

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:48:43

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Квантовое материаловедение

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

5 ЗЕТ

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

68

курсовая работа 3

самостоятельная работа

85

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 3 (2.1) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | 19 | | | |
| Неделя | 19 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Практические | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Итого ауд. | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Контактная работа | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Сам. работа | 85 | 85 | 85 | 85 |
| Часы на контроль | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Итого | 180 | 180 | 180 | 180 |

Программу составил(и):

к.ф.-м.н., доцент, Теленков Максим Павлович

Рабочая программа

Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-23-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

Руководитель подразделения Д.ф.-м.н., профессор Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | познакомить студентов с основными свойствами квантово-размерных гетероструктур, лежащими в основе их приложений в полупроводниковой электронике, а также развить умения и навыки, необходимые для инновационной деятельности |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| Блок ОП: | | Б1.В |
|------------|--|------|
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Квантовая физика твердого тела | |
| 2.1.2 | Квантово-механическое моделирование материалов | |
| 2.1.3 | Квантовые сенсоры и квантовая метрология | |
| 2.1.4 | Лабораторный практикум по квантовой фотонике и криптографии | |
| 2.1.5 | Методы исследования материалов | |
| 2.1.6 | Неравновесная квантовая механика одноэлектронных устройств | |
| 2.1.7 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности. Научно-исследовательская практика | |
| 2.1.8 | Спектроскопические методы анализа материалов | |
| 2.1.9 | Технологии получения материалов | |
| 2.1.10 | Введение в современные квантовые технологии ч.1 | |
| 2.1.11 | Квантовая криптография и связь | |
| 2.1.12 | Квантовая механика и статистика наночастиц | |
| 2.1.13 | Математика квантовых технологий | |
| 2.1.14 | Нелинейная физика | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.2 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| | |
|---|--|
| ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности, демонстрировать практические навыки для решения сложных задач, выполнения сложного проектирования, а также проведения комплексных исследований, знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями | |
| Знать: | |
| ОПК-4-31 свойства квантово-размерных гетероструктур и физическую картину происходящих в них явлений, лежащие в основе их применения в полупроводниковой электронике; | |
| ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики | |
| Знать: | |
| ПК-1-31 основные этапы обработки новой информации | |
| УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, вырабатывать стратегию действий | |
| Знать: | |
| УК-1-31 идеи, лежащие в основе приложений квантово-размерных гетероструктур в полупроводниковой электронике; | |
| ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики | |
| Уметь: | |
| ПК-1-У1 анализировать новую информацию применительно к решаемой задаче | |

| |
|---|
| ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности, демонстрировать практические навыки для решения сложных задач, выполнения сложного проектирования, а также проведения комплексных исследований, знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Уметь: |
| ОПК-4-У1 применять методы механики, электродинамики и статистической физики к описанию основных свойств полупроводниковых низкоразмерных систем, в том числе и приборов на их основе |
| УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий |
| Уметь: |
| УК-1-У1 использовать при решении поставленных задач логическое, творческое, системное мышление; |
| Владеть: |
| УК-1-В1 навыками поиска необходимой информации в специальной и справочной литературе и на интернет – ресурсах |
| ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности, демонстрировать практические навыки для решения сложных задач, выполнения сложного проектирования, а также проведения комплексных исследований, знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Владеть: |
| ОПК-4-В1 навыками анализа физических свойств квантово-размерных гетероструктур, необходимыми для их применения в инновационной полупроводниковой электронике; |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|--|----------------|-------|------------------------------------|-------------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. Физика квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур | | | | | | | |
| 1.1 | Явление размерного квантования и типы квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур /Лек/ | 3 | 10 | ОПК-4-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э7 | | | |
| 1.2 | Условия наблюдения квантово-размерных эффектов /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |
| 1.3 | Формализм огибающей функции. Применение метода огибающей функции к расчету электронного спектра квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.2Л2.1 Э2 Э7 | | | |
| 1.4 | Спектр носителей заряда в квантово-размерных гетероструктурах /Лек/ | 3 | 2 | ОПК-4-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э7 | | | |
| 1.5 | Спектр электрона в одиночной квантовой яме /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э7 | | | |
| 1.6 | Спектр электрона в системе туннельно-связанных квантовых ям и сверхрешетках /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э7 | | | |
| 1.7 | Электронные состояния в квантовых нитях и квантовых точках /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |

| | | | | | | | | |
|------|--|---|----|---|--|--|--|----|
| 1.8 | Плотность электронных состояний в структурах пониженной размерности /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |
| 1.9 | Электронный спектр в квантовой яме в квантующем магнитном поле /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э7 | | | |
| 1.10 | Транспортные явления в квантово-размерных гетероструктурах /Лек/ | 3 | 10 | ОПК-4-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э7 | | | |
| 1.11 | Рассеяние носителей заряда в низкоразмерных системах /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э7 | | | |
| 1.12 | Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э7 | | | |
| 1.13 | Баллистический транспорт и квантование проводимости в квантовых нитях /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.2 Э1 Э7 | | | |
| 1.14 | Одноэлектронное туннелирование в квантовых точках /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э7 | | | |
| 1.15 | Магнитосопротивление при различных режимах туннелирования в сврхрешетках и структурах из квантовых ям /Пр/ | 3 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-1-31 | Л1.1Л2.2 Э1 Э7 | | | |
| 1.16 | Квантовый эффект Холла /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 | Л1.1Л2.1 Э1 Э7 | | | |
| 1.17 | Оптические свойства квантово-размерных гетероструктур /Лек/ | 3 | 2 | УК-1-31 | Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |
| 1.18 | Межзонное и межподзонное поглощение. Оптическое усиление на межподзонных переходах. /Пр/ | 3 | 2 | УК-1-У1 УК-1-В1 | Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э7 | | | |
| 1.19 | Оптическая ионизация квантовых ям /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.3Л2.2 Э1 Э3 Э7 | | | |
| 1.20 | Экситоны и экситонная люминесценция в квантовых ямах /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э7 | | | |
| 1.21 | Экситонная люминесценция в квантовых точках /Пр/ | 3 | 2 | ОПК-4-У1 | Л1.3Л2.2 Э1 Э7 | | | |
| 1.22 | Закрепление материала аудиторных занятий. Чтение основной и дополнительной литературы /Ср/ | 3 | 33 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3. 1 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |
| 1.23 | Решение задач домашнего задания /Ср/ | 3 | 16 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3. 2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э7 | | | Р1 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|----|--|---|--|--|----|
| | Раздел 2. Приложения квантово-размерных гетероструктур в полупроводниковой электронике | | | | | | | |
| 2.1 | Транзистор с высокой подвижностью электронов /Лек/ | 3 | 2 | УК-1-31 ОПК-4-31 ПК-1-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э7 | | | |
| 2.2 | Резонансно-туннельный диод. Резонансно-туннельный транзистор /Лек/ | 3 | 2 | УК-1-31 ОПК-4-31 ПК-1-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э7 | | | |
| 2.3 | Модуляторы света на квантовых ямах. Фотоприемники на квантовых ямах. /Лек/ | 3 | 2 | ОПК-4-31 | Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э7 | | | |
| 2.4 | Полупроводниковые лазеры на межподзонных переходах - квантовые каскадные лазеры /Лек/ | 3 | 2 | ПК-1-31 | Л1.1Л2.1 Э5 Э7 | | | |
| 2.5 | Фотовольтаические приложения квантово-размерных гетероструктур /Лек/ | 3 | 2 | ПК-1-31 | Л1.3Л2.1 Э6 Э7 | | | |
| 2.6 | Закрепление материала аудиторных занятий. Чтение основной и дополнительной литературы /Ср/ | 3 | 10 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.1 Л1.3Л2.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |
| 2.7 | Реферат /Ср/ | 3 | 14 | УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л3.3 Э7 | | | Р2 |
| | Раздел 3. Курсовая работа | | | | | | | |
| 3.1 | Выполнение и оформление курсовой работы /Ср/ | 3 | 12 | УК-1-31 ОПК-4-31 ПК-1-31 | Л3.3 Э7 | | | |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|-------------------------|------------------------------------|--|
| КМ1 | экзамен | ОПК-4-31;УК-1-31;ПК-1-31 | <ol style="list-style-type: none"> 1) Явление размерного квантования. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов 2) Полупроводниковый гетеропереход. Типы квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур 3) Метод огибающей функции 4) Одиноквантовая яма. Спектр носителей заряда в квантовой яме 5) Спектр носителей заряда в системе туннельно-связанных квантовых ям. 6) Сверхрешетка. Спектр носителей заряда в сверхрешетке . 7) Квантовые нити. Спектр носителей заряда в квантовых нитях 8) Квантовые точки. Спектр носителей заряда в квантовых точках 9) Осцилляции Раби в структурах из туннельно-связанных квантовых ям 10) Туннельные переходы между состояниями слабосвязанных квантовых ям. Явление резонансного туннелирования (ПК2.1-31). 11) Влияние процессов рассеяния на вероятность резонансного туннелирования 12) Плотность состояний в электронных системах с пониженной размерностью. |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>13) Влияние рассеяния на плотность состояний. 14) Основные методы описания резонансно-туннельного транспорта в сверхрешетках 15) Транспорт по минизоне в сверхрешетках 16) Последовательный резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках. 17) Прыжковая проводимость по состояниям Ваннье-Штарка в сверхрешетках. 18) Рассеяние на примесях в квантовой яме. 19) Рассеяние на шероховатости гетерограниц в квантовой яме 20) Рассеяние на акустических фононах в двумерном электронном газе. 21) Рассеяние на оптических фононах в двумерном электронном газе 22) Времена релаксации электронов в двумерных системах 23) Домены электрического поля в сверхрешетках 24) Дискретная модель последовательного резонансно-туннельного транспорта в сверхрешетках. 25) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в продольном магнитном поле. 26) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в поперечном магнитном поле. 27) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в наклонном магнитном поле. 28) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям в продольном магнитном поле. 29) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям в поперечном магнитном поле. 30) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям в наклонном магнитном поле. 31) Латеральный транспорт в двумерных электронных системах в магнитном поле. 32) Плотность состояний в двумерном электронном газе в магнитном поле 33) Квантовый эффект Холла 34) Сравнение оптических свойств двумерных и трехмерных систем 35) Межподзонное поглощение в двумерном электронном газе 36) Экситоны в двумерных системах. Энергия связи экситонов в квантовых ямах 37) Экситонная люминесценция в квантовых ямах. 38) Экситонная люминесценция в квантовых точках. 39) Мелкие примеси в квантовых ямах. 40) Оптическая ионизация квантовых ям. 41) Эффект Ааронова-Бома в мезоскопических системах. 42) Эффект кулоновской блокады в мезоскопическом транспорте. 43) Одноэлектронное туннелирование. 44) Баллистический транспорт и квантование проводимости в квантовых нитях. 45) Транзистор на электронах с высокой подвижностью. 46) Резонансно-туннельный диод. 47) Резонансно-туннельный транзистор. 48) Модуляторы света на квантовых ямах. 49) Фотоприемники на квантовых ямах. 50) Полупроводниковые лазеры на межподзонных переходах - квантовые каскадные лазеры . 51) Одноэлектронный транзистор. 52) Квантовый интерференционный транзистор. 53) Приложения квантово-размерных гетероструктур в фотовольтаике. 53) Спиновые транзисторы. 54) Сенсоры на основе гигантского магнитосопротивления . 55) Использование спин-зависимого транспорта для создания энергонезависимой памяти.</p> |
|--|--|---|

| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
|--|------------------|--|--|
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | домашнее задание | ОПК-4-31;УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-У1;УК-1-У1;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1;УК-1-В1 | Примеры задач домашнего задания приведены в приложении 1 |
| P2 | курсовая работа | ОПК-4-31;ОПК-4-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-1-31;ПК-1-У1;ОПК-4-В1;УК-1-В1 | Примеры тем приведены в приложении 2 |
| 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.) | | | |
| Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов. Экзаменационные билеты хранятся на кафедре. Пример экзаменационного билета находится в Приложении | | | |
| 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР) | | | |
| <p>Для успешного завершения обучения студент должен успешно сдать реферат, домашнее задание, курсовую работу и экзамен.</p> <p>Шкала оценок за ответ на экзамене:</p> <p>Оценка "Отлично". Студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного материала, знает рекомендованную литературу.</p> <p>Оценка "Хорошо". Студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.</p> <p>Оценка "Удовлетворительно". Студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.</p> <p>Оценка "Неудовлетворительно". Студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.</p> <p>Реферат оценивается по системе "зачет/незачет". Реферат зачитывается, если его тема раскрыта полно и логически связано, а сам он оформлен в соответствии с ГОСТ. В случае, если реферат не зачитывается или не сдается, студент автоматически получает итоговую оценку "Неудовлетворительно".</p> <p>Домашнее задание оценивается по системе "зачет/незачет". Домашнее задание зачитывается, если студент правильно решил все входящие в него задачи в полном объеме и предоставил в письменном виде их развернутые аргументированные решения, содержащие необходимый физический анализ полученных результатов. В случае, если домашнее задание не зачитывается, студент автоматически получает итоговую оценку "Неудовлетворительно".</p> <p>Шкала оценок курсовой работы:</p> <p>Оценка "Отлично". Задание выполнено в полном объеме. Результаты изложены логически стройно. Пояснительная записка к курсовой работе оформлена в соответствии с ГОСТ.</p> <p>Оценка "Хорошо". Задание выполнено в целом правильно. Имеется небольшое количество физически несущественных ошибок при выполнении задания или при изложении результатов. Пояснительная записка оформлена в соответствии с ГОСТ.</p> <p>Оценка "Удовлетворительно". Задание выполнено в целом правильно без физически существенных ошибок. Результаты изложены небрежно или сбивчиво. Пояснительная записка оформлена в соответствии с ГОСТ.</p> <p>Оценка " Неудовлетворительно". Задание выполнено неверно - имеются физически существенные ошибки, или пояснительная записка оформлена с нарушением ГОСТ.</p> | | | |

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------|---|------------------------|---|
| Л1.1 | Борисенко В. Е. | Нанoeлектроника: теория и практика: учебник | Электронная библиотека | Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------|------------------------|
| Л1.2 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников: Учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1990 |
| Л1.3 | Пархоменко Ю. Н., Полисан А. А. | Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2014 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|
| Л2.1 | Троян П. Е., Сахаров Ю. В. | Нанoeлектроника: учебное пособие | Электронная библиотека | Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010 |
| Л2.2 | Дробот П. Н. | Нанoeлектроника: учебное пособие | Электронная библиотека | Томск: ТУСУ, 2016 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|---|------------------------|--|
| Л3.1 | Кучеренко М. А. | Стратегии смыслового чтения учебного текста по физике: учебно-методическое пособие | Электронная библиотека | Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2014 |
| Л3.2 | Уздин В. М. | Математическое моделирование: метод анализа размерности: учебно- методическое пособие | Электронная библиотека | Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019 |
| Л3.3 | Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А. | Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ и отчетов по практикам: метод. указания | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2015 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|---|---|
| Э1 | Учебное пособие: Физика низкоразмерных систем : А. Я. Шик, Л. Г. Бакуева, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков ; общ. ред. В. И. Ильин, А. Я. Шик . – М. : Наука, 2001 | http://elcat.lib.misis.ru/vmsua5379ghkip/app/webroot/index.php?url=/notices/index/246231/default/55067# |
| Э2 | Учебное пособие: Опoeлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер . – М. : Техносфера, 2006 | http://elcat.lib.misis.ru/vmsua5379ghkip/app/webroot/index.php?url=/notices/index/503341/default/55032 |
| Э3 | Учебное пособие: Опoeтические свойства наноструктур / Л. Е. Воробьев, Е. Л. Ивченко, Д. А. Фирсов, В. А. Шалыгин ; ред. Б. И. Ильин, А. Я. Шик . – СПб. : Наука, 2001 | http://elcat.lib.misis.ru/vmsua5379ghkip/app/webroot/index.php?url=/notices/index/180023/default/55030 |
| Э4 | Полупроводниковые сверхрешетки / М. А. Херман, А. Я. Шик . – М. : Мир, 1989 | http://elcat.lib.misis.ru/vmsua5379ghkip/app/webroot/index.php?url=/notices/index/19594/default/55052 |
| Э5 | Advances in physics | https://doi.org/10.1080/0001873031000119619 |
| Э6 | IGI Global | https://www.igi-global.com/book/advanced-solar-cell-materials-technology/63885 |
| Э7 | Платформа LMS Canvas для студентов НИТУ МИСиС. Курс "Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике" | https://lms.misis.ru/courses/8879 |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|------------------|
| П.1 | Microsoft Office |
| П.2 | LMS Canvas |
| П.3 | MS Teams |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | Полнотекстовые российские научные журналы и статьи: |
| И.2 | — Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/ |

| | |
|-----|---|
| И.3 | Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС): |
| И.4 | — аналитическая база Web of Science https://apps.webofknowledge.com |
| И.5 | — аналитическая база Scopus https://www.scopus.com/ |
| И.6 | — наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com |
| И.7 | — научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/ |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|-----------------------------------|--|---|
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Любой корпус Учебная аудитория | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест |
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Содержание дисциплины является сильно взаимосвязанным. Поэтому ее изучение должно носить систематический, регулярный характер: необходимо посещение всех аудиторных занятий и своевременное выполнение запланированной самостоятельной работы в полном объеме.

Рекомендуется вести конспекты лекций и практических занятий. Перед каждым аудиторным занятием следует самостоятельно проработать предшествующий материал, используя конспекты, литературу и электронные ресурсы. Достаточным результатом проработки является умение изложить материал, не прибегая к источникам информации.

Следует немедленно обращаться к преподавателю при возникновении непонимания рассматриваемых вопросов, в том числе и в том случае, если обнаруживаются пробелы в знании предшествующих курсов или школьной программы.

Принципиально важное значение для успешного освоения дисциплины имеет своевременное выполнение домашнего задания, которое заключается в самостоятельном решении практических задач и направлено на выработку как общих навыков теоретического описания, так и навыков применения механики, статистической физики и электродинамики для описания поведения квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур, необходимых для дальнейшего обучения по профилю подготовки и будущей профессиональной деятельности. Домашнее задание охватывает все разделы курса, и его следует выполнять в течение всего семестра, по мере изучения соответствующего материала. В случае возникновения трудностей при решении задач необходимо немедленно обратиться к преподавателю. Решение задачи должно обязательно содержать развернутое аргументированное объяснение выбора метода решения задачи, описание процедуры ее математической постановки. Математические расчеты должны быть подробными и представлены в полном объеме. В обязательном порядке следует проверить размерность в полученном решении, разумность числовых значений, даваемых решением, и его поведения при изменении входящих в него величин (в частности, соответствие решения простым оценкам и известным предельным случаям). Помимо этого необходимо выполнить и подробно представить физический анализ решения, специально требуемый в условии задачи. Выполненное домашнее задание сдается в письменном виде не позже, чем за две недели до зачетной сессии. Преподаватель проверяет домашнее задание в течении двух дней и возвращает его студенту с замечаниями при их наличии. Студент должен внести исправления в решение задач в соответствии с замечаниями и предоставить скорректированное решение задач не позже, чем за неделю до экзамена.

Другим важным элементом самостоятельной работы является реферат. Тема реферата выбирается студентом из предоставленного ему списка. Также студент может сам предложить тему реферата, относящуюся к тематике дисциплины. В последнем случае решение о закреплении за студентом предложенной им темы принимает преподаватель. Реферат должен полностью раскрывать тему, текст должен быть ясным и логически связанным, написан с соблюдением норм русского языка, содержать необходимые ссылки на литературу и интернет-источники, быть оформленным в соответствии с требованием ГОСТ. Оригинальность текста должна быть не менее 75 %. Реферат сдается не позже, чем за две недели до зачетной сессии. В течении недели преподаватель проверяет реферат и сообщает студенту свои замечания при их наличии. Студент должен внести исправления в соответствии с замечаниями и предоставить скорректированный реферат не позже, чем за неделю до экзамена.

Курсовая работа представляет собой небольшое исследование. Тема работы определяется преподавателем с учетом

интереса студента. Пояснительная записка сдается не позже, чем за неделю до зачетной сессии. Рекомендуется при выполнении курсовой работы периодически консультироваться у преподавателя. Также рекомендуется советоваться с преподавателем при оформлении пояснительной записки.

Данная дисциплина поддерживается курсом на платформе LMS Canvas для студентов НИТУ МИСиС (электронный ресурс Э7), в котором можно найти программу курса, презентации, содержащие материал аудиторных занятий, литературу в электронном виде. Рекомендуется использовать LMS Canvas также для связи с преподавателем вне аудитории, публикуя сообщения в обсуждениях, созданных в курсе. В частности, можно задавать вопросы или запрашивать консультацию. В LMS Canvas преподаватель сообщает о месте, времени и форме проведения консультаций. Предпочтение отдается очным консультациям. Однако, в случае затруднения проведения консультации в очной форме, она может быть дана удаленно в соответствующей группе платформы MS Teams.