Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Направление подготовки (специальность) [1] 16.03.01 Техническая физика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
8	2	72	24	12	0		9	0	Э
Итого	2	72	24	12	0	0	9	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются: усвоение физических основ физико-химических методов разделения изотопных смесей дистилляция/ректификация и химический изотопный обмен. Изучается физическая сущность явлений, лежащих в основе 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: усвоение физических основ физико-химических методов разделения изотопных смесей дистилляция/ректификация и химический изотопный обмен. Изучается физическая сущность явлений, лежащих в основе 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 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			
Применение эффективных методов исследования физико-технических объектов, процессов и материалов. Проведение стандартных и сертификационных испытаний технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики.	Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия ионной подвижности, композиционные материалы.	ПК-1 [1] - Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011, 40.167	З-ПК-1[1] - Знать эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, современные аналитические средства технической физики ; У-ПК-1[1] - Уметь проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики ; В-ПК-1[1] - Владеть эффективными методами исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, современными аналитическими средствами технической физики испытаний технологических процессов и изделий

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	**Задачи воспитания (код)**
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры безопасности при работе с лазерным излучением (В27)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	8 Семестр						
1	Часть 1	1-6	12/6/0		25	Зд-6	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Часть 2	7-12	12/6/0		25	Зд-12	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
	Итого за 8 Семестр		24/12/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1

* – 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
Зд	Задание (задача)
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	8 Семестр	24	12	0
1-6	**Часть 1**	12	6	0
1	**Введение.** Введение. Краткая история развития и использование методов разделения молекулярных смесей и изотопов. Классификация методов разделения. Методы анализа и определения концентрации компонентов смесей. Особенности техники и экономики. Перспективы развития.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Адсорбционный метод разделения.** Адсорбционный метод разделения. Методы измерения	Всего аудиторных часов		
		2	1	0

	сорбции газов. Природа адсорбционных сил, энергия взаимодействия между молекулами адсорбирующегося газа и поверхностью адсорбента. Потенциал адсорбции. Элементарная теория молекулярной адсорбции. Уравнение изотермы.	Онлайн		
		0	0	0
3	**Полимолекулярная адсорбция.** Полимолекулярная адсорбция. Физические модели, используемые для теоретического описания полимолекулярной адсорбции. Уравнение изотермы. Адсорбция бинарных газовых и изотопных смесей. Коэффициент разделения при статической адсорбции. Адсорбция в динамических условиях. Разделение смесей инертных газов. Схемы адсорбционных установок для разделения неоно-гелиевых и криптоно-ксеноновых смесей. Использование многоступенчатых процессов.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Применение низкотемпературной адсорбции на синтетических цеолитах для разделения молекулярных и изотопных смесей (водорода, азота, кислорода, аргона).** Применение низкотемпературной адсорбции на синтетических цеолитах для разделения молекулярных и изотопных смесей (водорода, азота, кислорода, аргона). Равновесие сорбции и коэффициент разделения. Суммарный эффект разделения на цеолитах с использованием адсорбента как "молекулярного сита". Тепловытеснительный метод разделения в адсорбционных колонках.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	**Мембранные методы разделения.** Мембранные методы разделения. Мембранные процессы под действием давления. Проницание и диффузия. Стадии массопереноса через мембрану. Модели структур граничных слоев в системе мембрана - внешняя фаза. Влияние поверхностных сил на специфичность мембранных процессов разделения жидких сред.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Диализ.** Диализ. Основные уравнения, описывающие процессы переноса в диализаторе. Сопротивление граничных слоев. Общий коэффициент диализа. Обратный осмос. ОС-мембраны. Селективный слой композиционных ОС-мембран. Проницаемость. Производительность. Механизм переноса через селективный слой ОС-мембраны.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7-12	**Часть 2**	12	6	0
7	**Инженерные и экономические аспекты электромембранных процессов.** Инженерные и экономические аспекты электромембранных процессов. Распределение потоков в многоступенчатой электродиализной установке. Материалы конструкции. Растворы для питания. Электродиализные пакеты. Критерии выбора конструкций пакетов. Экономические факторы. Факторы, влияющие на расход энергии.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Дистилляционный метод разделения.**	Всего аудиторных часов		

	Дистилляционный метод разделения. Идеальные растворы жидкостей. Азеотропические смеси. Простая перегонка, коэффициент разделения. Перегонка с постоянным уровнем. Схема ректификационной тарельчатой колонны. Понятие о теоретической тарелке. Принцип работы тарельчатой колонны. Графический метод анализа работы колонн. Влияние отбора на число ступеней.	2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	**Устройство насадочной ректификационной колонны** Устройство насадочной ректификационной колонны. Характеристика применяемых насадок. Уравнение массообмена насадочных колонн. Уравнение нестационарной массопередачи. Стационарное состояние колонны. Колонна с секцией исчерпывания. Максимальная производительность колонны. Степень извлечения. Расчет ректификационной колонны.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Влияние неоптимального ввода питания.** Влияние неоптимального ввода питания. Каскад из дистилляционных колонн. Определение числа ступеней в колоннах каскада. Концентрационная диаграмма каскада колонн. Общая схема расчета каскада. Примеры использования дистилляции для разделения легких изотопов.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Электролитический метод разделения изотопов водорода** Электролитический метод разделения изотопов водорода. Зависимость коэффициента разделения от температуры электролита, напряжения на электродах, наличия или отсутствия диафрагмы. Каскадирование электролизеров без сжигания водорода. Каскадирование с рециркуляцией. Расчет электролизного процесса. Экономически выгодная производительность электролизной установки при получения дейтерия в промышленных условиях в качестве побочного продукта.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	**Разделение методом химического обмена.** Разделение методом химического обмена. Константа равновесия реакции химического обмена, коэффициент разделения. Зависимость коэффициента разделения от концентрации. Химический обмен с участием жидкой фазы. Обмен газа в ионном растворе. Противоточная химобменная колонна. Химическое обращение фаз. Примеры использования химического обмена для промышленного разделения изотопов.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	8 Семестр
1 - 4	**Адсорбционный метод разделения.** Адсорбционный метод разделения. Методы измерения сорбции газов. Природа адсорбционных сил, энергия взаимодействия между молекулами адсорбирующегося газа и поверхностью адсорбента. Потенциал адсорбции. Элементарная теория молекулярной адсорбции. Уравнение изотермы.
5 - 8	**Мембранные методы разделения** Мембранные методы разделения. Мембранные процессы под действием давления. Проницание и диффузия. Стадии массопереноса через мембрану. Модели структур граничных слоев в системе мембрана - внешняя фаза. Влияние поверхностных сил на специфичность мембранных процессов разделения жидких сред.
9 - 12	**Дистилляционный метод разделения** Дистилляционный метод разделения. Идеальные растворы жидкостей. Азеотропические смеси. Простая перегонка, коэффициент разделения. Перегонка с постоянным уровнем. Схема ректификационной тарельчатой колонны. Понятие о теоретической тарелке. Принцип работы тарельчатой колонны. Графический метод анализа работы колонн. Влияние отбора на число ступеней.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	8 Семестр
1 - 2	**Физические основы дистилляции.** Физические основы дистилляции. Виды дистилляции. Ректификация.
3 - 4	**Элементарный коэффициент разделения** Элементарный коэффициент разделения. Влияние температуры и давления на величину коэффициента разделения. Диаграмма состояния. Виды ректификационных разделительных колонн.
5 - 6	**Плёночные, тарельчатые и насадочные колонны.** Плёночные, тарельчатые и насадочные колонны. Характеристики насадок и тарелок. Устройства обращения фаз. Вывод выражения для расчёта высота экспериментальной теоретической ступени (ВЭТС). Роль продольной диффузии и влияние режима течения на величину ВЭТС.
7 - 8	**Влияние отклонения от законов идеальных газов и неидеальности растворов на процесс разделения методов ректификации** Влияние отклонения от законов идеальных газов и неидеальности растворов на процесс разделения методов ректификации. Периодическое и непрерывное ведение разделительного ректификационного процесса. Вывод уравнения переноса в плёночной колонне. Определение поля концентрации целевого изотопа и ВЭТС.
9 - 10	**Работа насадочной колонны** Работа насадочной колонны. Виды и характеристики насадок. Разделительная колонна как прямоугольный каскад. Нестационарные процессы в двухфазных разделительных колоннах. Каскад из разделительных колонн. Примеры использования низкотемпературной ректификации для разделения изотопных смесей.

11 - 14	**Физические основы химического изотопного обмена** Физические основы химического изотопного обмена. Связь константы равновесия с коэффициентом разделения. Умножение элементарного эффекта разделения в химическом изотопном обмене. Практическое использование ХИО. Аммиачный и азотно-кислый способы разделения изотопов азота. Цианидный способ разделения изотопов углерода. Двухтемпературный метод получения тяжёлой воды.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и 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-1	З-ПК-1	Э, Зд-6, Зд-12
	У-ПК-1	Э, Зд-6, Зд-12
	В-ПК-1	Э, Зд-6, Зд-12

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-х балльной шкале**	**Отметка о зачете**	**Оценка ECTS**
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Z62 Separation Hydrometallurgy of Rare Earth Elements : , Zhao, Baodong. , Schreiner, Bryan. , Zhang, Jack. , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. ЭИ Е 30 Методы концентрирования и разделения радионуклидов : учебное пособие для спо, Егоров Ю. В., Москва: Юрайт, 2021

3. 621.039 Л55 Получение изотопов : учебное пособие для вузов, Лизунов А.В., Тананаев И.Г., Москва: Издательский дом МЭИ, 2015

4. ЭИ Т33 Теория каскадов для разделения бинарных и многокомпонентных изотопных смесей : учебное пособие для вузов, Палкин В.А. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

5. 621.039 Т33 Теория разделения изотопов в каскадах : учебное пособие для вузов, Палкин В.А. [и др.], Москва: МИФИ, 2007

6. ЭИ Т33 Теория разделения изотопов в каскадах : учебное пособие для вузов, Палкин В.А. [и др.], Москва: МИФИ, 2007

7. 533 П64 Физические основы разделения изотопов плазменными методами : учебное пособие для вузов, Борисевич В.Д., Потанин Е.П., Москва: МИФИ, 2008

8. ЭИ П64 Физические основы разделения изотопов плазменными методами : учебное пособие для вузов, Борисевич В.Д., Потанин Е.П., Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.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 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.

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.

Автор(ы):

Смирнов Андрей Юрьевич

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

Рецензент(ы):
к.ф.-м.н., Г.А. Сулаберидзе