные узлы спектрометров с монохроматорами для работы в ИК и УФ / видимом диапазоне.

26. Приведите требования, предъявляемые к пробоподготовке в ИК-спектроскопии.

27. Каким образом и до каких пределов можно проводить микроанализ органических образцов методами ИК-спектроскопии?

28. Какие колебания являются вырожденными?

29. Назовите основные групповые частоты в ИК-спектроскопии.

30. Какие колебания проявляются в области отпечатков пальцев? Каково аналитическое значение этой области? Колебания каких функциональных групп расположены в этой области?

31. Приведите основной закон, используемый для количественного анализа, и области его применения в ИК-спектроскопии.

32. Какую важную информацию можно получить из спектров в ближней ИК-области?

33. Какую важную информацию можно получить из спектров в дальней ИК-области?

Литература

1. Харитонов Ю.А. Аналитическая химия (аналитика) : в 2-х томах / Ю.А. Харитонов. – М. : Высш. шк., 2000.
2. Основы аналитической химии : в 2-х томах / под ред. Ю.А. Золотова. – М. : Высш. шк., 1999.
3. Петерс Д. Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии : в 2-х томах ; пер. с англ. / Д. Петерс, Дж. Хайес, Г. Хифтѐ. – М. : Химия, 1978.
4. Аналитическая химия. Проблемы и подходы : в 2-х томах / Р.Кельнер [и др.]. – М. : Мир, АСТ, 2004.
5. Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии / К. Бенуэлл. – М. : Ми, 1976.
6. Пешкова В.М. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии / В.М. Пешкова, Н.И. Громова. – М. : Высшая школа, 1976.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Выберите правильную запись определения рН для реального раствора:

А. $\text{pH} = -\ln[\text{HA}]$;

Б. $\text{pH} = -\lg a_{\text{HA}}$;

В. $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+}$;

Г. $\text{pH} = -\ln c_{\text{H}^+}$.

2. Титруют 0,1000 М раствор аммиака 0,1000 М раствором НСl. Какая величина рН будет соответствовать точке эквивалентности? pK_a для аммиака равен 4,75.

А. 5,27;

Б. 8,73;

В. 3,57;

Г. 9,15.

3. Сколько миллилитров 5%-го раствора $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, взятого с 10%-м избытком, нужно для осаждения сульфат-иона из 10,00 мл 5,5%-го раствора серной кислоты (плотностью 1,035 г/мл)? $M_r(\text{BaCl}_2) = 208,23$; $M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,07$.

А. 52,67 мл;

Б. 31,24 мл;

В. 12,68 мл;

Г. 5,52 мл.

4. Сколько кальция (г) будет потеряно за счет растворимости $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при промывании его с помощью 200 мл воды? $K_S^0(\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 2,99 \cdot 10^{-9}$.

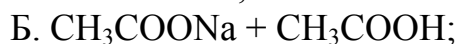
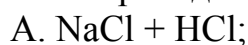
А. $2,0 \cdot 10^{-4}$ г;

Б. $3,3 \cdot 10^{-3}$ г;

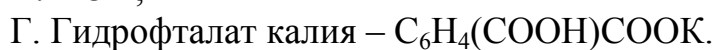
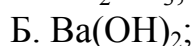
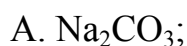
В. $4,4 \cdot 10^{-3}$ г;

Г. $8,0 \cdot 10^{-4}$ г.

5. Из приведенных пар веществ выберите буферную смесь.



6. Какое вещество используют в качестве первичного стандарта для установления титра растворов кислот?



7. Что такое титр?

А. Количество грамм вещества в 1 мл раствора;

- Б. Количество грамм вещества в 1 л раствора;
 В. Количество миллиграмм вещества в 1 мл раствора;
 Г. Количество моль вещества в 1 л раствора.
- 8.** Какую жесткость воды можно определить комплексонометрически?
 А. Временную;
 Б. Общую;
 В. Постоянную;
 Г. Этим методом жесткость воды не определяется.
- 9.** В каких координатах стоят кривую окислительно-восстановительного титрования?
 А. $E - C$ (C -концентрация титранта);
 Б. $E - t$ (t -время);
 В. $E - V$ титранта;
 Г. $E^0 - V$ окислителя.
- 10.** Какое уравнение используют для определения интервала перехода окраски индикатора в окислительно-восстановительном титровании?
 А. $\Delta E = E^0 \pm (0,06 / n)$;
 Б. $\Delta pH = pK \pm 1$;
 В. $\Delta pM = \lg \beta \pm 1$;
 Г. $\Delta E = E^0 \pm 1$.
- 11.** Какой хроматографический параметр является качественной характеристикой для данного компонента?
 А. Отношение времен пребывания компонента в стационарной и подвижной фазах;
 Б. Время от момента ввода пробы до максимума на хроматографическом пике;
 В. Отношение скорости движения вещества к скорости движения подвижной фазы;
 Г. Число теоретических тарелок.
- 12.** Какой параметр служит мерой степени разделения соседних пиков на хроматограмме?
 А. Фактор разделения α ;
 Б. Отношение времен удерживания;
 В. Разрешение R_s ;
 Г. Отношение удерживаемых объемов.
- 13.** Что характеризует величина R_f в хроматографии?
 А. Концентрацию в любых единицах разделяемых соединений;
 Б. Относительную скорость передвижения компонента в данной системе;
 В. Относительное (в %) содержание компонентов разделяемой смеси соединений;
 Г. Знак и величину заряда разделяемых соединений.

14. В каких из перечисленных видов хроматографии возможно разделение ионизированных частиц?

- А. Нормально-фазовой ВЭЖХ ;
- Б. Обращено-фазовой ВЭЖХ;
- В. Ион-парной ВЭЖХ;
- Г. Ионной.

15. В какой области спектра целесообразно использовать приборы с кварцевой оптикой?

- А. УФ область;
- Б. Видимая область;
- В. Ближняя ИК область;
- Г. Дальняя ИК область.

16. Какие способы атомизации используются в серийных атомно-абсорбционных приборах?

- А. Дуга постоянного и переменного тока;
- Б. Пламя и графитовая кювета;
- В. Дуга переменного тока и графитовая кювета;
- Г. Пламя и искра.

17. Какая газовая смесь позволяет получать наиболее высокую температуру пламени?

- А. Ацетилен – воздух;
- Б. Ацетилен – кислород;
- В. Светильный газ – воздух;
- Г. Водород – кислород.

18. Чем отличается фотометр от спектрофотометра?

А. Имеет малую разрешающую способность, спектральная линия или полоса выделяется призмным монохроматором;

Б. Имеет большую разрешающую способность, спектральная линия или полоса выделяется светофильтром;

В. Имеет малую разрешающую способность, спектральная линия или полоса выделяется дифракционной решеткой;

Г. Имеет малую разрешающую способность, спектральная линия или полоса выделяется светофильтром.

19. Какие электроды относятся к электродам второго рода?

- А. Хлоридсеребряный, каломельный;
- Б. Хингидронный, сурьмяный;
- В. Стекланный, водородный;
- Г. Платиновый, серебряный.

20. Что такое кулонометр?

А. Устройство для поддержания постоянной силы тока в цепи кулонометрической установки;

Б. Устройство для поддержания постоянной разности потенциалов между генераторным и вспомогательным электродами;

- В. Устройство для измерения количества электричества;
- Г. Устройство для фиксации конечной точки титрования.

21. Какие параметры следует определять на полярографической кривой для проведения качественного анализа?

- А. Высоту полуволны;
- Б. Потенциал полуволны;
- В. Потенциал начала восстановления;
- Г. Высоту волны.

22. Решение какой задачи возможно методом прямой кондуктометрии?

- А. Анализ многокомпонентных систем;
- Б. Определение солей в присутствии сильных кислот;
- В. Анализ растворов индивидуальных электролитов;
- Г. Определение солей в присутствии щелочей.

23. Для определения натрия в стекле три его навески по 0,1000 г растворили в смеси H_2SO_4 и HF , растворы упарили, остатки обработали разбавленной HCl и перенесли в мерные колбы объемом 250,0 мл. Во вторую и третью колбы добавили, соответственно, 10,00 мл и 20,00 мл стандартного раствора натрия ($C = 250$ мкг/мл). Растворы разбавили водой до метки и фотометрировали в пламени светильный газ – воздух. Соответствующие значения интенсивностей (у.е.) равны 17,0, 26,0 и 35,0. Определите массовую долю (%) натрия в стекле?

- А. 5,72;
- Б. 4,72;
- В. 6,12;
- Г. 10,00.

24. Молярный коэффициент поглощения водорастворимого комплекса никеля с диметилглиоксимом при 470 нм равен $1 \cdot 10^4$. Рассчитайте: а) оптическую плотность раствора комплекса, в 1 мл которого содержится 1 мкг никеля, при толщине поглощающего слоя $l = 1,00$ см; б) его пропускание; в) концентрацию никеля в растворе (мкг/мл), если оптическая плотность раствора, содержащего диметилглиоксимат никеля, и помещенного в кювету с $l = 3,00$ см, равна 0,190 при 479 нм. Атомная масса никеля 58,69.

- А. а) 0,222, б) 0,600, в) 0,286;
- Б. а) 0,235, б) 0,296, в) 0,542;
- В. а) 0,768, б) 0,437, в) 0,922;
- Г. а) 0,462, б) 0,124, в) 0,363.

25. При определении железа в виде моносulfосалицилатного комплекса пропускание раствора, содержащего 0,115 мг металла в 25,00 мл раствора, равно 54,5 % при толщине поглощающего слоя $l = 2,00$ см. Рассчитайте молярный коэффициент поглощения комплекса. Атомная масса железа 55,85.

- А. $1,6 \cdot 10^3$ л / моль · см;
- Б. $2,8 \cdot 10^5$ л / моль · см;
- В. $4,5 \cdot 10^4$ л / моль · см;
- Г. $6,7 \cdot 10^2$ л / моль · см.

Учебное издание

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО КУРСУ
«АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:

Стоянова Ольга Федоровна,
Шкутина Ирина Викторовна,
Селеменев Владимир Федорович

Редактор И.Г. Валынкина

Подписано в печать 21.07.08 . Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,5.
Тираж 50 экз. Заказ 1178.

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. 208-298, 598-026 (факс)
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: pp_center@ppc.vsu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3. Тел. 204-133.