

**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: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.08.05.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 75,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)


П.Г. Макаров

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dac4ed


(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в знакомстве с развитием технологий в научных исследованиях и технических системах при переходе к наномасштабам и новейшими исследованиями в области нанотехнологий

### Задачи дисциплины

- знакомство обучающихся с современными и перспективными нанотехнологиями для различных отраслей хозяйствования и решения энергетических проблем;
- обучение студентов применению базовых знаний в области нанотехнологий и наноматериалов для выполнения конкретных научно-технологических работ по профессии.;
- знакомство с методами моделирования и расчета процессов в различных системах с применением нанотехнологий и наноматериалов..

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-4 <sub>ПК-1</sub> Знаком с особенностями технологических процессов, протекающих в элементах энергетического оборудования специального назначения.	знать: - технологии управления свойствами материалов, направленным изменением их структуры для решения задач создания новых устройств, оборудования и аппаратов;; - основные источники научно-технической информации по применению нанотехнологий и современных функциональных наноматериалов;;  уметь: - определять перспективные направления исследований и разработок в области нанотехнологий и наноматериалов; - самостоятельно разбираться в методиках расчета переноса тепла и применять их для решения поставленной задачи;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать технологии управления свойствами материалов, направленным изменением их структуры для решения задач создания новых устройств, оборудования и аппаратов
- знать основные источники научно-технической информации по применению нанотехнологий и современных функциональных наноматериалов
- уметь определять перспективные направления исследований и разработок в области нанотехнологий и наноматериалов

- уметь самостоятельно разбираться в методиках расчета переноса тепла и применять их для решения поставленной задачи;

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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 нанотехнологии	22	3	4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 5-65 [3], 5-45	
1.1	Основные понятия нанотехнологии	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-		
2	Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 50-216 [3], 152-198	
2.1	Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-		
3	Углеродные наноматериалы	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 45-151	
3.1	Углеродные наноматериалы	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-		
4	Методы получения наноструктур	24		4	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 199-290	
4.1	Методы получения наноструктур	24		4	-	4	-	-	-	-	-	16	-		
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>58</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>75.7</b>				

**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 понятия нанотехнологии

#### 1.1. Основные понятия нанотехнологии

Понятие нанотехнологии. Краткая история нанотехнологии. Понимание нанотехнологии по Э.Дрекслеру. Примеры применения нанотехнологии. Физические основы нанотехнологии. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Атомно-силовой микроскоп. Электронная микроскопия. Основные области применения наноматериалов и нанотехнологий.

### 2. Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология

#### 2.1. Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология

Исторический контекст развития кремниевой микроэлектроники. Биполярный транзистор. Кремниевые интегральные схемы. Этапы изготовления микроэлектронных устройств по планарной технологии. Виды литографии. Фотолитография. Фоторезист. Экспонирование. Травление. Фотомаска. Изготовление монокристалла по методу Чохральского. Очистка подложек. Чистые комнаты..

### 3. Углеродные наноматериалы

#### 3.1. Углеродные наноматериалы

Аллотропия углерода. Основные характеристики углеродных материалов. Алмаз. Графит. Графен. Нанотрубки. Фуллерены. Фуллериды. Наноккомпозиты. Области применения. Граничное термосопротивление. Термосопротивление в наноструктурах..

### 4. Методы получения наноструктур

#### 4.1. Методы получения наноструктур

4. Методы получения наноструктур Знакомство с методами нанотехнологического синтеза. Основные требования, предъявляемые к методам получения наночастиц и наноматериалов. Различные способы классификации методов получения наноматериалов. Разделение методов по типу фазового перехода. Разделение методов по принципу синтеза: «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Разделение методов по дальнейшему применению получаемого продукта. Разделение методов по типу основного процесса синтеза. Основные отличия методов механического, физического и химического диспергирования.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Сравнение различных видов классификации методов диспергирования – по типу фазового перехода; по «философии» производства – «сверху вниз»/«снизу вверх», по принципу производства, по типу основного процесса синтеза;
2. Расчет граничного термосопротивления в типовых нано- и композитных структурах;
3. Графен. Нанотрубки. Фуллерены. Наноккомпозиты. Области применения;
4. Анализ параметров роста монокристаллов при контакте затравочного кристалла со свободной поверхностью пересыщенного раствора;
5. Моделирование процесса изготовления типовых микроэлектронных структур методом планарной технологии;
6. Сравнение различных видов микроскопии. Сопоставление физических принципов их действия;
7. Физические основы нанотехнологии. Примеры применения наноматериалов и

устройств нанотехнологии.

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

**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	
<b>Знать:</b>						
основные источники научно-технической информации по применению нанотехнологий и современных функциональных наноматериалов;	ИД-4ПК-1	+				Контрольная работа/Основные понятия нанотехнологии
технологии управления свойствами материалов, направленным изменением их структуры для решения задач создания новых устройств, оборудования и аппаратов;	ИД-4ПК-1				+	Контрольная работа/Методы получения и исследования наноструктур
<b>Уметь:</b>						
самостоятельно разбираться в методиках расчета переноса тепла и применять их для решения поставленной задачи;	ИД-4ПК-1			+		Контрольная работа/Углеродные наноструктуры
определять перспективные направления исследований и разработок в области нанотехнологий и наноматериалов	ИД-4ПК-1		+			Контрольная работа/Кремниевая микроэлектроника



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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Устная форма

1. Кремниевая микроэлектроника (Контрольная работа)
2. Методы получения и исследования наноструктур (Контрольная работа)
3. Основные понятия нанотехнологии (Контрольная работа)
4. Углеродные наноструктуры (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Левина, Э. Л. Дзидзигури . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008 . – 365 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-947747-24-9 .;
2. Щука, А. А. Электроника: [в 4 ч.]. Ч. 2. Микроэлектроника : учебник для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям / А. А. Щука ; ред. А. С. Сигов . – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020 . – 326 с. – (Высшее образование) . - ISBN 978-5-534-01867-7 .;
3. Дмитриев А.С.- "Тепловые процессы в наноструктурах", Издательство: "МЭИ", Москва, 2012 - (303 с.)  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383007082.html>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. 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>

## **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-425/1, Учебная лаборатория теплофизики наноструктур	стол, лабораторный стенд
	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	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
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, 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

## Основы нанотехнологий

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

КМ-1 Методы получения и исследования наноструктур (Контрольная работа)

КМ-2 Основные понятия нанотехнологии (Контрольная работа)

КМ-3 Углеродные наноструктуры (Контрольная работа)

КМ-4 Кремниевая микроэлектроника (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основные понятия нанотехнологии					
1.1	Основные понятия нанотехнологии			+		
2	Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология					
2.1	Кремниевая микроэлектроника. Планарная технология					+
3	Углеродные наноматериалы					
3.1	Углеродные наноматериалы				+	
4	Методы получения наноструктур					
4.1	Методы получения наноструктур		+			
Вес КМ, %:			25	25	25	25