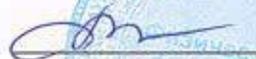


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета

 С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

Физика низкоразмерных систем

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

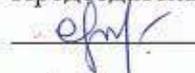
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.18

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:

- ОПК 2 – Способен 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;

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 релятивистской квантовой теории.
- Научиться применять понятийный аппарат и методы релятивистской квантовой механики для решения практических задач профессиональной деятельности.

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 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: 24 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Уравнение Дирака для графена

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.

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

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

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

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий и тестов по материалам курса, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение контрольных заданий – 40, тестов – 10. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в 7 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам.

Результаты зачета определяются оценкой «зачтено» исходя из результатов ответов на зачете (40%) и текущей аттестации в течение семестра (60%) в соответствии с балльной шкалой оценивания: количество набранных баллов более 59 — «зачтено», менее 59 баллов — «не зачтено».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть представляет собой тест из 2-х основных вопросов, проверяющих сформированность компетенции ИОПК 2.2 в соответствии с индикатором ИПК 1.1. Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих соответствие индикатору достижения компетенции ИПК 1.1. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов

Вопрос 1. Приближение сильной связи.

Вопрос 2. Квантовый эффект Холла в графене.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Объяснить проблему описания квазичастиц в графене в окрестности одиночной точечной кулоновской примеси.

Вопрос 2. Обобщение уравнения Дирака для графена в медленно меняющихся электромагнитных полях.

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.

Перечень вопросов, выносимых на зачет.

Перечень выносимых на зачет вопросов по темам 1-4.

1. Электронные свойства графена.
2. Суть приближения сильной связи.
3. Низкоэнергетическое приближение. Вывод закона дисперсии.
4. Зонная структура графена.
5. Вывод уравнения Дирака для графена.
6. Свойства уравнения Дирака для графена.
7. Четырехмерное уравнение Дирака для графена.
8. Графен в постоянном однородном магнитном поле.
9. Квантовый эффект Холла в полупроводниках.
10. Квантовый эффект Холла в графене
11. Уровни Ландау для графена в однородном постоянном однородном магнитном поле.
12. . Парадокс Клейна в графене для ступеньки Клейна.
13. Парадокс Клейна в графене для потенциального барьера конечной ширины.
14. Роль киральности в парадоксе Клейна.
15. Клейновское туннелирование в монослое графена.
16. Клейновское туннелирование и проводимость квазичастиц в графене.
17. Рассеяние дираковских квазичастиц на точечных кулоновских примесях.
18. Квазилокальные состояния в окрестности кулоновской примеси.
19. Сверхкритические заряды.
20. Нелинейное экранирование на кулоновских примесях.
21. Электрон-электронное кулоновское взаимодействие и перенормировка скорости Ферми.
22. Самосопряженные расширения уравнения Дирака для графена в присутствии кулоновской примеси: массивный и безмассовый случай.

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.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение

1. Уравнение Дирака для квазичастиц в двухслойном графене
2. Бозе-конденсация и сверхтекучесть магнитоэкситонов в графене.
3. Фаза Берри в графене.

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Физика низкоразмерных систем»:

Тема 1. Симметрии уравнения Дирака для графена .

Литература:

- 1) В.Л. Березинский, Низкотемпературные свойства двумерных систем с непрерывной группой симметрии, Москва, Физматлит, 2007
- 2) Ю.Е. Лозовик, С.П. Меркулова, А.А. Соколик. Коллективные электронные явления в графене // УФН 178, № 7, сс. 757–776 (2008).

Тема 2. Электронные свойства углеродных нанотрубок.

Литература:

- 1) Углеродные нанотрубки, А. В. Елецкий, УФН, сентябрь 1997 г., т. 167, № 9, ст. 955
- 2) Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства, А. В. Елецкий, УФН, апрель 2002 г., т. 172, № 4, ст. 408

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, №12, 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 Чернотатонского 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 On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– 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 практических занятий, 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 для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате, оснащенные системой («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Бреев Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук, кафедра теоретической физики физического факультета ТГУ, доцент.