

**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: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

<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.06</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 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>2 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>Семинар</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>2 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ануфриев Ю.В.
	Идентификатор	Rb9c54598-AnufriyevYV-f797334f

(подпись)

Ю.В. Ануфриев

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8d

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Владение знаниями в области квантовой электроники и физики сверхпроводников, формирование представлений об основных понятиях и идеях физики сверхпроводимости и квантово-механических систем, возможностях и направлениях практического применения сверхпроводящих материалов и низкоразмерных систем для элементов квантовой электроники.

### Задачи дисциплины

- на основе современных экспериментальных исследований и теоретических моделей получить представление об основных физических свойствах сверхпроводников;
- на основе современных экспериментальных исследований и теоретических моделей получить представление об основных физических свойствах квантовой электроники;
- изучение основных методов расчета элементов фотоники и квантовой электроники;
- изучение методов и подходов по экспериментальному изучению элементов квантовой электроники.

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 участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	знать: - Теоретические основы элементов квантовой электроники; - фундаментальные и экспериментальные факты сверхпроводимости и низкоразмерных квантовых систем; - закономерности в поведении свойств сверхпроводников и квантово-механических систем; - основные положения физики сверхпроводников и квантово-механических систем.  уметь: - проводить расчеты функциональных элементов квантовой электроники; - проводить расчеты критических параметров сверхпроводников.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Физику твердого тела
- знать Основы лазерной техники
- уметь Решать задачи анализа и расчёта нелинейных систем
- уметь Использовать основные приёмы обработки и представления экспериментальных данных

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	Теория сверхпроводимости	53.7	2	16	-	8	-	-	-	-	-	29.7	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Проведение расчетов по заданию преподавателя <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п.1 [4], п.2</p>
1.1	Основные свойства сверхпроводников	14		4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
1.2	Сверхпроводящее состояние	13.7		4	-	2	-	-	-	-	-	7.7	-	
1.3	Эксперименты, подтверждающие основные представления о сверхпроводящем состоянии	13		4	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
1.4	Сверхпроводник в магнитном поле	13		4	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
2	Основы квантовой электроники	54	2	16	-	8	-	-	-	-	-	30	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Проведение расчетов по заданию преподавателя <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 50-70 [3], 500-550 [5], 25-45</p>
2.1	Квантовые низкоразмерные системы	14		4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
2.2	Квантовые эффекты в низкоразмерных системах	14		4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
2.3	Технология создания низкоразмерных объектов	13		4	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
2.4	Устройства на квантовых эффектах	13		4	-	2	-	-	-	-	-	7	-	

	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-
	<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>59.7</b>	<b>-</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>	<b>-</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. Теория сверхпроводимости

##### 1.1. Основные свойства сверхпроводников

Открытие сверхпроводимости, основные понятия, критическая температура, критическое магнитное поле, критический ток, эффект Мейснера, сверхпроводники первого и второго рода, явление сверхпроводимости в науке и технике..

##### 1.2. Сверхпроводящее состояние

Электрон-фононное взаимодействие и куперовские пары (теория БКШ). Макроскопическое заполнение основного состояния и энергетическая щель..

1.3. Эксперименты, подтверждающие основные представления о сверхпроводящем состоянии

Изотопический эффект, квантование потока, туннельные эксперименты, стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.

##### 1.4. Сверхпроводник в магнитном поле

Выталкивание магнитного поля, глубина проникновения, тонкие пленки в магнитном поле, энергия раздела между фазами, кривая намагничивания сверхпроводника второго рода, Шубниковская фаза..

#### 2. Основы квантовой электроники

##### 2.1. Квантовые низкоразмерные системы

Атом водорода и водородоподобные атомы. Квантовая теория света, одиночные фотоны. Основы квантовой теории твердого тела. Кулоновская блокада..

##### 2.2. Квантовые эффекты в низкоразмерных системах

Туннелирование и контактные явления в низкоразмерных системах. Сверхпроводимость как основа детекторов и основные эффекты в сверхпроводниках. Фотонные преобразования..

##### 2.3. Технология создания низкоразмерных объектов

История развития технологии создания низкоразмерных структур. Закон Мура. Основные технологические подходы к созданию низкоразмерных твердотельных структур. Технология создания сверхпроводникового однофотонного детектора..

##### 2.4. Устройства на квантовых эффектах

Кубит. Принципы работы квантовых вычислений на примере фотонных кристаллов. Квантовый компьютер на Джозефсоновских переходах. Одноэлектронный транзистор. Однофотонные детекторы..

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

1. Определение критической температуры сверхпроводника.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов подготовленных студентами по теме.
2. Обсуждение материалов подготовленных студентами по теме.

### **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>				
основные положения физики сверхпроводников и квантово-механических систем	ИД-1ПК-1		+	Семинар/контрольная работа Семинар/Опрос 2
закономерности в поведении свойств сверхпроводников и квантово-механических систем	ИД-1ПК-1	+	+	Семинар/Опрос 2
фундаментальные и экспериментальные факты сверхпроводимости и низкоразмерных квантовых систем	ИД-1ПК-1	+		Семинар/контрольная работа Семинар/Опрос 1
Теоретические основы элементов квантовой электроники	ИД-1ПК-1		+	Семинар/Опрос 1 Семинар/Опрос 2
<b>Уметь:</b>				
проводить расчеты критических параметров сверхпроводников	ИД-1ПК-1	+		Семинар/контрольная работа Семинар/Опрос 1
проводить расчеты функциональных элементов квантовой электроники	ИД-1ПК-1		+	Семинар/контрольная работа Семинар/Опрос 2

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

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

**2 семестр**

Форма реализации: Смешанная форма

1. контрольная работа (Семинар)

Форма реализации: Устная форма

1. Опрос 1 (Семинар)
2. Опрос 2 (Семинар)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (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. М. Тинкхам- "Введение в сверхпроводимость", Издательство: "Атомиздат", Москва, 1989 - (311 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483408>;
2. Барышников В. И., Колесникова Т. А.- "Квантовая электроника", Издательство: "ИрГУПС", Иркутск, 2017 - (76 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/134655>;
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Квантовая электродинамика" Т. 4, (4-е изд., стер.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2006 - (720 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2237](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2237);
4. Буккель, В. Сверхпроводимость. Основы и приложения : пер. с нем. / В. Буккель . – М. : Мир, 1975 . – 366 с.;
5. Абрикосов, А. А. Методы квантовой теории поля в статистической физике / А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский, Ин-т теоретической физики им. Л.Д. Ландау . – 2-е изд., испр. и доп. – [б. м.] Добросвет, 1998 . – 514 с. - ISBN 5-7913-0020-4 : 93.60 ..

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

1. Acrobat Reader;
2. Latex;
3. 7-zip.

### 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 журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-108а, Учебная лаборатория по курсам: «Техника СВЧ»; «Полупроводниковые приборы СВЧ» (с 2017/18 гг)	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-108а, Учебная лаборатория по курсам: «Техника СВЧ»; «Полупроводниковые приборы СВЧ» (с 2017/18 гг)	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-108а, Учебная лаборатория по курсам: «Техника СВЧ»; «Полупроводниковые приборы СВЧ» (с 2017/18 гг)	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Квантовая электроника

(название дисциплины)

## 2 семестр

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

КМ-1 Опрос 1 (Семинар)

КМ-2 Опрос 2 (Семинар)

КМ-3 контрольная работа (Семинар)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	2	2	2
1	Теория сверхпроводимости				
1.1	Основные свойства сверхпроводников		+		+
1.2	Сверхпроводящее состояние		+		+
1.3	Эксперименты, подтверждающие основные представления о сверхпроводящем состоянии		+		+
1.4	Сверхпроводник в магнитном поле		+	+	+
2	Основы квантовой электроники				
2.1	Квантовые низкоразмерные системы		+	+	+
2.2	Квантовые эффекты в низкоразмерных системах			+	+
2.3	Технология создания низкоразмерных объектов			+	+
2.4	Устройства на квантовых эффектах			+	+
Вес КМ, %:			45	45	10