

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:



Декан физического факультета

С.Н. Филимонов

2021 г.

Рабочая программа дисциплины  
**Физика низкоразмерных структур**

по направлению подготовки  
03.04.02 – Физика

Магистерская программа  
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения  
Очная

Квалификация выпускника  
Магистр

Год приема  
2021

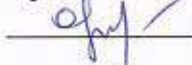
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.05.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск–2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

Получить представления о теоретических методах исследования, физических свойствах и практическом использовании наноразмерных полупроводниковых структур.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 2, зачет.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание основ квантовой механики, физики твердого тела, термодинамики и статистической физики.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часа, из которых:

– лекции: 14 ч.;

– практические занятия: 14 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Электронные и фононные состояния в низкоразмерных структурах

Условия наблюдения квантово-размерных эффектов. Потенциал Кроннига-Пенни. Минизоны в сверхрешетках. Классификация сверхрешеток. Типы сверхрешеток. Композитные, модулированные сверхрешетки. Модели разрывов зон и барьера Шоттки.

Комплексная зонная структура. Методы расчета. Комплексная зонная структура алмазоподобных соединений, зависимость от гетерограницы. Электронные состояния в квантовых ямах, проволоках, точках. Примесные состояния мелких центров в квантовых ямах. Энергетический спектр электронов в низкоразмерных структурах в присутствии постоянного магнитного поля. Штарковская локализация электронов в квантовых ямах сверхрешеток в сильном электрическом поле. Макроскопический и микроскопический подходы для описания колебательных состояний в сверхрешетках. Интерфейсные электронные и фононные состояния в гетероструктурах.

Тема 2. Физические свойства сверхрешеток.

Продольный и поперечный транспорт. ОДП в сверхрешетках. Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток. Влияние колебаний решетки, примесей и несовершенств гетерограницы на свойства гетероструктур. Квантовый эффект Холла. Феноменологические результаты. Условия наблюдения. Целочисленный эффект Холла, одноэлектронная теория, влияние беспорядка. Роль многоэлектронных корреляций в нецелочисленном эффекте Холла.

Тема 3. Резонансное туннелирование электронов в многобарьерных структурах.

Туннелирование электронов через одну границу, один барьер, двухбарьерную структуру. Условия возникновения резонансных пиков. Методы матрицы перехода и рассеяния, их свойства. Формула Брейта-Вигнера. Модели сшивания волновых функций на границах. Квазистационарные состояния. Открытая квантовая яма, времена жизни резонансов, полуширина пика. Эффекты междолинного смешивания электронных состояний на гетерогранице.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации

**Зачет** проводится в устной форме по билетам, содержащим вопросы по курсу, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ИПК-1.2, а также по контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1.

Примеры вопросов в билете:

1. Потенциал Кроннига-Пенни. Минизоны в сверхрешетках
2. Комплексная зонная структура.
3. Электронный спектр квантовых ям, проволок, точек.
4. Примесные состояния мелких центров в квантовых ямах.
5. Энергетический спектр низкоразмерных структур в присутствии магнитного поля.
6. Штарковские состояния электронов в сверхрешетках.
7. Интерфейсные электронные и фононные состояния в гетероструктурах.
8. Продольный и поперечный транспорт в сверхрешетках.
9. Оптические свойства наноструктур.
10. Квантовый эффект Холла.
11. Туннелирование электронов в барьерных структурах.
12. Фано-резонансы, их проявления в электрических и оптических характеристиках.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Промежуточная аттестация (контрольная точка) предполагает посещаемость более половины лекций, ответы на вопросы тестов и выполнение не менее половины домашних заданий.

Оценка «зачтено» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность. Оценка «не зачтено» ставится, если студент не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22922>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 1989.
2. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. М.: Мир, 1990.
3. Кульбачинский В.А. Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки. М. 1998.
4. Воробьев Л.Е., Данило С.Н., Зегря Г.Г., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., Ясиевич И.Н., Берегулин Е.В. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантованных структурах. Санкт-Петербург, Наука, 2001.
5. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. Наука, Санкт-Петербург, 2001.
6. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. М. 2002.
7. В.А.Гридчин, И.Г.Неизвестный, В.Н.Шумский Физика микросистем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.

б) дополнительная литература:

1. Тернов И.М., Жуковский В.Ч., Борисов А.В. Квантовая механика и макроскопические эффекты. М.: Изд-во МГУ, 1993.
2. Рашба Э.И., Тимофеев Б.Б. Квантовый эффект Холла. ФТП, т.20, №6, с.977-1024, 1986.
3. Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г. Широкозонные полупроводники. Санкт-Петербург, Наука, 2001.

в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

г) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

#### **15. Информация о разработчиках**

Гриняев Сергей Николаевич, доктор физ.-мат. наук, ТГУ, кафедра физики полупроводников, доцент.