

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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА И
НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 4; 2 семестр - 4; всего - 8
Часов (всего) по учебному плану:	288 часа
Лекции	1 семестр - 32 часа; 2 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
Практические занятия	1 семестр - 16 часов; 2 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	1 семестр - 2 часа; 2 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	1 семестр - 93,5 часа; 2 семестр - 93,5 часа; всего - 187,0 часа
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Тестирование	
Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лубенченко А.В.
	Идентификатор	R4e612482-LubenchencoAV-ecf64b

А.В. Лубенченко

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 методов анализа поверхности для последующего использования в ядерной энергетике и теплофизике.

Задачи дисциплины

- изучение элементной базой установок для анализа поверхности;
- изучение современных методов анализа поверхности;
- изучение теоретических основ методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и электронной оже-спектроскопии (ЭОС);
- формирование навыков анализа поверхности методами РФЭС и ЭОС;
- ознакомление с экспериментальными и теоретическими методами определения структуры и электронных свойств поверхности;
- ознакомление с современными методами имитационного моделирования, применяемые для исследования поверхности;
- формирование навыков анализа наноразмерных объектов на поверхности твердого тела.

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-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-5 _{ПК-1} Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку	знать: - структуру и электронные свойства реальной поверхности твёрдого тела; - основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности; - теоретические основы формирования электронных спектров; - основные понятия, закономерности и методы имитационного моделирования взаимодействия частиц с поверхностью. уметь: - проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС; - применять методы анализа наноразмерных объектов для определения структуры и их характерных размеров; - выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента; - применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 8 зачетных единиц, 288 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	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок	20	1	6	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 33-67 [3], 33-55
1.1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок	20		6	-	2	-	-	-	-	-	12	-	
2	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности	20		6	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 99-135; 177-203
2.1	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности	20		6	-	2	-	-	-	-	-	12	-	
3	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности	34		10	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 69-107; 164-180 [2], 13-23; 24-35
3.1	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности	34		10	-	6	-	-	-	-	-	18	-	
4	Послойный	34		10	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<u>Самостоятельное изучение</u>

	химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами												<u>теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
4.1	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами	34		10	-	6	-	-	-	-	18	-	[2], 211-228 [3], 123-135 [4], 7-36; 44-74
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	Всего за семестр	144.0		32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5
	Итого за семестр	144.0		32	-	16	2		-		0.5	93.5	
5	Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов	36	2	12	-	4	-	-	-	-	20	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
5.1	Микроскопия.	18		6	-	2	-	-	-	-	10	-	[5], 52-93
5.2	Спектроскопия.	18		6	-	2	-	-	-	-	10	-	[6], 218-336
6	Строение и электронные свойства поверхности	24		6	-	6	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Строение и электронные свойства поверхности" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
6.1	Кристаллическая структура твердого тела.	12		3	-	3	-	-	-	-	6	-	[5], 131-161
6.2	Тонкие пленки на поверхности твердого тела.	12		3	-	3	-	-	-	-	6	-	[7], 36-182
7	Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности	48		14	-	6	-	-	-	-	28	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения расчетных задач по разделу "Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных
7.1	Молекулярная динамика.	48		14	-	6	-	-	-	-	28	-	

													задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: 1. Определения послойного состава и толщин многослойной ультратонкой пленки по рентгеновскому фотоэлектронному спектру. 2. Расчёт энергетического распределения фотоэлектронов, вылетевших из твердого тела, методом Монте-Карло. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [8], 14-40; 121-147 [9], 46-121	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0		32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	16	2		-		0.5	93.5		
	ИТОГО	288.0	-	64	-	32	4		-		1.0	187.0		

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. Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок

1.1. Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок

Основные элементы установки для анализа поверхности. Вакуумная система. Вакуумные насосы. Вакуумные измерения. Манометры и вакууметры. Методы течеискания.. Энергоанализаторы и электронная оптика. Основное оборудование низкотемпературных установок: компрессора, теплообменники, дроссели. Энергоанализатор с задерживающим полем. Отклоняющие электростатические энергоанализаторы. Анализатор цилиндрическое зеркало. Полусферический анализатор.. Источники частиц и излучения. Вторичный электронный умножитель. Фотоэлектронный умножитель. Полупроводниковый детектор. Сцинтилляционный счетчик. Детекторы вторичных и отраженных электронов. Канальный электронный умножитель. Микроканальные пластины.. Масс-спектрометры. Системы разделения ионов. Источники частиц и излучения. Электронная пушка с термоэлектронной эмиссией. Электронная пушка с полевой эмиссией. Генератор высокого напряжения. Ионные пушки. Источники ионов. Источники рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Схема рентгеновской трубки с двумя анодами..

2. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

2.1. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

Электронная микроскопия. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ). Режимы работы ПЭМ. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп. Химический анализ. Структурный анализ. Дифракция обратно рассеянных электронов.. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.. Оже-электронная спектроскопия. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния Резефорда. Масс-спектроскопия вторичных ионов.

3. Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности

3.1. Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности

Пределы классического описания. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия. Состояние электрона в атоме. Квантовая статистика.. Основы физики конденсированного состояния. Зонная классификация твердых тел. Упругое рассеяние заряженных частиц. Неупругое рассеяние заряженных частиц в твердом теле.. Сечения рассеяния. Дифференциальное упругое сечение рассеяния. Индикатриса рассеяния. Дифференциальное неупругое сечение рассеяния. Средняя неупругая длина свободного пробега электронов. Тормозная способность вещества.. Характеристические потери энергии электронов в твёрдом теле. Ионизация. Потери на возбуждение плазменных колебаний. Модельные неупругие индикатрисы рассеяния. Многократное рассеяние заряженных частиц в веществе. Закон Бугера..

4. Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами

4.1. Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами

Энергетические электронные спектры электронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Глубина анализа.. Фотоэлектронные процессы. Определение элементного состава. Обозначения пиков. Спин-орбитальное взаимодействие. Зарядка мишени. Определение относительной концентрации. Методы вычитания фона.. Химический сдвиг. Профиль распределения по глубине. РФЭС с угловым разрешением. Сканирующая РФЭС.

Теоретическая интерпретация фотоэлектронных спектров. Магический угол. Профиль линии.. Оже-спектроскопия (ОЭС). Сканирующий оже-микроскоп. Сравнение РФЭС и ОЭС. Варианты оже-процессов. Переход Костера-Кронига. Кинетическая энергия оже-электрона. Глубина анализа. Количественный анализ. Фазовый анализ..

5. Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов

5.1. Микроскопия.

Электронная микроскопия.. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ). Схема ПЭМ.. Механизм формирования контраста. Требования к приготовлению образцов для ПЭМ. Приготовление образцов для ПЭМ. Режимы работы ПЭМ.. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп (РЭМ). Схема РЭМ.. Химический анализ. Структурный анализ. Формирование контраста. Методы обработки видеосигнала в РЭМ.. Зондовая микроскопия.. Сканирующий зондовый микроскоп.. Сканирующий туннельный микроскоп.. Атомно-силовой микроскоп.. Магнитно-силовой микроскоп..

5.2. Спектроскопия.

Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.. Оже-электронная спектроскопия. Химический анализ. Структурный анализ.. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния Резефорда. Масс-спектроскопия вторичных ионов.. Дифракционные методы. Малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние.. Применение спектроскопии для исследования нанообъектов..

6. Строение и электронные свойства поверхности

6.1. Кристаллическая структура твердого тела.

Основные понятия кристаллографии. Дефекты в кристаллах. Обозначения поверхностей монокристаллов и атомных структур.. Атомарно чистая поверхность. Кристаллическая структура реальной поверхности.. Модификация поверхности.. Релаксация. Реконструкция. Структура поверхности. Сверхрешетки.. Изменение межплоскостных расстояний у поверхности. Релаксация неполярных поверхностей ионных кристаллов. Влияние дефектов на структуру поверхности.. Фасетирование поверхности. Физическая и химическая адсорбция.. Электронные свойства поверхности твердого тела. Модельные представления потенциала на поверхности. Выбор эффективного потенциала.. Теория функционала плотности. Электронная плотность. Поверхностные состояния.. Работа выхода. Зоны Бриллюэна. Электронные зоны в идеальном кристалле. Дисперсионные зависимости. Поверхностная ("проектированная") зона Бриллюэна..

6.2. Тонкие пленки на поверхности твердого тела.

Рост тонких плёнок. Механизмы роста пленок. Образование островковой пленки..

7. Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности

7.1. Молекулярная динамика.

Компьютерный эксперимент. Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона. Выбор временного шага.. Особенности применения метода молекулярной динамики. Применение МД для расчёта сложных систем.. Метод Монте-Карло. Математические основы метода МК. Моделирование дискретных и непрерывных случайных чисел. Расчёт интегралов методом МК.. Модель индивидуальных соударений. Построение стохастической траектории движение частицы. Особенности применения монте-карловского моделирования. Моделирование электронных спектров..

3.3. Темы практических занятий

1. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп.;
2. Ионная спектроскопия.;
3. Фазовый анализ поверхности твёрдого тела методами РФЭС и ОЭСэ;
4. Дифракционные методы анализа поверхности.;
5. Просвечивающий электронный микроскоп.;
6. Определение элементного состава поверхности и относительной концентрации элементов методами РФЭС и ОЭС.;
7. Молекулярная динамика (МД).;
8. Поверхностные состояния. Работа выхода. Зоны Бриллюэна.;
9. Кристаллическая структура твердого тела. Дефекты в кристаллах.;
10. Моделирование электронных спектров методом МК.;
11. Проведение калибровочных экспериментов, выбор режимов работы и настройка энергоанализатора;
12. Упругие и неупругие сечения рассеяния.;
13. Метод Монте-Карло (МК). Построение стохастической траектории движение частицы.;
14. Подготовка вакуумного и аналитического оборудования к проведению экспериментальных исследований. Подготовка образцов для проведения вакуумных исследований;
15. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия. Сечения рассеяния.;
16. Характеристические потери энергии электронов в твёрдом теле.;
17. Методы вычитания фона: линейный, Ширли и Туогарда.;
18. Определение толщины тонкого слоя на поверхности твёрдого тела методом РФЭС.;
19. Электронные свойства поверхности твердого тела.;
20. Моделирование методом молекулярной динамики траекторий движения частиц.;
21. Потенциалы взаимодействия двух частиц.;
22. Определение характерных размеров нанобъектов спектроскопическими методами..

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Строение и электронные свойства поверхности"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности"

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	5	6	7		
Знать:										
основные понятия, закономерности и методы имитационного моделирования взаимодействия частиц с поверхностью	ИД-5ПК-1							+	Тестирование/Имитационное моделирование	
теоретические основы формирования электронных спектров	ИД-5ПК-1		+						Тестирование/Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности	
основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности	ИД-5ПК-1	+							Тестирование/Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности	
структуру и электронные свойства реальной поверхности твёрдого тела	ИД-5ПК-1							+	Тестирование/Структура и электронные свойства поверхности	
Уметь:										
применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела	ИД-5ПК-1			+					Расчетно-графическая работа/Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС	
выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента	ИД-5ПК-1							+	+	Расчетно-графическая работа/Моделирование энергетических спектров фотоэлектронов от ультратонких металл-оксидных пленок
применять методы анализа наноразмерных объектов для определения структуры и их характерных размеров	ИД-5ПК-1						+			Расчетно-графическая работа/Определения послойного состава и толщин многослойной ультратонкой пленки по рентгеновскому фотоэлектронному спектру
проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС	ИД-5ПК-1				+					Расчетно-графическая работа/Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС (Расчетно-графическая работа)
2. Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности (Тестирование)
2. Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности (Тестирование)

2 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Моделирование энергетических спектров фотоэлектронов от ультратонких металл-оксидных пленок (Расчетно-графическая работа)
2. Определения послойного состава и толщин многослойной ультратонкой пленки по рентгеновскому фотоэлектронному спектру (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Имитационное моделирование (Тестирование)
2. Структура и электронные свойства поверхности (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Никитенков, Н. Н. Технология конструкционных материалов. Анализ поверхности методами атомной физики : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры по техническим направлениям и специальностям / Н. Н. Никитенков, Нац. исслед. Томский политехнический ун-т. – М. : Юрайт, 2016. – 202 с. – (Университеты России). – ISBN 978-5-9916-6528-5.;

2. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок = Fundamentals of surface and thin film analysis : пер. с англ. / Л. Фелдман, Д. Майер ; ред. В. В. Белошицкий. – М. : Мир, 1989. – 342 с.;
3. Введение в физику поверхности / К. Оура, и др., Рос.акад. наук, Дальневост. отд-ние, ин-т автоматики и процессов управления. – М. : Наука, 2006. – 490 с. – ISBN 5-02-034355-2.;
4. Нефедов, В. И. Физические методы исследования поверхности твердых тел / В. И. Нефедов, В. Т. Черепин, Акад. наук СССР. Ин-т общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова. – М. : Наука, 1983. – 296 с.;
5. Мамонова, М. В. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы / М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. – М. : Физматлит, 2011. – 400 с. – ISBN 978-5-9221-1236-9.;
6. Головин Ю. И.- "Основы нанотехнологий.", Издательство: "Машиностроение", Москва, 2012 - (656 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5793;
7. Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел : учебное пособие для направлений "Физика", "Прикладные математика и физика", "Радиофизика" / Г. Г. Владимиров. – СПб. : Лань-Пресс, 2016. – 352 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1997-5.;
8. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц : пер. с англ. / Р. Хокни, Дж. Иствуд. – М. : Мир, 1987. – 638 с.;
9. Соболевский, Н. М. Метод Монте-Карло в задачах о взаимодействии частиц с веществом : учебное пособие для вузов по направлению 03.03.01 "Прикладные математики и физика" / Н. М. Соболевский. – М. : Физматлит, 2017. – 208 с. – ISBN 978-5-9221-1723-4..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

15. **Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии** - <http://protect.gost.ru/>

16. **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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-114, Учебная лаборатория «Механика и молекулярная физика»	стол, стул, шкаф, доска маркерная, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
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. "НТ"	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

Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности (Тестирование)
- КМ-2 Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности (Тестирование)
- КМ-3 Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок					
1.1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок		+			
2	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности					
2.1	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности			+		
3	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности					
3.1	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности				+	
4	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами					
4.1	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами					+
Вес КМ, %:			20	20	30	30

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 Структура и электронные свойства поверхности (Тестирование)
- КМ-6 Имитационное моделирование (Тестирование)
- КМ-7 Определения послойного состава и толщин многослойной ультратонкой пленки по рентгеновскому фотоэлектронному спектру (Расчетно-графическая работа)
- КМ-8 Моделирование энергетических спектров фотоэлектронов от ультратонких металл-оксидных пленок (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ- 5	КМ- 6	КМ- 7	КМ- 8
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Микроскопические и спектроскопические методы анализа наноразмерных объектов					
1.1	Микроскопия.				+	
1.2	Спектроскопия.				+	
2	Строение и электронные свойства поверхности					
2.1	Кристаллическая структура твердого тела.		+			+
2.2	Тонкие пленки на поверхности твердого тела.		+			+
3	Применение имитационного моделирования при исследовании поверхности					
3.1	Молекулярная динамика.			+		+
Вес КМ, %:			20	30	20	30