

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
МЕТРОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОУСТРОЙСТВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 5; 8 семестр - 3; всего - 8
Часов (всего) по учебному плану:	288 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 14 часов; всего - 46 часа
Практические занятия	7 семестр - 48 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 76 часа
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа; 8 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	7 семестр - 97,5 часа; 8 семестр - 63,5 часа; всего - 161,0 час
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Коллоквиум	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Афанасьев В.П.
	Идентификатор	Rd662399b-AfanasyevVP-e234fce

В.П. Афанасьев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaee29

А.С. Дмитриев

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 современных методов диагностики и тестирования наноматериалов и наноустройств для их использования в перспективных технологиях

Задачи дисциплины

- изучение современных методов диагностики наноматериалов и наноустройств;
- изучение методов исследования наноструктурных поверхностей и покрытий;
- изучение методов диагностики и измерений электрофизических и тепловых свойств наноматериалов;
- изучение методов сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств.

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-2 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах	ИД-2ПК-2 Знает особенности метрологических систем и систем диагностики наноразмерных материалов и устройств	знать: - методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов; - способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств. уметь: - проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием; - проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах.

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 Физика специальная
- знать Термодинамика
- знать Тепломассообмен
- знать Физика конденсированного состояния
- знать Физика твердого тела

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 понятия нанотехнологий	34	7	8	-	10	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия нанотехнологий" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 72-101 [2], 192-234 [3], 36-48 [4], 11-45
1.1	Понятие нанотехнологий	34		8	-	10	-	-	-	-	-	16	-	
2	Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики	36		8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 72-101 [2], 192-234 [3], 8-22
2.1	Зондовая микроскопия	18		4	-	6	-	-	-	-	-	8	-	
2.2	Спектроскопия	18		4	-	6	-	-	-	-	-	8	-	
3	Методы диагностики и тестирования наноматериалов	34		8	-	10	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы диагностики и тестирования наноматериалов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 72-101
3.1	Механические свойства наноматериалов	17		4	-	5	-	-	-	-	-	8	-	
3.2	Оптические свойства наноматериалов	17	4	-	5	-	-	-	-	-	8	-		

													[2], 192-234 [3], 52-74 [4], 263-332	
4	Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий	40		8	-	16	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
4.1	Общая классификация методов	40		8	-	16	-	-	-	-	-	16	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	-	48	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	-	48	2	-	-	0.5	64	97.5		
5	Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов	34	8	6	-	14	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 72-101 [2], 192-234 [3], 56-78
5.1	Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений	17		3	-	7	-	-	-	-	-	7	-	
5.2	Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики	17		3	-	7	-	-	-	-	-	7	-	
6	Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств	38		8	-	14	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
6.1	Порометрия	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	
6.2	Оптический контроль	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
6.3	Контроль физических	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	

	свойств													[3], 116-161
6.4	Биосовместимость	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0		14	-	28	-	2	-	-	0.5	30	33.5	
	Итого за семестр	108.0		14	-	28	2	-	-	0.5	-	63.5		
	ИТОГО	288.0	-	46	-	76	4	-	-	1.0	-	161.0		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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 понятия нанотехнологий

1.1. Понятие нанотехнологий

Краткая история нанотехнологий. Физические основы нанотехнологии. Метрология наносистем. Примеры применения нанотехнологий.

2. Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики

2.1. Зондовая микроскопия

Основные понятия зондовой микроскопии. Сканирующая зондовая микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Артефакты. Области применения зондовой микроскопии.

2.2. Спектроскопия

Электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.).

3. Методы диагностики и тестирования наноматериалов

3.1. Механические свойства наноматериалов

Механические свойства наноматериалов. Методы анализа механических свойств.

3.2. Оптические свойства наноматериалов

Оптическая спектроскопия, спектрофотометры. Рамановская спектроскопия наноматериалов.

4. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий

4.1. Общая классификация методов

Исследование поверхности методом ИК-Фурье спектроскопии. Рамановская спектроскопия наноматериалов. Лазерная спектроскопия. Фемто- и наносекундная спектроскопия.

5. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов

5.1. Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений

Удельное электросопротивление наноматериалов. Наноконпоненты. Пленки. Наноконпозиты.

5.2. Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики

Измерение термодинамических параметров наноматериалов. Измерение теплопереноса в наноматериалах.

6. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

6.1. Порометрия

Определение истинной поверхности.

6.2. Оптический контроль

Профилометрия. Флуоресценция. Эллипсометрия. Конфокальная микроскопия.

6.3. Контроль физических свойств
Резистометрия. Магнитные измерения.

6.4. Биосовместимость

Контроль и тестирование биосовместимости. Контроль и тестирование безопасности наноматериалов.

3.3. Темы практических занятий

1. Метрология наносистем и примеры применения нанотехнологий;
2. Диагностики и тестирования наноматериалов;
3. Методы диагностики и тестирования наноматериалов;
4. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий;
5. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов;
6. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств.

3.4. Темы лабораторных работ
не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия нанотехнологий"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы диагностики и тестирования наноматериалов"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств"

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	
Знать:								
способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств	ИД-2ПК-2	+	+					Контрольная работа/Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий Контрольная работа/Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств
методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов	ИД-2ПК-2					+		Контрольная работа/Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов Контрольная работа/Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов
Уметь:								
проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах	ИД-2ПК-2			+	+			Коллоквиум/Диагностика и тестирования наноматериалов Коллоквиум/Методы диагностики и тестирования наноматериалов
проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием	ИД-2ПК-2						+	Коллоквиум/Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств Коллоквиум/Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Проверка задания

1. Диагностика и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)
2. Методы диагностики и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)
3. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа)
4. Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа)

8 семестр

Форма реализации: Проверка задания

1. Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов (Контрольная работа)
2. Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов (Контрольная работа)
3. Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)
4. Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

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

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. Дмитриев, А. С. Физико-химия наноструктур : учебное пособие по курсам "Физико-химия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", "Химия наноструктур. Часть 2" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" по профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 240 с. - ISBN 978-5-7046-1356-5 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=5631>;

2. Нанотехнологии. Азбука для всех / Н. С. Абрамчук, [и др.] ; Ред. Ю. Д. Третьяков . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Физматлит, 2009 . – 368 с. - ISBN 978-5-922110-48-8 .;
3. Суздалев, И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздалев . – М. : Эдиториал УРСС, 2006 . – 592 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему) . - ISBN 5-484-00243-5 .;
4. Старостин В. В.- "Материалы и методы нанотехнологий", (4-е изд. (эл.)), Издательство: "Издательство "Лаборатория знаний"", Москва, 2015 - (434 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=66203.

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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер

аттестации	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
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**Метрология наноматериалов и наноустройств**

(название дисциплины)

7 семестр**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа)
 КМ-2 Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа)
 КМ-3 Методы диагностики и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)
 КМ-4 Диагностика и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	9	12	16
1	Основные понятия нанотехнологий					
1.1	Понятие нанотехнологий		+	+		
2	Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики					
2.1	Зондовая микроскопия		+	+		
2.2	Спектроскопия		+	+		
3	Методы диагностики и тестирования наноматериалов					
3.1	Механические свойства наноматериалов				+	+
3.2	Оптические свойства наноматериалов				+	+
4	Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий					
4.1	Общая классификация методов				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

8 семестр**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-5 Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов (Контрольная работа)
 КМ-6 Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов (Контрольная работа)
 КМ-7 Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)
 КМ-8 Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	6	9	12	16
1	Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов					
1.1	Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений		+	+		
1.2	Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики		+	+		
2	Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств					
2.1	Порометрия				+	+
2.2	Оптический контроль				+	+
2.3	Контроль физических свойств				+	+
2.4	Биосовместимость				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25