

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Физика низкоразмерных структур**

по направлению подготовки

**03.04.02 – Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

## **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 Блоку 1 «Физика полупроводников. Микроэлектроника». 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**

Первый семестр, 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., 28 часов, 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 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.

Тема 2. Физические свойства сверхрешеток.

Продольный и поперечный транспорт. ОДП в сверхрешетках. Влияние колебаний решетки, примесей и несовершенств гетерограницы на свойства гетероструктур.

Тема 3. Квантовый эффект Холла.

Феноменологические результаты. Условия наблюдения. Целочисленный эффект Холла, одноэлектронная теория, влияние беспорядка. Роль многоэлектронных корреляций в нецелочисленном эффекте Холла.

Тема 4. Резонансное туннелирование электронов в гетероструктурах.

Туннелирование электронов через одну границу, один барьер, двухбарьерную структуру. Условия возникновения резонансных пиков. Резонансно-туннельный диод. 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. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации

**Зачет** проводится в устной форме по билетам, содержащим вопросы по курсу, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ПК-1 и ИПК-1.2., а также по контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

## 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. – 240 с.
2. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников. – М.: Мир, 1990. – 488 с.
3. Кульбачинский В.А. Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки. – М.: Издательство физического ф-та МГУ, 1998. – 162 с.

4. Воробьев Л.Е., Данило С.Н., Зегря Г.Г., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А., Яссиевич И.Н., Берегулин Е.В. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и размерно-квантованных структурах. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 250 с.
5. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 160 с.
6. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. – М.: Физматлит, 2002. – 560 с.
7. Гридчин В.А., Неизвестный И.Г., Шумский В.Н. Физика микросистем. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 496 с.
8. Кульбачинский В.А. Физика наносистем. – М.: Физмалит, 2022. – 768 с.

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. – 125 с.

### 13. Перечень информационных технологий

а) 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 OneNote, 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.).

б) 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.