

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.16</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>4 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>4 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>4 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>4 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4 семестр - 113,5 часов;</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>Экзамен</b>	<b>4 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лапина Л.Г.
	Идентификатор	R5051c6eb-LapinaLG-295ccd67

(подпись)

Л.Г. Лапина

(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	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

(подпись)

Д.С. Холодный

(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	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

(подпись)

А.З. Славинский

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** формирование естественнонаучного мировоззрения, а также умения применять законы физики для решения практических задач по своему профилю подготовки

### Задачи дисциплины

- изучение основных физических явлений;
- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики, а также методами физического исследования;
- овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики.

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
ОПК-1 способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы	знать: - фундаментальные законы квантовой механики.
ОПК-1 способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	уметь: - рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ОПК-1 способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач	уметь: - определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнология в электронике (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные определения, законы и теоремы высшей математики и физики
- уметь решать типовые задачи по высшей математике и физике

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 5 зачетных единиц, 180 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	Математические основы квантовой теории	48	4	8	-	12	-	-	-	-	-	28	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математические основы квантовой теории" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 111-130 [2], с. 13-80; с. 87-126 [3], с. 14-125 [4], с. 36-45 [5], с. 147-221 [6], с. 14-125	
1.1	Математические основы квантовой теории	48		8	-	12	-	-	-	-	-	28	-		
2	Квантовая механика электрона и атома	56		14	-	14	-	-	-	-	-	-	28	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Квантовая механика электрона и атома" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 131-184 [2], с. 133-197, 300-344, 529-548 [3], с. 183-295, 358-407 [4], с. 46-58 [5], с. 226-281 [6], с. 183-295, 358-407
2.1	Квантовая механика электрона и атома	56		14	-	14	-	-	-	-	-	-	28	-	
3	Статистическая физика	40		10	-	6	-	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Статистическая физика"
3.1	Статистическая физика	40	10	-	6	-	-	-	-	-	-	24	-		

														<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], с. 273-296 [3], с. 488-525 [5], с. 313-370 [6], с. 488-525
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	180.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	80	33.5		
	Итого за семестр	180.0	32	-	32		2		-	0.5		113.5		

**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. Математические основы квантовой теории

##### 1.1. Математические основы квантовой теории

Квантовое состояние, стационарные и нестационарные состояния, вектор состояния. Принцип суперпозиции, суперпозиция квантовых состояний, линейное пространство состояний. Понятие о квантовых вычислениях. Операторы в пространстве состояний. Операторы импульса и координат. Гамильтониан. Коммутация операторов. Принцип неопределенностей.

#### 2. Квантовая механика электрона и атома

##### 2.1. Квантовая механика электрона и атома

Момент импульса в квантовой механике. Неопределенность вектора момента для квантовой частицы. Операторы момента, соотношения коммутации. Орбитальный момент, правило квантования орбитального момента. Спин элементарных частиц, квантование спина, частицы Ферми и частицы Бозе, принцип Паули. Пространственная четность, операция пространственной инверсии, полярные и аксиальные векторы, оператор инверсии и его собственные значения, четность состояния, четность электрона в атоме. Атом водорода. Движение электрона в поле центральной силы, сохранение момента импульса в центральном поле, радиальная волновая функция, центробежная энергия, квантование энергии электрона в кулоновском поле. Спектр энергий атома водорода, квантовые числа и волновые функции стационарных состояний атома водорода, вырождение энергетических уровней, кратность вырождения. Квантование энергии в одновалентных атомах. Спин-орбитальное взаимодействие, тонкая (мультиплетная) структура энергетических уровней в атомах, расщепление уровней в водородоподобных атомах, нумерация энергетических термов с учетом тонкой структуры. Атом в магнитном поле. Магнитный момент электрона, магнетон Бора, правило квантования орбитального и спинового магнитного момента, оператор взаимодействия магнитного момента электрона с магнитным полем. Простой эффект Зеемана, квантование магнитного момента электрона в сильном магнитном поле, расщепление энергетических уровней одновалентных атомов (на примере s- и p- состояний), расщепление спектральных линий, образование спектрального триплета. Сложный эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс. Возмущения квантовой системы. Стационарные и нестационарные возмущения. Резонансные переходы под влиянием периодического возмущения, вероятность перехода в единицу времени. Оптические переходы в атоме, скорость дипольных переходов. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Спектральные линии, уширение линий.

#### 3. Статистическая физика

##### 3.1. Статистическая физика

Тождественность частиц. Перестановки тождественных частиц, симметричные и антисимметричные состояния системы многих частиц. Ферми и Бозе – статистика, принцип Паули, электронный газ в металле, бозе – конденсация.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей;
2. Уравнение Шредингера. Движение частицы в потенциальной яме;
3. Уравнение Шредингера. Потенциальный барьер, туннельный эффект;
4. Уравнение Шредингера. Гармонический осциллятор;
5. Атом водорода;

6. Эффект Зеемана. Спин в магнитном поле;
7. Квантовые статистики;
8. Атом водорода по Бору.

**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	
<b>Знать:</b>					
фундаментальные законы квантовой механики	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>	+			Контрольная работа/Математические основы квантовой теории
<b>Уметь:</b>					
рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub>		+		Контрольная работа/Квантовая механика электрона и атома Контрольная работа/Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов
определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub>			+	Контрольная работа/Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана Контрольная работа/Квантовая механика электрона и атома



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

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

**4 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана (Контрольная работа)
2. Квантовая механика электрона и атома (Контрольная работа)
3. Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов (Контрольная работа)
4. Математические основы квантовой теории (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №4)

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

В диплом выставляется оценка за 4 семестр.

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

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

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

1. Иродов, И. Е. Квантовая физика. Основные законы : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов . – 2-е изд., доп . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004 . – 256 с. – (Технический университет) . - ISBN 5-947740-58-3 .;
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: В 10 т. Т.3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; Ред. Л. П. Питаевский . – 5-е изд., стереотип . – М. : Физматлит, 2001 . – 808 с. - ISBN 5-922100-57-2 .;
3. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев . – 8-е изд . – М. : Эдиториал УРСС, 2015 . – 672 с. – (Физико-математическое наследие: физика (квантовая механика)) . - ISBN 978-5-9710-1720-2 .;
4. Иродов, И. Е. Задачи по квантовой физике : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов . – 2-е изд., испр . – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2006 . – 216 с. - ISBN 5-932080-56-6 .;
5. Суханов, А. Д. Лекции по квантовой физике : Учебное пособие для инженерно-технических специальностей вузов / А. Д. Суханов . – М. : Высшая школа, 1991 . – 383 с. - ISBN 5-06-002061-4 .;
6. Блохинцев Д. И.- "Основы квантовой механики", (7-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (672 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/167719>.

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;

3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

### 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	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-105/1, Компьютерный класс	стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	К-104, Учебная лаборатория по курсам: «Схемотехника», «Импульсная техника», «Элементы интегральных схем»	стол преподавателя, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, доска меловая, указка, оборудование учебное, кондиционер, стенд лабораторный, стенд учебный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для самостоятельной	НТБ-302, Читальный зал отдела	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер

работы	обслуживания учебной литературой	персональный
Помещения для консультирования	К-109/1, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, стол для совещаний, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, документы, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-600/1д, Кабинет проектирования "КП"	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Специальные вопросы физики

(название дисциплины)

#### 4 семестр

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

- КМ-1 Математические основы квантовой теории (Контрольная работа)  
 КМ-2 Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов (Контрольная работа)  
 КМ-3 Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана (Контрольная работа)  
 КМ-4 Квантовая механика электрона и атома (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	Математические основы квантовой теории					
1.1	Математические основы квантовой теории		+			
2	Квантовая механика электрона и атома					
2.1	Квантовая механика электрона и атома			+		+
3	Статистическая физика					
3.1	Статистическая физика				+	+
Вес КМ, %:			10	20	20	50