

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Физика новых сверхпроводников и функциональных квантовых материалов |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики сверхпроводимости и квантовых материалов |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составили:

А.Д. Заикин, ассистент

А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики сверхпроводимости и квантовых материалов 21.02.2025

Аннотация

Курс направлен на освоение студентами фундаментальных знаний в области физических явлений, наблюдаемых в современных квантовых системах. Основное внимание уделяется формированию базовых представлений о квантовой физике нетривиальных систем, которое интегрирует общефизическую и общетеоретическую подготовку будущих физиков. В ходе обучения студенты смогут глубже понять ключевые эксперименты и теоретические результаты, лежащие в основе топологических свойств, а также приобрести навыки, необходимые для выполнения исследований в области сверхпроводящих систем. Дисциплина создаёт богатую основу для выполнения выпускных работ на степень магистра и развития дальше в области научных исследований.

Студенты будут знакомиться с современными проблемами физики конденсированного состояния и последними открытиями в квантовой физике, изучая взаимосвязи между различными областями естественных наук. В ходе занятий они научатся эффективно использовать теоретические знания, проводить численные оценки и планировать эксперименты для решения поставленных задач. Курс охватывает актуальные темы, такие как аномальная сверхпроводимость, спиновые поляроны и *panosuperconductivity*, и предоставляет доступ к обширной литературе на тему теоретической физики и статистической механики. Полученные навыки и знания помогут студентам успешно справляться с вызовами, стоящими перед современными физиками, и подготовят их к будущей профессиональной деятельности в инновационных сферах науки и технологии.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области физических эффектов, наблюдающихся в современных квантовых материалах.

Задачи дисциплины

- Формирование базовых знаний в области квантовой физики нетривиальных систем как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- приобретение понимания ключевых физических экспериментов и теоретических результатов, лежащих в основе проявления топологических свойств в квантовых системах;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области свойств современных топологически нетривиальных сверхпроводящих систем в рамках выпускных работ на степень магистра, формирование базовых знаний и умений для дальнейших исследований в рамках выпускных квалификационных работ.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные |
| | УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |

| | |
|---|--|
| разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ) |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

1. Современные проблемы физики конденсированного состояния.
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч. в квантовой физике твердого тела.
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.
4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
5. Принципы симметрии и законы сохранения.
6. Основные принципы функционирования устройств наноэлектроники и спинтроники.
7. Научные задачи, над которыми работают в лабораториях - партнерах образовательной программы.
8. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

уметь:

1. Эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы;
2. Представить панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем
3. Абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений;
4. Делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов;
5. Планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

владеть:

1. Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем с использованием транспортных, туннельных, термодинамических и резонансных методов.
2. Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
3. Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
4. Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|-----------------------|---|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Традиционная сверхпроводимость | 2 | | | 1 |
| 2 | Аномальная сверхпроводимость в новых сверхпроводящих системах | 2 | | | 1 |
| 3 | Коновская особенность и фриделевские осцилляции | 2 | | | 1 |
| 4 | Базовые модели в теории сильно-коррелированных ферми-систем | 2 | | | 1 |
| 5 | Сверхпроводимость в координатном и импульсном пространстве | 2 | | | 1 |
| 6 | Квантовые кристаллы | 2 | | | 1 |
| 7 | Разделение спина и заряда в одномерных и лестничных системах | 2 | | | 1 |
| 8 | Спиновые поляроны и ферроны Нагаева, Мотта, Касуи | 2 | | | 1 |
| 9 | Наносверхпроводимость I | 2 | | | 1 |
| 10 | Наносверхпроводимость II | 4 | | | 2 |
| 11 | Роль флуктуаций в низкоразмерных сверхпроводниках | 4 | | | 2 |
| 12 | Флуктуации вблизи T_c | 4 | | | 2 |
| Итого часов | | 30 | | | 15 |
| Подготовка к экзамену | | 0 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 45 час., 1 зач.ед. | | | |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Традиционная сверхпроводимость

Теория БКШ слабой связи.

Электрон-фононное и электрон-электронное взаимодействие. Толмачёвский логарифм. Теория сильной связи.

2. Аномальная сверхпроводимость в новых сверхпроводящих системах

Различные типы параметра порядка и сверхпроводящего спаривания. S-спаривание в традиционных сверхпроводниках, p-спаривание в сверхтекучих A и B фазах He-3 и тяжёло-фермионных соединениях UBe-13, d-спаривание в сверхпроводящих ВТСП-купратах, f-спаривание в идеализированном графене. Бипротонное и бинейтронное спаривание в нейтронных звёздах. Электронная теплоёмкость при низких температурах и нули сверхпроводящей щели.

3. Коновская особенность и фриделевские осцилляции

Механизм Кона-Латтинжера в сверхпроводящих системах малой плотности с отталкиванием. Фермионная сверхтекучесть в разбалансированных квантовых ферми-газах и спин-поляризованных растворах He-3 в He-4. Резкое повышение критической температуры р-спаривания в магнитном поле и в двухзонной ситуации.

4. Базовые модели в теории сильно-коррелированных ферми-систем

Модели с отталкиванием на узле. Модели с ван-дер-ваальсовским взаимодействием. Сверхпроводимость в модели Хаббарда с отталкиванием и в t-J модели. Кондо-синглеты и синглеты Занга-Райса. Обменный (спиновый) механизм сверхпроводимости.

5. Сверхпроводимость в координатном и импульсном пространстве

Протяжённые и локальные пары. Бозе-эйнштейновская конденсация локальных пар. Модель Хаббарда с притяжением. BCS-BEC кроссовер между протяжёнными и локальными парами в квантовых газах и высокотемпературных сверхпроводниках. Теория Ферми-бозе смеси для описания сверхпроводящих оксидов висмута и гидридов металлов (H₂S, H₃S, LaH₁₀) под высоким давлением. Рекордно-высокие критические температуры.

6. Квантовые кристаллы

Параметры квантовости Де Бура и квантового плавления Линдемана. Металлический водород. Планарные и нитевидные фазы. Аналогии с вихревыми и слоистыми структурами. Смесь бозе-конденсатов локальных и протяжённых пар. Возможная сверхпроводимость в режиме BCS-BEC кроссовера и расслоение на фазы в графене.

7. Разделение спина и заряда в одномерных и лестничных системах

Спиноны и холоны. Конфайнмент спина и заряда в двумерных и трёхмерных системах. Магнитная струна Булаевского, Нагаева, Хомского, Бринкмана, Райса при движении дырки по антиферромагнитному фону локальных спинов. Спаривание двух струн в высокотемпературных сверхпроводниках.

8. Спиновые поляроны и ферроны Нагаева, Мотта, Касуи

Явление колоссального отрицательного магнетосопротивления. Физические свойства и нано-размерное расслоение на фазы в манганитах и других магнитных оксидах. Туннельный транспорт в манганитах в режиме кулоновской блокады. Физика страйпов в ВТСП системах.

9. Наносверхпроводимость I

Макроскопические квантовые явления в джозефсоновских структурах сверхмалых размеров.

Обсуждается общая картина макроскопического квантово-когерентного поведения сверхпроводящих наноконтактов. Дается представление о макроскопическом квантовом туннелировании, макроскопической квантовой когерентности, а также зарядовых эффектах в джозефсоновских слабых связях. Вводится понятие сверхпроводящего кубита.

10. Наносверхпроводимость II

Сверхпроводящий эффект четности.

Дается общая картина влияния четности числа электронов на сверхпроводящие свойства металлических наногранул и наноклец.

Обсуждаются критерии существования сверхпроводящего состояния в системах сверхмалых размеров.

11. Роль флуктуаций в низкоразмерных сверхпроводниках

Гладкие флуктуации модуля и фазы параметра порядка. Топологические флуктуации и проскальзывания фазы. Влияние флуктуаций на наблюдаемые величины.

12. Флуктуации вблизи T_c

Сопротивление и дробовой шум за счет проскальзываний фазы. Теоретические оценки наблюдаемых эффектов.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютер, проектор, доска.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 9, Ч. 2 : Статистическая физика. Теория конденсированного состояния : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Физматлит, 2000-2005 .— 496 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2004, 2002 .— 808 с.
3. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.
4. Статистическая механика [Текст] = Statistical m / Р. Фейнман ; пер. с англ. Н. М. Плакиды, Ю. Г. Рудого ; под ред. Д. Н. Зубарева - Волгоград ПЛАТОН, 2000

Фонд базовой кафедры:

1. М.Ю Каган, А.В. Ожаровский, Введение в теорию высокотемпературных сверхпроводников, М. : МИФИ, 1999
2. M.Yu.Kagan, Modern Trends in superconductivity and superfluidity, Lecture notes in physics, v. 874, Springer, Dordrecht, 2013
3. М.Ю. Каган, Физика макроскопических квантовых систем, Курс лекций и семинаров, Москва, Издательский дом МЭИ, 2014
4. Й. Имри, Введение в мезоскопическую физику, М.: Физматлит, 2002
5. Arutyunov, K. Y., Golubev, D. S., and Zaikin, A. D. Superconductivity in one dimension. Physics Reports-Review Section of Physics Letters 464, 1-2 (2008), 1–70.
6. Halperin, B. I., Refael, G., Demler, E. Resistance in superconductors, chapter in “BCS: 50 years” ed. by L.N. Cooper and D. Feldman, World Scientific (2011).
7. A.D. Zaikin and D.S. Golubev, Dissipative Quantum Mechanics of Nanostructures: Electron Transport, Fluctuations and Interactions (Jenny Stanford, Singapore, 2019).

Дополнительная литература

1. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.
2. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 424 с.
3. Основы теории металлов [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Абрикосов .— 2-е изд., доп. и испр. — М. : Физматлит, 2009, 2010 .— 600 с.
4. Методы квантовой теории поля в статистической физике [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, И. Е. Дзялошинский .— М. : Добросвет : КДУ, 2006 .— 512 с.
5. Квантовая механика и интегралы по траекториям [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Р. Фейнман, А. Хибс ; пер. с англ. Э. М. Барлита, Ю. Л. Обухова ; под ред. В. С. Барашенкова .— М. : Мир, 1968 .— 382 с.
6. Магнетизм коллективизированных электронов [Текст]/Ю. А. Изюмов, М. И. Кацнельсон, Ю. Н. Скрябин, -М., Физматлит, 1994

7. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Текст]/А. М. Цвелик , -М., Физматлит, 2004

Фонд базовой кафедры:

8.P.Fulde, Electron correlations in molecules and solids, Springer-Verlag, Second edition, 1993

9. P.W. Anderson, The theory of superconductivity in the high-T-c cuprate superconductors, Princeton University Press, 1997

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных WOS, SCOPUS, E-library.

База данных ArXive: <http://xxx.lanl.gov/archive/cond-mat>, доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, <http://www.sciencemag.org/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|----------------------------|---|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики сверхпроводимости и квантовых материалов |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

А.Д. Заикин, ассистент

А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные |
| | УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ) |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика новых сверхпроводников и функциональных квантовых материалов» обучающийся должен:

знать:

1. Современные проблемы физики конденсированного состояния.
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч. в квантовой физике твердого тела.
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.
4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
5. Принципы симметрии и законы сохранения.
6. Основные принципы функционирования устройств нанoeлектроники и спинтроники.
7. Научные задачи, над которыми работают в лабораториях - партнерах образовательной программы.
8. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

уметь:

1. Эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы;
2. Представить панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем
3. Абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений;
4. Делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов;
5. Планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

владеть:

1. Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем с использованием транспортных, туннельных, термодинамических и резонансных методов.
2. Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
3. Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
4. Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Что такое макроскопическое квантовое туннелирование?
2. Описать принцип работы сверхпроводящего кубита.
3. Что такое сверхпроводящий эффект четности?
4. Как влияет эффект четности на незатухающие токи в сверхпроводящих нанокольцах?
5. Коновская особенность и фриделевские осцилляции.
6. Механизм Кона-Латтинжера в сверхпроводящих системах малой плотности с отталкиванием.
7. Модели с ван-дер-ваальсовским взаимодействием.
8. Сверхпроводимость в модели Хаббарда с отталкиванием и в t-J модели.
9. Модель Хаббарда с притяжением. BCS-BEC кроссовер между протяжёнными и локальными парами в квантовых газах и высокотемпературных сверхпроводниках.
10. Рекордно-высокие критические температуры.
11. Металлический водород. Планарные и нитевидные фазы.
12. Возможная сверхпроводимость в режиме BCS-BEC кроссовера и расслоение на фазы в графене.
13. Конфайнмент спина и заряда в двумерных и трёхмерных системах.
14. Магнитная струна Булаевского, Нагаева, Хомского, Бринкмана, Райса при движении дырки по антиферромагнитному фону локальных спинов.
15. Спиновые поляроны и ферроны Нагаева, Мотта, Касуи.
16. Явление колоссального отрицательного магнетосопротивления.
17. Туннельный транспорт в манганитах в режиме кулоновской блокады.

18. Физика страйпов в ВТСП системах.
19. Роль флуктуаций в низкоразмерных сверхпроводниках.

Пример билета.

Билета 1.

1. Описать принцип работы сверхпроводящего кубита.
2. Физика страйпов в ВТСП системах.

Критерии оценивания

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Прием дифференцированного зачета проводится по билетам. В каждом билете представлено два вопроса. Обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.