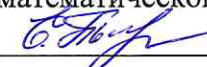


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Томский государственный педагогический университет»**  
**(ТГПУ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физико-  
математического факультета  
  
Е.Г. Пьяных  
« 26 » мая 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б4.1 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН**

Трудоёмкость (в зачетных единицах) - 6

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) подготовки: 01.04.02 Теоретическая физика

Уровень: подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения: очная

Государственный экзамен (далее Государственный экзамен) является традиционной формой аттестации подготовки аспирантов и соискателей вуза, обучающихся по направлению подготовки 01.04.02 Теоретическая физика, их научно-исследовательской деятельности в специальной области. Программа Государственного экзамена состоит из двух частей, основной и дополнительной. В основную часть входят следующие дисциплины: механика, теория поля, электродинамика и механика сплошных сред, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория поля, структура и методика теоретической физики в высшей школе. Дополнительная часть содержит дисциплины по выбору: теория калибровочных полей, теория излучения заряженных частиц в ускорителях, математические методы в общей теории относительности, квантовая электродинамика твердых кристаллических тел, квантовая теория кристаллических твердых тел.

### **1. Цели и задачи Государственного экзамена**

Цель Государственного экзамена заключается в определении уровня общей личностной культуры, профессиональной компетентности и готовности аспиранта (соискателя) к научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики и к научно-педагогической деятельности в высших учебных заведениях.

Задачи Государственного экзамена:

- выявить уровень профессиональной компетентности;
- выявить знания аспиранта современных проблем теоретической физики;
- определить степень готовности аспиранта к ведению исследовательской и преподавательской деятельности.

Аспиранты и соискатели должны предоставить реферат по выбранному направлению научной деятельности или 2-3 статьи, опубликованные за последние 2 года.

### **2. Место учебной дисциплины в структуре основной образовательной программы**

Государственный экзамен входит в Блок 4 ОП "Государственная итоговая аттестация", который в полном объеме относится к базовой части программы и завершается присвоением квалификации "Исследователь. Преподаватель-исследователь".

### **3. Требования к уровню освоения программы**

В результате изучения дисциплины аспирант должен обладать следующими *общепрофессиональными компетенциями*:

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).
- готовностью к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины аспирант должен обладать следующими *профессиональными компетенциями*:

- способностью свободного владения знаниями фундаментальных разделов теоретической физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (ПК-1);
- способностью использовать новейшие методы и достижения теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);

- способностью ясно излагать и передавать другим свои знания фундаментальных разделов теоретической физики (ПК-3).

Карты компетенций и критерии уровня сформированности компетенций приведены в Приложениях №1 и №2, соответственно.

#### 4. Общая трудоемкость дисциплины 6 зачетных единиц и виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (в соответствии с учебным планом) (час)	Распределение по семестрам (в соответствии с учебным планом)
	Всего 216 часа	8 семестр
<i>Аудиторные занятия:</i>	-	-
Лекции	-	-
Практические занятия	-	-
Семинары	-	-
Лабораторные работы	-	-
Другие виды аудиторных работ (экзамен)	36	36
<i>Другие виды работ:</i>	180	180
Самостоятельная работа	180	180
Курсовой проект (работа)	-	-
Реферат	-	-
Расчетно-графические работы	-	-
<i>Формы текущего контроля</i>	-	-
<i>Формы промежуточной аттестации (в соответствии с учебным планом)</i>	Государственный экзамен	Государственный экзамен

#### 5. Содержание учебной дисциплины

##### 5.1. Разделы учебной дисциплины

№п/п	Наименование раздела дисциплины (темы)	Аудиторные часы				Самостоятельная работа (час)
		Всего	Лекции	Практические (семинары)	Другие виды аудиторных работ	
<i>Основная программа</i>						
1	Механика	8			2	10
2	Специальная теория относительности	8			2	10
3	Классическая электродинамика	12			3	16
4	Общая теория относительности	12			4	36
5	Квантовая механика	18			5	36
6	Теория поля	28			5	36
7	Термодинамика и статистическая физика	10			4	12
8	Теория конденсированного	14			2	22



	состояния вещества					
9	Структура и методика обучения теоретической физики в высшей школе	8				28

Дополнительный раздел (дисциплины по выбору)						
1	Теория калибровочных полей	30			15	366
2	Теория излучения заряженных частиц в ускорителях	30			15	366
3	Математические методы в общей теории относительности	30			15	366
4	Квантовая электродинамика твердых кристаллических тел	30			15	366
5	Квантовая теория кристаллических твердых тел	30			15	366
	Итого:	148	-	-	42	572

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### Основная программа

#### 1. Классическая механика

Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле.

Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.

Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.

Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.

Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.

#### 2. Специальная теория относительности

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.



Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц.

### **3. Классическая электродинамика**

Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.

Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.

Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара—Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

### **4. Общая теория относительности**

Движение частицы в гравитационном поле. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.

Уравнения гравитационного поля. Тензор кривизны. Действие для гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.

Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центральное-симметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.

Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет). Гравитационные линзы.

Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуум-доминированной стадиях.

Физические процессы в ранней Вселенной. Закалка нейтрино. Первичный нуклеосинтез. Рекомбинация, реликтовые фотоны.

### **5. Квантовая механика**

Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан.

Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.

Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша—Гордана.

Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.

Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.

Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.

Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса—Ферми. Тонкая структура темных уровней. Периодическая система Менделеева.

Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.

Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

## **6. Теория поля**

*(Раздел для специалистов по теории элементарных частиц  
и физике высоких энергий)*

Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой.

Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тождества Уорда—Такахаши.

Квантово-электродинамические расчеты: комптон-эффект,  $e^+$ ,  $e^-$  аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.

Представление Челлена—Лемана. Формула Лемана—Симанчика—Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Кутковского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм.

Ренормгруппа.  $\beta$ -функция и аномальные размерности. Операторное разложение. Аномальные размерности составных операторов.



Калибровочные теории поля. Квантование по Фаддееву—Попову и духи. Тожества Славнова—Тейлора. Квантовая хромодинамика и асимптотическая свобода.

Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

Кварковая модель. Спектроскопия адронов и составляющие кварки. Чармоний, боттомоний.

КХД и киральная симметрия сильных взаимодействий. Частичное сохранение аксиального тока. Пионы как голдстоуновские частицы. Киральная аномалия Адлера—Белла—Джакива.

Стандартная модель. W- и Z-бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Кабиббо—Кобаяши—Маскава.

□ -распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.

Нарушение CP-инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов.

Глубоконеупругое рассеяние и партонная модель. Нарушение скейлинга и уравнения эволюции Грибова—Липатова—Докшицера—Алтарелли—Паризи.  $e^+$ ,  $e^-$  аннигиляция в адроны. Рождение адронных струй и существование глюонов.

Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи Хоофта—Полякова. Действие Новикова—Веса—Зумино—Виттена.

Вне стандартной модели: великое объединение, распад протона, осцилляции нейтрино.

Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы.

Формализм Беки—Руэ—Стора—Тютиня. Теоремы об отсутствии перенормировок.

Физика частиц и ранняя Вселенная. Космологические фазовые переходы. Темная материя, ограничения на свойства массивных нейтрино.

Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

## 7. Термодинамика и статистическая физика

Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.



Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе—Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.

Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства идеального классического газа.

Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиуса. Критическая точка.

Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие.

Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.

Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктационно-диссипативная теорема.

Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

## **8. Теория конденсированного состояния вещества**

*(Раздел для специалистов по теории твердого тела)*

Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов, бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Двухжидкостное описание. Критерий Ландау. Теория Фейнмана. Квантовые вихри. Корреляции в положении частиц бозе-газа.

Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.

Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.

Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа—ван Альфвена.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Акустические и оптические ветви. Модель Дебая. Удельная теплоемкость решетки. Квантование фононов. Ангармонизм и тепловое расширение. Фактор Дебая—Уоллера.

Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.

Магнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные свойства изолированного атома. Правило Хунда. Гамильтониан Гейзенберга. Модель Хаббарда. Природа магнетизма металлов. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ). Эффект Кондо.

Магнитный порядок. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков. Спиновые волны (магноны). Квантовые флуктуации и спиновые волны в антиферромагнетике. Вклад магнонов в термодинамику магнетиков. Динамика магнитного момента в ферромагнетике. Уравнение Ландау—Лифшица.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Нелокальная электродинамика сверхпроводника: лондоновский и пиппардовский случай. Эффекты четности числа электронов в сверхпроводниках малых размеров.

Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Верхнее и нижнее критические поля. Вихревая решетка. Эффект Джозефсона. Эффект близости. Флуктуационные эффекты вблизи сверхпроводящего перехода. Туннельные эффекты в сверхпроводниках.

Функции Грина. Корреляционные функции. Термодинамический предел и квазисредние. Основные принципы диаграммной техники. Уравнение Дайсона. Вершинная функция. Многочастичные функции Грина. Диаграммная техника при конечных температурах. Кинетические уравнения.

Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.

Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Эффекты локализации электронов в одно- и двумерных системах, перколяционные явления.

## **9. Структура и методика обучения теоретической физики в высшей школе**

Базовые разделы курса теоретической физики. Различные подходы к порядку изложения материала. Значение самостоятельного решения задач. Формы контроля знаний. Роль курса теоретической физики в физическом образовании.

Классическая механика, специальная теория относительности и классическая электродинамика как фундаментальные разделы классической физики: границы применимости и особенности преподавания классической механики, специальной теории



относительности и классической электродинамики в контексте взаимосвязи между разделами классической физики, а также и связи с квантовой механикой и статистической физикой. Различные подходы к построению курса классической физики и особенности преподавания.

Квантовая механика как один из фундаментальных разделов теоретической физики, границы применимости законов квантовой механики, особенности обучения нерелятивистской квантовой механики. Различные способы построения разделов курса квантовой физики. Особенности организации занятий по решению задач.

Статистическая физика как основа физики макроскопических систем. Термодинамический и статистический подходы к описанию макроскопических систем. Различные способы построения курса.

## **Дополнительная программа**

### **1. Теория калибровочных полей**

#### **1. Калибровочный принцип.**

Конструкция Янга-Миллса, локальная симметрия, поле Янга-Миллса, лагранжиан поля Янга-Миллса. Калибровочная трактовка гравитации. Понятие о калибровочных теориях общего вида.

#### **2. Гамильтонова формулировка калибровочных теорий.**

Канонический формализм при наличии связей в фазовом пространстве, связи первого и второго рода, физический сектор теории. Каноническая формулировка теории поля Янга-Миллса. Понятие о канонической формулировке гравитации.

#### **3. Квантование калибровочных теорий в лагранжевом формализме.**

Функциональный интеграл для полей Янга-Миллса, конструкция Фаддеева-Попова, калибровки, духовые поля. Преобразования Беки-Руэ-Стора-Тютина (БРСТ), БРСТ заряд, тождества Славнова-Тейлора и их применение к перенормировке калибровочных теорий.

#### **4. Квантование калибровочных теорий в гамильтоновом формализме.**

Функциональный интеграл для гамильтоновых систем со связями первого рода. Пространство состояний калибровочной теории, Конструкция Баталина-Фрадкина-Вилковского (БФВ), БФВ заряд и его свойства.

### **2. Теория излучения заряженных частиц в ускорителях**

#### **1. Общие свойства излучения релятивистских частиц.**

Потенциалы Лиенара-Вихерта. Поле произвольно движущегося точечного заряда. Угловое распределение мощности излучения релятивистского заряда, движущегося по окружности. Острая направленность излучения. Спектрально-угловое распределение излучения. Формула Шотта. Поляризационные свойства.

#### **2. Синхротронное излучение ультрарелятивистского заряда.**



Угловое распределение излучения. Спектрально-угловое распределение излучения в ультрарелятивистском приближении. Спектр излучения. Квантовые эффекты при синхротронном излучении.

### 3. Экспериментальное наблюдение синхротронного излучения.

Экспериментальное наблюдение синхротронного излучения и исследование его свойств. Источники синхротронного излучения. Принцип работы синхротронов и накопителей.

### 4. Ондюляторное излучение.

Качественное описание излучения при периодическом движении. Общие свойства излучения заряженной частицы, совершающей периодические колебания с дрейфом. Приближения сильного и слабого поля ондулятора. Плоский гармонический ондулятор. Спиральный ондулятор. Экспериментальное наблюдение ондуляторного излучения.

### 5. Лазеры на свободных электронах.

Принцип работы лазера на свободных электронах. Обзор современных лазеров на свободных электронах.

### 6. Применение синхротронного излучения.

Обзор основных направлений использования синхротронного излучения. Спектроскопия, применение в биологии, медицине, технологии (микролитография, микромеханика). Синхротронное излучение в астрофизике.

## **3. Математические методы в общей теории относительности**

### 1. Классификация Петрова.

Задачи на собственное значение. Типы по Петрову. Главные изотропные направления.

### 2. Формализм Ньюмена-Пенроуза.

Тетрадный формализм. Спиновые коэффициенты и уравнения поля. Модифицированное исчисление. Изотропные геодезические конгруэнции. Теорема Гольдберга-Сакса.

### 3. Штеккелевы пространства.

Полное разделение переменных в полевых уравнениях. Понятие полного набора. Привилегированная система координат. Штеккелева пространства. Изотропные и неизотропные метрики.

### 4. Однородные пространства.

Непрерывные группы преобразований. Векторные и тензорные поля Киллинга. Классификация Бианки. Пространственно однородные космологические модели.

## **4. Квантовая электродинамика твердых кристаллических тел**

1. *Метод эквивалентных фотонов.* Применение метод эквивалентных фотонов для вычисления сечения тормозного излучения электронов в поле атома. Рождение электрон – позитронных пар фотонами и заряженными частицами в поле атома.

2. *Особенности квантовой электродинамики в кристаллических твердых телах.* Кристаллическая решетка, электростатический потенциал решетки. Применение метод эквивалентных фотонов для вычисления сечений процессов в кристаллах. Условия возникновения когерентных эффектов в кристаллах. Возникновение некогерентной части в сечении процесса, как следствие тепловых колебаний атомов кристалла.

Понятие о непрерывном потенциале кристаллографических осей и плоскостей.

3. *Когерентные процессы в ориентированных кристаллах*

Примеры когерентных процессов в ориентированных кристаллах:

1. Когерентное тормозное излучение релятивистских электронов в кристалле.
  2. Когерентное фото – и электророждение электрон – позитронных пар в кристалле.
  3. Когерентное образование атома позитрония фотоном (электроном) в кристалле.
  4. Рождение  $e^+e^-$  пар релятивистскими ядрами в кристаллах с захватом электрона в связанное состояние с ядром мишенью
4. *Явление каналирования заряженных частиц в кристаллах.*

Различие между каналированием положительно и отрицательно заряженных частиц. Квантовое описание движения релятивистских заряженных частиц в режиме каналирования в кристаллах. Зонная структура энергий каналированных частиц.

5. *Теория излучения при каналировании.* Излучение при каналировании релятивистских электронов и позитронов в кристаллах. Особенности движения и излучения при плоскостном и осевом каналировании. Образование электрон – позитронных пар фотонами высокой энергии и релятивистскими заряженными частицами в непрерывном потенциале кристаллографических осей и плоскостей. Различие между когерентными процессами и каналированием. Учет периодичности кристалла в направлении движения каналированной частицы. Комбинационные эффекты в тормозном излучении и образовании электрон – позитронных пар в кристаллах.

6. *Современные проблемы и приложения квантовой электродинамики в кристаллических твердых телах.* Создание источников фотонов, позитронов и других частиц на основе кристаллических мишеней. Изогнутые кристаллы, применение изогнутых кристаллов для вывода пучков релятивистских частиц из ускорителей.

## **5. Квантовая теория кристаллических твердых тел**

1. *Геометрия кристаллической решетки.* Простые и сложные кристаллические решетки. Элементы теории групп и симметрия кристаллов. Применение теории групп к трансляционной симметрии кристалла. Правила отбора.

2. *Колебания атомов кристаллической решетки.* Природа сил взаимодействия атомов в кристалле. Динамическая матрица. Нормальные координаты колебаний кристаллической решетки. Квантование колебаний. Фононы. Плотность состояний.



3. *Зонная теория электронных состояний в кристалле*. Адиабатическое приближение. Электрон в периодическом поле. Зона Бриллюэна. Методы расчета зонной структуры: метод сильной связи, метод псевдопотенциала. Теория функционала электронной плотности. Структура энергетических зон кристаллов IV группы и AIII BV.
4. *Электрические, оптические, тепловые и магнитные свойства твердых тел*. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Статистика электронов и дырок. Теплоемкость электронов. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости в металлах и полупроводниках. Циклотронный резонанс. Механизмы поглощения света. Прямые и непрямые переходы.
5. *Кинетические процессы в кристаллах*. Уравнение Больцмана. Электрон-фононное взаимодействие. Теория деформационного потенциала. Взаимодействие с полярными фононами. Время релаксации электронов проводимости. Электропроводность.
6. *Современные проблемы в физике кристаллических твердых тел*. Полупроводниковые наноструктуры. Размерное квантование. Квантовый эффект Холла. Топологически защищенные состояния

### 5.3. Лабораторный практикум

Лабораторный практикум не предусмотрен

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература по дисциплине:

#### Основная программа

1. И.Н. Мешков, Б.В. Чириков, Электромагнитное поле, Часть I, Электричество и магнетизм, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2013, 543 с.
2. М.Г. Иванов, Как понимать квантовую механику, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2012, 496 с.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика: учебное пособие для вузов/А. С. Давыдов.-3-е изд., стер.-Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011.-703 с.:(2)
4. И.Л. Бухбиндер, Релятивистская симметрия, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 104 с.
5. И.Л. Бухбиндер, Модели теории поля, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 78 с.
6. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Квантовые поля, Москва, Физматлит, 2011, 382 с.

#### Дополнительная программа

##### 1. Теория калибровочных полей

1. И.Л. Бухбиндер, Релятивистская симметрия, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 104 стр.
2. И.Л. Бухбиндер, Модели теории поля, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 78 стр.
3. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Квантовые поля, Москва, Физматлит, 2011, 382 стр.

##### 2. Теория излучения заряженных частиц в ускорителях

1. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Изд.8-е, стереотип. - М.: Физматлит, 2012. – 536 с.
2. Фетисов, Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ: учебное пособие. Физматлит, 2011. – 673 с.



### 3. Математические методы в общей теории относительности

1. Бухбиндер, И. Л. Модели теории поля / И.Л. Бухбиндер, ТГПУ. - Томск: Изд-во ТГПУ, 2012. - 78 с.
2. Катанаев, М.О. Геометрические методы в математической физике [электронный ресурс] / М.О. Катанаев, 2013. – Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/1311.0733.pdf>

### 4. Квантовая электродинамика твердых кристаллических тел

1. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 3. Излучение. Волны. Кванты, Издательство: Либроком, 2013 г. - 242 с
2. Давыдов А. Квантовая механика. Изд. БХВ-Петербург 2011. - 704 с.

### 5. Квантовая теория кристаллических твердых тел

1. Неволин, В. К. Квантовая физика и нанотехнологии.. Неволин ;, - М. : Техносфера, 2011. - 126, с.
2. Воронов, В. К. Физика на переломе тысячелетий : физические основы нанотехнологий: учебник / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Р. З. Сагдеев. М. : URSS, 2011. 429, с

## 6.2. Дополнительная литература

### Основная программа

1. В.В. Киселев, Квантовая механика, Москва, Изд-во МЦНМО, 2009, 560 с.
2. Васильев, А. Н. Классическая электродинамика [Текст]: краткий курс лекций: учебное пособие для вузов / А. Н. Васильев. - [2-е изд., стер.]. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. - 276 с. (1)
3. К.В. Степаньянц, Классическая теория поля, Москва, Физматлит, 2009, 538 с.
4. Э. Зи, Квантовая теория поля в двух словах, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2009, 615 с.
5. В.А. Рубаков, Классические калибровочные поля. Бозонные теории, Изд-во Либроком, 2010, 334 с.
6. I.L. Buchbinder, Elements of Supersymmetric Field Theory, Томск, Изд-во ТГПУ, 2010, 106 с.
7. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика. Теория поля. Элементы квантовой механики : учебное пособие / Б. В. Медведев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2007. — 600 с.
8. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]: учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Изд. 5-е, стереотип. - М.: ФИЗМАТЛИТ. - (Теоретическая физика). Т. 1: Механика. - 2007. - 222 с.
9. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] = Теория поля: учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Изд. 8-е, стереотип. - М.: ФИЗМАТЛИТ. - (Теоретическая физика). Т. 2: Теория поля. - 2006. - 533 с.
10. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] = Квантовая механика: учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - 5-е изд., стереотип. - М.: ФИЗМАТЛИТ. - (Теоретическая физика). Т. 3: Квантовая механика. - 2002. - 803 с.
11. Ландау, Лев Давидович, Лифшиц, Евгений Михайлович. Теоретическая физика = Электродинамика сплошных сред: Учебное пособие для вузов: В 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского. - 4-е изд., стереотип. -



- М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 8:Электродинамика сплошных сред.-2003.-651 с.
12. Ландау, Лев Давидович, Лифшиц, Евгений Михайлович. Теоретическая физика=Статистическая физика:Учебное пособие для вузов: В 10 тт./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского.-5-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 5, Ч. 1:Статистическая физика.-2001.-613
  13. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]=Физическая кинетика:учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-Изд. 2-е, испр.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 10:Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский.-2007.-535 с.
  14. Румер, Юрий Борисович, Рывкин, Моисей Соломонович(Шоломович). Термодинамика, статистическая физика и кинетика:Учебное пособие/Ю.Б.Румер, М.Ш.Рывкин.-2-е изд.,испр. и доп.-Новосибирск:Новосибирский университет,2000.-608с.
  15. Гантмахер, Феликс Рувимович. Лекции по аналитической механике:[Учебное пособие для вузов]/Ф. Р. Гантмахер; Под ред. Е. С. Пятницкого.-3-е изд., стер.-М.:ФИЗМАТЛИТ,2002.-262 с.
  16. Дубровин, Б. А. Современная геометрия: методы и приложения / Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. — 5-е изд., испр. — М. : Эдиториал УРСС, 2001- Т. 1; Геометрия поверхностей, групп преобразований и полей. — 2001. — 336 с.
  17. Рубаков, Валерий Анатольевич. Классические калибровочные поля. Бозонные теории [Текст]/В. А. Рубаков.-Изд. 2-е, испр. и доп.-М.:КомКнига,2005.-294 с.
  18. Рубаков, Валерий Анатольевич. Классические калибровочные поля. Теории с фермионами. Некоммуникативные теории [Текст]/В. А. Рубакова.-Изд. 2-е, испр. и доп.-М.:КомКнига,2005.-236 с.
  19. Ансельм, Андрей Иванович. Основы статистической физики и термодинамики [Текст]:учебное пособие для вузов/А. И. Ансельм.-СПб.:Лань,2007.-426 с.
  20. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2008. — 624 с.
  21. Блохинцев, Д. И.. Основы квантовой механики. / Д. И. Блохинцев. – М.: Наука, 1983. – 664 с.
  22. Пайерлс, Квантовая теория твердого тела / Пайерлс.- М.: Иностранная литература, 1956. – 259 с.
  23. Швебер, С. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля / С. Швебер. – М.: ИЛ, 1963. – 842 с.
  24. Боголюбов, Н.Н. Введение в теорию квантованных полей / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. – М.: Наука, 1976. - 479 с.
  25. Славнов, А.А.. Введение в теорию калибровочных полей / А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. – М.: Наука, 1988. – 267 с.
  26. Хуанг, К. Статистическая механика. / К. Хуанг. М.: Мир, 1966. – 520 с.
  27. Дирак, П.А.М.. Принципы квантовой механики. / П.А.М. Дирак. – М.: Наука, 1979. – 479 с.
  28. Голдстейн, Г. Классическая механика / Г. Голдстейн. – М.: ГИТТЛ, 1975. – 416 с.
  29. Ольховский, И.И. Курс теоретической механики для физиков. / И.И. Ольховский. – М.: Наука, 1978. – 574 с.
  30. Коткин, Г.Л. Сборник задач по классической механике. / Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо. – М.: Наука, 1969. – 238 с.
  31. Яппа, Ю.А. Электродинамика. / Ю.А. Яппа. – М.: Наука, 1978.
  32. Батыгин, В.В. Сборник задач по электродинамике. / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. – М.: Наука, 1970. – 502 с.
  33. Вайнберг, С. Гравитация и космология. / С. Вайнберг. – М.: Мир, 1975.

34. Мизнер, Ч. Гравитация, тт. 1-3. / Ч. Мизнер, К. Тори, Дж. Уилер. – М.: Мир, 1977. – 474 с.
35. Хоофт, Г. Введение в общую теорию относительности. / Г. Хоофт. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2002. – 95 с.
36. Хриплович, И.Б. Общая теория относительности. / И.Б. Хриплович. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2001. – 117 с.
37. Сборник задач по теории относительности и гравитации. / А. Лайтман [и др.] - М.: Мир, 1979.
38. Зелевинский, В.Г. Сборник задач по теории относительности и гравитации / В.Г. Зелевинский - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2002.
39. Давыдов, А.С. Квантовая механика. / А.С. Давыдов. – М.: Наука, 1973. – 703 с.
40. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум. – М.: Мир, 1990. – 720 с.
41. Мессиа, А. Квантовая механика. т.1 / А. Мессиа. – М.: Наука, 1978. – 478 с.
42. Мессиа, А. Квантовая механика, т.2 / А. Мессиа. – М.: Наука, 1979. – 583 с.
43. Барут, А. Теория представлений групп и ее приложения. т.1 / А. Барут, Р. Рончка. – М.: Мир, 1980. – 455 с.
44. Барут, А. Теория представлений групп и ее приложения. т.2. / А. Барут, Р. Рончка. – М.: Мир, 1980. – 395 с.
45. Галицкий, В.М. Задачи по квантовой механике / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган. – М.: Наука, 1981. – 647 с.
46. Ициксон, К. Квантовая теория поля, т.1 / К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер. – М.: Мир, 1984. – 448 с.
47. Ициксон, К. Квантовая теория поля, т.2. / К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер. – М.: Мир, 1984. – 400 с.
48. Пескин, М. Введение в квантовую теорию поля. РХД / М. Пескин, Д. Шредер. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2001. – 784 с.
49. Райдер, Л. Квантовая теория поля / Л. Райдер. – М.: Мир, 1987. – 512 с.
50. Боголюбов, Н.Н. Квантовые поля / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. – М.: Наука, 1980. – 319 с.
51. Брайс, С. Динамическая теория групп и полей / С. Брайс, С. Девитт. – М.: Наука, 1987. – 287 с.
52. Рамон, П. Теория поля: Современный вводный курс / П. Рамон. – М.: Мир, 1984. – 332 с.
53. Весс, Ю. Суперсимметрия и супергравитация / Ю. Весс, Дж. Беггер. – М.: Мир, 1986. – 179 с.
54. Уэст, П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию / П. Уэст. – М.: Мир, 1989.
55. Зубарев, Д.Н. Неравновесная статистическая термодинамика / Д.Н. Зубарев. – М.: Наука, 1971. – 414 с.
56. Куни, Ф.М. Статистическая физика и термодинамика / Ф.М. Куни. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
57. Зеeman, Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Зеeman. – М.: Мир, 1974. – 472 с.
58. Киттель, Ч. Квантовая теория твердых тел / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1967. – 491 с.

## **Дополнительная программа**

### **1. Теория калибровочных полей**

1. В.А. Рубаков, Классические калибровочные поля. Бозонные теории, Изд-во Либроком, 2010, 334 стр.



2. I.L. Buchbinder, Elements of Supersymmetric Field Theory, Томск, Изд-во ТГПУ, 2010, 106 стр.
3. Вайнберг, Стивен. Квантовая теория поля : пер. с англ. / С. Вайнберг. — М. : Физматлит, 2003. Т.1: Общая теория. — 2003. — 648 с.
4. Вайнберг, Стивен. Квантовая теория поля : пер. с англ. / С. Вайнберг. — М. : Физматлит, 2004-. Т. 2: Современные приложения. — 2004. — 528 с.
5. Ициксон, К. Квантовая теория поля Т. 1: В 2 т. / К. Ициксон, Ж. –Б. Зюбер; Новокузнецк НФМИ, 2000, - 448 с.
6. Ициксон, К. Квантовая теория поля Т. 2: В 2 т. / К. Ициксон, Ж. –Б. Зюбер; Новокузнецк НФМИ, 2000, - 400 с.
7. Гитман, Д.М. Каноническое квантование полей со связями / Д.М. Гитман, И.В. Тютин, М.: Наука, 1986. – 215 с.
8. Славнов, А.А. Введение в квантовую теорию калибровочных полей / А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. - М.: Наука, 1988. – 267 с.
9. Коллинз Дж. Перенормировка. / Дж. Коллинз. – М.: Мир, 1988. – 446 с.
10. Henneaux, M. Quantization of Gauge Systems / Henneaux M., Teitelboim M. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1992. – 520 p.
11. Henneaux, M. Hamiltonian form of path integral for theories with gauge freedom // Physics Reports. – 1985. - Vol. 126, No 1, P. 1-66.
12. Buchbinder, Ioseph L. и др. Effective Action in Quantum Gravity/I. L. Buchbinder, S. D. Odintsov, I. L. Shapiro; Tomsk Pedagogical Institute, Russia.-Bristol and Philadelphia:Institute of Physics Publishing,1992.-413 p. Buchbinder, I.L. Ideas and Methods of Supersymmetry and Supergravity / Buchbinder I.L., Kuzenko S.M. - Bristol: IOP Publishing House, 1998. – 656 p.
13. Пескин, М. Введение в квантовую теорию поля. / М. Пескин, Д. Шредер. – М.: РХД, 2001. –783 с.
14. Рубаков, В.А. Классические калибровочные поля./ В.А. Рубаков. – М.: УРСС, 1999.- 335 с.
15. Райдер Л. Квантовая теория поля. / Л. Райдер. – М.: Мир, 1987. – 512 с.

## **2. Теория излучения заряженных частиц в ускорителях**

1. Теория излучения релятивистских частиц / В. А. Бордовицын; под. ред. В. А. Бордовицына. - М.: Физматлит, 2002. – 576 с.
2. Михайлин, В.В. Синхротронное излучение / В.В. Михайлин, И.М. Тернов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 263 с.
3. Hofman, A. The Theory of Synchrotron Radiation / A. Hofman. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
4. Тернов, И.М. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент / И.М. Тернов, В.В. Михайлин. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 295 с.
5. Никитин, М.М. Ондюляторное излучение / М.М. Никитин, В.Я. Эпп. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

## **3. Математические методы в общей теории относительности**

1. Дубровин, Б. А. Современная геометрия: методы и приложения / Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. — 5-е изд., испр. — М. : Эдиториал УРСС, 2001- Т. 1; Геометрия поверхностей, групп преобразований и полей. — 2001. — 336 с.
2. Уолд, Роберт М. Общая теория относительности [Текст]=General relativity/Роберт М. Уолд ; пер. с англ. В. Р. Гаврилов [и др.] ; ред. перевода И. Л. Бухбиндер, С. В.

- Червон.-М.: издательство Российского университета дружбы народов, 2008.-692, [1] с.
3. Точные решения уравнений Эйнштейна / Д. Крамер [и др.] - М.: Энергоиздат, 1982. – 415 с.
  4. Богоявленский, О.И. Методы качественной теории динамических систем в астрофизике и газовой динамики / О.И. Богоявленский. - М.: Наука, 1980. – 319 с.
  5. Чандрасекар, С. Математическая теория черных дыр, Т.1 / С. Чандрасекар. - М.: Мир, 1986. – 276 с.
  6. Пенроуз, Р. Спиноры и пространство-время / Р. Пенроуз, В. Риндлер. - М.: Мир, 1987. – 528 с.
  7. 1. Петров, А.З. Новые методы в общей теории относительности / А.З. Петров. - М.: Наука, 1966. – 493 с.

#### **4. Квантовая электродинамика твердых кристаллических тел**

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. - Ереван, Изд-во АН Арм.ССР, 1969. -458с.
2. Кумахов М.А., Ширмер Г. Атомные столкновения в кристаллах -М.: Атомиздат.-1980.-192с.
3. Оцуки Е.-Х. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами.- М.: Мир, 1985.
4. Калашников Н.П. Когерентные взаимодействия быстрых заряженных частиц в монокристаллах. - М.: Атомиздат.-1981.-224с.
5. Барышевский В.Г. Каналирование, реакции и излучение при высоких энергиях в кристаллах. - Минск: Изд-во Белорусского университета.-1982.-256с.
6. Воробьев С.А. Каналирование электронных пучков. М.: Атомиздат.-1984.-96с.
7. Кумахов М.А. Излучение каналированных частиц в кристаллах. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Базылев В.А., Жеваго Н.К. Излучение быстрых частиц в веществе и во внешних полях. - М.: Наука, 1987.
9. Рябов В.А. Эффект каналирования.- М.: Энергоатомиздат, 1994.
10. Байер В.Н., Катков В.М., Страховенко В.М. Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных кристаллах.- Новосибирск: Наука. 1989.
11. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе.- М.: Наука. 1993.
12. Линдхард Й. // УФН, 1969, т. 99, вып. 2, с. 249.

#### **5. Квантовая теория кристаллических твердых тел**

1. Давыдов А.С., Теория твердого тела./ А.С.Давыдов.-М.: Наука, 1979.
2. Ансельм, А. И., Введение в теорию полупроводников/А. И. Ансельм.- М.:Лань, 2008. -624 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников : Учебник для вузов / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - М. : Лань, 2010, - 400 с. : ил.
3. Ю П., Основы физики полупроводников /П. Ю, М.Кардона.- М.:Физматлит, 2002.-560 .



4. Верещагин И.К. Физика твердого тела./И.К.Верещагин, С.М.Кокин, В.А.Никитенко и др.-М.:Высш.шк.,2001.-237с.
5. Харрисон У., Теория твердого тела. / У. Харрисон -М.: Мир, 1972.
6. Киттель Ч.,Введение в физику твердого тела. / Ч.Киттель.-М.: Наука, 1978.
7. Ашкрофт Н.,Физика твердого тела (в 2-х томах). / Н.Ашкрофт, Н.Мермин.- М.: Мир, 1979.
8. Маделунг О., Теория твердого тела. / О.Маделунг.- М.: Наука, 1980.
9. Займан Дж.,Принципы теории твердого тела. / Дж.Займан.- М.: Мир, 1974.
10. Бир Г.Л./ Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках/Г.Л.Бир,Г.Е.Пикус.- М.:Наука,ФМЛ,1972.-584 с
11. Анималу А.,Квантовая теория кристаллических твердых тел./ А.Анималу.- М.: Мир, 1981.

### *6.3. Средства обеспечения освоения дисциплины.*

Для успешного освоения дисциплины аспирантам рекомендуется посетить следующие адреса Веб-ресурсов: сайты библиотек – [libserv.tspu.edu.ru](http://libserv.tspu.edu.ru) (ТГПУ), [lib.tpu.ru](http://lib.tpu.ru) (ТПУ), [lib.tsu.ru](http://lib.tsu.ru) (ТГУ), [elibrary.ru/defaultx.asp](http://elibrary.ru/defaultx.asp) (Научная электронная библиотека), сайт [xxx.lanl.gov](http://xxx.lanl.gov), где имеются статьи по всем разделам физики, электронная библиотечная система «Книгофонд» <http://www.knigafund.ru/>; электронная библиотечная система «Библиотех» <http://www.bibliotech.ru/>; портал электронных книг - [www.book-portal.info](http://www.book-portal.info)

### *6.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины .*

Специального материально-технического оснащения не требуется.

## **7. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### *7.1. Методические рекомендации (материалы) преподавателю*

Самостоятельная работа аспирантов при подготовке к Государственному экзамену должна быть направлена на систематизацию знаний, полученных аспирантом в течение всего периода обучения. Самостоятельная работа должна быть обеспечена всеми необходимыми материалами и необходимым количеством консультаций.

### *7.2 Методические рекомендации для аспирантов*

Самостоятельная работа аспирантов при подготовке к Государственному экзамену должна быть направлена на систематизацию знаний, полученных аспирантом в течение всего периода обучения. Для качественной самостоятельной работы необходимо составлять конспекты, использовать метод интеллект-карт или другие методики для систематизации материала.

## **8. Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся**

### *8.1. Контрольные вопросы для самопроверки, диалогов, обсуждений и дискуссий:*

### **Основная программа**

1. Принцип действия. Уравнения Лагранжа.
2. Функция Гамильтона, фазовое пространство, фазовая траектория, уравнения Гамильтона.

3. Скобки Пуассона и интегралы движения.
4. Канонические преобразования.
5. Теорема Лиувилля.
6. Уравнение Гамильтона–Якоби.
7. Адиабатические инварианты.
8. Существование максимальной скорости распространения взаимодействий как фундаментальный закон природы. Принцип относительности.
9. События. Интервал между событиями. Классификация интервалов.
10. Световой конус. Причинность в релятивистской теории. Одновременность и одновременность.
11. Собственное время, его физический смысл и вычисление.
12. Преобразования Лоренца, замедление времени, сокращение длины, сложение скоростей.
13. Пространство Минковского, тензоры в пространстве Минковского.
14. Четырехмерная скорость, четырехмерное ускорение.
15. Действие и уравнение движения релятивистской частицы.
16. Энергия и импульс релятивистской частицы, четырехмерный импульс, момент импульса релятивистской частицы.
17. Законы сохранения. Энергия связи и дефект масс.
18. Уравнение движения релятивистской частицы в электромагнитном поле.
19. Движение с постоянным ускорением в релятивистской механике.
20. Вектор-потенциал. Калибровочная инвариантность.
21. Уравнения движения заряда в поле.
22. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном полях.
23. Тензор напряженности поля. Первая пара уравнений Максвелла.
24. Действие для электромагнитного поля.
25. Вектор тока, уравнение непрерывности.
26. Вторая пара уравнений Максвелла.
27. Плотность и поток энергии. Тензор энергии- импульса электромагнитного поля.
28. Инварианты поля.
29. Постоянное электрическое поле. Закон Кулона. Электрическое поле и энергия системы неподвижных зарядов.
30. Мультипольные моменты системы зарядов и ее взаимодействие с внешним полем.
31. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.
32. Электромагнитные волны. Плоская монохроматическая волна, энергия и импульс волны.
33. Спектральное разложение, собственные колебания поля.
34. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы, их спектральное разложение.
35. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
36. Поле системы зарядов на далеких расстояниях.
37. Дипольное и квадрупольное излучение. Излучение малых частот.
38. Излучение при кулоновском взаимодействии. Поле излучения на близких расстояниях.
39. Излучение быстро движущегося заряда.
40. Магнитотормозное излучение.
41. Торможение излучением.
42. Спектральное разложение излучения в ультрарелятивистском случае.
43. Рассеяние волн зарядами. Рассеяние свободными зарядами. Рассеяние волн с малыми и большими частотами.
44. Излучение релятивистского равноускоренного заряда.
45. Многообразия. Кривые, касательный вектор. Тензорные поля.



46. Риманова метрика. Параллельный перенос, геодезические линии.
47. Ковариантные производные, связность, символы Кристоффеля.
48. Тензор кривизны и его свойства, плоские и искривленные пространства.
49. Расхождение геодезических.
50. Движения риманова пространства, векторные поля Киллинга.
51. Интегрирование тензорных полей.
52. Расслоенные пространства.
53. Дифференциальные формы, внешнее умножение, внешний дифференциал
54. Когомология.
55. Интегральные топологические инварианты.
56. Описание гравитационного поля в релятивистской теории. Гравитация как искривление пространства-времени.
57. Интервал в гравитационном поле, собственное время.
58. Действие для частицы в гравитационном поле, уравнения движения массивных и безмассовых частиц.
59. Ньютоновский предел.
60. Уравнения электродинамики в искривленном пространстве-времени.
61. Скалярные и спинорные поля в гравитационном поле.
62. Лагранжиан материи в гравитационном поле, тензор энергии-импульса, локальные и глобальные законы сохранения.
63. Действие гравитационного поля. Вывод уравнений Эйнштейна из принципа наименьшего действия. Космологическая постоянная.
64. Положения теории групп Ли, генераторы, структурные постоянные, связность, экспоненциальное отображение.
65. Группа трехмерных вращений и группа  $SU(2)$ . Алгебра Ли группы  $SU(2)$ . Неприводимые представления группы  $SU(2)$ .
66. Момент количества движения. Собственные значения и собственные функции момента.
67. Спиноры и спин частиц.
68. Перестановки, как наблюдаемые. Группа перестановок. Принцип неразличимости, симметрия волновых функций. Обменное взаимодействие. Статистика Бозе и Ферми.
69. Представление вторичного квантования, операторы рождения и уничтожения бозонов и фермионов, операторы физических величин в представлении вторичного квантования.
70. Общая Теория гравитации с высшими производными.
71. Калибровочная инвариантность уравнений Эйнштейна и калибровочные (координатные) условия.
72. Слабые гравитационные волны.
73. Вывод ньютоновского закона всемирного тяготения.
74. Решение Шварцшильда уравнений Эйнштейна.
75. Траектория частиц и световых лучей в центрально-симметричном гравитационном поле, классические наблюдаемые эффекты общей теории относительности.
76. Черные дыры.
77. Крупномасштабная структура Вселенной, однородность и изотропность.
78. Открытая, замкнутая и квазиевклидова модели Фридмана.
79. Постоянная Хаббла, космологическое красное смещение. Расширение Вселенной.
80. Стандартная модель ранней Вселенной.
81. Принцип суперпозиции в квантовой механике.
82. Динамические переменные и наблюдаемые. Одновременная измеримость.
83. Представления векторов состояния и наблюдаемых.
84. Квантовые скобки Пуассона, каноническое квантование.

85. Координатное представление, импульсное представление.
86. Шредингеровская и гейзенберговская форма уравнений движения.
87. Соотношение неопределенности, процесс измерения, принцип дополнительности.
88. Чистые и смешанные состояния, матрица плотности и уравнение фон Неймана.
89. Симметрия и квантовая механика. Вращения и внутренние степени свободы.
90. Основные теория рассеяния в поле центральной симметрии (спин 0 и 1/2). Условие унитарности.
91. Оптическая теорема. Теорема детального баланса.
92. Борновское приближение.
93. Рассеяние тождественных частиц.
94. Рассеяние на кулоновском потенциале.
95. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов.
96. Неупругое рассеяние медленных частиц. Формула Брейта-Вигнера.
97. Группа Лоренца и группа  $SL(2, C)$ . Неприводимые представления группы Лоренца.
98. Алгебра Ли группы Пуанкаре. Операторы Казимира группы Пуанкаре.
99. Построение неприводимого унитарного представления группы Пуанкаре.
100. Массивные неприводимые представления группы Пуанкаре. Безмассовые представления группы Пуанкаре.
101. Релятивистские поля. Понятие релятивистского волнового уравнения. Релятивистское волновое уравнение для скалярного поля.
102. Релятивистское волновое уравнение для спинорного поля (уравнения Вейля и Дирака).
103. Релятивистское волновое уравнение для векторного поля (уравнения Максвелла и Прока).
104. Уравнение Паули-Фирца.
105. Принцип действия в теории поля и уравнения движения.
106. Глобальные симметрии классических полей. Теорема Нётер.
107. Тензор энергии-импульса. Тензор момента импульса.
108. Модели теории скалярного поля. Лагранжиан скалярного поля.
109. Модели векторного поля.
110. Модель взаимодействующих скалярных, спинорных и электромагнитных полей.
111. Поля Янга-Миллса.
112. Калибровочная формулировка гравитации.
113. Принцип канонического квантования. Процедура канонического квантования в теории поля.
114. Каноническое квантование свободного вещественного скалярного поля. Фоковский базис.
115. Операторы энергии-импульса и момента импульса свободного Вещественного скалярного поля.
116. Квантование свободного комплексного скалярного поля.
117. Квантование электромагнитного поля.
118. Квантование свободного спинорного поля.
119. Представление матричного элемента оператора эволюции функциональным интегралом.
120. Оператор эволюции в представлении Баргмана-Фока.
121. Матрица рассеяния. Функции Грина.
122. Производящий функционал функций Грина. Пропагатор скалярного поля.
123. Производящий функционал матрицы рассеяния.
124. Функциональные интегралы и их свойства.
125. Представление производящего функционала функций Грина функциональным интегралом.
126. Ряд теории возмущений для функций Грина и фейнмановские диаграммы.



127. Фейнмановские диаграммы в импульсном представлении.
128. Связные функции Грина. Вершинные функции Грина.
129. Петлевое разложение.
130. Алгебра и анализ с антикоммутирующими числами.
131. Производящий функционал свободных функций Грина спинорного поля.
132. Производящий функционал свободных функций Грина электромагнитного поля.
133. Диаграммная техника в квантовой электродинамике.
134. Понятие о калибровочных теориях общего вида.
135. Теория антисимметричного тензорного поля второго ранга.
136. Калибровочная инвариантность и физические величины. Функциональный интеграл для калибровочных теорий.
137. Духи Фаддеева-Попова.
138. BRST-симметрия.
139. Фейнмановские диаграммы в теории поля Янга-Миллса.
140. Фейнмановские диаграммы в эйнштейновской гравитации.
141. Эффективное действие в калибровочных теориях и тождества Уорда.
142. Понятие о классическом вакууме.
143. Спонтанное нарушение глобальной симметрии.
144. Свойства теории со спонтанным нарушением симметрии и теорема Голдстоуна.
145. Спонтанное нарушение симметрии в калибровочных теориях и механизм Хиггса.
146. Спонтанное нарушение симметрии в электрослабой теории.
147. Расходимости фейнмановских диаграмм. Регуляризация фейнмановских диаграмм.
148. Вычитательная процедура и контрчлены: однопетлевые и двухпетлевые диаграммы.
149. Индекс расходимости. Перенормируемые и неперенормируемые теории. Условия нормировки.
150. Уравнения ренормализационной группы. Асимптотическая свобода.
151. Супералгебры и супералгебры Ли.
152. Супергруппа Пуанкаре и ее неприводимые представления, супермультиплеты.
153. Суперпространство и суперполе.
154. Генераторы суперсимметрии и суперковариантные производные.
155. Киральные и общие суперполя, компонентный состав.
156. Модель Весса-Зумино.
157. Суперсимметричная теория поля Янга-Миллса.
158. Теория возмущений в суперпространстве, суперпропагаторы, суперграфы.
159. Теорема о неперенормировке.
160. Лагранжиан супергравитации.
161. Статистический ансамбль. Функция распределения. Уравнение Лиувилля.
162. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения Гиббса.
163. Статистический оператор.
164. Микроканонический, канонический и большой канонический ансамбли Гиббса.
165. Статистический интеграл и статистическая сумма.
166. Температура, давление, работа, количество теплоты.
167. Первый и второй законы термодинамики.
168. Термодинамические потенциалы.
169. Обратимые и необратимые процессы.
170. Принцип Ле-Шателье.
171. Теорема Нернста.
172. Системы с переменным числом частиц.
173. Вывод термодинамических соотношений из статистических ансамблей.
174. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана.
175. Уравнения состояния классического идеального газа. Барометрическая формула.

176. Распределение Бозе-Эйнштейна.
177. Распределение Ферми-Дирака.
178. Уравнения состояния идеальных квантовых газов.
179. Вырожденный ферми-газ, теплоемкость вырожденного электронного газа.
180. Бозе-Эйнштейновская конденсация.
181. Фононный газ, статистика равновесного излучения.
182. Вириальное разложение.
183. Формула Ван-дер-Ваальса.
184. Приближение Дебая Хюккеля для плазмы.
185. Фазовые переходы I и II рода.
186. Формула Клайперона-Клаузиуса.
187. Теория Ландау фазовых переходов II рода.
188. Распределение Гаусса для флуктуаций.
189. Флуктуации термодинамических величин, флуктуации в идеальных газах.
190. Флуктуационно-диссипационная теорема.
191. Неравновесная функция распределения.
192. Иерархия времен релаксации и сокращенное описание.
193. Уравнение Фоккера-Планка.
194. Уравнение Больцмана, H-теорема Больцмана.
195. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана.
196. Цепочка уравнений ББГКИ, вывод уравнения Больцмана из цепочки уравнений для корреляционных функций.
197. Прямая и обратная решетка кристалла.
198. Структура электронных зон в кристаллах.
199. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра одноэлектронных состояний.
200. Колебания решетки. Фононы. Теплоемкость твердых тел по Дебаю. Фонон-фононные взаимодействия. Электрон-фононные взаимодействия.
201. Теплопроводность диэлектриков. Обменное взаимодействие. Гамильтониан Гейзенберга. Спиновые волны.
202. Намагниченность. Фазовый переход ферромагнетик- парамагнетик.
203. Основные свойства сверхпроводников. Куперовские пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Уравнение для щели в спектре.
204. Принцип действия. Уравнения Лагранжа.
205. Функция Гамильтона, фазовое пространство, фазовая траектория, уравнения Гамильтона.
206. Скобки Пуассона и интегралы движения.
207. Канонические преобразования.
208. Теорема Лиувилля.
209. Уравнение Гамильтона-Якоби.
210. Адиабатические инварианты.
211. Существование максимальной скорости распространения взаимодействий как фундаментальный закон природы. Принцип относительности.
212. События. Интервал между событиями. Классификация интервалов.
213. Световой конус. Причинность в релятивистской теории. Однородность и одновременность.
214. Собственное время, его физический смысл и вычисление.
215. Преобразования Лоренца, замедление времени, сокращение длины, сложение скоростей.
216. Пространство Минковского, тензоры в пространстве Минковского.
217. Четырехмерная скорость, четырехмерное ускорение.
218. Действие и уравнение движения релятивистской частицы.



219. Энергия и импульс релятивистской частицы, четырехмерный импульс, момент импульса релятивистской частицы.
220. Законы сохранения. Энергия связи и дефект масс.
221. Уравнение движения релятивистской частицы в электромагнитном поле.
222. Движение с постоянным ускорением в релятивистской механике.
223. Вектор-потенциал. Калибровочная инвариантность.
224. Уравнения движения заряда в поле.
225. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном полях.
226. Тензор напряженности поля. Первая пара уравнений Максвелла.
227. Действие для электромагнитного поля.
228. Вектор тока, уравнение непрерывности.
229. Вторая пара уравнений Максвелла.
230. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
231. Инварианты поля.
232. Постоянное электрическое поле. Закон Кулона. Электрическое поле и энергия системы неподвижных зарядов.
233. Мультипольные моменты системы зарядов и ее взаимодействие с внешним полем.
234. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.
235. Электромагнитные волны. Плоская монохроматическая волна, энергия и импульс волны.
236. Спектральное разложение, собственные колебания поля.
237. Поле движущихся зарядов. Запоздывающие потенциалы, их спектральное разложение.
238. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
239. Поле системы зарядов на далеких расстояниях.
240. Дипольное и квадрупольное излучение. Излучение малых частот.
241. Излучение при кулоновском взаимодействии. Поле излучения на близких расстояниях.
242. Излучение быстро движущегося заряда.
243. Магнитотормозное излучение.
244. Торможение излучением.
245. Спектральное разложение излучения в ультрарелятивистском случае.
246. Рассеяние волн зарядами. Рассеяние свободными зарядами. Рассеяние волн с малыми и большими частотами.
247. Излучение релятивистского равноускоренного заряда.
248. Многообразия. Кривые, касательный вектор. Тензорные поля.
249. Риманова метрика. Параллельный перенос, геодезические линии.
250. Ковариантные производные, связность, символы Кристоффеля.
251. Тензор кривизны и его свойства, плоские и искривленные пространства.
252. Расхождение геодезических.
253. Движения риманова пространства, векторные поля Киллинга.
254. Описание гравитационного поля в релятивистской теории. Гравитация как искривление пространства-времени.
255. Интервал в гравитационном поле, собственное время.
256. Действие для частицы в гравитационном поле, уравнения движения массивных и безмассовых частиц.
257. Ньютоновский предел.
258. Уравнения электродинамики в искривленном пространстве-времени.
259. Скалярные и спинорные поля в гравитационном поле.
260. Лагранжиан материи в гравитационном поле, тензор энергии-импульса, локальные и глобальные законы сохранения.



261. Действие гравитационного поля. Вывод уравнений Эйнштейна из принципа наименьшего действия. Космологическая постоянная.
262. Перестановки, как наблюдаемые. Группа перестановок. Принцип неразличимости, симметрия волновых функций. Статистика Бозе и Ферми.
263. Представление вторичного квантования, операторы рождения и уничтожения бозонов и фермионов, операторы физических величин в представлении вторичного квантования.
264. Теория гравитации с высшими производными.
265. Калибровочная инвариантность уравнений Эйнштейна и калибровочные (координатные) условия.
266. Слабые гравитационные волны.
267. Вывод ньютоновского закона всемирного тяготения.
268. Решение Шварцшильда уравнений Эйнштейна.
269. Траектория частиц и световых лучей в центрально-симметричном гравитационном поле, классические наблюдаемые эффекты общей теории относительности.
270. Черные дыры.
271. Крупномасштабная структура Вселенной, однородность и изотропность.
272. Открытая, замкнутая и квазиевклидова модели Фридмана.
273. Постоянная Хаббла, космологическое красное смещение. Расширение Вселенной.
274. Стандартная модель ранней Вселенной.
275. Принцип суперпозиции в квантовой механике.
276. Динамические переменные и наблюдаемые. Одновременная измеримость.
277. Представления векторов состояния и наблюдаемых.
278. Каноническое квантование.
279. Координатное представление, импульсное представление.
280. Шредингеровская и гейзенберговская форма уравнений движения.
281. Соотношение неопределенности, процесс измерения, принцип дополнителности.
282. Чистые и смешанные состояния, матрица плотности и уравнение фон Неймана.
283. Группа трехмерных вращений и группа  $SU(2)$ . Алгебра Ли группы  $SU(2)$ .  
Неприводимые представления группы  $SU(2)$ .
284. Орбитальный момент и спин. Квантование момента.
285. Перестановки, как наблюдаемые. Группа перестановок. Принцип неразличимости, симметрия волновых функций. Статистика Бозе и Ферми.
286. Представление вторичного квантования, операторы рождения и уничтожения бозонов и фермионов, операторы физических величин в представлении вторичного квантования.
287. Основные понятия теория рассеяния.
288. Оптическая теорема. Принцип детального баланса.
289. Борновское приближение.
290. Рассеяние тождественных частиц.
291. Рассеяние на кулоновском потенциале.
292. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов.
293. Неупругое рассеяние медленных частиц. Формула Брейта-Вигнера.
294. Основные положения теории групп Ли, генераторы, структурные постоянные, экспоненциальное отображение.
295. Группа Лоренца и группа  $SL(2, C)$ . Неприводимые представления группы Лоренца.
296. Алгебра Ли группы Пуанкаре. Операторы Казимира группы Пуанкаре.
297. Построение неприводимого унитарного представления группы Пуанкаре.
298. Массивные неприводимые представления группы Пуанкаре. Безмассовые представления группы Пуанкаре.
299. Релятивистские поля. Понятие релятивистского волнового уравнения.  
Релятивистское волновое уравнение для скалярного поля.



- 300.Релятивистское волновое уравнение для спинорного поля (уравнения Вейля и Дирака).
- 301.Релятивистское волновое уравнение для векторного поля (уравнения Максвелла и Прока).
- 302.Уравнение Паули-Фирца.
- 303.Принцип действия в теории поля и уравнения движения.
- 304.Глобальные симметрии классических полей. Теорема Нётер.
- 305.Тензор энергии-импульса. Тензор момента импульса.
- 306.Модели теории скалярного поля. Лагранжиан скалярного поля.
- 307.Модели векторного поля.
- 308.Модель взаимодействующих скалярных, спинорных и электромагнитных полей.
- 309.Поля Янга-Миллса.
- 310.Калибровочная формулировка гравитации.
- 311.Принцип канонического квантования. Процедура канонического квантования в теории поля.
- 312.Каноническое квантование свободного вещественного скалярного поля. Фоковский базис.
- 313.Операторы энергии-импульса и момента импульса свободного Вещественного скалярного поля.
- 314.Квантование свободного комплексного скалярного поля.
- 315.Квантование электромагнитного поля.
- 316.Квантование свободного спинорного поля.
- 317.Представление матричного элемента оператора эволюции функциональным интегралом.
- 318.Оператор эволюции в представлении Баргмана-Фока.
- 319.Матрица рассеяния. Функции Грина.
- 320.Производящий функционал функций Грина. Пропагатор скалярного поля.
- 321.Производящий функционал матрицы рассеяния.
- 322.Функциональные интегралы и их свойства.
- 323.Представление производящего функционала функций Грина функциональным интегралом.
- 324.Ряд теории возмущений для функций Грина и фейнмановские диаграммы.
- 325.Фейнмановские диаграммы в импульсном представлении.
- 326.Связные функции Грина. Вершинные функции Грина.
- 327.Петлевое разложение.
- 328.Алгебра и анализ с антикоммутирующими числами.
- 329.Производящий функционал свободных функций Грина спинорного поля.
- 330.Производящий функционал свободных функций Грина электромагнитного поля.
- 331.Диаграммная техника в квантовой электродинамике.
- 332.Понятие о калибровочных теориях общего вида.
- 333.Теория антисимметричного тензорного поля второго ранга.
- 334.Калибровочная инвариантность и физические величины. Функциональный интеграл для калибровочных теорий.
- 335.Духи Фаддеева-Попова.
- 336.BRST-симметрия.
- 337.Фейнмановские диаграммы в теории поля Янга-Миллса.
- 338.Фейнмановские диаграммы в эйнштейновской гравитации.
- 339.Эффективное действие в калибровочных теориях и тождества Уорда.
- 340.Понятие о классическом вакууме.
- 341.Спонтанное нарушение глобальной симметрии.
- 342.Свойства теории со спонтанным нарушением симметрии и теорема Голдстоуна.
- 343.Спонтанное нарушение симметрии в калибровочных теориях и механизм Хиггса.

344. Спонтанное нарушение симметрии в электрослабой теории.
345. Расходимости фейнмановских диаграмм. Регуляризация фейнмановских диаграмм.
346. Вычитательная процедура и контрчлены: однопетлевые и двухпетлевые диаграммы.
347. Индекс расходимости. Перенормируемые и неперенормируемые теории. Условия нормировки.
348. Уравнения ренормализационной группы. Асимптотическая свобода.
349. Супералгебры и супералгебры Ли.
350. Супергруппа Пуанкаре и ее неприводимые представления, супермультиплеты.
351. Суперпространство и суперполе.
352. Генераторы суперсимметрии и суперковариантные производные.
353. Киральные и общие суперполя, компонентный состав.
354. Модель Весса-Зумино.
355. Суперсимметричная теория поля Янга-Миллса.
356. Теория возмущений в суперпространстве, суперпропагаторы, суперграфы.
357. Теорема о неперенормировке.
358. Лагранжиан супергравитации.
359. Статистический ансамбль. Функция распределения. Уравнение Лиувилля.
360. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения Гиббса.
361. Статистический оператор.
362. Микроканонический, канонический и большой канонический ансамбли Гиббса.
363. Статистический интеграл и статистическая сумма.
364. Температура, давление, работа, количество теплоты.
365. Первый и второй законы термодинамики.
366. Термодинамические потенциалы.
367. Обратимые и необратимые процессы.
368. Принцип Ле-Шателье.
369. Теорема Нернста.
370. Системы с переменным числом частиц.
371. Вывод термодинамических соотношений из статистических ансамблей.
372. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана.
373. Уравнения состояния классического идеального газа. Барометрическая формула.
374. Распределение Бозе-Эйнштейна.
375. Распределение Ферми-Дирака.
376. Уравнения состояния идеальных квантовых газов.
377. Вырожденный ферми-газ, теплоемкость вырожденного электронного газа.
378. Бозе-Эйнштейновская конденсация.
379. Фононный газ, статистика равновесного излучения.
380. Вириальное разложение.
381. Формула Ван-дер-Ваальса.
382. Приближение Дебая Хюккеля для плазмы.
383. Фазовые переходы I и II рода.
384. Формула Клайперона-Клаузиуса.
385. Теория Ландау фазовых переходов II рода.
386. Распределение Гаусса для флуктуаций.
387. Флуктуации термодинамических величин, флуктуации в идеальных газах.
388. Флуктуационно-диссипационная теорема.
389. Неравновесная функция распределения.
390. Иерархия времен релаксации и сокращенное описание.
391. Уравнение Фоккера-Планка.
392. Уравнение Больцмана, H-теорема Больцмана.
393. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана.



394. Цепочка уравнений ББГКИ, вывод уравнения Больцмана из цепочки уравнений для корреляционных функций.
395. Прямая и обратная решетка кристалла.
396. Структура электронных зон в кристаллах.
397. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра одноэлектронных состояний.
398. Колебания решетки. Фононы. Теплоемкость твердых тел по Дебаю. Фонон-фононные взаимодействия. Электрон-фононные взаимодействия.
399. Теплопроводность диэлектриков. Обменное взаимодействие. Гамильтониан Гейзенберга. Спиновые волны.
400. Намагниченность. Фазовый переход ферромагнетик- парамагнетик.
401. Основные свойства сверхпроводников. Куперовские пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Уравнение для щели в спектре.
402. Разделы курса классической механики.
403. Ньютонова, лагранжева и гамильтонова формулировки механики.
404. Разделы курса электродинамики.
405. Отличия формулировки электродинамики в вакууме и в среде.
406. Разделы курса квантовой механики.
407. В чем разница между нерелятивистской и релятивистской квантовой механикой.
408. В чем разница между термодинамическим подходом и подходом статистической механики.

## **Дополнительная программа**

### **1. Теория калибровочных полей**

1. Вычисление тензора напряженности для группы  $SU(2)$
2. Вычисление тензора напряженности для  $SU(3)$
3. Вычисление тензора напряженности для группы Пуанкаре
4. Лагранжиан и калибровочные преобразования в общей теории относительности.
5. Лагранжиан и калибровочные преобразования в модели бозонной струны
6. Коммутатор генераторов калибровочных преобразований в калибровочной теории общего вида.
7. Лагранжиан полей духов в теории поля Янга-Миллса с калибровочной группой  $SU(2)$
8. Лагранжиан полей духов в теории поля Янга-Миллса с калибровочной группой  $SU(3)$
9. Функциональный интеграл Фаддеева-Попова для гравитации
10. БРСТ преобразования в теории поля Янга-Миллса
11. БРСТ преобразования в теории гравитации
12. Индекс расходимости в теории поля Янга-Миллса
13. Индекс расходимости в гравитации
14. Функциональный интеграл по фазовому пространству в теории поля Янга-Миллса
15. Функциональный интеграл по фазовому пространству в теории гравитации
16. БФВ заряд и его нильпотентность
17. БФВ заряд в теории поля Янга-Миллса
18. БФВ заряд в теории гравитации
19. БФВ заряд в теории бозонной струны

### **2. Теория излучения заряженных частиц в ускорителях**

1. Метод полного разделения переменных
2. Тетрадный формализм
3. Классификация Бианки

- 4 Однородные космологические модели
- 5 Классификация Петрова
- 6 Привилегированная система координат
- 7 Формализм Ньюмена-Пенроуза
- 8 Изотропные Штеккелевы пространства
- 9 Неизотропные Штеккелевы пространства
- 10 Векторные поля Киллинга

### **3. Математические методы в общей теории относительности**

- 1 Метод полного разделения переменных
- 2 Тетрадный формализм
- 3 Классификация Бианки
- 4 Однородные космологические модели
- 5 Классификация Петрова
- 6 Привилегированная система координат
- 7 Формализм Ньюмена-Пенроуза
- 8 Изотропные Штеккелевы пространства
- 9 Неизотропные Штеккелевы пространства
- 10 Векторные поля Киллинга

### **4. Квантовая электродинамика твердых кристаллических тел**

1. Физические основы метода эквивалентных фотонов.
2. Метод эквивалентных фотонов: вычисления сечения тормозного излучения электронов в поле атома.
3. Применение метод эквивалентных фотонов для вычисления рождение электрон – позитронных пар заряженными частицами в поле атома.
4. Сечение рождение электрон – позитронных пар фотонами в поле атома.
5. Электростатический потенциал кристаллографической решетки.
6. Применение метод эквивалентных фотонов для вычисления сечений процессов в кристаллах
7. Физические причины возникновения когерентных эффектов в кристаллах.
8. Возникновение некогерентной части в сечении процесса, как следствие тепловых колебаний атомов кристалла.
9. Нахождение спектра эквивалентных фотонов оси кристалла.
10. Когерентное тормозное излучение релятивистских электронов в кристалле.
11. Когерентное фоторождение электрон – позитронных пар в кристалле.
12. Когерентное электророждение электрон – позитронных пар в кристалле.
13. Сечение образования атома позитрония фотоном в поле атома.
14. Когерентное образование атома позитрония фотоном в кристалле.
15. Когерентное образование атома позитрония электроном в кристалле.
16. Образование электрон – позитронных пар релятивистскими ядрами в поле атома с захватом электрона в связанное состояние с ядром мишенью.
17. Когерентное рождение электрон – позитронных пар релятивистскими ядрами в кристаллах с захватом электрона в связанное состояние с ядром мишенью
18. Каналирование заряженных частиц в кристаллах.
19. Приближенное уравнение движения каналированных частиц в кристаллах.
20. Непрерывный потенциал кристаллографических осей и плоскостей.
21. Плоскостное каналирование позитронов.
22. Плоскостное каналирование электронов.
23. Осевое каналирование заряженных частиц.



24. Решение уравнения Дирака для плоскостного каналирования.
25. Излучение при плоскостном каналировании релятивистских частиц.
26. Решение уравнения Дирака для осевого каналирования.
27. Излучение при осевом каналировании релятивистских частиц.
28. Образование электрон – позитронных пар в непрерывном потенциале.
29. Влияние каналирования на когерентное тормозное излучение.
30. Влияние каналирования на когерентное рождение пар.
31. Уравнения Дирака для осевого каналирования, с учетом периодичности кристалла в направлении продольного движения.
32. Волновые функции осевого каналирования, с учетом периодичности кристалла в направлении продольного движения.
33. Основы теории комбинационных эффектов в кристаллах.

### **5. Квантовая теория кристаллических твердых тел**

1. Геометрия кристаллических решеток. Классификация решеток Браве.
2. Трансляционная симметрия твердых тел. Точечная симметрия и ее последствия.
3. Основные приближения квантовой теории твердого тела. Нерелятивистское. Адиабатическое. Одноэлектронное приближение.
4. Метод самосогласованного поля Хартри. Уравнение Хартри-Фока.
5. Основы зонной теории твердых тел. Теорема Блоха. Граничные условия Борна-Кармана. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми.
6. Теория энергетических зон. Классификация кристаллов по характеру зонного спектра.
7. Электроны в кристаллах. Статическая электропроводность металла. Теплопроводность.
8. Теория функционала электронной плотности. Кристаллический потенциал.
9. Электроны в слабом периодическом потенциале. Метод сильной связи
10. Взаимодействие между электронами. Экранирование статического поля и поля примеси. Диэлектрическая проницаемость в полупроводниках и диэлектриках.
11. Теория Ферми жидкости. Квазичастицы.
12. Динамика электронов. Блоховские электроны во внешних полях.
13. Примесные уровни. Рассеяние электронов примесями.
14. Взаимодействие электронов с фононами.
15. Представление экситонов.
16. Магнитные явления в кристаллах. Взаимодействие твердых тел с магнитным полем. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм электронов проводимости. Спиновые гамильтонианы и модель Гейзенберга. Магнитное упорядочение. Теория молекулярного поля.

8.2. *Вопросы для самопроверки, обсуждений, дискуссий*  
Не предусмотрены.

#### 8.3. *Тематика рефератов*

Темы рефератов или научных статей выбираются аспирантом и его научным руководителем в индивидуальном порядке в зависимости от научных интересов аспиранта и темы его квалификационной работы.

8.4. *Перечень вопросов для итоговой аттестации*  
См. п.8.1.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 года № 867

Рабочая программа учебной дисциплины составлена:


д.ф.-м.н., профессор,

зав. кафедрой теоретической физики  И.Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики протокол № 5 от 26 мая 2016 года.

Зав. кафедрой теоретической физики

д.ф.-м.н.

 И.Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-математического факультета протокол № 9 от 26 мая 2016 года.

Председатель учебно-методической комиссии ФМФ

д.п.н, к.ф.-м.н., профессор КОФ

 З.А. Скрипко



## Карты компетенций

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-1

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*- общепрофессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская, преподавательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-2

КОМПЕТЕНЦИЯ: готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*- общепрофессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-1

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность свободного владения знаниями фундаментальных разделов теоретической физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*- профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-2

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность использовать новейшие методы и достижения теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*- профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-3

КОМПЕТЕНЦИЯ: способность ясно излагать и передавать другим свои знания фундаментальных разделов теоретической физики;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*- профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

## Критерии оценивания уровня сформированности компетенций

Компетенция (группы компетенций)	Уровни	Критерии	Формы оценивания/ вид деятельности
1	2	3	6
ОПК-1 ОПК-2	1	Способность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;	Материалы индивидуального проекта, фрагменты диссертационной и квалификационной работ, зачет
	2	Готовность к использованию информационно-коммуникационных технологий в обучении физике	
	3	Способность к моделированию, осуществлению и оцениванию образовательного процесса, а также к проектированию программ профессионального образования в соответствии с потребностями работодателя	
ПК-1 ПК-2 ПК-3	1	Знает методы научного исследования в области теоретической физики, в том числе с использованием информационных и коммуникационных технологий	Материалы индивидуального проекта, фрагменты диссертационной и квалификационной работ, зачет
	2	Способность к научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики в рамках научно-исследовательской группы	
	3	Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики	
	4	Способность ясно излагать законы и методы теоретической физики и доносить их до студентов.	