

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1154615	Теория конденсированного состояния

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Фундаментальная и прикладная физика	Код ОП 1. 03.05.02/33.01
Направление подготовки 1. Фундаментальная и прикладная физика	Код направления и уровня подготовки 1. 03.05.02

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теория конденсированного состояния

1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль включает несколько фундаментальных дисциплин. Дисциплина «Теория групп в физике» содержит изложение основ теории групп и представлений групп для наиболее актуальных для конденсированных сред групп – группы вращений, точечных и пространственных групп, а также основных теоретико-групповых методов, включая метод неприводимых тензорных операторов. В дисциплине «Теория конденсированного состояния-I (решетка)» рассматривается общий вид гамильтониана системы электронов и ядер в конденсированных средах, простейшие модели твердого тела, термодинамическое описание твердого тела и фазовых переходов, теория Ландау. Большое внимание уделяется классическому и квантовому описанию кристаллических решеток, упругим свойствам, акустическим и оптическим фононам, термодинамике и кинетическим свойствам фононов. В дисциплине «Квантовая теория конденсированных сред-II (электроны)» рассматриваются электронные свойства металлов и других слабокоррелированных твердых тел типа простых металлов, начиная с теории металлов Друде до теории ферми-жидкости Ландау. Излагаются основы теории электронной зонной структуры, метод функционала электронной плотности, приближение локальной плотности (LDA), теория поверхности Ферми. Излагается теория термодинамических и кинетических свойств электронной подсистемы. В дисциплине «Современные методы расчета электронной структуры и свойств конденсированных сред» студенты осваивают как аналитические, так и современные численные методы от приближения среднего поля, классического метода Монте-Карло, до приближения Хартри-Фока и построения различных теорий возмущений для моделей Андерсона и Хаббарда, от полуэмпирических методов расчета типа молекулярной динамики и оболочечной модели до моделирования электронной зонной структуры с использованием различных вариантов теории функционала плотности (DFT). Студенты приобретают опыт работы в системе компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, со стандартными пакетами для расчета кристаллической и электронной структуры (GULP, CASTEP,...). В рамках модуля студенты будут проходить «Спецпрактикум», который рассчитан на практическую работу по решению актуальных задач теоретической физики, включая задачи по тематике выпускных работ.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Теория групп в физике	3
2	Теория конденсированных сред-I (решетка)	4
3	Квантовая теория конденсированного состояния-II (электроны)	3
4	Современные методы расчета электронной структуры и свойств конденсированных сред	4
ИТОГО по модулю:		14

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Общие вопросы теоретической физики
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Специальные вопросы физики конденсированного состояния 2. Актуальные проблемы теории конденсированного состояния

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Квантовая теория конденсированного состояния-II (электроны)	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения
	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики	З-2 - Классифицировать основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы П-1 - Осуществлять обоснованный выбор методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач

	конденсированного состояния	
Современные методы расчета электронной структуры и свойств конденсированных сред	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p>
	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p> <p>Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения</p>
	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	<p>З-2 - Классифицировать основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p>
Теория групп в физике	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и	З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и

	<p>обобщать результаты исследований в профессиональной области</p>	<p>экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>У-1 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов, корректно интерпретировать их для формулирования заключений и выводов</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p> <p>Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения</p>
	<p>ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>З-2 - Классифицировать основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p>
<p>Теория конденсированных сред-I (решетка)</p>	<p>ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p>
	<p>ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения</p>	<p>З-2 - Классифицировать основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности</p>

	профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-2 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности П-1 - Осуществлять обоснованный выбор методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач
--	--	---

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теория групп в физике

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Элементы абстрактной теории групп	Понятие симметрии. Симметрия и теория групп. Элементы абстрактной теории конечных групп. Представления групп. Непрерывные группы
P2	Применение методов теории симметрии в задачах квантовой механики	Классификация по симметрии собственных значений и собственных функций. Теорема Вигнера. Матричные элементы операторов и правила отбора. Симметрия и законы сохранения. Применение теории групп к качественному решению задач стационарной теории возмущений. Спин и двузначные представления.
P3	Молекулярные колебания	Симметризованные координаты. Нормальные координаты. Классификация нормальных колебаний.
P4	Симметрия объектов конечных размеров. Точечные группы	Перечисление точечных групп. Кристаллографические точечные группы.
P5	Симметрия кристаллов.	Трансляционные свойства кристаллов. Группа трансляций и ее представления. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Качественное рассмотрение пространственных групп.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	З-1 - Сделать обзор основных методов теоретических и экспериментальных физических исследований

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория групп в физике

Электронные ресурсы (издания)

1. Нокс, Р., Р.; Симметрия в твердом теле; Наука, Москва; 1970; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483386> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Москвин, А. С.; Атомы в кристаллах : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018 (10 экз.)

2. Эллиот, Д., Желудев, И. С., Славнов, Д. А.; Симметрия в физике : в 2 томах : перевод с английского. Т. 1. Основные принципы и простые приложения; Мир, Москва; 1983 (29 экз.)

3. Эллиот, Д., Желудев, И. С., Славнов, Д. А.; Симметрия в физике : в 2 т. Т. 2. Дальнейшие приложения; Мир, Москва; 1983 (11 экз.)

4. Артамонов, В. А., Словохотов, Ю. Л.; Группы и их приложения в физике, химии, кристаллографии : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки ВПО 020900 "Химия, физика и механика материалов"; Академия, Москва; 2005 (20 экз.)

5. ; Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2001 (1 экз.)

6. Штрайтвольф, Г., Широковский, В. П., Вонсовский, С. В.; Теория групп в физике твердого тела; Мир, Москва; 1971 (14 экз.)

7. Любарский, Г. Я.; Теория групп и ее применение в физике; Гостехиздат, Москва; 1957 (5 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронный научный архив УрФУ. <https://elar.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. <https://study.urfu.ru>

Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>

Зональная научная библиотека УрФУ. <https://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория групп в физике

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		Подключение к сети Интернет	
3	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
6	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теория конденсированных сред-I (решетка)

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение. Твердое тело как квантовомеханическая система электронов и ядер.	Общий вид гамильтониана системы электронов и ядер. Характер распределения электронов и ядер в основном состоянии. Простейшие модели в теории твердого тела. Модель атомов, связанных центральными силами (модель Борна). Модель ионного кристалла (точечные ионы). Модель «желе» для простых металлов. Ионные остовы и связывающие электроны. Гамильтониан электронно-ионной системы твердого тела. Идеальный кристалл как основное состояние системы. Слабовозбужденные состояния; колебания кристаллической решетки и электронные возбуждения.
P2	Структура идеальных кристаллов.	Кристаллическая решетка. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Точечная симметрия. Решетки Браве. Группы симметрии. Обратная решетка. Распределение электронов и типы связей в кристаллах. Энергия связи для основных типов твердых тел.
P3	Колебания кристаллических решеток.	Колебания простой кристаллической решетки. Уравнение движения простой кристаллической решетки. Адиабатическое

		<p>приближение. Дисперсионное уравнение для колебаний простой кристаллической решетки. Основные свойства частот.</p> <p>Нормальные моды и нормальные координаты. Дисперсионные зависимости частот колебаний простой решетки.</p> <p>Длинноволновые колебания. Приближение сплошной среды.</p> <p>Дисперсионные зависимости в приближении короткодействующих межатомных сил.</p> <p>Динамическая матрица в модели эффективного потенциала (модель Борна). Акустические колебания в простых металлах.</p> <p>Колебания сложной кристаллической решетки.</p> <p>Уравнение движения, нормальные координаты, дисперсионное уравнение.</p> <p>Акустические и оптические ветви колебаний.</p> <p>Колебания решетки ионных кристаллов (поляритоны).</p> <p>Спектральная плотность колебаний решетки.</p> <p>Определение спектральной плотности. Геометрия изочастотных поверхностей.</p> <p>Особые точки спектральной плотности, их связь с геометрией изочастотных поверхностей. Теорема ван Хова.</p> <p>Квантование колебаний кристаллической решетки.</p> <p>Волновые функции колебаний. Собственные значения энергии. Матричные элементы операторов обобщенных координат и импульсов.</p> <p>Операторы рождения и уничтожения квантов колебаний. Волновое поле колебаний как система фононов.</p>
<p>P4</p>	<p>Термодинамические свойства кристаллов в гармоническом приближении.</p>	<p>Свободная энергия и внутренняя энергия колеблющейся решетки. Функция распределения фононов. Температура Дебая. Термодинамические функции в областях низких и высоких температур.</p> <p>Термодинамика кристалла в приближении Дебая. Теплоемкость кристалла. Упругие деформации кристалла. Тензор модулей упругости. Закон Гука.</p>
<p>P5</p>	<p>Ангармонизм кристаллической решетки и уравнение состояния твердого тела.</p>	<p>Разложение гамильтониана кристалла по смещениям до 4 порядка. Термодинамическая теория возмущений. Свободная энергия кристалла с учетом ангармонизмов 3 и 4 порядка.</p> <p>Влияние ангармонизмов на теплоемкость. Температурная зависимость модулей упругости и общее уравнение состояния.</p> <p>Упрощенное уравнение состояния кристалла (уравнение Ми – Грюнайзена). Коэффициент теплового расширения кристалла.</p>

Р6	Кинетическое уравнение для фононов.	Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность кристаллической решетки. Поглощение звука в кристаллах.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	З-2 - Классифицируют основные методы математического и алгоритмического моделирования, применимые для решения задач в области профессиональной деятельности

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория конденсированных сред-I (решетка)

Электронные ресурсы (издания)

1. Киттель, Ч., Ч.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361> (Электронное издание)
2. Ашкрофт, Н., Н.; Физика твердого тела; Мир, Москва; 1979; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483336> (Электронное издание)
3. Займан, Д., Д.; Принципы теории твердого тела; Мир, Москва; 1974; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483413> (Электронное издание)
4. Харрисон, У., У., Сурис, Р. А.; Теория твердого тела; Мир, Москва; 1972; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483357> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Вонсовский, С. В., Кацнельсон, М. И.; Квантовая физика твердого тела; Наука, Москва; 1983 (11 экз.)
2. Маделунг, О., Мочан, И. В., Ансельм, А. И.; Теория твердого тела; Наука, Москва; 1980 (12 экз.)
3. Анималу, А. О. Е., Александр О. Е., Ивченко, Е. Л., Эфрос, А. Л.; Квантовая теория кристаллических твердых тел; Мир, Москва; 1981 (24 экз.)
4. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (44 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронный научный архив УрФУ. <https://elar.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. <https://study.urfu.ru>

Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>

Зональная научная библиотека УрФУ. <https://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория конденсированных сред-I (решетка)

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		Подключение к сети Интернет	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
6	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	
--	--	--	--

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Квантовая теория конденсированного
состояния-II (электроны)

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Модели описания электронной структуры твердых тел в основном состоянии.	<p>Твердое тело как электронно-ионная система. Ионные остовы и коллективизированные электроны. Формулировка моделей на основе представлений о характере распределения коллективизированных электронов.</p> <p>Модель однородной электронной жидкости, модель «желе», приближение почти свободных электронов как основа для описания электронной структуры простых металлов</p> <p>Модель линейных комбинаций атомных орбиталей, приближение сильно связанных электронов как основа для описания электронной структуры ковалентных и ионных кристаллов.</p> <p>Одночастичное описание электронной структуры твердого тела, аналогия с теориями энергетических спектров атомов и молекул. Энергия основного состояния электронной системы как функционал электронной плотности.</p>
P2	Основное состояние однородной электронной жидкости.	<p>Электроны на фоне однородного положительного заряда. Состояния свободных электронов. Импульс Ферми, энергия Ферми. Соотношение кинетической энергии и энергии взаимодействия. Параметр r_s. Система высокой плотности и низкой плотности, электронная жидкость реальных систем.</p>

		<p>Энергия основного состояния однородной системы электронов в приближении высокой плотности. Обменная энергия. Выражение энергии основного состояния через диэлектрическую проницаемость. Диэлектрическая проницаемость электронного газа. Экранировка взаимодействия. Разложение энергии основного состояния по параметру rs</p> <p>Система электронов низкой плотности, вигнеровский кристалл. Энергия основного состояния электронного кристалла, оценка энергии нулевых колебаний</p> <p>Интерполяционные формулы для энергии основного состояния однородной электронной жидкости промежуточной плотности.</p>
РЗ	Основные модели описания электронной системы.	<p>Приближение почти свободных электронов.</p> <p>Взаимодействие электрона с ионом. Экранировка. Модельные потенциалы.</p> <p>Взаимодействие электрона с системой ионов. Структурный фактор. Взаимодействие с ионной решеткой.</p> <p>Теория возмущений по взаимодействию электронов с ионной решеткой. Энергетические полосы. Квазиимпульс.</p> <p>Теорема Блоха. Волновые функции и квантовые числа электронов в периодическом поле ионов. Периодические граничные условия для блоховских электронов.</p> <p>Энергия основного состояния кристалла в приближении почти свободных электронов. Эффективное взаимодействие между ионами.</p> <p>Метод функционала электронной плотности.</p> <p>Энергия основного состояния электронной системы как функционал плотности. Локальное приближение. Аппроксимации вида функционала.</p> <p>Одночастичные состояния в приближении функционала электронной плотности. Эффективный одноэлектронный потенциал.</p> <p>Приближение Хартри- Фока для электронов в кристалле.</p> <p>Уравнения Хартри – Фока для электронов в кристалле. Одночастичные состояния и корреляционное взаимодействие.</p> <p>Приближение сильно связанных электронов.</p> <p>Представление волновых функций электронов системы атомов в виде линейной комбинации атомных орбиталей. Система уравнений метода ЛКАО. Случай двух атомов. Связывающие и антисвязывающие орбитали.</p> <p>Электронные состояния в кристалле в приближении сильно связанных электронов. Блоховские функции для сильно связанных электронов. Функции Ванье. Энергетический спектр в приближении ближайших соседей.</p>

		Взаимодействие между сильно связанными электронами. Отталкивание на одном узле. Гамильтониан Хаббарда.
P4	Электронная структура кристаллов.	Электронная структура кристаллов. Классификация по характеру заполнения одночастичных состояний. Металлы, полуметаллы, бесщелевые полупроводники, полупроводники, диэлектрики.
P5	Поверхность Ферми.	Определение поверхности Ферми. Классификация поверхностей Ферми металлов по форме и связности. Поверхности Ферми металлов различных групп.
P6	Возбужденные состояния электронов в металлах.	Возбужденные состояния сильно вырожденного электронного газа. Энтропия и определение функции распределения Ферми. Свободная энергия и уравнение состояния электронного газа. Система взаимодействующих электронов как квантовая ферми-жидкость. Ферми-жидкостное описание слабовозбужденных состояний электронной системы металлов, его обоснование для однородной системы на основе оценки времени жизни квазичастиц. Уравнение и формула для эффективной массы квазичастиц однородной электронной жидкости. Энтропия слабовозбужденного состояния электронной жидкости. Определение равновесной функции распределения. Свободная и внутренняя энергия квазичастиц.
P7	Электронные вклады в термодинамические характеристики твердых тел.	Теплоемкость электронов проводимости в металлах. Вывод формулы для теплоемкости электронной жидкости. Соотношение теплоемкостей электронов и решетки при низких температурах. Плотность состояний электронов на поверхности Ферми и её определение по температурной зависимости теплоемкости. Электронный вклад в модуль всестороннего сжатия (сжимаемость) металла. Вывод формулы для модуля упругости электронной ферми-жидкости, его зависимость от плотности состояний на поверхности Ферми и константы ферми-жидкостного взаимодействия. Температурная зависимость модуля упругости, связь с кривизной плотности состояний на поверхности Ферми. Электронный вклад в уравнение состояния металла при низких температурах. Электронные добавки в уравнение Ми-Грюнайзена, их температурная зависимость и соотношение с решеточными слагаемыми. Вклад электронов в тепловое расширение. Магнитная восприимчивость электронов проводимости.

		Спиновая и орбитальная части восприимчивости электронной жидкости. Температурная зависимость магнитной восприимчивости.
--	--	---

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая теория конденсированного состояния-II (электроны)

Электронные ресурсы (издания)

1. Киттель, Ч., Ч.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361> (Электронное издание)
2. Ашкрофт, Н., Н.; Физика твердого тела; Мир, Москва; 1979; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483336> (Электронное издание)
3. Займан, Д., Д.; Принципы теории твердого тела; Мир, Москва; 1974; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483413> (Электронное издание)
4. Харрисон, У., У., Сурис, Р. А.; Теория твердого тела; Мир, Москва; 1972; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483357> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Киттель, Ч., Гусев, А. А.; Квантовая теория твердых тел; Наука, Москва; 1967 (29 экз.)
2. Вонсовский, С. В., Кацнельсон, М. И.; Квантовая физика твердого тела; Наука, Москва; 1983 (11 экз.)
3. Анималу, А. О. Е., Александр О. Е., Ивченко, Е. Л., Эфрос, А. Л.; Квантовая теория кристаллических твердых тел; Мир, Москва; 1981 (24 экз.)
4. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (44 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронный научный архив УрФУ. <https://elar.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. <https://study.urfu.ru>

Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>

Зональная научная библиотека УрФУ. <https://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая теория конденсированного состояния-II (электроны)

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Современные методы расчета электронной
структуры и свойств конденсированных
сред

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 14.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Элементы квантовой теории систем многих частиц. Вторичное квантование. Приближение среднего поля. Метод функций Грина. Полевые методы. Классический и квантовый методы Монте-Карло.
P2	Решетка	Основные модели расчета кристаллической структуры и фононного спектра. Модель жестких ионов и оболочечная модель.
P3	Атом	Основные модельные теории свободного атома и атома в кристалле. Приближение Хартри-Фока. Теория кристаллического поля и поля лигандов. Метод неприводимых тензорных операторов.
P4	Слабокоррелированные электроны	Модели слабокоррелированных электронных систем. Элементы теории ферми-жидкости Ландау. Метод функционала электронной плотности. Приближение локальной плотности (LDA).
P5	Сильнокоррелированные электроны	Модели сильно коррелированных электронных систем. Приближение локальной спиновой плотности (LSDA). LDA+U-, LDA+DMFT-модели. Модель Хаббарда. Модель Андерсона. Модель Стонера. Эффект Кондо. Теория динамического среднего поля. Калибровочные теории в сильно коррелированных электронных системах. Эффект Ааронова-Бома. Квантовый эффект Холла.

Р6	Бозоны	Модели бозонных систем. Локальные (hard-core) бозоны.
Р7	Спиновые системы	Основные модели теории спиновых систем. Молекулярное поле. Спиновые волны. Метод функций Грина. Теория Березинского-Костерлитца-Таулесса. Псевдоспиновый формализм.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Владеет методами экспериментальных и теоретических исследований и алгоритмического моделирования для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	П-2 - Разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Современные методы расчета электронной структуры и свойств конденсированных сред

Электронные ресурсы (издания)

1. Абрикосов, А. А.; Основы теории металлов : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67590> (Электронное издание)
2. Изюмов, Ю. А.; Электронная структура соединений с сильными корреляциями : монография.; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Москва, Ижевск; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=467651> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Киттель, Ч., Гусев, А. А.; Квантовая теория твердых тел; Наука, Москва; 1967 (29 экз.)
2. Изюмов, Ю. А.; Электронная структура соединений с сильными корреляциями; НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Москва; 2009 (1 экз.)

3. Изюмов, Ю. А.; Базовые модели в квантовой теории магнетизма; [УрО РАН], Екатеринбург; 2002 (3 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронный научный архив УрФУ. <https://elar.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. <https://study.urfu.ru>

Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>

Зональная научная библиотека УрФУ. <https://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Современные методы расчета электронной структуры и свойств конденсированных сред

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM