

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра физики фазовых переходов**

**Авторы-составители: Макаров Дмитрий Владимирович  
Захлевных Александр Николаевич  
Петров Данил Александрович**

**Рабочая программа дисциплины  
КВАНТОВАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА  
Код УМК 88565**

Утверждено  
Протокол №12  
от «14» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Квантовая статистическая физика

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

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

Направление: **03.03.01** Прикладные математика и физика  
направленность Программа широкого профиля

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Квантовая статистическая физика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.01** Прикладные математика и физика (направленность : Программа широкого профиля)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ПК.1** способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные в области физических и математических дисциплин

#### 4. Объем и содержание дисциплины

|   |  |
|---|--|
| <b>Направления подготовки</b>   | 03.03.01 Прикладные математика и физика (направленность:<br>Программа широкого профиля)                    |
| <b>форма обучения</b>   | очная  |
| <b>№№ триместров,<br/>выделенных для изучения<br/>дисциплины</b>          | 10   |
| <b>Объем дисциплины (з.е.)</b>  | 3  |
| <b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>   | 108  |
| <b>Контактная работа с<br/>преподавателем (ак.час.),<br/>в том числе:</b> | 42   |
| <b>Проведение лекционных<br/>занятий</b>                                  | 28   |
| <b>Проведение практических<br/>занятий, семинаров</b>                     | 14   |
| <b>Самостоятельная работа<br/>(ак.час.)</b>                               | 66   |
| <b>Формы текущего контроля</b>  | Входное тестирование (1)<br>Итоговое контрольное мероприятие (1)<br>Письменное контрольное мероприятие (2) |
| <b>Формы промежуточной<br/>аттестации</b>                                 | Зачет (10 триместр)  |

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Квантовая статистическая физика. 1 уч.период**

#### **Статистическая термодинамика равновесного теплового излучения**

Разложение электромагнитного излучения на осцилляторы.

Энергия электромагнитного поля.

Квантование энергии. Понятие о фотонах.

Термодинамические величины равновесного теплового излучения.

#### **Статистическая термодинамика кристаллической решетки**

Понятие о прямой и обратной решетке. Волновой вектор. Число разрешенных значений волнового вектора

Колебания простой решетки.

Дисперсионное соотношение для простой решетки.

Энергия колебаний решетки.

Классическая теория теплоемкости кристаллической решетки.

Понятие о фононах.

Термодинамические величины кристаллической решетки (высокие и низкие температуры).

Интерполяционная формула Дебая.

Оценка температуры плавления. Формула Линдемана.

#### **Методы корреляционных функций в статистической физике**

Равновесные корреляционные функции и их свойства.

Равновесные корреляционные функции и термодинамические величины классического неидеального газа.

Цепочка уравнений Боголюбова для равновесных корреляционных функций.

Классический слабонеидеальный газ с короткодействием.

Классическая система частиц с кулоновскими взаимодействиями.

Термодинамические величины классической дебаевской плазмы

## **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. Ландау, Л.Д. Курс теоретической физики. Статистическая физика : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 616 с. — ISBN 978-5-9221-0054-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619858>
2. 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
3. Захлевных А. Н. Термодинамика твердого тела: учебное пособие для студентов физических факультетов по дисциплинам "Термодинамика и статическая физика", "Физика твердого тела"/А. Н. Захлевных. -Пермь:Издательство Пермского государственного университета,2010, ISBN 978-5-7944-1512-4.-50.-Библиогр.: с. 49
4. Дмитриев, А. В. Основы статистической физики материалов : учебник / А. В. Дмитриев. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. — 672 с. — ISBN 5-211-04830-X. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13062>

### Дополнительная:

1. Щеголев И. Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики:[учебное пособие]/И. Ф. Щеголев.-Долгопрудный:Издательский дом "Интеллект",2008, ISBN 978-5-91559-006-8.-207.
2. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. учебное пособие : в 3 т. Т. 3. Теория неравновесных систем/И. А. Квасников.-2-е изд., перераб. и доп..-Москва:Едиториал УРСС,2003, ISBN 5-354-00079-3.-448

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://www.library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

<https://www.theoretical-physics.net/0.1/index.html> Справочник по теоретической физике

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

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая статистическая физика** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

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 меловой (и) или маркерной доской.

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

Для самостоятельной работы студентов требуется помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с 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  
Квантовая статистическая физика**

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

| Компетенция  | Планируемые результаты обучения  | Критерии оценивания результатов обучения  |
|--|--|---|
| <p><b>ОПК.7</b><br/>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> | <p><b>ЗНАТЬ:</b><br/>основные представления и понятия квантовой статистической физики;<br/><b>УМЕТЬ:</b><br/>понимать теоретические представления и особенности проявления квантовых эффектов в макроскопических системах;<br/><b>ВЛАДЕТЬ:</b><br/>навыками расчёта макроскопических величин методами квантовой статистической физики.</p> | <p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные представления и понятия квантовой статистической физики;<br/>Не умеет понимать теоретические представления и особенности проявления квантовых эффектов в макроскопических системах;<br/>Не владеет навыками расчёта макроскопических величин методами квантовой статистической физики.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные представления и понятия квантовой статистической физики;<br/>Демонстрирует частично сформированное умение понимать теоретические представления и особенности проявления квантовых эффектов в макроскопических системах;<br/>Имеет навыки расчёта расчёта макроскопических величин методами квантовой статистической физики.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, знания основных представлений и понятий квантовой статистической физики;<br/>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, умения понимать теоретические представления и особенности проявления квантовых эффектов в макроскопических системах;<br/>В целом сформированы навыки расчёта макроскопических величин методами квантовой статистической физики.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Знает основные представления и понятия квантовой статистической физики;</p> |

| Компетенция   | Планируемые результаты обучения  | Критерии оценивания результатов обучения   |
|---|--|--|
|   |  | <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Умеет понимать теоретические представления и особенности проявления квантовых эффектов в макроскопических системах;<br/>Владеет навыками расчёта макроскопических величин методами квантовой статистической физики</p>  |
| <p><b>ПК.1</b><br/>способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные в области физических и математических дисциплин</p> | <p><b>ЗНАТЬ:</b><br/>основные утверждения квантовой статистической физики;<br/><b>УМЕТЬ:</b><br/>проводить описание физических явлений и процессов на основе методов квантовой статистической физики;<br/><b>ВЛАДЕТЬ:</b><br/>основным понятийным аппаратом квантовой статистической физики;</p> | <p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные утверждения квантовой статистической физики;<br/>Не умеет проводить описание физических явлений и процессов на основе методов квантовой статистической физики;<br/>Не владеет основным понятийным аппаратом квантовой статистической физики;</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных утверждений квантовой статистической физики;<br/>Демонстрирует частично сформированное умение проводить описание физических явлений и процессов на основе методов квантовой статистической физики;<br/>Имеет навыки владения основным понятийным аппаратом квантовой статистической физики.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, знания основ квантовой статистической физики;<br/>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, умения проводить описание физических явлений и процессов на основе методов квантовой статистической физики;<br/>В целом сформированы навыки владения основным понятийным аппаратом квантовой статистической физики.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Знает основные утверждения квантовой статистической физики;<br/>Умеет проводить описание физических</p> |

| <b>Компетенция</b> | <b>Планируемые результаты обучения</b> | <b>Критерии оценивания результатов обучения</b>  |
|--------------------|--|--|
|                    |  | <b>Отлично</b><br>явлений и процессов на основе методов квантовой статистической физики;<br>Владеет основным понятийным аппаратом квантовой статистической физики; |

## 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  | Мероприятие текущего контроля   | Контролируемые элементы результатов обучения  |
|--|---|---|
| <b>Входной контроль</b>  | Статистическая термодинамика<br>равновесного теплового излучения<br><b>Входное тестирование</b>               | Основы классической статистической физики равновесных систем;<br>Термодинамическое (феноменологическое) описание равновесного состояния макроскопических систем и квазистатических процессов; Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем; |
| <b>ОПК.7</b><br>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач | Статистическая термодинамика<br>равновесного теплового излучения<br><b>Письменное контрольное мероприятие</b> | Свойства фотонов, распределение фотонов по состояниям, законы Планка, Рэлея и Рэлея-Джинса  |

| <b>Компетенция</b>   | <b>Мероприятие текущего контроля</b>   | <b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>   |
|--|--|---|
| <p><b>ПК.1</b><br/>способность применять в своей профессиональной деятельности знания, полученные в области физических и математических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b><br/>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> | <p>Статистическая термодинамика кристаллической решетки</p> <p><b>Письменное контрольное мероприятие</b></p> | <p>Основные понятия прямой и обратной решетки кристалла, свойства фононов, распределение фононов по состояниям, теплоемкость кристаллической решетки при низких и высоких температурах, формула Дебая</p> |
| <p><b>ОПК.7</b><br/>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>   | <p>Методы корреляционных функций в статистической физике</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>  | <p>Определение и свойства частичных корреляционных функций. Цепочка уравнений Боголюбова. Выражения для термодинамических величин в терминах корреляционных функций</p>                                   |

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **Статистическая термодинамика равновесного теплового излучения**

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

| <b>Показатели оценивания</b>   | <b>Баллы</b> |
|--|--------------|
| Решение каждого задания входного контроля оценивается по следующей схеме: верный ответ - 1 балл; неверный ответ - 0 баллов. Всего 6 заданий. | 6            |

#### **Статистическая термодинамика равновесного теплового излучения**

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**

| <b>Показатели оценивания</b>   | <b>Баллы</b> |
|--|--------------|
| Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - 6 баллов; частично верный ответ, допущены незначительные ошибки при выводе формул - 3 балла; неверный ответ - 0 баллов. Всего 2 задания. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по | 12           |

|  |  |
|--|--|
| 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу(30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку |  |
|--|--|

### **Статистическая термодинамика кристаллической решетки**

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

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

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

Проходной балл: **15**

| <b>Показатели оценивания</b>  | <b>Баллы</b> |
|---|--------------|
| Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - 6 баллов; частично верный ответ, допущены незначительные ошибки при выводе формул - 3 балла; неверный ответ - 0 баллов. Всего 2 задания. 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 | 12           |

### **Методы корреляционных функций в статистической физике**

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

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

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

Проходной балл: **20**

| <b>Показатели оценивания</b>   | <b>Баллы</b> |
|--|--------------|
| Дан полный ответ на вопрос в билете. Отсутствуют ошибки в формулах и формулировках основных положений. Вывод формул сопровождается соответствующими текстовыми пояснениями.                                      | 6            |
| Дан полный ответ на вопрос в билете. Есть незначительные неточности в ряде формулировок.   | 5            |
| Дан полный ответ на вопрос в билете. Допущены несущественные ошибки в выводе формул, формулировках и определениях или математические выкладки не сопровождаются соответствующими текстовыми пояснениями.         | 4            |
| Основное содержание ответа на вопросы билета представлено. Есть незначительные ошибки при выводе формул /формулировках/определениях. Математические выкладки не сопровождаются текстовыми пояснениями.           | 3            |
| Основное содержание вопроса не раскрыто. При выводе формул допущены грубые ошибки.   | 2            |
| Основное содержание вопроса не раскрыто. Отсутствуют основные определения и формулы. В ответе присутствует минимальная (отрывочная) информация, относящаяся к вопросу.   | 1            |
| 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. | 0            |

|   |   |
|---|---|
|   |   |
| Нет ответа на вопрос билета или представлен ответ на вопрос другого билета. | 0 |