

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

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	2 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Семинар	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	2 семестр - 0,3 часа;

Москва 2022

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 _{ПК-1} 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><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Проведение расчетов по заданию преподавателя <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Проведение расчетов по заданию преподавателя <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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	-	-	
	Всего за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	-	0.3	59.7	-	
	Итого за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	0.3	59.7			

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	
Знать:				
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
Уметь:				
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;
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
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-109/1, 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	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