

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра физики фазовых переходов

Авторы-составители: **Петров Данил Александрович**

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Код УМК 91919

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

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Физика твердого тела

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Направление: **03.04.03** Радиофизика

направленность Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Физика твердого тела** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.04.03 Радиофизика (направленность : Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы)

ОПК.1 Способен применять фундаментальные знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач, в том числе в сфере педагогической деятельности

Индикаторы

ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания физико-математических наук в профессиональной деятельности

ОПК.2 Способен определять сферу внедрения результатов прикладных научных исследований в области своей профессиональной деятельности

Индикаторы

ОПК.2.1 Использует физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их в профессиональной деятельности

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.04.03 Радиофизика (направленность: Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	2
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	48
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	96
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (2 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Физика твердого тела

Настоящий курс посвящен изучению физики твердого тела – одной из основных областей современной физики, представляющей не только самостоятельный научный интерес, но и являющейся теоретической базой при разработке и исследовании новых функциональных материалов, элементов твердотельной электроники и т.п. Цель курса – рассмотрение взаимосвязи структуры и физических свойств твердых тел, а также важнейших физических механизмов, определяющих механические, электрические, тепловые и другие свойства твердых тел. Задачи курса заключаются в том, чтобы сформировать у студентов представления о физической природе явлений и эффектов в твердых телах, о разнообразии физических свойств твердых тел. При этом обращается внимание на возможности практического применения различных твердотельных материалов благодаря их физическим свойствам.

Основные типы связей в твердых телах

Межатомные взаимодействия. Основные типы связи в твердых кристаллических телах. Классификация твердых тел.

Кристаллические решетки.

Решетка Бравэ. Примитивная ячейка. Элементарная ячейка Вигнера-Зейтца. Решетки с базисом. Приводимые и неприводимые представления. Обратная решетка. Свойства обратной решетки. Атомные плоскости. Индексы Миллера. Дифракционные методы определения кристаллических структур. Формулировки Брэгга и Лауэ условия дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Их эквивалентность. Построение Эвальда. Экспериментальные методы наблюдения дифракции: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, метод Дебая-Шеррера.

Классическая теория металлов.

Теория металлов Друде: электропроводность, эффект Холла, теплопроводность и термо-э.д.с. Недостатки классической теории.

Теория металлов Зоммерфельда.

Свойства электронного газа в основном состоянии. Свойства двумерного свободного электронного газа. Теплоемкость свободного электронного газа. Термодинамические свойства свободного электронного газа: теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с.

Зонная теория твердого тела.

Электроны в периодическом поле. Зонная теория твердого тела. Теорема Блоха и ее основные следствия. Волновая функция электрона в представлении Бете. Граничное условие Борна-Кармана. Квантованность волнового вектора и энергии электрона в кристаллической структуре. Зоны Бриллюэна. Приближение почти свободных электронов. Энергетические зоны в одномерном случае. Схемы приведенных, расширенных и повторяющихся зон. Энергетические зоны в двухмерном случае. Поверхность Ферми у плоскости Брэгга. Поверхность Ферми в одно- и двухмерных кристаллах. Построение Харрисона. Средняя скорость электрона на блоховском уровне. Методы расчета зонной структуры. Метод сильной связи. Случай s-зоны, порождаемой атомным s-уровнем. Методы присоединенных и ортогонализированных плоских волн. Псевдопотенциал. Полуклассическая модель динамики электронов. Основное уравнение динамики электронов в кристаллических структурах. Скорость электрона и эффективная масса - основные динамические характеристики электрона в кристаллических структурах. Их связь с дисперсионными зависимостями. Эффект Холла и магнетосопротивление. Полуклассическая теория проводимости металлов. Полуклассическая теория теплопроводности металлов.

Теория гармонического кристалла.

Классическая теория гармонического кристалла. Теплоемкость классического кристалла. Закон Дюлонга-Пти. Нормальные моды одномерной одноатомной решетки Бравэ. Нормальные моды одномерной решетки с базисом. Нормальные моды трехмерной одноатомной решетки Бравэ. Нормальные моды трехмерной решетки с базисом. Квантовая теория гармонического кристалла. Нормальные моды и фононы. Фононный спектр. Теплоемкость при высоких и низких температурах. Теплоемкость при промежуточных температурах. Модели Дебая и Эйнштейна.

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. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/470283>
2. 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. 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
2. Черевко, А. Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойств : учебное пособие / А. Г. Черевко. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
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. 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

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

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

<http://www.feynmanlectures.caltech.edu> Фейнмановские лекции по физике

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физика твердого тела** 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 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

1. Для проведения лекционных занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
2. Для проведения занятий семинарского типа (семинары, практические занятия) - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
3. Для проведения групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
4. Для проведения мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.
5. Для самостоятельной работы - аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный 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 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
Физика твердого тела**

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

ОПК.2

Способен определять сферу внедрения результатов прикладных научных исследований в области своей профессиональной деятельности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.2.1 Использует физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их в профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: физические методы теоретического и экспериментального изучения явлений и процессов в твердых телах; Уметь: подбирать необходимые физические методы исследования твердых тел в своей профессиональной деятельности; Владеть: способностью применять физические методы исследования явлений и процессов в твердых телах;</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает физические методы теоретического и экспериментального изучения явлений и процессов в твердых телах; Не умеет подбирать необходимые физические методы исследования твердых тел в своей профессиональной деятельности; Не владеет способностью применять физические методы исследования явлений и процессов в твердых телах;</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания физических методов теоретического и экспериментального изучения явлений и процессов в твердых телах; Демонстрирует частично сформированное умение подбирать необходимые физические методы исследования твердых тел в своей профессиональной деятельности; Имеет некоторые навыки владения способностью применять физические методы исследования явлений и процессов в твердых телах;</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, знания физических методов теоретического и экспериментального изучения явлений и процессов в твердых телах; Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, умения подбирать необходимые физические методы исследования твердых тел в своей профессиональной деятельности; В целом сформированные навыки владения способностью применять физические методы исследования явлений и процессов в</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> твердых телах; <p style="text-align: center;">Отлично</p> Знает физические методы теоретического и экспериментального изучения явлений и процессов в твердых телах; Умеет подбирать необходимые физические методы исследования твердых тел в своей профессиональной деятельности; Владеет способностью применять физические методы исследования явлений и процессов в твердых телах;

ОПК.1

Способен применять фундаментальные знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач, в том числе в сфере педагогической деятельности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания физико-математических наук в профессиональной деятельности</p>	Знать: основы физики твердого тела; Уметь: применять теорию и методы физики твердого тела для построения качественных моделей; Владеть: навыками использования основных методов физики твердого тела в профессиональной деятельности.	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> Не знает основы физики твердого тела; Не умеет применять теорию и методы физики твердого тела для построения качественных моделей; Не владеет навыками использования основных методов физики твердого тела в профессиональной деятельности. <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> Общие, но не структурированные знания основ физики твердого тела; Демонстрирует частично сформированное умение применять теорию и методы физики твердого тела для построения качественных моделей; Имеет навыки использования основных методов физики твердого тела в профессиональной деятельности. <p style="text-align: center;">Хорошо</p> Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, знания основ физики твердого тела; Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, умения применять теорию и методы физики твердого тела для построения качественных моделей;

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>В целом сформированы навыки использования основных методов физики твердого тела в профессиональной деятельности.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Знает основы физики твердого тела; Умеет применять теорию и методы физики твердого тела для построения качественных моделей; Владеет навыками использования основных методов физики твердого тела в профессиональной деятельности.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

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 (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Основные типы связей в твердых телах Входное тестирование	Разделы общей физики: механика, молекулярная физика, электричество и магнетизм. Основы квантовой механики. Векторный и тензорный анализ.
ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания физико-математических наук в профессиональной деятельности	Теория металлов Зоммерфельда. Письменное контрольное мероприятие	Свойства электронного газа в основном состоянии. Свойства двумерного свободного электронного газа. Теплоёмкость свободного электронного газа. Термодинамические свойства свободного электронного газа: теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. Недостатки классической теории.
ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания физико-математических наук в профессиональной деятельности	Зонная теория твердого тела. Письменное контрольное мероприятие	Теорема Блоха и ее основные следствия. Приближение почти свободных электронов. Метод сильной связи. Полуклассическая модель динамики электронов. Полуклассическая теория проводимости и теплопроводности металлов.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.1.1 Применяет фундаментальные знания физико-математических наук в профессиональной деятельности	Теория гармонического кристалла. Итоговое контрольное мероприятие	Классическая теория гармонического кристалла. Квантовая теория гармонического кристалла.
ОПК.2.1 Использует физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их в профессиональной деятельности		

Спецификация мероприятий текущего контроля

Основные типы связей в твердых телах

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
Решение каждого задания входного тестирования оценивается по следующей схеме: верный ответ - 1 балл; неверный ответ - 0 баллов. Всего 6 заданий.	6

Теория металлов Зоммерфельда.

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

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

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

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный и развернутый ответ на вопрос билета. Все выводы формул сопровождаются текстовыми пояснениями. Сделаны поясняющие рисунки и графики.	30
Дан полный ответ на вопрос билета. Допущены небольшие ошибки при выводе формул или есть неточности в пояснениях и определениях, или не сделаны поясняющие рисунки и графики.	24
Раскрыто общее содержание вопроса. Вывод формул не сопровождается пояснениями. Отсутствуют поясняющие графики и рисунки.	15
Содержание вопроса не раскрыто или ответ отсутствует. При выводе формул допущены грубые ошибки. Нет никаких поясняющих рисунков и графиков.	0

Зонная теория твердого тела.

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

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

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

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный и развернутый ответ на вопрос билета. Все выводы формул сопровождаются текстовыми пояснениями. Сделаны поясняющие рисунки и графики.	40
Дан полный ответ на вопрос билета. Допущены небольшие ошибки при выводе формул или есть неточности в пояснениях и определениях, или не сделаны поясняющие рисунки и графики.	32
Раскрыто общее содержание вопроса. Вывод формул не сопровождается пояснениями. Отсутствуют поясняющие графики и рисунки.	20
Содержание вопроса не раскрыто или ответ отсутствует. При выводе формул допущены грубые ошибки. Нет никаких поясняющих рисунков и графиков.	0

Теория гармонического кристалла.

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

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

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

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный и развернутый ответ на вопрос билета. Все выводы формул сопровождаются текстовыми пояснениями. Сделаны поясняющие рисунки и графики.	30
Дан полный ответ на вопрос билета. Допущены небольшие ошибки при выводе формул или есть неточности в пояснениях и определениях, или не сделаны поясняющие рисунки и графики.	24
Раскрыто общее содержание вопроса. Вывод формул не сопровождается пояснениями. Отсутствуют поясняющие графики и рисунки.	15
Содержание вопроса не раскрыто или ответ отсутствует. При выводе формул допущены грубые ошибки. Нет никаких поясняющих рисунков и графиков.	0