

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	3	108	16	32	0		24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются знакомство с термодиффузионным, масс-диффузионным и хроматографическим методами разделения смесей. Изучается физическая сущность явлений, лежащих в основе этих разделительных процессов, выводятся уравнения, описывающие элементарный эффект разделения и умножение элементарного эффекта разделения за счёт организации циркуляционного течения. Вводятся основные параметры, характеризующие эффективность процесса разделения. Приводятся примеры реализации разделительного процесса в аппаратах колонного типа.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются знакомство с термодиффузионным, масс-диффузионным и хроматографическим методами разделения смесей. Изучается физическая сущность явлений, лежащих в основе этих разделительных процессов, выводятся уравнения, описывающие элементарный эффект разделения и умножение элементарного эффекта разделения за счёт организации циркуляционного течения. Вводятся основные параметры, характеризующие эффективность процесса разделения. Приводятся примеры реализации разделительного процесса в аппаратах колонного типа.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Изучение данной дисциплины предшествует научно-исследовательской практике, целью которой является проработка теоретических вопросов в рамках выбранного профиля подготовки, участие в научных исследованиях, школах, семинарах и конференциях, овладение производственными навыками и передовыми методами по специальности, приобретение практического опыта и навыков научной и производственной работы. Для успешного освоения дисциплины необходим предшествующий математический и естественнонаучный цикл, включающий следующие дисциплины: математика, физика, химия, а также введение в ядерную физику, атомная физика, теоретическая физика: механика сплошных сред (гидродинамика), газодинамика.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		стандарт-ПС, анализ опыта)	
научно-исследовательский			
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-3.1 [1] - Способен применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.044, 40.104</p>	<p>З-ПК-3.1[1] - Знать физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений;</p> <p>У-ПК-3.1[1] - Уметь применять физико-теоретические концепции, аналитические методы, методы обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений;</p> <p>В-ПК-3.1[1] - Владеть аналитическими методами, методами обработки экспериментальных данных в области физики кинетических явлений</p>
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-3.2 [1] - Способен применять методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.044, 40.104</p>	<p>З-ПК-3.2[1] - Знать методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений;</p> <p>У-ПК-3.2[1] - Уметь применять методы математической и теоретической физики, методы математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений;</p>

			В-ПК-3.2[1] - Владеть методами математической и теоретической физики, методами математического и компьютерного моделирования процессов в области физики кинетических явлений
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные</p>

<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)</p>	<p>междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p> <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам</p>

		<p>поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности и аккуратности в работе с опасными веществами и при требованиях к нормам высокого класса чистоты (В35)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и нанoeлектронике», «Информационные технологии в физических исследованиях», «Экспериментальная учебно-исследовательская работа» для: - формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании</p>

		<p>полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов</p> <p>полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием современных САПРов для моделирования компонентной базы электроники, измерительного и технологического оборудования на кафедрах, лабораториях и центрах ИНТЭЛ; 2.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Спецпрактикум по физике наносистем», «Спецпрактикум по нанотехнологиям», «Специальный практикум по физике наносистем», «Современные проблемы физики конденсированных сред (спецсеминар)», «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)», для: - формирования профессиональной коммуникации в научной среде; - формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах полупроводниковой промышленности - формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и</p>
--	--	---

		самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам для разработок новых материалов и устройств по направлениям, связанным с СВЧ электроникой, микро- и нанопроцессорами, оптическими модуляторами и применением новых материалов в нанoeлектронных компонентах через организацию практикумов в организациях по разработке и производству полупроводниковых изделий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-10	10/20/0		25	Зд-8	З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-3.2, У-ПК-



							3.2, В- ПК- 3.2
2	Часть 2	11-16	6/12/0		25	ДЗ-16	3-ПК- 3.1, У- ПК- 3.1, В- ПК- 3.1, 3-ПК- 3.2, У- ПК- 3.2, В- ПК- 3.2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 3.1, У- ПК- 3.1, В- ПК- 3.1, 3-ПК- 3.2, У- ПК- 3.2, В- ПК- 3.2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ДЗ	Домашнее задание
Зд	Задание (задача)
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-10</b>	<b>Часть 1</b>	10	20	0
1 - 5	<b>Физическая сущность явлений, лежащих в основе хроматографического процесса</b> Физическая сущность явлений, лежащих в основе хроматографического процесса. Ионно-обменная хроматография. Адсорбенты. Типы ионно-обменных хроматограмм. Статика и динамика ионного обмена. Построение первичных ионно-обменных хроматограмм. Хроматографическое разделение редкоземельных элементов. Хроматографическая колонна. Зависимость степени разделения от различных параметров процесса. Аппаратура, применяемая для хроматографии Методы анализа разделяемых веществ. Хроматограф. Непрерывная хроматография. Разделение в движущейся зоне. Теория неравновесного процесса разделения бинарной смеси. Нестационарная задача. Время релаксации. Коэффициент разделения. Иллюстрация применения теории на примере разделения изотопов азота. Создание циркуляции за счет изменения направления межфазового переноса. Двухтемпературная схема ионно-обменного процесса. Влияние состава раствора на селективность ионита.	Всего аудиторных часов		
		5	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 10	<b>Сущность явления термодиффузия.</b> Сущность явления термодиффузия. Термодиффузия в газах. Термодиффузионная постоянная. Элементарный эффект разделения. Экспериментальные методы определения термодиффузионной постоянной. Время установления стационарного эффекта разделения при отсутствии конвекции. Умножение элементарного эффекта разделения. Термодиффузионные колонны. Вывод уравнения переноса. Безотборный режим работы колонны. Работа колонны с отбором. Фактор разделения колонны, его зависимость от отбора. Время установления равновесия в колоннах. Вопросы оптимизации работы термодиффузионных колонн. Каскадирование термодиффузионных колонн. Вопросы эффективности каскада. Прямоугольно-ступенчатый каскад. Каскады с постоянным и переменным коэффициентами ступенчатости. Оптимизация прямоугольно-ступенчатого каскада. Секция исчерпывания. Термодиффузионные процессы разделения в жидкостях. Феноменологическая теория термодиффузионной постоянной. Жидкостная разделительная колонна. Термодинамический КПД при термодиффузии. Минимальные затраты разделения. Функция стоимости.	Всего аудиторных часов		
		5	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>11-16</b>	<b>Часть 2</b>	6	12	0
11 - 16	<b>Краткое описание процесса разделения с помощью масс-диффузионных разделительных насосов и ступеней.</b> Краткое описание процесса разделения с помощью масс-	Всего аудиторных часов		
		6	12	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>диффузионных разделительных насосов и ступеней. Диффузия в струю пара. Вывод уравнения переноса. Коэффициент разделения. Разделение изотопов легких элементов методом диффузии в парах. Принципиальная схема усовершенствованного разделительного насоса. Разделительные ступени большой производительности. Каскадирование разделительных насосов и ступеней. Диффузия в противотоке. Элементарный коэффициент разделения. Умножение элементарного эффекта в масс-диффузионных колоннах. Вывод уравнения переноса для изотопической смеси. Расчет элементарного эффекта разделения. Теория масс-диффузионной колонны. Способы создания циркуляции в колоннах. Использование диафрагмы. Выбор рабочей жидкости. Борьба с паразитными эффектами в реальных колоннах. Ртутные масс-диффузионные колонны. Каскадирование масс-диффузионных колонн. Преимущества колонн по сравнению с каскадом из одиночных ступеней. Примеры разделения изотопических смесей методом масс-диффузии. Опыты Майера, Кучерова, Гвердцители, МИФИ. Опыт эксплуатации ртутных масс-диффузионных колонн.</p>			
--	---	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 4	<p><b>Хроматографический метод разделения смесей</b>  Виды хроматографических процессов, применяемых для анализа и разделения смесей и место и роль ионно-обменной хроматографии, которой в курсе уделяется особое внимание.  Работа ионно-обменной хроматографической колонны.  Статика и динамика ионного обмена. Зависимости степени разделения колонны от основных параметров разделительного процесса. Непрерывная хроматография, применяемой для разделения изотопов легких химических элементов. Вывод уравнений, описывающих процесс разделения в движущейся зоне. Теория неравновесного</p>

	<p>процесса разделения бинарной изотопной смеси. Нестационарный процесс в ионно-обменной хроматографии. Время релаксации и коэффициент разделения. Применении теории на примере разделения изотопов азота ионно-обменной хроматографией. Создание циркуляции за счет изменения направления межфазового переноса.</p>
5 - 10	<p><b>Разделение смесей термической диффузией</b>  Роль термодиффузионной постоянной и величина первичного (элементарного) эффекта разделения. Экспериментальные и теоретические методы определения термодиффузионной постоянной. Вывод выражения для времени установления стационарного эффекта разделения при отсутствии конвекции. Механизм умножения элементарного эффекта разделения. Преимущества и недостатки разных видов термодиффузионных колонн. Вывод уравнения переноса в одиночной термодиффузионной колонне (ТДК). Особенности работы ТДК в безотборном режиме работы и режиме работы с отбором. Основные критериальные параметры процесса разделения в ТДК. Современные подходы к проблеме оптимизации работы термодиффузионных колонн, каскадированию ТДК и оптимизации работы каскада из ТДК. Прямоугольно-ступенчатый каскад (ПСК), каскады с постоянным и переменным коэффициентами ступенчатости. Оптимизация ПСК. Роль секции истощивания в каскаде.</p>
11 - 16	<p><b>Разделение смесей масс-диффузией</b>  Физические процессы, лежащие в основе процесса разделения с помощью масс-диффузионных разделительных насосов и ступеней. Процесс диффузии разделяемой смеси в струю пара. Вывод уравнения переноса и выражения для коэффициента разделения. Разделение изотопов легких элементов методом диффузии в парах. Принципиальная схема усовершенствованного разделительного масс-диффузионного насоса. Разделительные ступени большой производительности. Процесс каскадирования разделительных насосов и ступеней и особенности процесса диффузии в противотоке. Причины возникновения элементарного (первичного) эффект разделения и процесс его умножения в масс-диффузионных колоннах. Уравнение переноса для изотопической смеси. Величина элементарного эффекта разделения. Способы создания циркуляционного течения в разделительных колоннах и причины ввода диафрагмы в колонну. Способы борьбы с паразитными эффектами в реальных масс-диффузионных колоннах. Каскадирование масс-диффузионных колонн и преимущества колонн по сравнению с каскадом из одиночных ступеней. Примеры разделения изотопических смесей методом масс-диффузии. Опыты Майера, Кучерова, Гвердцителли, МИФИ. Основные моменты эксплуатации ртутных масс-</p>

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) а также, проведение занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, Зд-8, ДЗ-16
	У-ПК-3.1	Э, Зд-8, ДЗ-16
	В-ПК-3.1	Э, Зд-8, ДЗ-16
ПК-3.2	З-ПК-3.2	Э, Зд-8, ДЗ-16
	У-ПК-3.2	Э, Зд-8, ДЗ-16
	В-ПК-3.2	Э, Зд-8, ДЗ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89 75-84	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает
		C	

70-74		D	материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М44 Magnetically Activated and Guided Isotope Separation : , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ Z62 Separation Hydrometallurgy of Rare Earth Elements : , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. 621.039 Ж42 Тайны разделения изотопов : , В. М. Жданов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 533 П64 Физические основы разделения изотопов плазменными методами : учебное пособие для вузов, Е. П. Потанин, В. Д. Борисевич, Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ Т33 Теория каскадов для разделения бинарных и многокомпонентных изотопных смесей : учебное пособие для вузов, ред. В. Д. Борман, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс имеет целью дать базовые знания. При изучении этого курса студенты должны твёрдо усвоить:

- физическую сущность явлений, лежащих в основе хроматографии, термической диффузии и масс-диффузии;
- Основные принципы физико-математического моделирования изучаемых процессов разделения;
- механизм умножения элементарного эффекта разделения
- вывод уравнений селективного массопереноса в одиночном разделительном устройстве и разделительном каскаде.

Для получения широких представлений о физических и инженерных аспектах данных вопросов (помимо лекционных материалов) рекомендуются следующие учебные материалы:

1. Шемля М., Перье Ж., Разделение изотопов. М.: Атомиздат, 1980.
2. Розен А.М. Разделение изотопов в колоннах. М.: Атомиздат, 1960.
3. Николаев Б.И., Сулаберидзе Г.А., Каминский В.А. Теория процессов разделения в неоднородном температурном поле. Учеб. пособие. М.: МИФИ, 1984.
4. Гольбкерг К.А., Вигдергауз М.С., Введение в газовую хроматографию. М.: Высшая школа, 1987.
5. Каминский В.А., Николаев Б.И., Сулаберидзе Г.А. Разделение изотопов диффузией в противотоке. Учеб. пособие. М.: МИФИ, 1988.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс имеет целью дать базовые знания студентам. При изучении этого курса студенты должны твёрдо усвоить:

- физическую сущность явлений, лежащих в основе хроматографии, термической диффузии и масс-диффузии;
- Основные принципы физико-математического моделирования изучаемых процессов разделения;
- механизм умножения элементарного эффекта разделения
- вывод уравнений селективного массопереноса в одиночном разделительном устройстве и разделительном каскаде.

В помощь преподавателям, ведущим занятия по курсу рекомендуется использовать следующие материалы:

1. Джонс К., Ферри В., Разделение изотопов методом термодиффузии, М.: ИЛ, 1947.
2. Розен А.М. Разделение изотопов в колоннах. М.: Атомиздат, 1960.
3. Лагунцов Н.И., Николаев Б.И. Моделирование и численное исследование процессов переноса в термодиффузионных установках. Учеб. пособие. М.: МИФИ, 1990.
4. Николаев Б.И., Сулаберидзе Г.А. Разделение изотопов в масс-диффузионных колоннах. Учеб. пособие. М.: МИФИ, 1990.
5. Янак Я., Прикладная хроматография, М.: Наука, 1984.

Автор(ы):

Борисевич Валентин Дмитриевич, д.ф.-м.н.,  
профессор