

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
1154624	Специальные вопросы физики 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 Специальные вопросы физики конденсированного состояния

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Введение в физику конденсированных сред», «Полевые методы в теории конденсированного состояния», «Квантовая теория магнетизма». В дисциплине «Введение в физику конденсированных сред» рассматривается качественное описание строения и физико-химических свойств конденсированных сред, классификация твердых тел, дефектных структур. Вводятся представления о параметрах порядка и фазовых переходах, рассматриваются общие закономерности формирования макроскопических физических свойств металлов, полупроводников и диэлектриков. Дисциплина «Полевые методы в теории конденсированного состояния» посвящен изложению метода функций Грина как одного из наиболее популярных методов теории конденсированного состояния. В дисциплине «Квантовая теория магнетизма» рассматривается широкий круг вопросов современного магнетизма, как классического, так и квантового, от природы формирования магнитных моментов атомов в кристаллах, механизмов магнитной анизотропии, спиновой алгебры и спин-гамильтонианов, микроскопической теории магнитных взаимодействий, до методов описания магнитных структур и магнитных возбуждений (магнонов), топологических спиновых структур (доменные стенки, скирмионы, ...), магнитных фазовых переходов.

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	Квантовая теория магнетизма	3
2	Введение в физику конденсированных сред	3
3	Полевые методы в теории конденсированного состояния	3
ИТОГО по модулю:		9

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	<ol style="list-style-type: none">1. Общая физика2. Нелинейная физика3. Общие вопросы теоретической физики
Постреквизиты и кореквизиты модуля	<ol style="list-style-type: none">1. Теория конденсированного состояния2. Дополнительные главы физики 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
Введение в физику конденсированных сред	ОПК-1 - Способен выявлять, формулировать и решать фундаментальные и прикладные задачи в области своей профессиональной деятельности и в междисциплинарных направлениях с использованием фундаментальных знаний и практических навыков	<p>З-1 - Демонстрировать понимание фундаментальных принципов, методов и подходов к решению фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности и междисциплинарных направлениях</p> <p>У-1 - Выявлять и определять цели и пути решения фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности, опираясь на фундаментальные законы и принципы, с использованием соответствующих целям подходов и методов</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-1 - Сделать обзор основных методов теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p>
Квантовая теория магнетизма	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>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</p>

		<p>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>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>
<p>Полевые методы в теории конденсированного состояния</p>	<p>ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты</p>	<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>
	<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-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы 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
Квантовая теория магнетизма

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	Классификация магнетиков и магнитных явлений.
P2	Магнитные моменты	Магнитные моменты микрочастиц. Электрон в магнитном поле. Орбитальный и спиновый парамагнитные моменты. Магнетон Бора. Фактор Ланде. Диамагнетизм. Диамагнетизм Ландау. Магнитный момент ядра. Атомные магнитные моменты. Электронная структура свободного атома. Термы и мультиплеты. Первое, второе, и третье правила Хунда. Формирование магнитного момента свободного атома. Атомы в кристаллах. «Замораживание» орбитального момента. Различные схемы кристаллического поля. Особенности 3d- и 4f-ионов. Формирование магнитного момента атома в кристаллическом поле. Спин-орбитальное взаимодействие и частичное «размораживание» орбитального момента. Эффективный g-тензор. Метод эквивалентных операторов Стивенса. Псевдоспиновый формализм, квазидублеты. Ковалентность и перенос электронной и спиновой плотности.
P3	Атомная магнитная восприимчивость	Парамагнитная восприимчивость, функции Бриллюэна, Ланжевена и закон Кюри. Эффективные магнитные моменты. Ван-Флековская восприимчивость. Ядерный парамагнетизм.

P4	Одноионная и двухионная магнитная анизотропия	Спин-орбитальное взаимодействие и одноионная магнитная спиновая анизотропия 3d-ионов. Кристаллическое поле и одноионная магнитная анизотропия редкоземельных (4f) ионов. Магнитодипольная анизотропия. Обменно-релятивистская двухионная анизотропия. Особенности квантовой природы магнитной анизотропии.
P5	Взаимодействие магнитных ионов	Магнитодипольное взаимодействие. Обменное взаимодействие. Потенциальный (гейзенберговский) и кинетический обмен. Прямой обмен, сверхобмен, косвенный обмен. Спиновый гамильтониан, модель Гейзенберга. Обменно-релятивистские взаимодействия. Анизотропный обмен, модель Изинга, XY-модель. Антисимметричный обмен Дзялошинского-Мория.
P6	Сверхтонкие взаимодействия (СТВ)	Электрические и магнитные СТВ. Контактное взаимодействие Ферми. Сверхтонкая структура спектра атома водорода. Наведенные и косвенные СТВ. Спиновая поляризация и локальные поля на ядрах. Эффективные спин-гамильтонианы и расчет спинового расщепления ядер.
P7	Упорядоченные магнитные структуры	Магнитная симметрия. Типы магнитных структур и методы их наблюдения. Теория молекулярного поля Кюри-Вейсса и восприимчивость ферромагнетика. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точки Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Слабый ферромагнетизм. Ферромагнетики. Магнитная структура. Точки Кюри и компенсации. Неколлинеарные (геликоидальные, спиральные) магнетики. Магнитные фрустрации. Квантовые магнетики. Спонтанные и индуцированные магнитные фазовые переходы. Спин-переориентационные фазовые переходы. Спин-флип и спин-флоп переходы. Метамагнитные переходы.
P8	Магнитные возбуждения	Квантование колебаний намагниченности. Спиновые волны, магноны. Закон дисперсии. Тепловые магнонные эффекты. Температурная зависимость намагниченности насыщения. Магноны в антиферромагнетиках.
P9	Магнитный резонанс	Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс, уравнения Блоха. Ядерный квадрупольный резонанс. Ферромагнитный резонанс, уравнения Ландау-Лифшица и Гильберта. Антиферромагнитный резонанс. Ядерный гамма-резонанс (эффект Мёссбауэра).
P10	Обзор особенностей физических свойств магнетиков	Магнитоупругие взаимодействия, магнитострикция. Магнитооптические эффекты Фарадея, Керра, Коттон-Мутона. Магнитоэлектрические эффекты, мультиферроики. Топологические неоднородные магнитные структуры, магнитная доменная структура.

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 формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	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

Квантовая теория магнетизма

Электронные ресурсы (издания)

1. Москвин, А. С.; Атомы в кристаллах : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018; <http://www.iprbookshop.ru/107024.html> (Электронное издание)
2. Вонсовский, С. В.; Магнетизм: магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков : монография.; Наука, Москва; 1971; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483412> (Электронное издание)
3. Абрагам, А., А., Скроцкий, Г. В., Альтшулер, С. А.; Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов : монография.; Мир, Москва; 1972; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483226> (Электронное издание)
4. Абрагам, А., А., Скроцкий, Г. В., Альтшулер, С. А.; Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов : монография.; Мир, Москва; 1973; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483223> (Электронное издание)
5. Крупичка, С., С.; Физика ферритов и родственных им магнитных окислов; Мир, Москва; 1976; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483367> (Электронное издание)
6. Крупичка, С., С.; Физика ферритов и родственных им магнитных окислов; Мир, Москва; 1976; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483366> (Электронное издание)
7. Боровик, Е. С.; Лекции по магнетизму : курс лекций.; Физматлит, Москва; 2005; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Уайт Роберт, М., Либерман, М. А., Боровик-Романов, А. С., Питаевский, Л. П.; Квантовая теория магнетизма; Мир, Москва; 1985 (8 экз.)
2. Москвин, А. С.; Атомы в кристаллах : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018 (10 экз.)
3. Киттель, Ч., Гусев, А. А.; Квантовая теория твердых тел; Наука, Москва; 1967 (22 экз.)
4. Вонсовский, С. В.; Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков; Наука, Москва; 1971 (17 экз.)
5. ; Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2001 (1 экз.)
6. Абрагам, А., Альтшулер, С. А., Скроцкий, Г. В.; Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов : пер. с англ. Т. 1. ; Мир, Москва; 1972 (15 экз.)
7. Абрагам, А., Альтшулер, С. А., Скроцкий, Г. В.; Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов : пер. с англ. Т. 2. ; Мир, Москва; 1973 (7 экз.)
8. Тябликов, С. В.; Методы квантовой теории магнетизма; Наука, Москва; 1975 (16 экз.)
9. Крупичка, С., Пахомов, А. С.; Физика ферритов и родственных им магнитных окислов : Пер. с нем. Т. 1. ; Мир, Москва; 1976 (4 экз.)
10. Крупичка, С., Пахомов, А. С.; Физика ферритов и родственных им магнитных окислов : Пер. с нем. Т. 2. ; Мир, Москва; 1976 (4 экз.)
11. Маттис, Д. К., Даниель К., Лифшиц, И. М., Каганов, М. И.; Теория магнетизма : введение в изучение кооперативных явлений.; Мир, Москва; 1967 (13 экз.)
12. Метфессель, З., Бердышев, А. А., Карпенко, Б. В., Вонсовский, С. В.; Магнитные полупроводники; Мир, Москва; 1972 (10 экз.)
13. Тикадзуми, С., Смоленский, Г. А., Писарев, Р. В., Быстров, М. В.; Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества; Мир, Москва; 1983 (23 экз.)
14. Изюмов, Ю. А.; Статистическая механика магнитоупорядоченных систем; Наука, Москва; 1987 (5 экз.)
15. Бердышев, А. А.; Введение в квантовую теорию магнетизма : Учеб. пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 1992 (21 экз.)
16. Боровик, Е. С.; Лекции по магнетизму; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2005 (22 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Электронная научная библиотека. <https://elibrary.ru>
4. Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://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

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

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

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая теория магнетизма

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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется

		Доска аудиторная	
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Введение в физику 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	Классификация конденсированных сред	Введение. Общие представления об электронной структуре и энергетическом спектре твердых тел. Классификация твердых тел. Кристаллические и некристаллические твердые тела. Неупорядоченные, аморфные тела, стекла. Наноскопические системы. Электронная подсистема кристаллов. Локализованные и коллективизированные состояния – «диэлектрический» и «металлический» подходы. Потенциал ионизации. Электронное сродство. Электроотрицательность. Валентность. Типы связей в твердых телах. Гомеополярная и гетерополярная связи. Ионная связь. Ковалентность. Металлическая связь. Связь Ван-дер-Ваальса. Водородная связь. Локализованные и коллективизированные состояния в кристаллах. Энергетические зоны. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Классификация магнетиков. Сегнето- и антисегнетоэлектрики. Мультиферроики. Нормальные и сверхпроводящие металлы. Низкоразмерные системы. Классификация твердых тел по особенностям различных физических свойств.
P2	Атомно-молекулярная структура конденсированных сред	Атом водорода. Энергетический спектр. Радиальное и угловое распределение электронной плотности. Гибридные s-орбитали. Многоэлектронный атом. Модель эффективного центрального поля. Одноэлектронные состояния. Классификация атомных состояний. Термы. Спин-орбитальное взаимодействие при LS-связи. Метод Хартри-Фока. Обменно-корреляционный потенциал Слэйтера.

		<p>Электронные корреляции. Атом гелия. Периодическая система элементов Менделеева. Теория кристаллического поля (КП). Сильное, среднее, слабое КП. Электростатическая модель КП. Многоэлектронные конфигурации в схеме сильного КП. Молекулярно-кластерное описание атомов в кристаллах. Метод молекулярных орбиталей. Молекула водорода и ковалентная химическая связь. Эффекты ковалентности в гетероядерных молекулах. Классификация связи атомов в кристаллах. Октаэдрические комплексы переходных элементов в кристаллах. Квадратные комплексы типа CuO_4. Электронно-колебательные взаимодействия. Адиабатическое приближение. Вибронный гамильтониан и теорема Яна-Теллера. Линейная E-e-задача. Линейная E-b1-b2-задача.</p>
P3	Симметрия в конденсированных средах	<p>Преобразования точечной симметрии. Точечные группы. Обозначения Шенфлиса и интернациональные. Классификация точечных групп по сингониям. Преобразования трансляций. Трансляционные группы и сингонии. Голоэдрические точечные группы. Построение решеток Браве. Обозначения решеток. Ячейка Браве. Элементарная ячейка кристалла. Ячейка Вигнера-Зейтца. Пространственные группы кристаллов и их обозначения. Группы магнитной симметрии. Позиции атомов в решетке. Обозначения направлений и плоскостей в кристалле. Индексы Миллера. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Симметрия и физические свойства кристаллов. Предельные группы симметрии, или группы Кюри. Принцип Неймана-Кюри. Симметрия кристалла и материальные тензоры. Обозначения Фойгта тензоров в кристаллофизике. Симметрия обращения времени.</p>
P4	Классификация внутри- и межатомных взаимодействий	<p>Внутриатомные взаимодействия и их роль в формировании электронной структуры и энергетического спектра атома. Взаимодействие атома (иона) с внешними электрическими и магнитными полями. Энергия Маделунга. Кристаллическое поле. Межатомные кулоновские мультиполь-мультипольные взаимодействия. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса. Магнитодипольное взаимодействие. Обменные взаимодействия. Гамильтониан Гейзенберга. Модель Изинга. Биквадратичный обмен. Антисимметричный обмен Дзялошинского-Мория. Магнитная анизотропия. Спин-гамильтонианы. Сверхтонкие взаимодействия. Электронно-колебательные взаимодействия.</p>
P5	Элементарные возбуждения в конденсированных средах	<p>Квазичастицы. Закон дисперсии. Эффективная масса. Акустические и оптические моды. Роль щели в энергетическом спектре. Мягкие моды. Фононы. Магноны. Смешивание (взаимодействие) мод. Электроны и дырки. Экситоны Френкеля и Мотта. Поляроны. Плазмоны. Волны зарядовой и спиновой плотности. Топологические возбуждения, вихри, кинки, скирмионы.</p>
P6	Элементы термодинамического описания конденсированных сред	<p>Термодинамический потенциал. Обобщенные силы и координаты. Тензор обобщенной восприимчивости. Пример анализа конкретного явления (пироэлектрический эффект, электро- и магнетокалорический эффект и т.п.). Параметры порядка. Фазовые переходы в твердых телах. Классификация</p>

		фазовых переходов. Элементы теории Ландау фазовых переходов II рода. Симметрия и фазовые переходы. Критерии Лифшица. Особенности поведения обобщенных восприимчивостей вблизи точек фазового перехода. Ориентационные фазовые переходы в магнетиках.
P7	Дефекты в конденсированных средах	Структурные дефекты. Точечные, линейные, двумерные дефекты. Вакансии и междоузельные атомы (дефекты Френкеля и Шотки). Дислокации (краевая, винтовая). Вектор Бюргерса. Поле дислокации. Движение дислокаций. Двойникование. Поверхности раздела в кристаллах. Роль поверхности. Малоугловые границы зерен. Доменные границы. Электронные дефекты. Центры окраски. F-центры. Электронная структура примесных атомов и локальные искажения решетки. Доноры и акцепторы в полупроводниках.
P8	Физические свойства конденсированных сред	Теплоемкость. Упругие и магнитоупругие свойства. Транспортные и магнитотранспортные свойства. Оптические свойства диэлектриков, полупроводников, металлов. Резонансные свойства твердых тел. Эффекты ЭПР, ЯМР, ЯКР, ЯГР, ФМР, АФМР.

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 формирования уверенности и готовности к самостоятельной профессиональной деятельности	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

Введение в физику конденсированных сред

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)

Печатные издания

1. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (53 экз.)
2. Блейкмор, Д., Андрианов, Д. Г., Фистуль, В. И.; Физика твердого тела : Пер. с англ.; Мир, Москва; 1988 (16 экз.)
3. Гуревич, А. Г.; Физика твердого тела : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов и техн. ун-тов.; Невский Диалект : [БХВ-Петербург], Санкт-Петербург; 2004 (21 экз.)
4. Павлов, П. В., Хохлов, А. Ф.; Физика твердого тела : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"; Высшая школа, Москва; 2000 (47 экз.)
5. Епифанов, Г. И.; Физика твердого тела : учеб. пособие.; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2011 (16 экз.)
6. Найш, В. Е.; Теория симметрии кристаллов : учебное пособие.; Уральский государственный университет, Свердловск; 1986 (43 экз.)
7. Найш, В. Е.; Структуры кристаллов : Учеб. пособие.; Изд-во УрО РАН, Екатеринбург; 1998 (1 экз.)
8. Шаскольская, М. П.; Кристаллография : Учеб. пособие.; Высшая школа, Москва; 1984 (52 экз.)
9. Займан, Дж. М., Бонч-Бруевич, В. Л.; Принципы теории твердого тела : Пер. со 2-го англ. изд.; Мир, Москва; 1974 (26 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Электронная научная библиотека. <https://elibrary.ru>
4. Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://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

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

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

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в физику конденсированных сред

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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется

		Доска аудиторная	
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Полевые методы в теории
конденсированного состояния

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	Формализм вторичного квантования и представление чисел заполнения	Переход к представлению вторичного квантования в многочастичных гамильтонианах фермионов и бозонов. Представление чисел заполнения.
P2	Гейзенберговское представление, представление взаимодействия и S-матрица	Эволюция волновой функции уравнения Шредингера во времени. Переход от шредингеровского представления к гейзенберговскому. Свойства операторов и волновой функции в гейзенберговском представлении. Гейзенберговское представление для операторов поля невзаимодействующих ферми-частиц. Представление взаимодействия. Свойства операторов и волновых функций в представлении взаимодействия. Описание временной эволюции волновой функции в представлении взаимодействия с помощью S – матрицы. Хронологическое упорядочение операторов. Переход от усреднения по основному состоянию операторов в гейзенберговском представлении к усреднению операторов в представлении взаимодействия.
P3	Причинная одноэлектронная функция Грина при нулевой температуре	Определение причинной одночастичной функции Грина при $T=0$. Связь характеристик основного состояния системы при $T=0$ с причинной функцией Грина. Функция Грина невзаимодействующих электронов при нулевой температуре в координатном и импульсном пространствах.
P4	Причинная однофононная функция Грина при нулевой температуре	Оператор фононного поля. Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия с акустическими продольными фононами. Определение одночастичной причинной функции Грина

		фононов при нулевой температуре. Функция Грина невзаимодействующих фононов при $T=0$ в координатном и импульсном пространствах.
P5	Диаграммная техника для взаимодействующих ферми- и бозе-частиц	Переход в одночастичных функциях Грина от гейзенберговского представления к представлению взаимодействия. Нормальное произведение операторов и свертка операторов. Теорема Вика для средних значений по основному состоянию от произведений операторов. Диаграммы Фейнмана для одночастичной функции Грина системы взаимодействующих частиц и правила их построения. Связанные и несвязанные диаграммы в ряду теории возмущений, правила учета топологически эквивалентных диаграмм.
P6	Примеры диаграммной техники для различных типов взаимодействия	Основные диаграммы первого и второго порядка теории возмущений в случае двухчастичного взаимодействия. Правила аналитической записи диаграмм в координатном и импульсном пространствах. Особенности диаграммной техники для взаимодействия электронов с переменным неоднородным внешним полем. Диаграммная техника для одночастичной функции Грина электронов в случае электрон-фононного взаимодействия. Сходства и отличия от случая диаграммной техники при двухчастичном взаимодействии. Правила записи диаграмм в координатном и импульсном пространствах. Диаграммная техника для однофононной функции Грина. Общие правила записи поправочных членов в рядах теории возмущений для одноэлектронной и однофононной функций Грина.
P7	Блочное суммирование диаграмм. Собственно-энергетическая часть и уравнение Дайсона	Приводимые и неприводимые диаграммы в ряду теории возмущений для одноэлектронной функции Грина при двухчастичном взаимодействии. Неприводимая собственно-энергетическая часть (массовый оператор) одноэлектронной функции Грина и основные диаграммы собственно-энергетической части в низших порядках теории возмущений. Уравнение Дайсона для одноэлектронной функции Грина. Скелетные диаграммы. Уравнение Дайсона в случае взаимодействия электронов с неоднородным внешним полем. Уравнение Дайсона, неприводимая собственно-энергетическая часть и ее основные диаграммы для одноэлектронной функции Грина в случае электрон-фононного взаимодействия. Блочное суммирование диаграмм для однофононной функции Грина, неприводимая собственно-энергетическая часть (поляризационный оператор) и уравнение Дайсона в случае электрон-фононного взаимодействия. Связь массового и поляризационного оператора с вершинной частью при электрон-фононном взаимодействии.
P8	Уравнение движения для одночастичной функции Грина и двухчастичная функция Грина	Уравнение движения для одночастичной функции Грина в гейзенберговском представлении и его связь с двухчастичной функцией Грина. Определение двухчастичной функции Грина. Основные диаграммы в ряду теории возмущений для

		двухчастичной функции Грина в случае двухчастичного взаимодействия. Двухчастичная смешанная электрон-фононная функция Грина в случае электрон-фононного взаимодействия.
--	--	---

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 формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	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-1 - Осуществлять обоснованный выбор методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Полевые методы в теории конденсированного состояния

Электронные ресурсы (издания)

1. Абрикосов, А. А.; Методы квантовой теории поля в статистической физике; Физматгиз, Москва; 1962; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483334> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П., Ландау, Л. Д.; Статистическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов. Ч. 2. Теория конденсированного состояния; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2002 (1 экз.)

2. Ландау, Л. Д., Питаевский, Л. П.; Теоретическая физика : [учеб. пособие для вузов]. Т. 9. Статистическая физика, ч. 2 : Теория конденсированного состояния ; Физматлит, Москва; 2004 (2 экз.)

3. Абрикосов, А. А.; Методы квантовой теории поля в статистической физике; Добросвет, Москва; 2006 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Электронная научная библиотека. <https://elibrary.ru>
4. Университетская библиотека онлайн. <http://biblioclub.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://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

1. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Полевые методы в теории конденсированного состояния

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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
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 Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Подключение к сети Интернет	
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES