

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра физики фазовых переходов

Авторы-составители: **Поперечный Игорь Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ
Код УМК 95903

Утверждено
Протокол №10
от «24» мая 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Методы квантовой статистики

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.04.01** Прикладные математика и физика
направленность Прикладные математика и физика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Методы квантовой статистики** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.04.01 Прикладные математика и физика (направленность : Прикладные математика и физика)

ПК.1 Способен ставить и решать научные задачи, проводить самостоятельные исследования и получать новые научные результаты

Индикаторы

ПК.1.2 Выдвигает гипотезы, строит математические модели для описания изучаемых явлений и процессов

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.04.01 Прикладные математика и физика (направленность: Прикладные математика и физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	1
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	12
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (1 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Методы квантовой статистики

Рассматриваются основные методы и подходы квантовой статистики, в том числе:

- основы теории представлений операторов физических величин;
- свойства статистического оператора;
- канонические квантовые распределения;
- теория идеальных квантовых статистических систем;
- представление вторичного квантования для бозе- и ферми-систем.

Основы теории представлений

Рассматриваются основы квантово-механической теории представлений. Список основных изучаемых вопросов:

- Линейные самосопряжённые операторы.
- Собственные значения и собственные функции операторов. Матричное представление операторов.
- Унитарные преобразования.
- Изображение физических величин операторами. Основные положения квантовой механики.
- Представление Шредингера. Представление Гейзенберга. Представление взаимодействия.

Статистический оператор и канонические распределения

Рассматриваются свойства статистического оператора и теория идеальных квантовых систем. Список основных изучаемых вопросов:

- Микроскопическое состояние классической и квантовой статистической системы.
- Чистое и смешанное состояния статистической системы.
- Статистический оператор и его свойства. Уравнение фон Неймана – Лиувилля.
- Каноническое и большое каноническое распределения Гиббса.
- Представление чисел заполнения. Свойства симметрии волновых функций. Числа заполнения в системах одинаковых частиц.
- Идеальный бозе-газ. Идеальный ферми-газ.

Представление вторичного квантования

Рассматривается представление вторичного квантования. Список основных изучаемых вопросов:

- Построение N-частичного базиса;
- Классы аддитивности операторов динамических величин, представление чисел заполнения для этих операторов;
- Бозе-операторы рождения и уничтожения.
- Операторы рождения и уничтожения Паули и Ферми.
- Представление вторичного квантования для операторов динамических величин в бозе- и ферми-случае.
- Операторные волновые функции. Теорема о спариваниях Вика – Блоха – Доминиса.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. учебное пособие Т. 4. Квантовая статистика / И. А. Квасников ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. - Москва: КомКнига, 2005, ISBN 5-484-00135-8.-352
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 2001. — 808 с. — ISBN 5-9221-0057-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619859>
3. Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие для вузов / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-7956-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/470450>

Дополнительная:

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 5. Статистическая физика, Ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. -5-е изд., стер.-Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010, ISBN 978-5-9221-0054-0.-616
2. Ефремов, Ю. С. Квантовая механика : учебное пособие для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 458 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-04975-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/438848>
3. Овсюк Е. М. Квантовая механика частиц со спином в магнитном поле / Овсюк Е. М. - Минск: Белорусская наука, 2017, ISBN 978-985-08-2132-4.-510. <http://www.iprbookshop.ru/74074.html>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://www.nature.com/npjquantmats/> Журнал с открытым доступом npj Quantum Materials, издательство Nature Research.

<https://epjquantumtechnology.springeropen.com/> Журнал с открытым доступом EPJ Quantum Technology, издательство Springer.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Методы квантовой статистики** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- 1) офисный пакет приложений (текстовый процессор, программа для подготовки электронных презентаций);
- 2) программа демонстрации видеоматериалов (проигрыватель);
- 3) приложение, позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов.

Дисциплина не предусматривает использование специального программного обеспечения.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных и практических занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для самостоятельной работы студентов требуется аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами

доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Методы квантовой статистики**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.1

Способен ставить и решать научные задачи, проводить самостоятельные исследования и получать новые научные результаты

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.2 Выдвигает гипотезы, строит математические модели для описания изучаемых явлений и процессов</p>	<p>ЗНАТЬ: способы описания чистых и смешанных состояний квантовых ансамблей. УМЕТЬ: записывать модельные гамильтонианы для бозе- и ферми-систем в различных представлениях. ВЛАДЕТЬ: навыками построения математического описания слабонервновесных состояний квантовых статистических систем на основе решения Лиувилля для статистического оператора.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает способы описания чистых и смешанных состояний квантовых ансамблей. Не умеет записывать модельные гамильтонианы для бозе- и ферми-систем в различных представлениях. Не владеет навыками построения математического описания слабонервновесных состояний квантовых статистических систем на основе решения Лиувилля для статистического оператора.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание способов описания чистых и смешанных состояний квантовых ансамблей. Демонстрирует частично сформированное умение записывать модельные гамильтонианы для бозе- и ферми-систем в различных представлениях. Демонстрирует частично сформированное владение навыками построения математического описания слабонервновесных состояний квантовых статистических систем на основе решения Лиувилля для статистического оператора.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание способов описания чистых и смешанных состояний квантовых ансамблей. Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение записывать модельные гамильтонианы для бозе- и ферми-систем в различных представлениях.</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками построения математического описания слабонервновесных состояний квантовых статистических систем на основе решения Лиувилля для статистического оператора.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Знает способы описания чистых и смешанных состояний квантовых ансамблей. Умеет записывать модельные гамильтонианы для бозе- и ферми-систем в различных представлениях. Владеет навыками построения математического описания слабонервновесных состояний квантовых статистических систем на основе решения Лиувилля для статистического оператора.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1.2 Выдвигает гипотезы, строит математические модели для описания изучаемых явлений и процессов	Статистический оператор и канонические распределения Письменное контрольное мероприятие	Линейные самосопряженные операторы. Унитарные операторы и унитарные преобразования. Основные положения квантовой механики. Представление Шредингера. Представление Гейзенберга.
ПК.1.2 Выдвигает гипотезы, строит математические модели для описания изучаемых явлений и процессов	Представление вторичного квантования Письменное контрольное мероприятие	Микроскопическое состояние статистической системы. Статистический оператор. Уравнение фон Неймана – Лиувилля. Большой канонический ансамбль. Представление чисел заполнения. Свойства симметрии волновых функций. Числа заполнения в системах одинаковых частиц. Идеальный бозе-газ. Идеальный ферми-газ.
ПК.1.2 Выдвигает гипотезы, строит математические модели для описания изучаемых явлений и процессов	Представление вторичного квантования Итоговое контрольное мероприятие	Представление чисел заполнения для операторов динамических величин. Бозе-операторы рождения и уничтожения. Операторы рождения и уничтожения Паули и Ферми. Представление вторичного квантования для операторов динамических величин в бозе- и ферми-случае. Операторные волновые функции.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Статистический оператор и канонические распределения

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	8

Представление вторичного квантования

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	8

Представление вторичного квантования

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (40%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	8