

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Аналитической химии

Елисеева Т.В.

24.04.2024 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.04 Теория и практика ионного обмена

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

04.04.01 Химия

2. Профиль подготовки/специализация: Физическая химия

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: аналитической химии

6. Составители программы: Хохлов Владимир Юрьевич, д.х.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

7. Рекомендована: НМС химического факультета № 4 от 11.04.2024

(наименование recommending structure, date, protocol number,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2024/2025

Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью освоения учебной дисциплины является ознакомление магистров с современным состоянием исследований в области ионного обмена и адсорбции для научно-исследовательской и практической деятельности

Задачи учебной дисциплины:

- в рамках курса дать представления о теоретической и практической основах ионообменных процессов, включающих термодинамику, кинетику и динамику ионного обмена;
- представить математические модели, позволяющие описать ионообменные и сорбционные процессы;
- рассмотреть конкретные примеры практического применения ионного обмена для селективного разделения и выделения компонентов;
- привить экспериментальные навыки проведения этапов ионообменных процессов в соответствии с поставленной целью.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) первого блока (Б1). Для изучения дисциплины требуются знания в области химической термодинамики и кинетики. Магистрант должен знать основные положения классической термодинамики и термодинамики неравновесных процессов, химической кинетики и основы массопереноса; основы химии высокомолекулярных соединений. Дисциплина является предшествующей выполнению научно-исследовательских практик и квалификационной работы, а также практической профессиональной деятельности магистров.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен поводить сбор, систематизацию и критический анализ научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач химической направленности	ПК-1.1	Обеспечивает сбор научной, технической и патентной информации, необходимой для решения исследовательских задач	Знать: принципы сбора и анализа информации в области сорбционных процессов. Уметь: корректно и логично описывать современное состояние различных областей ионообменных и сорбционных процессов. Владеть: основными приемами работы с печатными и цифровыми источниками информации в области сорбционных процессов.
		ПК-1.2	Составляет аналитический обзор собранной научной, технической и патентной информации по тематике исследовательского проекта	Знать: современное состояние и тенденции развития теории и практики сорбционных процессов практические аспекты их применения. Уметь: корректно формулировать цели и задачи исследования по проекту, касающиеся сорбционных и ионообменных процессов. Владеть: навыками теоретических и прикладных расчетов основных термодинамических, кинетических и динамических характеристик сорбционных процессов.

ПК-2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области физической и неорганической химии	ПК-2.1	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий.	Знать: последовательность проведения теоретических и экспериментальных исследований в области сорбционных и ионообменных процессов. Уметь: адекватно выбирать теоретические подходы для описания конкретных практических задач. Владеть: навыками систематизации и анализа полученных данных.
		ПК-2.1	Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать: особенности конкретных сорбционных систем, рассматриваемых в исследовательском проекте. Уметь: адекватно выбирать условия проведения экспериментальных исследований в рамках задач исследовательского процесса. Владеть: понятийным, теоретическим и математическим аппаратами, позволяющими описывать конкретные сорбционные системы в рамках исследовательского проекта.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 7 / 252.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
Контактная работа		54	54
в том числе:	лекции	18	18
	практические	36	36
	лабораторные	-	-
	курсовая работа	-	-
	др. виды (при наличии)	-	-
Самостоятельная работа		162	162
Промежуточная аттестация (для экзамена)		36	36
Итого:		252	252

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Термодинамика ионного обмена	Общие сведения об ионообменниках. Их классификация. Основные модели ионообменников.	-

		<p>Условия термодинамического равновесия в ионообменной системе. Уравнение Гиббса-Дюгема. Интегральные и дифференциальные характеристики ионообменного равновесия. Факторы, влияющие на ионообменное равновесие.</p> <p>Равновесия в многокомпонентных системах. Комбинирование бинарных равновесий. Основные подходы к прогнозированию многокомпонентных равновесий.</p> <p>Необменная и сверхэквивалентная сорбция. Принципы их писания. Потенциал Доннана. Роль фиксированного электролита. Основные закономерности сорбции органических ионов. Принципы их описания.</p>	
1.2	Кинетика ионного обмена	<p>Общие положения кинетики ионного обмена. Механизмы ионного обмена. Методы определения лимитирующей стадии процесса.</p> <p>Внешняя диффузия. Внутридиффузионная кинетика. Коэффициенты самодиффузии в ионитах. Смешанная кинетика.</p> <p>Модель ионита, как раствора электролита. Решение для модели Туницкого – Гельфериха. Экспериментальная проверка модели. Внутренняя диффузия Внешнедиффузионная кинетика. Общее решение задачи для начальной стадии обмена.</p> <p>Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией. Массообмен на ионитах при наличии быстрых химических реакций.</p>	-
1.3	Динамика ионного обмена	<p>Основы динамики ионообменных процессов. Уравнения материального баланса, учет особенностей равновесий и кинетики сорбции. Начальные и граничные условия.</p>	-
2. Практические занятия			
2.1	Термодинамика ионного обмена	<p>Строение и свойства ионообменников. Их типы, способы получения. Способы получения экспериментальных данных.</p> <p>Химические потенциалы компонентов. Расчет коэффициентов активности компонентов в фазе ионообменника и термодинамической константы равновесия ионного обмена.</p> <p>Практические расчеты равновесий в многокомпонентных системах, применение прогностических моделей.</p> <p>Принципы расчета равновесий при необменной сорбции, коэффициенты активности функциональных групп.</p>	<p>-</p> <p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10730</p> <p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10730</p> <p>https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10730</p>
2.2	Кинетика ионного	Методы исследования кинетики	-

	обмена	массопереноса в ионообменниках. Экспериментальное обоснование кинетических моделей. Планирование и постановка эксперимента. Примеры расчета кинетических параметров (модели Бойда-Адамса, Гельфериха-Туницкого).	
2.3	Динамика ионного обмена	Общие сведения о моделировании динамики ионного обмена Уравнение изотермической динамики сорбции, его особенности. Начальные и граничные условия. Варианты практического использования уравнения динамики сорбции.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.1	Термодинамика ионного обмена	8	16	-	50	74
1.2	Кинетика ионного обмена	8	14	-	50	72
1.3	Динамика ионного обмена	2	6	-	62	70
	Итого	18	36	-	162	216

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Организация изучения дисциплины предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- решение практических задач, предложенных преподавателем;
- тестирование;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Хохлова О.Н. Регенерация ионообменников : учебное пособие / О. Н. Хохлова, В. Ю. Хохлов .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020 .— 80 с.
2	Романков, П. Г. Массообменные процессы химической технологии : учебное пособие / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. - 4-е изд, стереотип. - Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2024. - 440 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Котова Д.Л.. Кинетика сорбционных процессов : учебное пособие / Д. Л. Котова, Т. А. Крысанова, В. А. Крысанов .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 99 с.
4	Практикум по ионному обмену / В.Ф. Селеменев [и др.]. Воронеж : изд-во Воронеж. ун-та, 2004. – 180 с.

5	Кокотов Ю.А. Равновесие и кинетика ионного обмена / Ю.А. Кокотов, В.А. Пасечник. Л. : Химия, 1988. – 366 с.
6	Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена / Ф. Гельферих; пер. с немец. / под ред. С.М. Черноброва. М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 490 с.
7	Физико-химические основы сорбционных и мембранных методов выделения и разделения аминокислот / В.Ф. Селеменев [и др.]. Воронеж : изд-во Воронеж. ун-та, 2001. – 300 с.
8	Котова Д.Л. Термический анализ ионообменных материалов / Д.Л. Котова, В.Ф. Селеменев. – М. : Наука, 2002. – 156 с.
9	Кравченко Т.А. Наноконпозиты металл-ионообменник / Т.А.Кравченко, Л.Н.Полянский, А.И.Калиничев, Д.В.Конев. М.:Наука, 2009. – 391 с.
10	Самсонов Г.В. Сорбционные и хроматографические методы физико-химической биотехнологии / Г.В. Самсонов, А.Т. Меленевский. Л. : Наука, 1986. – 225 с.
11	Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов / В.А. Углянская [и др.]. Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1989. – 200 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
12	ЭБС «Университетская библиотека online», http://biblioclub.ru/
13	ЭБС «Консультант студента», http://www.studmedlib.ru
14	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" http://rucont.ru
15	«Аналитика-Мир профессионалов» ИНТЕРНЕТ ПОРТАЛ ХИМИКОВ-АНАЛИТИКОВ http://www.anchem.ru/
16	Интернет-ресурсы по методам химического анализа - http://www.rusanalytchem.org
17	Интернет портал для химиков http://www.chemweb.com
18	Интернет портал для химиков http://www.xumuk.ru
19	Образовательный портал "Электронный университет ВГУ" https://edu.vsu.ru/
20	ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=10730

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения (ЭО) и дистанционные образовательные технологии (ДОТ) в части освоения лекционного материала, проведения текущей и промежуточной аттестации, проведения части лабораторных работ и самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru/>), проведение вебинаров, видеоконференций, взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров. Для освоения дисциплины рекомендуется список литературы и ресурсы для электронного обучения (ЭО) (п. 15). Для достижения цели освоения учебной дисциплины, повышения качества образования и формирования компетенций используются аудиторные и внеаудиторные формы обучения. К аудиторным занятиям относятся лекции и практические работы, к внеаудиторным - самостоятельная работа студентов.

Лекции включают в себя последовательное изложение материала преподавателем в том числе с использованием мультимедийного оборудования для демонстрации схем, рисунков, фотографий и др.

Практические работы позволяют объединить теоретические знания с практическими умениями и навыками студентов в едином процессе учебно-исследовательского характера. В ходе выполнения лабораторных работ студенты работают с научной литературой, публикациями в периодических научных изданиях, патентами вырабатывают умения планирования эксперимента, выполнения анализа, умения делать выводы и обобщения.

К внеаудиторной работе студентов относится работа в глобальной сети (использование Интернет-технологий), поиск и анализ научной и методической информации. Для самостоятельного изучения рекомендовано самостоятельное изучение отечественной и зарубежной научной литературы.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедиа проектор BENQ, ноутбук ACER, экран

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

По решению кафедры оценки за экзамен/зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре, но не ранее, чем на заключительном занятии. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен/зачет на общих основаниях.

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Термодинамика ионного обмена	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2 ПК-2.1, ПК-2.2	Тест №1
2.	Кинетика ионного обмена	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2 ПК-2.1, ПК-2.2	Тест №2
3	Динамика ионного обмена	ПК-1, ПК-2	ПК-1.1, ПК-1.2 ПК-2.1, ПК-2.2	Сообщение/доклад/презентация
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Собеседование по экзаменационным билетам

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Тестирование

По ПК-1.1 и ПК-1.2

1. С чего начинается наиболее точный поиск информации для решения исследовательских задач в области теории и практики сорбционных процессов?
 - 1) Поиск по ключевым словам
 - 2) Поиск по заглавным буквам
 - 3) Поиск по дате

2. Какие пункты должны быть отражены при оформлении отчета о выполненных научно-исследовательской работы в области практического исследования равновесия и кинетики ионного обмена?
 - 1) Содержание, введение, обзор литературы, методики эксперимента, обсуждение полученных результатов, выводы, список использованной литературы, приложение
 - 2) Цель, задачи, результаты работы, выводы
 - 3) Нет правильного ответа
3. При оформлении отчета о выполненных научно-исследовательской работы, что необходимо отразить во введении?
 - 1) Актуальность темы
 - 2) Полученные результаты
 - 3) Источники, по которым написана работа
4. Что должна содержать основная (практическая) часть отчета о выполненных исследованиях научно-исследовательской работы в области кинетики ионного обмена?
 - 1) Результаты кинетических исследований методами переменных концентраций и объемов, оценку достоверности полученных результатов
 - 2) Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы
 - 3) Анализ отечественных и зарубежных работ
5. Что должны содержать выводы в отчете?
 - 1) Обобщение и оценку полноты решений поставленных задач работы или отдельных ее этапов
 - 2) Краткое повторение всего хода работы
 - 3) Перечень методов исследований и расчетов
6. Каковы основные этапы создания научной презентаций?
 - 1) Планирование, создание и редактирование слайдов, монтаж презентации, репетиция выступления с презентацией
 - 2) Монтаж презентации, выбор подходящего шаблона, планирование презентации
 - 3) Разработка дизайна, проверка и отладка презентации
7. «Журнал физической химии» относится к основным источникам, в которых излагается основные тенденции развития сорбционных процессов. (верно/неверно)
8. Ключевые слова «Способ разделения...» можно применить для поиска информации в области сорбционных процессов? (верно/неверно)
9. Ключевые слова «сорбция» и «ионный обмен» тождественны для поиска информации. (верно/неверно)
10. Термин «кажущая константа ионного обмена» является современным. (верно/неверно)

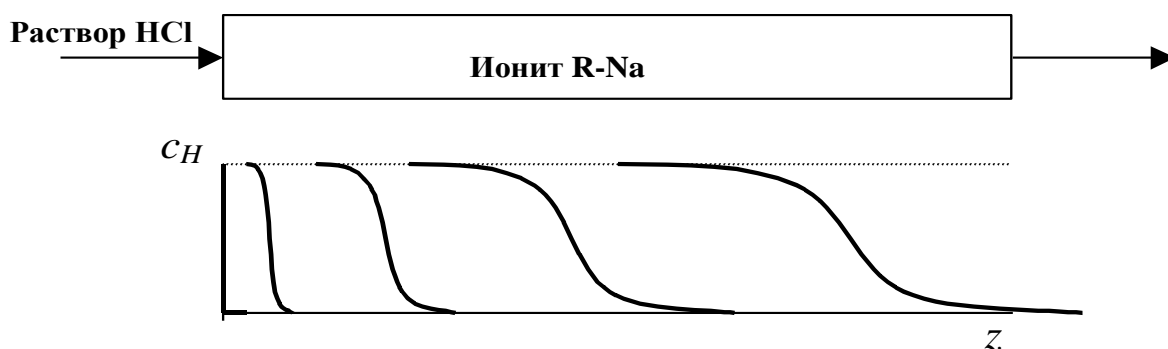
Ключи

Вопросы	1	2	3	4	5
Ответы	1	1	1	1	1
Вопросы	6	7	8	9	10
Ответы	1	верно	верно	неверно	неверно

Средний уровень сложности

1. Параметр сорбционного равновесия, выражаемый как
$$\bar{K}_A^B = \frac{\bar{c}_B^{1/z_B} \cdot a_A^{1/z_A}}{\bar{c}_A^{1/z_A} \cdot a_B^{1/z_B}}$$
 является:
 - 1) коэффициентом равновесия
 - 2) исправленным коэффициентом равновесия
 - 3) константой ионного обмена
2. При описании ионообменных равновесий какой подход является более универсальным?
 - 1) Осмотический
 - 2) Неосмотический
3. Равновесие в системе ионообменник – смесь диссоциированных электролитов описывается уравнением:
 - 1)
$$\frac{1}{z_B} \bar{\mu}_B + \frac{1}{z_A} \mu_A - \frac{1}{z_B} \mu_B - \frac{1}{z_A} \bar{\mu}_A = 0$$

- 2) $\frac{1}{z_B} \bar{\mu}_{BR_{zB}} + \frac{1}{z_A} \mu_{AX_{zA}} - \frac{1}{z_B} \mu_{BX_{zB}} - \frac{1}{z_A} \bar{\mu}_{AR_{zA}} = 0$
- 3) $\mu_i = \mu_i^o + RT \ln a_i = \mu_i^o + RT \ln c_i + RT \ln f_i$
4. Условия стандартизации коэффициентов активности ионов в фазе ионообменника
 $\bar{x}_{AR_{zA}} = 1, \bar{x}_{BR_{zB}} = 0, \bar{a}_{AR_{zA}}^o = 1, \bar{f}_{AR_{zA}}^o = 1/\bar{c}_{AR_{zA}}$ соответствуют:
 $\bar{x}_{AR_{zA}} = 0, \bar{x}_{BR_{zB}} = 1, \bar{a}_{BR_{zA}}^o = 1, \bar{f}_{BR_{zA}}^o = 1/\bar{c}_{BR_{zA}}$
- 1) Симметричной системе отсчета
 - 2) Несимметричной системе отсчета
 - 3) Гипотетической системе отсчета
5. Величина, выраженная как $k_x = \frac{\bar{x}_B^{1/z_B} \cdot x_A^{1/z_A}}{\bar{x}_A^{1/z_A} \cdot x_B^{1/z_B}}$ представляет собой
- 1) Коэффициент селективности
 - 2) Коэффициент разделения
 - 3) Коэффициент распределения
6. Укажите формулу, выражающую 2 закона Фика
- 1) $\bar{j}_i = -\bar{D}_i * \text{grad } \bar{c}_i$
 - 2) $\frac{\partial \bar{C}_i}{\partial t} = -\bar{D}_i \text{div grad } \bar{C}_i$
 - 3) $z_A \bar{I}_A + z_B \bar{I}_B = 0$
7. Выражение $\bar{D}_{AB} = \frac{\bar{D}_A \bar{D}_B (z^2 \bar{C}_A + z^2 \bar{C}_B)}{z_A^2 \bar{C}_A \bar{D}_A + z_B^2 \bar{C}_B \bar{D}_B}$ представляет собой
- 1) Коэффициент самодиффузии иона
 - 2) Коэффициент взаимодиффузии ионов
 - 3) Истинный коэффициент диффузии
8. Величина J , выраженная в мг-экв /см²·мин, представляет собой:
- 1) Скорость потока
 - 2) Плотность потока
 - 3) Плотность тока
9. Выражение $\frac{\partial c_i(z, t)}{\partial t} = 0$ описывает:
- 1) Стационарные процессы
 - 2) Нестационарные процессы
 - 3) Неравновесные процессы
10. Фронт ионообменной сорбции



яется:

- 1) Стационарным
- 2) Размывающимся

3) Заостряющимся

Ключи

Вопросы	1	2	3	4	5
Ответы	2	2	1	1	1
Вопросы	6	7	8	9	10
Ответы	2	2	2	1	2

Повышенный уровень сложности

1. Опишите последовательность расчета термодинамической константы ионного обмена иона А на ион В.

Решение:

1. По экспериментальным данным находим коэффициент равновесия

$$\tilde{K}_A^B = \frac{\bar{c}_B^{1/z_B} \cdot c_A^{1/z_A}}{c_A^{1/z_A} \cdot \bar{c}_B^{1/z_B}}$$

2. Затем, при необходимости (работа в концентрированных растворах) находим по таблицам или уравнению Дебая-Хюккеля коэффициенты активности обменивающихся ионов в растворе, после чего рассчитывается исправленный

коэффициент равновесия $\tilde{K}_A^B = \frac{\bar{c}_B^{1/z_B} \cdot a_A^{1/z_A}}{c_A^{1/z_A} \cdot a_B^{1/z_B}}$

3. Затем рассчитываются коэффициенты активности ионов в сорбенте по формулам:

$$\frac{1}{z_A} \ln \bar{f}_{AR} - \frac{1}{z_A} \ln \bar{f}_{AR} \Big|_{R_{ARz_A}} = \int_{R_{ARz_A}}^Q (1 - \bar{x}_A) d \ln \tilde{K}_A^B - \int_{R_{ARz_A}}^Q \frac{d(\bar{c}_{AR} + \bar{c}_{BR})}{\bar{C}_o} - \int_{R_{ARz_A}}^Q \frac{\bar{c}_{H_2O}}{\bar{C}_o} d \ln \bar{a}_{H_2O}$$

$$\frac{1}{z_B} \ln \bar{f}_{BR} - \frac{1}{z_B} \ln \bar{f}_{BR} \Big|_{R_{BRz_B}} = - \int_{R_{BRz_B}}^Q (1 - \bar{x}_B) d \ln \tilde{K}_A^B - \int_{R_{BRz_B}}^Q \frac{d(\bar{c}_{AR} + \bar{c}_{BR})}{\bar{C}_o} - \int_{R_{ARz_A}}^Q \frac{\bar{c}_{H_2O}}{\bar{C}_o} d \ln \bar{a}_{H_2O}$$

4. Затем рассчитывается термодинамическая константа ионного обмена

$$K_A^B = \tilde{K}_A^B \cdot \frac{\bar{f}_{BRz_B}^{1/z_B}}{\bar{f}_{ARz_A}^{1/z_A}}$$

Ответ: коэффициент равновесия- исправленный коэффициент равновесия- коэффициенты активности в фазе сорбента- термодинамическая константа ионного обмена.

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведена последовательность действий	4
Этап 2. Приведены формулы расчета коэффициентов равновесия	3
Этап 3. Приведены формулы расчета коэффициентов активности	4

2. Привести определения интегральных и дифференциальных термодинамических функций и формулы расчетов энергии Гиббса ионного обмена

Решение:

Стандартные термодинамические функции характеризуют полное замещение эквивалента ионов А, содержащихся в ионите, на эквивалент ионов В из раствора, когда ионы А и В и в ионите, и в растворе находятся в стандартных состояниях.

$$\Delta G^{\circ} = \frac{1}{z_B} \bar{\mu}_B^{\circ} + \frac{1}{z_A} \mu_A^{\circ} - \frac{1}{z_B} \mu_B^{\circ} - \frac{1}{z_A} \bar{\mu}_A^{\circ}$$

Дифференциальные термодинамические функции характеризует замещение эквивалента ионов В из раствора на эквивалент иона А из бесконечно большого количества ионита определенного состава, когда ионы А и В в растворе находятся в стандартных состояниях.

$$\Delta G_{\bar{n}} = \frac{1}{z_B} \bar{\mu}_B - \frac{1}{z_A} \bar{\mu}_A + \frac{1}{z_A} \mu_A^{\circ} - \frac{1}{z_B} \mu_B^{\circ}$$

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведены определения	4
Этап 2. Приведены формулы расчета	6

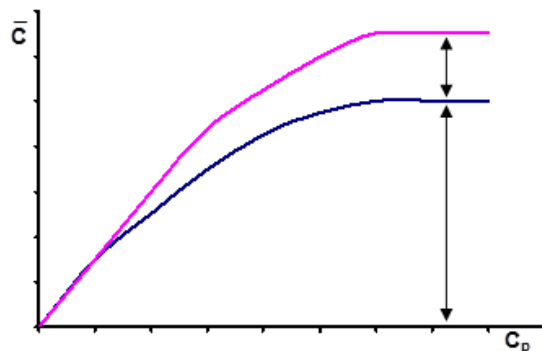
3 Дайте определение сверхэквивалентной сорбции и изобразите графически варианты ее реализации

Ответ:

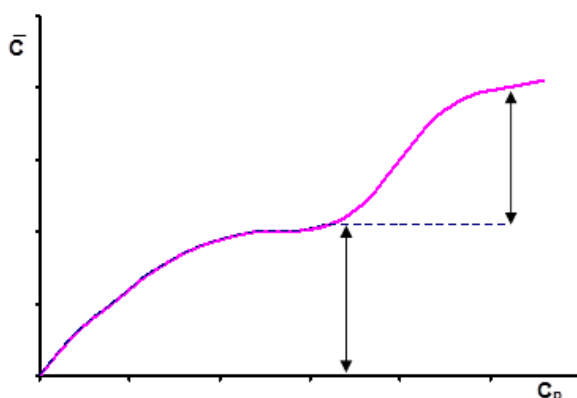
Сверхэквивалентная сорбция - это процесс поглощения веществ, протекающий совместно с ионным обменом за счет действия специфических сил.

(темная линия – ионный обмен, красная линия – сверхэквивалентная сорбция)

а) параллельное протекание



б) последовательное протекание



Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведено определение	4
Этап 2. Приведены графики изотерм	6

4 Изложите основные положения кинетических теорий Бойда-Адамса и Гельфериха – Туницкого и укажите основное отличие

Ответ:

Бойд-Адамс : Основные положения:

- * Зерно ионита представляет собой однородную среду
- * Зерно окружено тонкой неперемешиваемой жидкостной пленкой
- * В зерне и в пленке ионы способны перемещаться, подчиняясь законам диффузии
- * Скорости переноса в каждой из фаз определяются градиентами концентрации

Гельферих-Туницкий: Основные положения:

- ионит рассматривается как раствор электролита
- обменивающиеся ионы одного знака с различной подвижностью
- общий коион обладает нулевой подвижностью
- Из-за различной подвижности ионов возникает диффузионный потенциал, который тормозит более быстрый ион и ускоряет более медленный.

Основное отличие: Модель Гельфериха-Туницкого описывает кинетку ионов с разной подвижностью, что учитывается в коэффициенте взаимодиффузии

$$\bar{D}_{AB} = \frac{D_A D_B (z_A^2 C_A + z_B^2 C_B)}{z_A^2 C_A D_A + z_B^2 C_B D_B}$$

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведены минимум по 2 положения теории Бойда-Адамса и Гельфериха-Туницкого	6
Этап 2. Указано основное отличие теорий и приведена формула коэффициента взаимодиффузии.	4

5. Укажите признаки внешне- и внутридиффузионной кинетики

Ответ:

Внешнедиффузионная кинетика

- Для разбавленных растворов $C_0 < 10^{-3}$ моль/дм³
- Для сильнонабухающих ионитов
- Для слабых гидродинамических режимов
- увеличение скорости завершения процесса с повышением концентрации сорбтива
- увеличение скорости завершения процесса с повышением скорости подачи раствора
- прямая пропорциональность времени полуобмена радиусу зерна ионита
- линейность зависимости $-\ln(1-F)=f(\tau)$ на начальном участке

Внутридиффузионная кинетика

- Для достаточно концентрированных растворов $C_0 > 10^{-2}$ моль/дм³
- Для слабонабухающих ионитов
- Для интенсивных гидродинамических режимов
- линейная зависимость F от τ (времени)
- при малых степенях заполнения ионита
- нелинейная зависимость кривой в координатах $-\ln(1-F) - \tau$
- независимость величины F от радиуса зерна ионита

- время полуобмена прямо пропорционально квадрату радиуса зерна.

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведены 3 признака внешнедиффузионной кинетики	5
Этап 2. В ответе приведены 3 признака внутридиффузионной кинетики	5

6. Приведите уравнение динамики однокомпонентной сорбции и укажите начальные и граничные условия

Ответ:

$$\varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = \varepsilon D_{\text{пр}} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - U \frac{\partial c}{\partial x} \quad \text{или} \quad \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -U \frac{\partial c}{\partial x}$$

Начальные условия:

$$t=0; C(x,0)=0; \quad 0 \leq x < \infty$$

Граничное условие

$$x=0; C(0,t)=C_0=\text{const}; \quad 0 < t < \infty$$

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведены полное или сокращенное уравнение динамики	6
Этап 2. В ответе приведены начальное и граничное условия	4

ПК-2 Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области аналитической, физической, неорганической, органической и полимерной химии:

ПК-2.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий

ПК-2.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов

Б1.В.04 Теория и практика ионного обмена

ПК-2.1

Знать: последовательность проведения теоретических и экспериментальных исследований в области сорбционных и ионообменных процессов.

Уметь: адекватно выбирать теоретические подходы для описания конкретных практических задач.

Владеть: навыками систематизации и анализа полученных данных

ПК-2.2

Знать: особенности конкретных сорбционных систем, рассматриваемых в исследовательском проекте.

Уметь: адекватно выбирать условия проведения экспериментальных исследований в рамках задач исследовательского процесса.

Владеть: понятийным, теоретическим и математическим аппаратами, позволяющими описывать конкретные сорбционные системы в рамках исследовательского проекта.

1. С чего начинается термодинамическое описание реальной системы ?
 - 1) С составления плана работы и выбора модели
 - 2) С литературного обзора
 - 3) С определения методов исследования
2. Что включает в себя план практической научно-исследовательской работы?

- 1) Выделение и постановка проблемы; проведение обзора литературы; постановка цели и конкретных задач исследования; выбор метода или методики исследования; проведение эксперимента; обработка результатов; формулировка выводов.
 - 2) Выбор темы исследования; определение цели и задач; анализ научно-методической литературы; формулировка выводов.
 - 3) Установление актуальности работы и необходимости ее выполнения; выяснение цели работы; составление выводов.
3. Что такое «ионный обмен»?
- 1) Обмен равнозарядными ионами в растворе
 - 2) Эквивалентный обмен ионами между фазой раствора и сорбента
 - 3) Гетерогенный процесс эквивалентного обмена ионами одного знака заряда между раствором и ионообменником, сопровождающийся перераспределением растворителя и другими эффектами
4. Термодинамическая константа ионного обмена
- 1) Не зависит от стадии процесса
 - 2) Является постоянной величиной на начальной стадии ионного обмена
 - 3) Является переменной величиной
5. Изотерма сорбции это зависимость
- 1) Концентрации вещества в фазе сорбента от исходной концентрации раствора
 - 2) Концентрации вещества в фазе сорбента от равновесной концентрации раствора
 - 3) Степени заполнения фазы сорбента от исходной равновесной концентрации раствора
6. Какой подход необходимо применять для описания кинетики ионов с разной подвижностью?
- 1) Бойда
 - 2) Гельфериха-Туницкого
 - 3) Не имеет значения.
7. Противоионы в ионообменнике подвижны. (Верно/неверно)
8. При внешнедиффузионном контроле кинетики ионного обмена в диффузионном пограничном слое имеется градиент концентраций. (Верно/неверно)
9. Элюентная хроматография позволяет полностью разделить вещества. (Верно/неверно)
10. При внутридиффузионном ионного обмена в диффузионном пограничном слое имеется градиент концентраций. (Верно/неверно)

Ключи

Вопросы	1	2	3	4	5
Ответы	1	1	3	1	2
Вопросы	6	7	8	9	10
Ответы	2	верно	верно	верно	неверно

Средний уровень сложности

1. Выражение $\bar{m}_{AX} = Km_{AX}^l$, применяемое при описании необменной сорбции электролитов, представляет собой математическое выражение распределения:
 - 1) Доннана
 - 2) Максвелла
 - 3) Больцмана
2. При описании ионообменных равновесий в многокомпонентных системах используется

принцип $K = \prod_{i=1}^n K_l^i$, где K_l^i - константа бинарного обмена, K - константа

равновесия многокомпонентного обмена.

Это принцип отражает:

- 1) Взаимонезависимость бинарных обменов
- 2) Взаимную зависимость бинарных обменов
- 3) Неэквивалентность ионообменных равновесий

Вопросы	1	2
Ответы	1	1

Повышенная сложность, открытый тип

1. Состав катионообменника $\bar{X}_{Ca^{2+}}=0,82$, $\bar{X}_{Na^+}=0,18$, состав равновесного раствора $X_{Ca^{2+}}=0,5$, $X_{Na^+}=0,5$. Рассчитайте коэффициент селективности.

Решение

1. Уравнение реакции Na^+ (сорбент) + $\frac{1}{2} Ca^{2+}$ (раствор) = $\frac{1}{2} Ca^{2+}$ (сорбент) + Na^+ (раствор).

2. Формула для расчета коэффициента селективности: $k_x = \frac{\bar{x}_B^{1/z_B} \cdot x_A^{1/z_A}}{x_A^{1/z_A} \cdot \bar{x}_B^{1/z_B}}$, где, в данном

случае ион В – Ca, ф ион А – Na.

3. Расчет: $k = (0,82)^{1/2} (0,18) / (0,5) (0,5)^{1/2} = 0.16/0.35 = 0.48$

Ответ: 0.48

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведено уравнение реакции ионного обмена	2
Этап 2. Указана формула для расчета и правильно определены обменивающиеся ионы	5
Этап 3. Задание доведено до числового ответа. Ответ приведен согласно заданию.	3

2. Какой объем воды с жесткостью 2,1 ммоль/дм³ может быть умягчен с помощью 100 грамм катионообменника с емкостью 3 ммоль-экв /г?

Решение:

1. Находим суммарную емкость катионообменника, массой 100 г.
 $Q(\text{суммарная}) = q (1 \text{ грамм}) \cdot m (г) = 0.003 \cdot 100 = 0.3 \text{ моль-экв}$
2. Для нахождения объема очищаемой воды необходимо суммарную емкость катионообменника разделить на солесодержание (жесткость):
 $V = Q (\text{суммарная}) / H (\text{жесткость}) = 0,3 / 0,0021 = 142,8 \text{ дм}^3$

Ответ: 142.8 дм³ (литра).

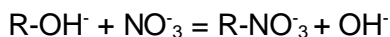
Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведено формула расчета емкости слоя катионообменника	4
Этап 2. Указана формула для расчета объема очищаемой воды	4
Этап 3. Задание доведено до числового ответа. Ответ приведен согласно заданию.	2

3 Рассчитайте процент примеси нитрата натрия в глюкозе, если навеску массой 0,5 грамм растворили в 100 см³ воды, раствор пропустили через колонку с анионообменником в OH-форме, а на титрование 10 см³ пропущенного раствора пошло 2,50 см³ раствора HCl с концентраций 0,1 моль/дм³.

Решение:

1) Протекающая реакция описывается схемой



2) Найдем количество нитрат-ионов, поглощенных анионообменником. Оно будет эквивалентно количеству выделившихся OH-ионов, и, следовательно, количеству хлорид-ионов, пошедших на титрование.

$C_{\text{нитрата}} \cdot V_{\text{нитрата}} = C_{\text{Cl}} \cdot V_{\text{Cl}}$, отсюда $C_{\text{нитрата}} = (C_{\text{Cl}} \cdot V_{\text{Cl}}) / V_{\text{нитрата}} = 2,5 \cdot 0,1 / 10 = 0,025$ моль/дм³. С учетом общего объема в 100 см³ содержание нитрата натрия будет составлять 0,0025 моль.

3) Находим массу нитрата натрия $M(\text{NaNO}_3) = 85$ г/ моль.

$$m = n \cdot M = 0,0025 \cdot 85 = 0,2125 \text{ г}$$

Находим долю нитрата натрия в глюкозе:

$$\omega = m(\text{NaNO}_3) / m(\text{навески}) \cdot 100\% = 0,2125 / 0,5 \cdot 100 = 43\%$$

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведена схема процесса	2
Этап 2. Объяснен принцип эквивалентности, позволяющий определить содержание нитрат-ионов	4
Этап 3. Задание доведено до числового ответа. Ответ приведен согласно заданию.	2

4. Рассчитать коэффициент диффузии иона натрия в катионообменнике КУ-2-8 по следующим данным:

τ	F
30	0.0190
40	0.0228
50	0.0240
60	0.0260
80	0.0300
100	0.0340
150	0.0420
200	0.0480

Размер зерна сорбента $r_0 = 1$ мм.

Решение:

Коэффициент диффузии в фазе ионита можно рассчитать по данным кинетического опыта с использованием значений F и τ . (см. табл.). На основании данных таблицы строят график $F=f(\tau)$. С помощью графика для данной степени насыщения ионообменника F к моменту τ определяют величину $B=F/\tau$ (тангенс угла наклона кривой), то коэффициент внутренней диффузии иона натрия в катионообменнике $\bar{D} = \frac{Br_0^2}{\pi^2}$.

1. Формула для расчета $\bar{D} = \frac{Br_0^2}{\pi^2}$.

2. Тангенс угла наклона (параметр B) = 0.0002

3. $D = 0,0002 \cdot (0,1)^2 / (3,14)^2 = 2 \cdot 10^{-7}$ см²/с.

Критерии оценки оценивания задания – 10 баллов

Этап 1. В ответе приведено формула расчета коэффициента внутренней диффузии	4
Этап 2. Определен коэффициент наклона В	4
Этап 3. Задание доведено до числового ответа. Ответ приведен согласно заданию.	2

Описание технологии проведения

Тесты выполняются письменно. К каждому вопросу из перечня ответов необходимо выбрать правильный.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Выполненным (ставится зачет) считается тест, где из общего перечня вопросов правильные ответы имеют более 50% заданий.

Перечень заданий, тем рефератов, тем презентаций, докладов:

1. Уравнения макрокинетики. Основные понятия.
2. Об особенностях граничных условий динамики сорбции
3. Динамика фронтального процесса.
4. Динамика элюативного процесса
5. Динамика вытеснительного процесса.
6. Противоточный процесс. Его особенности.
7. Понятие неравновесной динамики ионного обмена.
8. Динамика сорбции на ионообменниках различных типов.
9. Динамика при нелинейной изотерме.
10. Особенности динамики ионного обмена с участием органических веществ.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам (по билетам к зачету)

Перечень вопросов к экзамену

1. Общие сведения об ионообменниках. Их классификация. Основные модели ионообменников.
2. Условия термодинамического равновесия в ионообменной системе. Уравнение Гиббса-Дюгема.
3. Расчет коэффициентов активности в системе ионообменник-раствор.
4. Интегральные и дифференциальные характеристики ионообменного равновесия.
5. Факторы, влияющие на ионообменное равновесие.
6. Равновесия в многокомпонентных системах.
7. Основные подходы к прогнозированию многокомпонентных равновесий.
8. Необменная и сверхэквивалентная сорбция.
9. Основные закономерности сорбции органических ионов.
10. Общие положения кинетики ионного обмена. Механизмы ионного обмена.
11. Методы определения лимитирующей стадии процесса.
12. Внешнедиффузионная кинетика.
13. Внутридиффузионная кинетика.
14. Смешаннодиффузионная кинетика.
15. Коэффициенты самодиффузии в ионообменниках.
16. Модель ионита, как раствора электролита. Решение для модели Туницкого – Гельфериха.
17. Кинетика сорбции, контролируемая химической реакцией. Массообмен на ионитах при наличии быстрых химических реакций.

18. Основы динамики ионообменных процессов. Уравнения материального баланса.

19. Варианты практического использования уравнения динамики сорбции.

КИМ формируются таким образом, чтобы они содержали два вопроса - один из раздела, термодинамики ионного обмена, а второй - из раздела кинетики или динамики.

Описание технологии проведения

Экзамен проводится в письменной форме. Студент обязан максимально подробно и с примерами изложить суть каждого вопроса. Преподаватель имеет право на уточняющие и дополнительные вопросы в пределах теоретической и практической части данной дисциплины.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся должен овладеть теоретическими и практическими основами термодинамики, кинетики и динамики ионообменных процессов. Уметь теоретически обосновать применение моделей для описания равновесия и кинетики сорбционных процессов. Иметь практические навыки в определении термодинамических, кинетических и динамических характеристик процесса. Уметь теоретически обосновать применение моделей для описания равновесия, кинетики и динамики сорбционных процессов для решения практических задач.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся должен представить полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой, успешно выполнять задания всех форм текущего контроля, но при этом ответ на контрольно-измерительный материал не является исчерпывающим. На дополнительные вопросы обучающийся дает правильные ответы.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ на контрольно-измерительный материал неполный по обоим из перечисленных в КИМе вопросов. Дает неполные ответы на дополнительные вопросы.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ обучающего не соответствует заданным вопросам контрольно-измерительного материала, либо отсутствуют вовсе. Отсутствуют систематические, устойчивые знания по предлагаемому курсу и студентом допускаются грубые принципиальные ошибки при ответе на все вопросы.	-	Неудовлетворительно.

Задания раздела 20.1. Тестирование могут быть использованы при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины