

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
ПРОЦЕССЫ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ФАЗ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	8 семестр - 14 часов;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 99,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Перекрестный опрос Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

А.П. Крюков


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Макаров П.Г.
	Идентификатор	R9a51899a-MakarovPG-4f257daf

П.Г. Макаров

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю. Пузина

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основ физических явлений на поверхности конденсированных сред, а также методов моделирования соответствующих процессов на границе раздела фаз.

Задачи дисциплины

- приобретение навыков осуществления «вакуумных» и «криовакуумных» расчетов;
- ознакомление со способами исследования поверхностей;
- изучение основ адсорбции и десорбции;
- овладение практикой расчета теплоты адсорбции, параметров различных изотерм сорбции;
- овладение методами моделирования элементарных процессов на поверхности;
- изучение основ физики процессов переноса на поверхности сверхтекучего гелия (He II);
- овладение методикой расчета коэффициентов отражения звука от поверхности He II и движения перемычек He II в капилляре.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способен к разработке наноразмерных материалов и устройств	ИД-2 _{ПК-3} Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку	знать: - возможности и особенности применения различных методов исследования поверхностей; - основы физики адсорбции и десорбции и специфику процессов переноса на поверхности сверхтекучего гелия. уметь: - выполнять расчеты проводимости вакуумных трубопроводов и скорости откачки объемов, обосновывать применение метода исследования поверхностей; - осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Термодинамика
- знать Физика (общая)
- знать Математика
- знать Физика конденсированных систем

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа						СР					
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Поверхность: основные понятия и методы анализа	27	8	3	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Поверхность: основные понятия и методы анализа"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 3-31 [2], 67-202 [5], 333-349</p>	
1.1	Определение понятия поверхности	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
1.2	Понятия и уравнения вакуумной техники	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
1.3	Методы анализа поверхности	9		1	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
2	Адсорбция и десорбция	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Адсорбция и десорбция"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 32-52 [2], 332-362</p>
2.1	Основные определения	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2.2	Кинетика адсорбции, скорость адсорбции	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2.3	Анализ экспериментальных данных по криовакуумной откачке гелия	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2.4	Термическая десорбция	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-			
3	Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела	32	4	-	10	-	-	-	-	-	18	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела"</p>		

3.1	Модели взаимодействий	16	2	-	5	-	-	-	-	-	9	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 53-77 [3], 5-19
3.2	Численное моделирование взаимодействия атома газа с блоком атомов твердого тела	16	2	-	5	-	-	-	-	-	9	-	
4	Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II	21	3	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 46-56 [4], 42-44, 69-77
4.1	Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия	10	1	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
4.2	Движение He-II в капилляре с паром при наличии продольного теплового потока	11	2	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	14	-	28	-	2	-	-	0.5	66	33.5	
	Итого за семестр	144.0	14	-	28	2	-	-	0.5	99.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Поверхность: основные понятия и методы анализа

1.1. Определение понятия поверхности

Необходимость вакуумирования при изучении поверхности твердого тела. Время образования монослоя. Расчет быстроты действия насоса в свободномолекулярном и сплошносреднем (вязкостном) пределах. Приготовление атомарно-чистой поверхности.

1.2. Понятия и уравнения вакуумной техники

Быстрота действия насоса. Быстрота откачки объема. Проводимость. Поток. Основное уравнение вакуумной техники (область его применения). Криовакуумные насосы.

1.3. Методы анализа поверхности

Дифракция электронов. Электронная спектроскопия. Зондирование ионами. Микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия: тунельная и атомно-силовая (АСМ). Контактный, бесконтактный, полуконтактный режимы АСМ.

2. Адсорбция и десорбция

2.1. Основные определения

Физическая и химическая сорбция. Изотермы, изостеры и изобары сорбции. Нахождение теплоты сорбции по изостерам.

2.2. Кинетика адсорбции, скорость адсорбции

Выражения для изменения количества частиц на единице поверхности в единицу. Выражения для изменения количества монослоев в единицу времени.

2.3. Анализ экспериментальных данных по криовакуумной откачке гелия

Изотермы и изостеры. Коэффициент прилипания. Зависимости давления от времени для режима криозахвата.

2.4. Термическая десорбция

Уравнение Полани-Вигнера. Порядок кинетики десорбции. Получение общего выражения для изотермы сорбции в виде зависимости давления газа от покрытия слоя адсорбатом. Изотермы Генри, Лэнгмюра, Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ).

3. Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела

3.1. Модели взаимодействий

Модель Бауле для определения коэффициента энергетической аккомодации. Расчет скорости захвата атома на основе решеточной теории. Упрощенный метод расчета взаимодействия атома газа с поверхностью твердого тела на основе модели «треугольной» потенциальной ямы. Сравнение с решеточной теорией.

3.2. Численное моделирование взаимодействия атома газа с блоком атомов твердого тела

Трехмерные задачи. Получение функции распределения молекул, движущихся от границы раздела фаз. Методы анализа экспериментальных данных по отражению молекул газа от границы раздела фаз. Нахождение плотности и температуры для «полумаксвелловской» функции распределения, описывающей поток отраженных от поверхности молекул.

4. Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II

4.1. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия

Физическая постановка и математическое описание. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации. Коэффициент проницаемости границы раздела фаз.

4.2. Движение He-II в капилляре с паром при наличии продольного теплового потока

Постановка задачи. Математическое описание. Результаты расчетов и экспериментов.

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет проводимости трубопровода и быстроты откачки объема;
2. Расчет теплоты адсорбции по изостерам сорбции и по заданным временам жизни атомов на поверхности твердого тела;
3. Расчет величин покрытия слоя адсорбата по изотермам Генри и Лэнгмюра;
4. Определение значений коэффициентов аккомодации энергии атомов газа на поверхностях твердых тел по различным моделям;
5. Интерпретация экспериментальных данных по отражению молекул газа от границы раздела фаз. Нахождение плотности и температуры для «полумаксвелловской» функции распределения, описывающей поток отраженных от поверхности молекул.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Поверхность: основные понятия и методы анализа"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Адсорбция и десорбция"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
основы физики адсорбции и десорбции и специфику процессов переноса на поверхности сверхтекучего гелия	ИД-2ПК-3		+		+	Перекрестный опрос/Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции
возможности и особенности применения различных методов исследования поверхностей	ИД-2ПК-3	+				Перекрестный опрос/Приборы и методы анализа поверхности Контрольная работа/Процессы на границе раздела фаз
Уметь:						
осуществлять расчеты теплоты адсорбции и параметров различных изотерм сорбции, применять методы интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию молекул газа с межфазной областью	ИД-2ПК-3			+	+	Перекрестный опрос/Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции Перекрестный опрос/Приборы и методы анализа поверхности Контрольная работа/Процессы на границе раздела фаз
выполнять расчеты проводимости вакуумных трубопроводов и быстроты откачки объемов, обосновывать применение метода исследования поверхностей	ИД-2ПК-3	+	+	+		Перекрестный опрос/Основные понятия и методы анализа поверхности Перекрестный опрос/Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Процессы на границе раздела фаз (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Основные понятия и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)
2. Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции (Перекрестный опрос)
3. Приборы и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Крюков, А. П. Введение в изучение явлений на поверхности конденсированных сред : учебное пособие по курсу "Процессы на поверхности раздела фаз" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПС / А. П. Крюков, И. Н. Шишкова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 80 с. – ISBN 978-5-383-00384-8.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=896>;
2. Введение в физику поверхности / К. Оура, и др., Рос.акад. наук, Дальневост. отд-ние, ин-т автоматизации и процессов управления. – М. : Наука, 2006. – 490 с. – ISBN 5-02-034355-2.;
3. Крюков, А. П. Элементы физической кинетики : Учебное пособие по курсу "Основы криофизики" / А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ). – М. : Изд-во МЭИ, 1995. – 69 с. : 890.00.;
4. Крюков, А. П. Элементы гидродинамики и теплопереноса в гелии II : Учебное пособие по курсу "Криофизика" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 80 с. – ISBN 5-7046-1137-0.;
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Гидродинамика" Т. 6, (6-е изд., испр.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2021 - (728 с.)
<https://e.lanbook.com/book/185671>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
4. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
5. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
6. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
7. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
9. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
10. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер

Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-423/1, Аудитория каф. "ИТ"	стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Процессы на поверхности раздела фаз

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Основные понятия и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)

КМ-2 Приборы и методы анализа поверхности (Перекрестный опрос)

КМ-3 Основные характеристики процессов адсорбции и десорбции (Перекрестный опрос)

КМ-4 Процессы на границе раздела фаз (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Поверхность: основные понятия и методы анализа					
1.1	Определение понятия поверхности			+		+
1.2	Понятия и уравнения вакуумной техники		+		+	
1.3	Методы анализа поверхности			+		+
2	Адсорбция и десорбция					
2.1	Основные определения				+	
2.2	Кинетика адсорбции, скорость адсорбции				+	
2.3	Анализ экспериментальных данных по криовакуумной откачке гелия		+		+	
2.4	Термическая десорбция				+	
3	Моделирование взаимодействий атомов газа с поверхностью твердого тела					
3.1	Модели взаимодействий		+		+	
3.2	Численное моделирование взаимодействия атома газа с блоком атомов твердого тела			+	+	+
4	Процессы переноса на межфазной поверхности гелия II					
4.1	Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия			+	+	+
4.2	Движение He-II в капилляре с паром при наличии продольного теплового потока				+	

	Бec KM, %:	20	20	20	40
--	------------	----	----	----	----