

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Лазерная и оптическая измерительная электроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ 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.11</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 - 32 часа;</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 - 59,7 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>Перекрестный опрос</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Павлов И.Н.
	Идентификатор	R1092bb5e-PavlovIIN-b3da3f0e

(подпись)


И.Н. Павлов

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)


Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение физических основ нанотехнологий, ознакомление с основными методами создания наноматериалов и нанобъектов, ознакомление с их основными характеристиками и методами их исследований, а также перспективами их практического использования в лазерной физике, оптике, других областях науки и техники.

### Задачи дисциплины

- Ознакомление с ролью и значением наноматериалов и нанотехнологий в современной науке и технике.;
- Освоение информации о физических явлениях, лежащих в основе создания наноматериалов и нанотехнологий, устройств для их исследования и систем для их практического использования.;
- Приобретение навыков принятия и обосновывания конкретных технических решений при последующем конструировании новых квантовых и наноприборов и устройств..

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 Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы	ИД-1ПК-2 Знает методы синтеза и исследования моделей	знать: - Основные современные методы исследования и синтеза наноматериалов; - Тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также нанооптики и других областей нанотехнологий.  уметь: - Представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы; - Выбирать нужные методы исследования и синтеза конкретных наноматериалов; - Выбирать пути решения поставленных профессиональных задач и оценивать эффективность сделанного выбора.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Лазерная и оптическая измерительная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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	Создание и исследование наноструктур	52	3	20	-	8	-	-	-	-	-	24	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Создание и исследование наноструктур" и подготовка к КМ-1,2,3</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение лекционного и изучение дополнительного материала по разделу "Создание и исследование наноструктур"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], с. 4-24 [2], п. 1-2 [4], с. 57-74</p>	
1.1	Нанотехнологические объекты, понятия и термины	8		4	-	-	-	-	-	-	-	-	4		-
1.2	Сканирующие зондовые микроскопы. Туннельный микроскоп	11		4	-	2	-	-	-	-	-	-	5		-
1.3	Атомно-силовой микроскоп. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	11		4	-	2	-	-	-	-	-	-	5		-
1.4	Способы получения наноматериалов методами «сверху вниз»	11		4	-	2	-	-	-	-	-	-	5		-
1.5	Способы получения наноматериалов методами «снизу вверх»	11		4	-	2	-	-	-	-	-	-	5		-
2	Физические принципы формирования	38		12	-	8	-	-	-	-	-	-	18		-

	наноструктур и наноматериалов												наноструктур и наноматериалов" и подготовка к КМ-4,5
2.1	Квантово-размерные эффекты	9	3	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение лекционного и изучение дополнительного материала по разделу "Физические принципы формирования наноструктур и наноматериалов"
2.2	Электронная структура фуллеренов, нанотрубок и графена	10	3	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], с. 149-182 [5], с. 166-178
2.3	Электронные свойства углеродных наноструктур	10	3	-	2	-	-	-	-	-	5	-	
2.4	Самосборка и самоорганизация наноструктур	9	3	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>42</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>		

**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. Создание и исследование наноструктур

##### 1.1. Нанотехнологические объекты, понятия и термины

Основные понятия и определения. Объекты и методы в нанотехнологиях. Примеры нанообъектов. Роль объема и поверхности в физических свойствах наноматериалов. Соотношение длины волны де Бройля электрона и линейных размеров наночастиц..

##### 1.2. Сканирующие зондовые микроскопы. Туннельный микроскоп

Физические основы методов исследования наноматериалов. Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ). Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ)..

##### 1.3. Атомно-силовой микроскоп. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия

Атомно-силовой микроскоп (АСМ). Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)..

##### 1.4. Способы получения наноматериалов методами «сверху вниз»

Основные принципы формирования наноматериалов. Основные методы и способы технологии «сверху-вниз»: пиролиз, электродуговой способ, лазерная абляция, механодиспергирование, методы химической гомогенизации (золь-гель метод)..

##### 1.5. Способы получения наноматериалов методами «снизу вверх»

Литография. Литография оптическая. ФИП-литография (ФИП- фокусированный ионный пучок). СТМ – Литография. АСМ-Литография. Печатная литография. Эпитаксия. Метод Ленгмюра-Блоджетт..

#### 2. Физические принципы формирования наноструктур и наноматериалов

##### 2.1. Квантово-размерные эффекты

Классические и квантовые размерные эффекты. Типы квантово-размерных структур: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки. Энергетический спектр объемного полупроводника и полупроводниковой квантовой ямы. Энергетический спектр объемного полупроводника и полупроводниковой квантовой точки..

##### 2.2. Электронная структура фуллеренов, нанотрубок и графена

Аллотропные формы углерода. Классификация уровней и состояний в многоэлектронных атомах. Электронная конфигурация атома углерода. Структурные формы углерода. Гибридизация электронных орбиталей углерода. Структура электронных связей в фуллерене, УНТ и графене..

##### 2.3. Электронные свойства углеродных наноструктур

Электронные свойства углеродных наноструктур. Геометрия одностенных УНТ. Связь геометрии УНТ с их электрическими свойствами. Зонная структура объемного полупроводника и графена..

##### 2.4. Самосборка и самоорганизация наноструктур

Потенциальные преимущества электронных свойства углеродных наноструктур перед традиционными полупроводниковыми структурами. Уникальные эмиссионные свойства УНТ как основа для создания наноустройств: электронные дисплеи, люминесцентные источники света и источники рентгеновского излучения..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Методы исследования наноматериалов-II;
2. Мини-конференция "Физика устройств для оптоэлектроники и наноэлектроники на основе наноматериалов";
3. Электронные свойства углеродных наноструктур;
4. Патентный поиск по разделам, связанным с нанотехнологиями;
5. Квантово-размерные эффекты в наносистемах;
6. Методы изготовления наноматериалов-II;
7. Методы изготовления наноматериалов-I;
8. Методы исследования наноматериалов-I.

### **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	
<b>Знать:</b>				
Тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также нанооптики и других областей нанотехнологий	ИД-1 <sub>ПК-2</sub>		+	Контрольная работа/Патентный поиск в области нанотехнологий
Основные современные методы исследования и синтеза наноматериалов	ИД-1 <sub>ПК-2</sub>	+		Перекрестный опрос/Нанотехнологические объекты, понятия и термины
<b>Уметь:</b>				
Выбирать пути решения поставленных профессиональных задач и оценивать эффективность сделанного выбора	ИД-1 <sub>ПК-2</sub>	+		Контрольная работа/Методы получения наноматериалов
Выбирать нужные методы исследования и синтеза конкретных наноматериалов	ИД-1 <sub>ПК-2</sub>	+		Контрольная работа/Методы исследования наноматериалов
Представлять и аргументированно защищать результаты выполненной работы	ИД-1 <sub>ПК-2</sub>		+	Контрольная работа/Мини-конференция по нанотехнологиям



## **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: Выступление (доклад)

1. Мини-конференция по нанотехнологиям (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы исследования наноматериалов (Контрольная работа)
2. Методы получения наноматериалов (Контрольная работа)
3. Патентный поиск в области нанотехнологий (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Нанотехнологические объекты, понятия и термины (Перекрестный опрос)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих.

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. Пухов, К. К. Физические основы нанотехнологий. Часть 1 : учебное пособие по курсу "Физические основы нанотехнологий" по направлению "Электроника и наноэлектроника" / К. К. Пухов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2014 . – 52 с. - ISBN 978-5-7046-1541-5 .;
2. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для старших курсов вузов / В. Л. Миронов, Ин-т физики микроструктур Рос. акад. наук . – М. : Техносфера, 2004 . – 144 с. – (Мир физики и техники) . - ISBN 5-948360-34-2 .;
3. Кузнецов Н. Т., Новоторцев В. М., Жабрев В. А., Марголин В. И.- "Основы нанотехнологии", (3-е изд.), Издательство: "Лаборатория знаний", Москва, 2021 - (400 с.) <https://e.lanbook.com/book/176415>;
4. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие / В. В. Старостин ; Общ. ред. Л. Н. Патрикеев . – 2-е изд . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 . – 431 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-9963-0346-5 .;
5. Рамбиди Н. Г., Берёзкин А. В.- "Физические и химические основы нанотехнологий", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2009 - (456 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2291](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2291).

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Acrobat Reader;
2. Яндекс Браузер.

## 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.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-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-205, Учебная лаборатория "Квантовая и оптическая электроника"	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
	А-111/1, Компьютерный класс каф. Физики	стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, компьютер персональный
	А-111/2, Компьютерный класс каф. Физики	стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютер

		персональный, принтер
Помещения для консультирования	А-201/1, Кабинет сотрудников каф. Физики	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Физические основы нанотехнологий

(название дисциплины)

## 3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Нанотехнологические объекты, понятия и термины (Перекрестный опрос)  
 КМ-2 Методы исследования наноматериалов (Контрольная работа)  
 КМ-3 Методы получения наноматериалов (Контрольная работа)  
 КМ-4 Патентный поиск в области нанотехнологий (Контрольная работа)  
 КМ-5 Мини-конференция по нанотехнологиям (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	16
1	Создание и исследование наноструктур						
1.1	Нанотехнологические объекты, понятия и термины		+				
1.2	Сканирующие зондовые микроскопы. Туннельный микроскоп			+			
1.3	Атомно-силовой микроскоп. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия			+			
1.4	Способы получения наноматериалов методами «сверху вниз»				+		
1.5	Способы получения наноматериалов методами «снизу вверх»				+		
2	Физические принципы формирования наноструктур и наноматериалов						
2.1	Квантово-размерные эффекты					+	
2.2	Электронная структура фуллеренов, нанотрубок и графена					+	
2.3	Электронные свойства углеродных наноструктур					+	
2.4	Самосборка и самоорганизация наноструктур						+
Вес КМ, %:			10	20	15	25	30