

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
1155906	Дополнительные главы теоретической физики

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Физика	<b>Код ОП</b> 1. 03.03.02/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.03.02

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Старший преподаватель	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ **Дополнительные главы теоретической физики**

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Дополнительные главы квантовой механики», «Дополнительные главы математической физики», «Общая теория относительности», «Основы квантовой теории магнетизма», «Полевые методы в физике конденсированного состояния». В курсе «Дополнительные главы квантовой механики» рассматриваются стационарная и нестационарная теория возмущений, теория квантовых переходов, теория рассеяния, основы релятивистской квантовой механики, квантовая теория систем многих частиц. Курс «Дополнительные главы математической физики» включает элементы теории обобщенных функций, специальные функции математической физики, вопросы симметрии и инвариантных решений дифференциальных уравнений, а также вопросы симметрии уравнений математической физики и калибровочных полей. В курсе «Общая теория относительности» (ОТО) рассматриваются физические основы ОТО, элементы математического аппарата ОТО, движение частиц и распространение света в гравитационном поле, уравнения гравитационного поля и их свойства, наблюдаемые и предсказываемые эффекты ОТО, а также релятивистская космология. Курс «Основы квантовой теории магнетизма» включает элементы теории атомов в кристаллах, спиновую алгебру и спин-гамильтонианы, микроскопическую теорию магнитных взаимодействий, метод молекулярного поля, метод спиновых волн, топологические структуры, теорию сверхтонких взаимодействий. Курс «Полевые методы в физике конденсированного состояния» посвящен изложению метода функций Грина в теории конденсированного состояния.

## 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	Дополнительные главы квантовой механики	3
2	Дополнительные главы математической физики	3
3	Общая теория относительности	2
4	Основы квантовой теории магнетизма	4
5	Полевые методы в физике конденсированного состояния	4
ИТОГО по модулю:		16

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Общая физика
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	Не предусмотрены

#### 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
Дополнительные главы квантовой механики	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	<p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
	ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p>

	учетом границ применимости моделей	<p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p>
Дополнительные главы математической физики	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	<p>З-1 - Демонстрировать понимание основных закономерностей, законов, теорий математики, их взаимосвязь с другими дисциплинами</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
	ПК-2 - Способен создавать	З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и

	<p>математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p>
Общая теория относительности	<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание основных закономерностей, законов, теорий математики, их взаимосвязь с другими дисциплинами</p> <p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p>

	<p>в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
	<p>ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p>
<p>Основы квантовой теории магнетизма</p>	<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p>

	в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач
Полевые методы в физике конденсированного состояния	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	<p>З-1 - Демонстрировать понимание основных закономерностей, законов, теорий математики, их взаимосвязь с другими дисциплинами</p> <p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Дополнительные главы квантовой**  
**механики**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Старший преподавате ль	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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	Преобразования в квантовой механике	Преобразование координат и преобразования физической системы. Унитарные (канонические) преобразования. Понятие о векторе состояния, геометрическая аналогия. Различные представления вектора состояния. Матричная механика. Группы преобразований. Понятие группы и представление групп. Примеры групп, используемых в квантовой механике. Понятие о неприводимых представлениях групп, базисе представления. Трансформационные свойства элементов базиса. Непрерывные группы, инфинитезимальные матрицы, или генераторы групп, их связь с физическими величинами. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике. Теорема Вигнера о связи собственных значений энергии и волновых функций с неприводимыми представлениями группы симметрии системы. Теорема Вигнера–Эккарта. Преобразование сдвига и оператор импульса. Однородность пространства и закон сохранения импульса. Преобразование поворота в трехмерном пространстве и оператор момента импульса. Преобразование скалярных и тензорных функций. Преобразование векторной функции. Оператор спина. Изотропность пространства и закон сохранения момента импульса.

P2	Математический аппарат теории момента количества движения	Коммутационные соотношения для компонент момента. Операторы повышения и понижения. Разбиение пространства собственных функций оператора $z$ -компоненты момента на базисы неприводимых представлений группы трехмерных вращений ( $jm$ -функции). Квантовое число момента и его возможные значения. Матричные элементы оператора момента. Матрицы Паули и их свойства. Трансформационные свойства $jm$ -функций. Векторная модель сложения моментов. Коэффициенты векторного сложения моментов (коэффициенты Клебша–Гордана), их свойства. Коэффициенты Вигнера. Сложение трех моментов и $6j$ -символы. «Физическая» и «математическая» интерпретация основной формулы сложения моментов. Неприводимые тензорные операторы. Теорема Вигнера–Экарта. Эквивалентные операторы.
P3	Теория возмущений	Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень. Теория возмущений для двух близких уровней. Эффективные гамильтонианы. Псевдоспиновый формализм Теория возмущений, зависящих от времени. Квантовые переходы, вероятность перехода. Основные уравнения нестационарной теории возмущений. Переход к представлению взаимодействия. Общий вид решения основного уравнения. Хронологический оператор Дайсона. Матрица рассеяния. Квантовые переходы под действием «постоянного» и периодического возмущения. «Золотое» правило Ферми. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия–время. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Понятие о парциальных фотонах. Электромагнитные переходы. Длинноволновое приближение. Правила отбора.
P4	Квантовая теория упругого рассеяния	Метод функций Грина в теории рассеяния. Поведение решения на больших расстояниях от центра рассеяния. Амплитуда рассеяния. Борновские приближения. Дифференциальное сечение рассеяния. Упругое рассеяние в центральном поле. Формула Резерфорда. Метод парциальных волн. Фазовые сдвиги. Дифференциальное и интегральное сечения рассеяния в методе парциальных волн. Оптическая теорема.
P5	Элементы релятивистской квантовой механики	Уравнение Клейна–Гордона и уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Спиральность дираковской частицы. Дираковская частица в магнитном поле. Уравнение Паули. Спин электрона. Магнитный момент электрона. Факторы Ланде. Дираковская частица в электрическом поле, релятивистские поправки. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода. Сверхтонкие взаимодействия, сверхтонкая структура.
P6	Квантовая теория систем многих частиц	Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Перестановочная симметрия, операторы симметризации-антисимметризации. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Спин и перестановочная симметрия, схемы Юнга. Обменное взаимодействие Гейзенберга, спин-гамильтониан. Представление чисел заполнения. Уравнение Шредингера в представлении чисел заполнения. Операторы

		рождения и уничтожения. Вторичное квантование. Форма операторов одно- и двух-частичного типа. Фононы. Магноны.
<b>P7</b>	Теория многоэлектронного атома	Гамильтониан многоэлектронного атома. Простейшие модельные «одночастичные» приближения, модель эффективных зарядов. Метод самосогласованного поля Хартри и Хартри-Фока. Мультипольное разложение межэлектронного взаимодействия, интегралы Слэтера. Сложение моментов, LS- и jj-связь. Электронные оболочки, электронные конфигурации. Особенности полностью заполненных оболочек. Термы. Правило Хунда. Спин-орбитальное взаимодействие, LSJ-мультиплеты. Правило интервалов Ланде. Общая картина формирования энергетического спектра атома.

### 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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики 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

### Дополнительные главы квантовой механики

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Гейзенберг, В., В., Иваненко, Д.; Современная квантовая механика; Государственное технико-теоретическое изд-во, Москва, Ленинград; 1934; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45428> (Электронное издание)
2. Киселёв, В. В.; Квантовая механика: курс лекций : курс лекций.; МЦНМО, Москва; 2009;

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=62965> (Электронное издание)

3. Елютин, П. В.; Квантовая механика с задачами : сборник задач и упражнений.; Физматлит, Москва; 2001; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68967> (Электронное издание)

4. Алтунин, К. К.; Квантовая механика : учебно-методическое пособие.; Директ-Медиа, Москва; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240551> (Электронное издание)

5. Ведринский, Р. В.; Квантовая механика : учебник.; Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240937> (Электронное издание)

6. Матвеев, А. Н.; Квантовая механика и строение атома; Высшая школа, Москва; 1965; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483293> (Электронное издание)

7. Компанеец, А. С.; Что такое квантовая механика? : монография.; Наука, Москва; 1964; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474136> (Электронное издание)

### **Печатные издания**

1. Ландау, Л. Д., Пиастровский, Л. П.; Теоретическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов : В 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.- 4-е изд., испр. ; Наука, Москва; 1989 (34 экз.)

2. Елютин, П. В., Боголюбов, Н. Н., Кривченков, В. Д.; Квантовая механика с задачами : Для физ. специальностей вузов.; Наука, Москва; 1976 (11 экз.)

3. Мултановский, В. В., Василевский, А. С.; Курс теоретической физики. Квантовая механика : учеб. пособие для студентов пед. и техн. вузов, обучающихся по направлениям подгот. и специальностям в обл. физики и естественнонауч. образования.; Дрофа, Москва; 2007 (5 экз.)

4. Коэн-Таннуджи, К., Диу, Б., Лалоз, Ф., Новиков, Л. Н.; Квантовая механика : в 2 т. Т. 1. ; УрГУ, Екатеринбург; 2000 (85 экз.)

5. Коэн-Таннуджи, К., Диу, Б., Лалоз, Ф., Новиков, Л. Н.; Квантовая механика : в 2 т. Т. 2. ; УрГУ, Екатеринбург; 2000 (85 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>

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

3. 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**

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Дополнительные главы квантовой механики**

### **Сведения об оснащённости 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA5 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA5 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 Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Дополнительные главы математической**  
**физики**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Панов Юрий Демьянович	кандидат физико-математических наук, доцент	Доцент	теоретической и математической физики
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Старший преподаватель	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Панов Юрий Демьянович, Доцент, теоретической и математической физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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	Исторические замечания. Физические и математические идеи, мотивирующие необходимость введения понятия обобщенной функции.
P2	Пространство обобщенных функций	Пространство финитных и бесконечно дифференцируемых основных функций, его свойства. Построение основных функций из элементарных функций. Пространство обобщенных функций и его свойства. Обобщенная функция как линейный непрерывный функционал. Регулярные и сингулярные обобщенные функции. Равенство обобщенных функций. Носитель обобщенных функций. Дельта-функция Дирака. Дельтаобразная последовательность. Формулы Сохоцкого. Формула суммирования Пуассона.
P3	Действия с обобщенными функциями	Действия с обобщенными функциями: умножение на бесконечно дифференцируемую функцию, линейная замена переменных, дифференцирование. Обобщенная производная разрывной функции. Прямое произведение обобщенных функций. Свертка основных и обобщенных функций. Основные свойства свертки, сверточная алгебра. Ньютоновы потенциалы, потенциалы простого и двойного слоя.



<b>P4</b>	Фундаментальные решения операторов с постоянными коэффициентами	Фундаментальное решение. Фундаментальные решения оператора обыкновенного дифференциального уравнения и операторов классической математической физики: оператора Лапласа, оператора теплопроводности и волнового оператора. Основная теорема для решения неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами методом свертки. Метод спуска.
<b>P5</b>	Обобщенная задача Коши	Постановка обобщенной задачи Коши. Решение задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения методом свертки. Решение задачи Коши для уравнения теплопроводности: формула Пуассона. Решение задачи Коши для волнового уравнения: формулы Даламбера, Кирхгофа и Пуассона.
<b>P6</b>	Преобразование Фурье обобщенных функций	Пространство основных функций медленного роста. Пространство обобщенных функций медленного роста. Преобразование Фурье и обратное преобразование Фурье основных функций медленного роста. Преобразование Фурье обобщенных функций медленного роста, его свойства. Преобразование Фурье свертки. Построение фундаментальных решений линейных дифференциальных операторов с постоянными коэффициентами методом преобразования Фурье. Фундаментальные решения оператора Лапласа, оператора Гельмгольца, оператора теплопроводности и волнового оператора.

### 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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики 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**

### **Дополнительные главы математической физики**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Владимиров, В. С.; Уравнения математической физики : учебник.; Физматлит, Москва; 2000; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68126> (Электронное издание)
2. Ильин, А. М.; Уравнения математической физики : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69318> (Электронное издание)
3. Кошляков, Н. С.; Основные дифференциальные уравнения математической физики; Главная редакция общетехнической литературы, Москва, Ленинград; 1936; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=105733> (Электронное издание)
4. Сайко, Д. С.; Уравнения математической физики : учебное пособие.; Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=142066> (Электронное издание)
5. Соболев, С. Л.; Уравнения математической физики; Наука, Москва; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=224458> (Электронное издание)
6. Павленко, А., А.; Уравнения математической физики : учебное пособие.; Оренбургский государственный университет, Оренбург; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259308> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Владимиров, В. С.; Уравнения математической физики : учебник для физ. и мех.-мат. специальностей вузов.; Наука, Москва; 1981 (64 экз.)
2. Владимиров, В. С., Жариков, В. В.; Уравнения математической физики : учебник для вузов.; Физматлит. Лаборатория Базовых Знаний, Москва; 2000 (20 экз.)
3. Владимиров, В. С., Жаринов, В. В.; Уравнения математической физики : учебник для студентов вузов.; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2004 (49 экз.)
4. Мартинсон, Л. К., Зарубин, В. С., Крищенко, А. П., Малов, Ю. И.; Дифференциальные уравнения математической физики : учебник для вузов.; Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; 2002 (20 экз.)
5. Танкеев, А. П., Борич, М. А., Яковенкова, Л. И.; Методы математической физики : учеб. пособие. Ч. 1. Уравнения с частными производными первого порядка; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2009 (20 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. 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.

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Дополнительные главы математической физики

#### 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 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	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Общая теория относительности**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Старший преподавателе ль	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем
2	Урсулов Андрей Владимирович	кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной физики

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
- Урсулов Андрей Владимирович, Доцент, Департамент фундаментальной и прикладной 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. Физические основы общей теории относительности	Ньютоновская теория гравитации. Парадоксы и ограниченность ньютоновской теории. Физические основы общей теории относительности (ОТО). Равенство инертной и гравитационной массы. Принцип эквивалентности. Геометризация гравитации. Арифметизация пространства-времени. Общий принцип относительности. Альтернативные теории гравитации.
P2	Элементы математического аппарата ОТО	Ковариантные и контравариантные тензоры. Тензорная алгебра. Ковариантное дифференцирование. Связность. Тензор кручения. Локально геодезическая система координат. Параллельный перенос. Геодезическая. Формула Стокса. Тензор кривизны. Свойства тензора кривизны. Тензор Риччи. Риманова кривизна. Тождества Бианки. Метрический тензор. Определитель метрического тензора и его свойства. Риманово и псевдориманово пространства. Элемент объема и объем в псевдоримановом пространстве. Теорема Гаусса-Остроградского в псевдоримановом пространстве. Тензорные плотности. Согласование метрики со связностью. Символы Кристоффеля.

<b>P3</b>	Движение частиц и распространение света в гравитационном поле	Уравнения движения. Геодезическая как кратчайшая линия. Импульс частицы. Уравнение Гамильтона-Якоби для частицы в гравитационном поле. Ньютоновское приближение. Распространение лучей света в гравитационном поле. Волновой вектор. Уравнение эйконала. Замедление хода часов и смещение спектральных линий в постоянном гравитационном поле.
<b>P4</b>	Уравнения гравитационного поля	Уравнения гравитационного поля (уравнения Эйнштейна) и их свойства. Действие для гравитационного поля. Методы Палатини и Гильберта получения уравнений гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Космологическая постоянная. Нерелятивистский предел уравнений гравитационного поля. Законы сохранения в ОТО.
<b>P5</b>	Наблюдаемые и предсказываемые эффекты ОТО	Центрально-симметричное гравитационное поле. Решение Шварцшильда. Движение частицы и распространение лучей света в центрально-симметричном гравитационном поле. Вращение планетарных орбит. Смещение перигелия Меркурия. Отклонение лучей света в центрально-симметричном гравитационном поле. Гравитационные линзы. Гравитационный коллапс. Черные дыры. Физические эффекты в поле черных дыр. Плоские гравитационные волны. Темная материя.
<b>P6</b>	Релятивистская космология	Однородная и изотропная Вселенная. Пространства постоянной кривизны. Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера. Фридмановские модели Вселенной. Модели Вселенной с космологической постоянной. Темная энергия. Ранняя Вселенная. Космологическая инфляция.

### 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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

			состояния	
--	--	--	-----------	--

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Общая теория относительности

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Гуревич, Л. Э.; Общая теория относительности в физической картине мира: гравитация, космология, космогония : научно-популярное издание.; Знание, Москва; 1970; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481450> (Электронное издание)
2. Вейнберг, С., С., Смородинский, Я. А.; Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности; Мир, Москва; 1975; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481489> (Электронное издание)
3. Юринов, А. А.; Физика: классическая механика и специальная теория относительности : учебное пособие.; Издательство Политехнического университета, Санкт-Петербург; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363245> (Электронное издание)
4. Гарднер, М., М., Базь, А. И.; Теория относительности для миллионов : научно-популярное издание.; Атомиздат, Москва; 1967; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=446190> (Электронное издание)
5. Ландау, Л. Д.; Что такое теория относительности : научно-популярное издание.; Советская Россия, Москва; 1975; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481454> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Зельманов, А. Л.; Элементы общей теории относительности; Наука, Москва; 1989 (4 экз.)
2. Иваненко, Д. Д., Сарданашвили, Г. А.; Гравитация; УРСС, Москва; 2004 (1 экз.)
3. Бескин, В. С.; Гравитация и астрофизика : учеб. пособие для студентов вузов по направлению "Приклад. математика и физика".; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (2 экз.)
4. Владимиров, Ю. С., Федоров, Ф. И.; Пространство, время, гравитация; Наука, Москва; 1984 (4 экз.)
5. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М.; Теоретическая физика : Учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов: В 10 т. Т. 2. Теория поля.- 8-е изд., стер.; Физматлит, Москва; 2001 (2 экз.)
6. Рашевский, П. К.; Риманова геометрия и тензорный анализ; Наука, Москва; 1967 (9 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. 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.



### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Общая теория относительности

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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Основы квантовой теории магнетизма**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Москвин Александр Сергеевич	доктор физико-математических наук, профессор	Профессор	теоретической и математической физики
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Старший преподаватель	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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.

<b>P4</b>	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.
<b>P5</b>	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.
<b>P6</b>	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.
<b>P7</b>	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.
<b>P8</b>	Магнитные возбуждения	Квантование колебаний намагниченности. Спиновые волны, магноны. Закон дисперсии. Тепловые магнонные эффекты. Температурная зависимость намагниченности насыщения. Магноны в антиферромагнетиках.
<b>P9</b>	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).
<b>P10</b>	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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики 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

### Основы квантовой теории магнетизма

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Пайерлс, , Абрикосов, , А. А.; Квантовая теория твердых тел; Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, Москва, Ижевск; 2019; <http://www.iprbookshop.ru/92041.html> (Электронное издание)
2. Боровик, Е. С.; Лекции по магнетизму : курс лекций.; Физматлит, Москва; 2005; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475> (Электронное издание)
3. Москвин, , А. С.; Атомы в кристаллах : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018; <http://www.iprbookshop.ru/107024.html> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Киттель, Ч., Гусев, А. А.; Квантовая теория твердых тел; Наука, Москва; 1967 (22 экз.)
2. Боровик, Е. С.; Лекции по магнетизму; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2005 (22 экз.)
3. Уайт Роберт, М., Либерман, М. А., Боровик-Романов, А. С., Питаевский, Л. П.; Квантовая теория магнетизма; Мир, Москва; 1985 (8 экз.)
4. Москвин, А. С.; Атомы в кристаллах : учебное пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2018 (10 экз.)
5. Бердышев, А. А.; Введение в квантовую теорию магнетизма : Учеб. пособие.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 1992 (21 экз.)

## Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. 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

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Основы квантовой теории 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 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 Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Не требуется

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Полевые методы в физике**  
**конденсированного состояния**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Игошев Петр Алексеевич	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	теоретической и математической физики
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Старший преподаватель	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Игошев Петр Алексеевич, Доцент, теоретической и математической физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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.

<b>P4</b>	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.
<b>P5</b>	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.
<b>P6</b>	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.
<b>P7</b>	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.
<b>P8</b>	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	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики 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

### Полевые методы в физике конденсированного состояния

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Ларченко, В. М.; Физика : учебное пособие. 8. Основы квантовой механики; Сибирский государственный технологический университет (СибГТУ), Красноярск; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428871> (Электронное издание)
2. Блохинцев, Д. И.; Основы квантовой механики; Наука, Москва; 1976; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495577> (Электронное издание)
3. Маттук, Р., Р.; Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел; Мир, Москва; 1969; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483384> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Лифшиц, Е. М., Ландау, Л. Д., Питаевский, Л. П.; Статистическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов. Ч. 2. Теория конденсированного состояния; Физматлит., Москва; 2000 (1 экз.)
2. Мельников, Ю. А.; Функции и матрицы Грина уравнений и системы эллиптического типа; Изд-во Днепропетр. гос. ун-та, Днепропетровск; 1991 (1 экз.)

3. Маттук, Р. Д., Ричард Д., Бонч-Бруевич, В. Л., Краско, Г. Л., Сурис, Р. А.; Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел; Мир, Москва; 1969 (7 экз.)
4. Садовский, М. В.; Диаграмматика. Лекции по избранным задачам теории конденсированного состояния; Регулярная и хаотическая динамика : Ижевский институт компьютерных исследований, Москва ; Ижевск; 2010 (1 экз.)
5. Тарасов, Л. В.; Основы квантовой механики : учеб. пособие для студентов вузов.; ЛИБРОКОМ, Москва; 2009 (5 экз.)
6. Блохинцев, Д. И.; Основы квантовой механики : [учеб. пособие для вузов].; Наука, Москва; 1976 (20 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. 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**

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Полевые методы в физике конденсированного состояния**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

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>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</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>	<b>Не требуется</b>
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>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<b>Не требуется</b>