

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

03.03.02 Физика

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

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования;

ИПК-1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

- Освоить понятийный аппарат и методы теории низкоразмерных систем.
- Научиться применять понятийный аппарат и методы теории низкоразмерных систем для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

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 8, зачет.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: дифференциальное и интегральное исчисление, линейная алгебра, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, математическая физика, квантовая теория, квантовая теория твердого тела.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

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

- лекции: 24 ч.;
- практические занятия: 24 ч.;

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Уравнение Дирака для графена

Краткое содержание темы.

Электронные свойства графена. Приближение сильной связи. Вывод закона дисперсии. Зонная структура графена. Вывод уравнения Дирака для графена. Свойства уравнения Дирака для графена. Четырехмерное уравнение Дирака для графена.

Тема 2. Графен в постоянном однородном магнитном поле. Квантовый эффект Холла.

Краткое содержание темы.

Уровни Ландау для графена в однородном постоянном однородном магнитном поле. Наличие уровня энергии с энергией равной нулю. О квантовом эффекте Холла в полупроводниках. Квантовый эффект Холла в графене.

Тема 3. Парадокс Клейна в графене

Краткое содержание темы.

Парадокс Клейна в графене для ступеньки Клейна. Парадокс Клейна в графене для потенциального барьера конечной ширины. Роль киральности в безмассовом случае. Клейновское туннелирование в монослое графена. Клейновское туннелирование и проводимость квазичастиц в графене.

Тема 4. Проблема Кулона в графене

Краткое содержание темы.

Рассеяние дираковских квазичастиц на точечных кулоновских примесях. Квазилокальные состояния. Сверхкритические заряды. Нелинейное экранирование на кулоновских примесях. Электрон-электронное кулоновское взаимодействие и перенормировка скорости Ферми. Самосопряженные расширения уравнения Дирака для графена в присутствии кулоновской примеси: массивный и безмассовый случай.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу 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 промежуточной аттестации

Зачет в восьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации 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=32993>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Вывод закона дисперсии для графена
2. Точки Дирака и симметрия уравнения Дирака для графена
3. Решения свободного уравнения Дирака для графена
4. Уровни Ландау в графене
5. Самосопряженные расширения дираковского гамильтониана в присутствии одиночной кулоновской примеси.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Wong, H-S. Philip, and Deji Akinwande. Carbon nanotube and graphene device physics. Cambridge University Press, 2011.
2. Atienza, Pablo Buset. Superconductivity in Graphene and Carbon Nanotubes: Proximity effect and nonlocal transport. Springer Science & Business Media, 2013.
3. А.С. Давыдов. Квантовая механика. Наука. М. 1973.
4. Новоселов К.С. «Графен: материалы Флатландии» (Нобелевская лекция) УФН, т181, No12, с.1129-1311, 2011г.
5. Katsnelson M. I. Graphene: Carbon in Two Dimensions. — New York: Cambridge University Press, 2012. — 366 p.

в) ресурсы сети Интернет:

Manchester's Revolutionary 2D Material

<https://www.graphene.manchester.ac.uk>

Обзорная статья Павла Борисовича Сорокина и Леонида Александровича

Чернозатонского о современном состоянии исследований в области физики и химии графена

<https://ufn.ru/ru/articles/2013/2/a/>

Graphene – Wikipedia

<https://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>

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.

Аудитории, оборудованные соответствующей техникой (в том числе «Актру»), для реализации учебного процесса в смешанном формате.

15. Информация о разработчиках

Бреев Александр Игоревич, доктор физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики ФФ НИ ТГУ.