

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

 Е.А. Турилова

28 февраля 2025 г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Квантовая природа твердых тел

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Мамин Г.В. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), George.Mamin@kpfu.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

| Шифр компетенции | Расшифровка приобретаемой компетенции |
|------------------|---|
| ПК-1 | способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования |
| ПК-3 | способностью исследовать свойства веществ радиофизическими методами |

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

ПК-1: Теорию и принципы работы радиоэлектронной и оптической аппаратуры с твердотельной рабочей средой.

ПК-3: Теорию и способы расчета параметров твердотельных рабочих сред в программах на языке Python, а также в специализированных пакетах расчетов из первых принципов.

Должен уметь:

ПК-1: подбирать параметры настройки радиоаппаратуры с твердотельной рабочей средой.

ПК-3: составлять программы для визуализации кристаллической структуры на языке Python,

Должен владеть:

ПК-1: Принципами квантовомеханических расчетов из первых принципов твердых тел

ПК-3: Составления файлов для расчета в специализированных пакетах квантовомеханических расчетов из первых принципов.

Должен демонстрировать способность и готовность:

работать со статьями и монографиями на английском языке.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.08.02 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (Квантовая и СВЧ электроника)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 8 семестре.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 36 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 36 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 8 семестре.

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

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

| N | Разделы дисциплины / модуля | Се- местр | Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах) | | | | | | Само- стоя- тель- ная ра- бота |
|----|--|--------------|--|--------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| | | | Лекции, всего | Лекции в эл. форме | Практи- ческие занятия, всего | Практи- ческие в эл. форме | Лабораторные работы, всего | Лабораторные в эл. форме | |
| 1. | Тема 1. Введение в природу твердых тел. Агрегатные состояния вещества. Кристаллография. Теория симметрии. Прямая и обратная решетки. Рентгеновская дифракция. Типы решеток кристаллов. | 8 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 2. | Тема 2. Типы химических связей в веществе. Расчет молекулы водорода из первых принципов. Электронная структура ионов и атомов в кристалле. Теория функционала плотности. Упругие свойства вещества. Фононы и колебания решетки. Модель Изинга. | 8 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 3. | Тема 3. Зонная теория твердых тел. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Уровень Ферми. Явление контакта двух веществ. | 8 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 4. | Тема 4. Фазовые переходы первого и второго рода. Теплоемкость и теплота фазового перехода. Сегнетоэлектрики, ферромагнетики. | 8 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 5. | Тема 5. Сверхпроводники. Теория Бардина-Купера-Шифера. Куперовские пары. | 8 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 6. | Тема 6. Точечные дефекты в твердых тела. Примесные центры. Центры окраски. Дислокации. | 8 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | Итого | | 18 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 36 |

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Введение в природу твердых тел. Агрегатные состояния вещества. Кристаллография. Теория симметрии. Прямая и обратная решетки. Рентгеновская дифракция. Типы решеток кристаллов.

Лекции: Пять агрегатных состояний вещества. Жидкость, аморфное тело и кристаллы. Ближний и дальний порядок. Кристаллическая решетка. Основы теории симметрии. Трансляционная и вращательная симметрии. Операции симметрии. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристаллах (индексы Миллера). Рентгеновская дифракция и обратная решетка. Основные типы кристаллических решеток. Обозначения решеток Браве.

Практические занятия:

Базы данных с кристаллическими структурами. Форматы данных CIF и XYZ. Использование Python для визуализации структуры. Ввод данных о кристаллической структуре в программе Quantum espresso.

Самостоятельная работа:

Поиск кристаллической структуры в кристаллографических базах. Изучение описания программы Quantum espresso и основ работы с сервером на OS Linux.

Тема 2. Типы химических связей в веществе. Расчет молекулы водорода из первых принципов. Электронная структура ионов и атомов в кристалле. Теория функционала плотности. Упругие свойства вещества. Фононы и колебания решетки. Модель Изинга.

Лекции: Ионная, ковалентная и металлическая связи в твердых телах. Электронная структура атома. Гамильтониан атома водорода. Расчет электронной структуры. Гамильтониан молекулы водорода. Расчет потенциальной ямы. Энергия перекрытия электронных оболочек. Электронные оболочки в случае ковалентной и ионной связи. Описание радиальной части. Теория функционала плотности, его преимущества и недостатки. Модель Изинга и колебания в цепочке атомов. Фононы и колебания решетки.

Практические занятия:

Визуализация электронных оболочек различных ионов в программе на языке Python. Создание и запуск файла для Quantum espresso.

Самостоятельная работа:

Определение параметра ковалентности для кристалла CaF₂. Изучение описания программы Quantum espresso

Тема 3. Зонная теория твердых тел. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Уровень Ферми. Явление контакта двух веществ.

Лекции:

Расщепление уровней энергии в случае колебаний в цепочке атомов. Расщепление уровней в реальном кристалле, приводящее к появлению зон. Валентная, запрещенная и зона проводимости. Перекрытие зон и металлы. Диэлектрики и полупроводники, температура плавления и величина запрещенной зоны. Уровень Ферми. Явления в случае контакта двух веществ.

Практические занятия.

Расчет расщепления уровней энергии при увеличении длины цепочки в модели Изинга. Анализ выходного файла в программе Quantum espresso.

Самостоятельная работа:

Изучение описания программы Quantum espresso

Тема 4. Фазовые переходы первого и второго рода. Теплоемкость и теплота фазового перехода. Сегнетоэлектрики, ферромагнетики.

Лекции: Теплоемкость, теория Дебая. Фазовые переходы первого и второго рода. Калориметрия, термогравиметрия. Изменения в теплоемкости при фазовых переходах первого и второго рода. Ферромагнетики и антиферромагнетики. Домены. Петля гистерезиса. Коэрцитивная сила. Насыщение. Изменение магнитной восприимчивости при фазовых переходах. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики.

Практические занятия:

Вычисление температуры Дебая для кристалла. Вычисление максимальной намагниченности для ферромагнетика.

Самостоятельная работа:

Изучение описания программы Quantum espresso для вычисления теплоемкости.

Тема 5. Сверхпроводники. Теория Бардина-Купера-Шифера. Куперовские пары.

Лекции: Проводники. Измерение проводимости, двух и четырех проводным методами. Причины конечной проводимости. Обнаружение сверхпроводимости в ртути. Эффект Мейснера. Двухчастичная задача Купера. Теория Бардина-Купера-Шифера. Образование куперовских пар. Энергетические зоны в обратной решетке. Возникновение энергетической щели. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона. СКВИД как наиболее легко изучаемая квантовая система.

Практические занятия:

Расчет предельного тока в катушке из одного слоя сверхпроводника.

Самостоятельная работа:

Поиск типов сверхпроводников используемых в промышленности.

Тема 6. Точечные дефекты в твердых тела. Примесные центры. Центры окраски. Дислокации.

Лекции: Точечные дефекты и примесные ионы в кристаллах. Изовалентное замещение и замещение с компенсацией заряда. Способы компенсации заряда. Расчеты концентрации в молярных и атомарных процентах, исходя из веса аддуктов при синтезе кристалла. Способы роста кристалла с примесным центрами. Вытеснение примеси при зонной плавке. Возникновение точечных дефектов при радиационном облучении. Диффузия точечных дефектов и рекомбинация при отжиге. Ионная проводимость. Механоактивация. Дислокации в кристаллах. Расчет точечных дефектов с помощью теории функционала плотности.

Практические занятия:

Определение симметрии дефекта с локальной компенсацией заряда. Организация суперячейки в программе Quantum espresso.

Самостоятельная работа:

Поиск информации по распараллеливанию вычислений.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

Nanomaterials - <http://nanohub.org/resources/379/download/2005.07.15-sands-nclt.pdf> Images

Quantum well -

<https://www.google.ru/search?hl=en&newwindow=1&tbo=d&biw=1163&bih=879&tbm=isch&sa=1&q=quantum+well&oq=quantum+w>

Quantum wire -

<https://www.google.ru/search?hl=en&newwindow=1&tbo=d&biw=1163&bih=879&tbm=isch&sa=1&q=quantum+wire&oq=quantum+w>

Quantum dot -

<https://www.google.ru/search?hl=en&newwindow=1&tbo=d&biw=1163&bih=879&tbm=isch&sa=1&q=quantum+dots&oq=Quantum+d>

Сверхпроводимость - <http://www.youtube.com/watch?v=0IkiEQTpggU>

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

| Вид работ | Методические рекомендации |
|------------------------|--|
| лекции | <p>В ходе лекций обучающимся рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вести конспектирование учебного материала; - задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. <p>В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.</p> <p>После прослушивания и конспектирования лекций по данной дисциплине рекомендуется самостоятельно повторить пройденный материал, ознакомиться с содержанием соответствующих глав основной и дополнительной литературы, внести соответствующие дополнения в конспект лекций. Особое внимание необходимо уделить вопросам для самостоятельного изучения, которые лектор задал на прошедшей лекции.</p> |
| практические занятия | <p>Здесь рекомендуется студентам в своих рабочих тетрадях в начале любой темы записать подробно методические указания по решению задач на данную тему.</p> <p>Темы и примеры задач преподаватель дает студентам на занятиях. Преподаватель рекомендует литературу для решения задач и объясняет на разбор нескольких типов задач. Подготовка к практическому занятию включает в себя изучение рекомендованной литературы по пройденным темам, а также прорешивание задач дома самостоятельно.</p> |
| самостоятельная работа | <p>Здесь важно отметить, что она подразделяется на следующие виды:</p> <ul style="list-style-type: none"> Работа с лекционным материалом (см. выше). Подготовка к практическим занятиям (см. выше). Работа по подготовке к коллоквиуму по лекционному материалу (см. ниже). Подготовка к письменному домашнему заданию (см. ниже). Подготовка к зачету (см. ниже). |
| зачет | <p>Для подготовки к зачету по курсу "Физика твердого тела" студенты должны использовать не только курс лекций и основную литературу, но и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы. За день или два до даты зачета проводится консультация. На консультации преподавателю можно задать возникшие в ходе подготовки к зачету вопросы.</p> |

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

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки "Квантовая и СВЧ электроника".

*Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.08.02 Квантовая природа твердых тел*

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Основная литература:

1. Мейлихов, Е. З. Общая физика конденсированного состояния : учебное пособие / Е. З. Мейлихов. - Долгопрудный : Интеллект, 2018. - 416 с. - ISBN 978-5-91559-246-8. - Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1026992>
2. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3, 500 экз. Режим доступа:- <http://znanium.com/bookread.php?book=363421>
3. Нанотехнологии - ударный вводный курс: Учебное пособие / Р.Х. Мартин-Пальма, А. Лахтакия; Пер. с англ. Е.Г. Заболоцкой, А.В. Заболоцкого. - Долгопрудный: Интеллект, 2014. - 208 с.: 60x90 1/16. (обложка) ISBN 978-5-91559-146-1. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=468199>

Дополнительная литература:

1. Введение в физику твердого тела : перевод с английского / Ч. Киттель ; Под ред. и пер. А. А. Гусева; Пер. А. В. Пахнева .- Москва : Наука, 1978 .- 792 с. : ил.
2. Принципы теории твердого тела : перевод с английского / Дж. Займан ; Под ред. В. Л. Бонч-Бруевича .- Москва : Мир, 1974 .- 472 с. : ил.
3. Квантовая теория твердых тел : перевод с английского / Ч. Киттель ; Пер. А. А. Гусева .- Москва : Наука, 1967 .- 491 с. : ил., табл.
4. Курс лекций по физике твердого тела для технических вузов: учебное пособие: Учебное пособие / Чабанов В.Е. - СПб:БХВ-Петербург, 2011. - 131 с. ISBN 978-5-0775-0677-9. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=355277>

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.08.02 Квантовая природа твердых тел

Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows