

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

**Кафедра физики фазовых переходов**

Авторы-составители: **Ильин Владимир Алексеевич**

Рабочая программа дисциплины  
**КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**  
Код УМК 63719

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

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Квантовая теория твердых тел

## **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 теория твердых тел** 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.4** способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.01 Прикладные математика и физика (направленность: Программа широкого профиля)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	4
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	144
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	56
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	88
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Письменное контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (11 триместр)

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

### **Квантовая теория твердых тел. Первый семестр**

#### **1. Классическая теория металлов.**

##### **Теория металлов Друде.**

Теория металлов Друде. Уравнение для эволюции среднего импульса электронов в металле. Статистическая электропроводность. Электропроводность в переменном поле. Эффект Холла в теории Друде. Теплопроводность металлов. Термоэлектричество. Прозрачность металлов.

#### **2. Теория металлов Зоммерфельда.**

Теория металлов Зоммерфельда. Свойства электронного газа в основном состоянии. Плотность электронных состояний. Теплоёмкость свободного электронного газа. Квантовые системы разной размерности. Сравнение классических и квантовых результатов.

#### **3. Зонная теория твердого тела.**

Электрон в периодическом потенциале. Зависимость скорости электрона на стационарном уровне от энергии. Построение Харрисона. I зона Бриллюэна для ОЦК и ГЦК решёток. Метод сильной связи. Пример на метод сильной связи. Электрический пробой. Эффект Холла. Рассмотрение через кинетическое уравнение Больцмана. Эффект Холла в двухзонной модели. Оптические свойства твёрдых тел.

#### **4 Теория гармонического кристалла.**

Классическая теория гармонического кристалла. Дисперсионные характеристики. Квантовая теория гармонического кристалла.

## **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. Миронова Г. А. Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи. учебное пособие для вузов Т. 1/Г. А. Миронова.-Москва:Физический факультет МГУ,2004, ISBN 5-8279-0050-8.-532.-Библиогр.: с. 512-522
3. Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2061-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72587> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. <https://elis.psu.ru/node/470450>
4. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 9. Статистическая физика, Ч. 2: Теория конденсированного состояния/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.-Москва:ФИЗМАТЛИТ,2004, ISBN 5-9221-0296-6.-496

### Дополнительная:

1. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/262> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. <https://elis.psu.ru/node/470283>
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела Т.1/Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; ред. М. И. Каганов ; пер. с английского А. С. Михайлова.-Москва:Мир,1979.-399.-Библиогр. в конце глав
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: учебное пособие : перевод с английского/Ч. Киттель ; пер.: А. А. Гусев, А. В. Пахнев ; ред. А. А. Гусев.-Москва:Наука,1978.-792.
4. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела Т. 2/Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; ред. М. И. Каганов ; пер. с английского А. С. Михайлова.-Москва:Мир,1979.-422.-Библиогр. в конце глав

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

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ

<https://sfiz.ru> Физический информационный портал

<https://journals.ioffe.ru/journals/1> Рецензируемый научный журнал "Физика твердого тела"

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

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая теория твердых тел** 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 выполнения 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 занятия занятий требуется аудитория, оснащенная 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

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 теория твердых тел**

**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> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>знать: о классической и квантовой теориях твердого тела; основные экспериментальные факты, на которых основана дисциплина; уметь: самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории Друдэ и Зоммерфельда, объяснять происходящие явления; владеть: способностью применения математического аппарата описания явлений и процессов в физике конденсированного состояния.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает о классической и квантовой теориях твердого тела; основные экспериментальные факты, на которых основана дисциплина; Не умеет самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории Друдэ и Зоммерфельда, объяснять происходящие явления; Не владеет способностью применения математического аппарата описания явлений и процессов в физике конденсированного состояния.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание о классической и квантовой теориях твердого тела; основные экспериментальные факты, на которых основана дисциплина; Демонстрирует частично сформированное умение самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории Друдэ и Зоммерфельда, объяснять происходящие явления; Демонстрирует частично сформированное владение способностью применения математического аппарата описания явлений и процессов в физике конденсированного состояния.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание о классической и квантовой теориях твердого тела; основные экспериментальные факты, на которых основана дисциплина; Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории Друдэ и</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Зоммерфельда, объяснять происходящие явления;  Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью применения математического аппарата описания явлений и процессов в физике конденсированного состояния.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Знает о классической и квантовой теориях твердого тела; основные экспериментальные факты, на которых основана дисциплина;  Умеет самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории Друдэ и Зоммерфельда, объяснять происходящие явления;  Владеет способностью применения математического аппарата описания явлений и процессов в физике конденсированного состояния.</p>
<p><b>ПК.4</b>  способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей</p>	<p>знать: о зонной теории твердого тела, о теории гармонического кристалла;  уметь: самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории электронов в периодическом потенциале, объяснять происходящие явления;  владеть: способностью применения теории и методов математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает о зонной теории твердого тела, о теории гармонического кристалла;  Не умеет самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории электронов в периодическом потенциале, объяснять происходящие явления;  Не владеет способностью применения теории и методов математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание о зонной теории твердого тела, о теории гармонического кристалла;  Демонстрирует частично сформированное умение самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории электронов в периодическом потенциале, объяснять происходящие явления;  Демонстрирует частично сформированное владение способностью применения теории и методов математики, физики и</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>информатики для построения качественных и количественных моделей.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание о зонной теории твердого тела, о теории гармонического кристалла;</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории электронов в периодическом потенциале, объяснять происходящие явления;</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью применения теории и методов математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Знает о зонной теории твердого тела, о теории гармонического кристалла;</p> <p>Умеет самостоятельно применять полученные знания к различным задачам теории электронов в периодическом потенциале, объяснять происходящие явления;</p> <p>Владеет способностью применения теории и методов математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**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>	Теория металлов Друде. <b>Входное тестирование</b>	Знание уравнений Максвелла, законов Ома; умение интегрировать, раскладывать функцию в ряд Тейлора; умение выводить формулы из электричества.
<b>ПК.4</b> способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей <b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	2. Теория металлов Зоммерфельда. <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание содержания классической теории Друде и квантовой теории Зоммерфельда. Умение использовать методы этих теорий для решения задач.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.4</b> способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>3. Зонная теория твердого тела.</p> <p><b>Письменное контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание содержания зонной теории твердого тела. Умение использовать её методы для решения задач.</p>
<p><b>ПК.4</b> способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>4 Теория гармонического кристалла.</p> <p><b>Письменное контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание классической и квантовой теории гармонического кристалла.</p> <p>Знание основных понятий из всей дисциплины.</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Теория металлов Друде.

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**

Показатели оценивания	Баллы
Контроль содержит 4 задания. Правильное выполнение каждого задания оценивается в 2 балла.	8

#### 2. Теория металлов Зоммерфельда.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Контроль содержит 2 задачи. Правильное выполнение каждой задачи оценивается в 5 баллов. Если решение содержит незначительные ошибки – 3 балла.	10
Контроль содержит 1 теоретический вопрос. Правильное изложение теории оценивается в 10 баллов. Если в изложении содержатся незначительные ошибки – 5 баллов.	10

### 3. Зонная теория твердого тела.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

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

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

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Контроль содержит 2 задачи. Правильное выполнение каждой задачи оценивается в 10 баллов. Если решение содержит незначительные ошибки – 5 баллов.	20
Контроль содержит 2 теоретических вопроса. Правильное изложение теории в каждом вопросе оценивается в 10 баллов. Если в изложении содержатся незначительные ошибки – 5 баллов.	20

### 4 Теория гармонического кристалла.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

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

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

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Контроль содержит 1 теоретический вопрос. Правильное изложение теории оценивается в 10 баллов. Если в изложении содержатся незначительные ошибки – 5 баллов. Содержащиеся в изложении все нужные формулы и выкладки оцениваются в 10 баллов. Если в них содержатся незначительные ошибки – 5 баллов.	20
Контроль содержит 10 вопросов. Правильный ответ на каждый вопрос оценивается в 2 балла.	20