

Приложение № 5  
к программе  
подготовки научных и научно-педагогических  
кадров в аспирантуре  
НИЦ «Курчатовский институт»  
по научной специальности  
1.3.3. Теоретическая физика

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
по специальной дисциплине  
«Теоретическая физика»

## 1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины «Теоретическая физика», области физики, занимающейся математической формулировкой закономерностей физических явлений, наблюдаемых экспериментально, является углубленное изучение важнейших современных методов теоретической физики.

В курсе представлены ключевые разделы теоретической физики: Классическая механика, Теория поля, Электродинамика сплошных сред, Механика сплошных сред и физическая кинетика, Квантовая механика, Статистическая физика, Квантовая теория конденсированных сред, Квантовая теория атомных ядер, многочастичных систем, рассеяния и реакций, Квантовая электродинамика и квантовая теория поля. Первые 6 разделов соответствуют базовым знаниям физика-теоретика, работающего в любой области теоретической физики. Каждый из последних 3-х разделов содержит материал, которым должны владеть специалисты, работающие в соответствующих направлениях теоретической физики. Так, в частности, курс теоретической физики для аспирантов, специализирующихся в современной квантовой теории поля и ее применениях к различным физическим системам, включает в себя изучение взаимодействий элементарных частиц при низких, промежуточных и высоких энергиях, вопросов поиска новой физики в ускорительных и не ускорительных экспериментах, а также космологических следствий появления новой физики. Разделы, посвященные квантовой теории поля, обеспечивают владением теоретическим аппаратом, необходимым для работы в области теоретической физики элементарных частиц, квантовой хромодинамики, космологии, теорий объединения, теории струн, квантовой гравитации и современной математической физики.

Задачи освоения научных проблем данной специальности состоят в изучении фундаментальных основ строения вещества и развитии приложений теоретической физики в народном хозяйстве.

## **2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров**

Дисциплина «Теоретическая физика» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для научной специальности 1.3.3. «Теоретическая физика».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

- 1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- 2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;
- 3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;
- 4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных

технологий;

5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области теоретической физики и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

1) основные концепции и принципы теоретической физики, такие как принцип наименьшего действия, связь фундаментальных симметрий с законами сохранения;

2) основные уравнения классической и квантовой физики в области механики, теории поля, статистической физики, физической кинетики и физики сплошных сред;

3) основные методы решения динамических уравнений.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

1) строить теоретические модели физических явлений;

2) использовать точные и приближённые методы решения основных уравнений теоретической физики;

3) получать численные оценки, устанавливать значимость различных факторов, входящих в теоретическую модель, для описания физического явления.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

1) методами анализа физических явлений, установления ключевых факторов и построения теоретических моделей;

2) подходами к решению уравнений с целью выявления связей между основными величинами в теоретической модели;

3) навыками теоретических расчётов, анализа, подготовки научных сообщений.

#### **4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины**

##### **4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом**

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	153
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	45
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

\* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

#### 4.2. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Теоретическая физика» состоит из двух разделов: разделы 1-6 советуют расширенному университетскому курсу теоретической физики и предполагаются к изучению/повторению аспирантами в рамках самостоятельной работы и практических занятий для подготовки к кандидатскому экзамену. Вторая часть (разделы 7-21) для аспирантов, специализирующихся в квантовой теории поля, посвящена современной квантовой теории поля и ее приложениям к физике элементарных частиц:

№ Темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	2	3	4	5	6
1	Классическая механика	33	0	7	26
2	Теория поля	33	0	7	26
3	Электродинамика сплошных сред	33	0	7	26
4	Механика сплошных сред и физическая кинетика	33	0	8	25
5	Квантовая механика, квантовая электродинамика	33	0	8	25
6	Статистическая физика	33	0	8	25
7	Классическая теория калибровочных полей	13	10	0	3

8	Инстантоны и их свойства.	13	10	0	3
9	Квантование калибровочных полей. Духи Фаддеева-Попова. Калибровочные условия.	13	10	0	3
10	Гамильтонов подход к квантованию.	13	10	0	3
11	БРСТ симметрия и БРСТ квантование	13	10	0	3
12	Перенормировки в калибровочных теориях. Схемы регуляризации и вычитания. Неоднозначности.	13	10	0	3
13	Асимптотическая свобода. Бета функция. Аномальные размерности.	13	10	0	3
14	Аномалии в калибровочных теориях	13	10	0	3
15	Инфракрасные и коллинеарные расходимости в калибровочных теориях	13	10	0	3
16	Тяжелые кваркони и КХД.	13	10	0	3
17	Предел больших N в калибровочных теориях.	13	10	0	3
18	Глубоконеупругое рассеяние и уравнения ДГЛАП.	13	10	0	3
19	Многочастичные амплитуды. Формула Парке-Тейлора.	13	10	0	3
20	Калибровочные теории с расширенной суперсимметрией. Теория Зайберга- Виттена.	13	10	0	3
21	Голографический подход (АдС/КТП соответствие) Применение к теории адронов	16	13	0	3
Всего		396	153	45	198

Содержание второй части (разделы 7-21) курса «Теоретическая физика» для аспирантов, специализирующихся в квантовой теории атомных ядер, многочастичных систем, рассеяния и реакций:

№ Темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
7	Многоканальное рассеяние и реакции	13	10	0	3
8	Поляризационные явления и	13	10	0	3

	угловые корреляции в рассеянии и реакциях				
9	Оптическая модель в теории ядерных реакций	13	10	0	3
10	R-матричная теория ядерных реакций	13	10	0	3
11	Статистическое описание ядерных реакций	13	10	0	3
12	Нуклон-нуклонные взаимодействия при низких энергиях	13	10	0	3
13	Теория малонуклонных систем	13	10	0	3
14	Ядерная астрофизика	13	10	0	3
15	Оболочечная модель ядра и метод Хартри-Фока	13	10	0	3
16	Коллективные ядерные возбуждения	13	10	0	3
17	Статистическое моделирование свойств высоковозбужденных ядер	13	10	0	3
18	Электромагнитные и слабые процессы в ядрах	13	10	0	3
19	Кластерные распады и деление ядер	13	10	0	3
20	Квантовохимические методы расчета многоэлектронных систем	13	10	0	3
21	Взаимодействие многочастичных систем с электромагнитным излучением	16	13	0	3

Содержание второй части (разделы 7-21) курса «Теоретическая физика» для аспирантов, специализирующихся теории конденсированного состояния:

№ Темы	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
7	Неидеальный бозе-газ. Сверхтекучесть.	13	10	0	3
8	Симметрия твердых тел.	13	10	0	3
9	Зонная структура.	13	10	0	3
10	Поверхность Ферми.	13	10	0	3
11	Теория звуковых колебаний.	13	10	0	3
12	Взаимодействие фононов.	13	10	0	3
13	Магнетизм. Парамагнетизм и диамагнетизм.	13	10	0	3

14	Ферромагнетики. Спиновые волны.	13	10	0	3
15	Сверхпроводимость.	13	10	0	3
16	Критические явления в сверхпроводимости.	13	10	0	3
17	Диаграммная техника.	13	10	0	3
18	Теория критических явлений	13	10	0	3
19	Системы пониженной размерности.	13	10	0	3
20	Техника Келдыша.	13	10	0	3
21	Системы с беспорядком. Локализация.	16	13	0	3

#### 4.2.1 Содержание лекционного курса для аспирантов, специализирующихся в квантовой теории поля

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
7	10	Классическая теория калибровочных полей: Алгебра $su(N)$ . Калибровочная инвариантность. Главное расслоение. Наблюдаемые. Инвариантное действие; Уравнения движения; Тензор энергии-импульса;
8	10	Топологический заряд. Явное решение в регулярной и сингулярной калибровке. Нулевые моды в поле инстантона. Многоинстантонные решения
9	10	Фиксация калибровки. Подход Фаддеева- Попова. Грибовские копии. Калибровка внешнего поля
10	10	Гамильтоново квантование теории со связями первого рода. Связи и выбор калибровки. Грибовские копии.
11	10	БРСТ -симметрия. Нильпотентность БРСТ -оператора. Духи и унитарность. Тождества Славнова- Тейлора.
12	10	Перенормируемость теории Янга-Миллса. Регуляризации:
13	10	Вычисление бета -функции в одной петле. Асимптотическая свобода. Аномальные размерности. Уравнение Овсянникова- Каллана- Симанчика.
14	10	Глобальные и локальные аномалии. Сокращение аномалий Соотношения аномалий, уравнения спуска.
15	10	Сокращение инфракрасных расходимостей в одной петле. Теорема о многопетловом сокращении инфракрасных расходимостей. Коллинеарные расходимости. Дважды логарифмическая асимптотика. Функции расщепления.



16	10	Спектр тяжелых кваркониев. Адронная ширина $J/\Psi$
17	10	Планарные диаграммы. Предел больших $N$ как квазиклассический.
18	10	Кинематика Глубоконепругого рассеяния. Структурные функции. Уравнения эволюции структурных функций.
19	10	Спинорный формализм для амплитуд. $MHV$ - амплитуды. Формула Парке-Тейлора.
20	10	Эффективное действие для $N=2$ суперсимметричных калибровочных теорий. Дуальность. БПС состояния. Теория Зайберга-Виттена.
21	13	Голографический принцип и режим сильной связи. Корреляторы в пространстве анти де Ситтера. Эффективные метрики в КХД.

Содержание лекционного курса для аспирантов, специализирующихся в квантовой теории атомного ядра, многочастичных систем, рассеяния и реакций.

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
7	10	Многоканальное рассеяние и реакции, амплитуда рассеяния, $S$ -матрица.
8	10	Поляризация и выстраивание частиц со спинов, рассеяние и реакции с участием частиц со спином, парциальные волны, мультипольное разложение, наблюдаемые угловые корреляции,
9	10	Оптическая модель взаимодействия нуклонов с ядрами. Модели прямых ядерных реакций.
10	10	Описание ядерных компаунд-резонансов, $R$ -матричная теория.
11	10	Статистическое описание ядерных реакций, модель Хаузера-Фешбаха.
12	10	Нуклон-нуклонные взаимодействия при низких энергиях. Тензорные силы.
13	10	Теория малонуклонных систем, уравнения Фаддеева.
14	10	Особенности описания ядерных реакций в звездах, нейтринная астрофизика.
15	10	Оболочечная модель ядра. Метод Хартри-Фока.

		Релятивистские модели среднего поля.
16	10	Ротационные и вибрационные спектры ядер. Парные взаимодействия сверхпроводящего типа.
17	10	Статистическое описание сильновозбужденных ядер. Моделирование плотности уровней ядра.
18	10	Электромагнитные и слабые взаимодействия в ядрах, бета-переходы, несохранение чётности.
19	10	Модели кластерных ядерных распадов, спонтанного и вынужденного деления ядер.
20	10	Квантовохимические методы расчета многоэлектронных атомов и молекул.
21	13	Теория взаимодействия ядер, атомов, молекул и ионов с электромагнитным излучением.

Содержание лекционного курса для аспирантов, специализирующихся в теории конденсированного состояния.

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
7	10	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.
8	10	Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.
9	10	Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.
10	10	Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Гааза-ван Альфена.
11	10	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.
12	10	Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное

		взаимодействие и проблема полярона.
13	10	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.
14	10	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.
15	10	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.
16	10	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.
17	10	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.
18	10	Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.
19	10	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.
20	10	Кинетическое уравнение для электронов в грязном металле. Техника Келдыша, функциональное представление. Экранированный кулоновский потенциал. Собственно-энергетическая часть в первом

		порядке по экранированному взаимодействию. Кинетическое уравнение. Время электрон-электронных столкновений. Келдышевская техника для неравновесных систем. Квантовая поправка к омической диссипации.
21	13	Аномально локализованные состояния. Квазиодномерная локализация. Решение с помощью метода трансфер-матрицы. Плотность состояний на нижнем уровне Ландау в присутствии беспорядка. Усреднение по беспорядку с помощью метода реплик. Вывод функционала Гинзбурга-Ландау для грязных сверхпроводников.

#### 4.2.2 Содержание семинаров и (или) практических занятий

№ темы	Всего часов	Содержание разделов дисциплины
1	2	3
1	7	<p>Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.</p> <p>Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле. Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.</p> <p>Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты.</p> <p>Колебания при наличии трения.</p> <p>Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.</p> <p>Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение. Гамильтона-Якоби, разделение переменных.</p> <p>Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время.</p> <p>Преобразование Лоренца. Преобразование скорости.</p> <p>Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.</p> <p>Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц.</p>
2	7	Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал

		<p>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.</p> <p>Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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).</p> <p>Гравитационные линзы.</p> <p>Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуум-доминированной стадиях.</p> <p>Физические процессы в ранней Вселенной. Закалка нейтрино. Первичный нуклеосинтез. Рекомбинация, реликтовые фотоны.</p>
3	7	<p>Электростатика диэлектриков и проводников. Диэлектрическая проницаемость и проводимость. Термодинамика диэлектриков. Магнитные свойства.</p>

	<p>Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамические соотношения. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.</p> <p>Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.</p> <p>Уравнения электромагнитных волн. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса-Кронига. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление.</p> <p>Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.</p> <p>Магнитная гидродинамика. МГД-волны.</p> <p>Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость.</p> <p>Самофокусировка. Генерация второй гармоники.</p> <p>Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах.</p>
4	8 <p>Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Поток энергии. Поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное обтекание тел: присоединенная масса, сила сопротивления, эффект Магнуса.</p> <p>Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости.</p> <p>Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.</p> <p>Переход к турбулентности. Неустойчивости ламинарных течений. Теория Ландау-Хопфа. Типы аттракторов.</p> <p>Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов. Развитая турбулентность. Спектр турбулентности в вязком интервале. Колмогоровский спектр.</p> <p>Звук. Одномерное движение сжимаемого газа.</p> <p>Характеристики. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы.</p> <p>Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргерса.</p> <p>Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ.</p> <p>Солитоны и их взаимодействие. Бесстолкновительные ударные волны.</p> <p>Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.</p> <p>Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема. Теплопроводность и вязкость газов.</p> <p>Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.</p> <p>Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова.</p> <p>Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-</p>

		<p>звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.</p> <p>Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау.</p> <p>Длина пробега частиц в плазме.</p>
5	8	<p>Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.</p> <p>Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.</p> <p>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.</p> <p>Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.</p> <p>Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней. Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.</p> <p>Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми. Тонкая структура тонких уровней. Периодическая система Менделеева.</p> <p>Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.</p> <p>Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта-Вигнера. Теория возмущений в квантовой электродинамике. Фенмановская диаграмная техника.</p> <p>Комптон-эффект, <math>e^+</math>, <math>e^-</math>-аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.</p>
6	8	<p>Основные принципы статистики. Функция распределения и</p>

	<p>матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Термодинамические величины. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.</p> <p>Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение.</p> <p>Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Равновесие фаз. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка.</p> <p>Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы.</p> <p>Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.</p> <p>Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.</p> <p>Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.</p> <p>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.</p> <p>Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно диссипативная теорема.</p> <p>Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.</p>
--	---



## 5. Образовательные технологии

1. При реализации специальной дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Литература
1	2	3	4
1	33	Решение задач по классической механике	Коткин, Г.Л., Сербо, В.Г. Сборник задач по классической механике – ИКИ, 2021 г.
2	33	Решение задач по теории поля и теории относительности	Топтыгин, И.Н., Батыгин, В. В., Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности – Лань, 2021 г. Лайтман, А., и др. Сборник задач по теории относительности – МИР, 1979 г.

3	33	Решение задач по электродинамике сплошных сред	Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред. 5-е издание. – Физматлит, 2016 г.
4	33	Решение задач по механике сплошных сред и физической кинетике	Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 6. Гидродинамика. 5-е издание. – Москва, Физматлит, 2015 г. Бурмистров С.Н., Задачи по физической кинетике – Интеллект, 2016 г.
5	33	Решение задач по квантовой механике, квантовой электродинамике	Галицкий, В.М., Карнаков, Б. М., Коган, В.И., Задачи по квантовой механике – URSS. 2001 Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика. Том 4. Квантовая электродинамика. 4-е издание. – Физматлит, 2020 г.
6	33	Решение задач по статистической физике	Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика. Часть 1. 6-е издание. – Физматлит, 2018 г.

Текущий контроль (промежуточный) проводится по темам 1-6 в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных задач:

1. Покажите, что в рамках линеаризованной теории гравитации отсутствует сила гравитационного притяжения между двумя узкими параллельными световыми лучами.

2. Гироскоп выведен на круговую орбиту. К нему не приложены никакие моменты. С какой угловой скоростью прецессирует вектор его спина в системе отсчета, неподвижной относительно далеких звезд?

3. Вычислить время жизни позитрония.

4. Определите в борновском приближении интеграл столкновения для вырожденной ферми-жидкости.

При изучении 7-21 темы для получения положительной оценки в семестре и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат и сделать доклад по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 стр. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Вычисление фиксированной точки ренормгруппы для скалярного поля.
2. Конформные теории в четырехмерии. Способы построения и точные результаты.
3. Низкоэнергетическое эффективное действие для  $N=1$  суперсимметричной теории.
4. Решеточные методы вычисления параметров кварк-глюонной плазмы.
5. Спонтанное нарушение киральной симметрии.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.
2. 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.

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

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

5. Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы.

Рассмотрев ответы на кандидатском экзамене, экзаменационная комиссия задает дополнительные вопросы, в частности требующие самостоятельных оригинальных вычислений в различных областях теоретической физики. Время, требующееся на ответ на дополнительные вопросы, определяется экзаменационной комиссией.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

I. Основная литература к части 1:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.

2. Ландау, Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика [Текст]: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: в 10 т. / Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва: Физматлит: МАИК Наука, 2001-. - 22 см.; ISBN 5-9221-0053-X.

3. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория). 6-е издание. – Москва, Физматлит, 2016 г.

4. Берестецкий, В.Б., Лифшиц, Е.М., Питаевский, Л.П. Теоретическая физика. Том 4. Квантовая электродинамика. 4-е издание. – Москва, Физматлит, 2006 г.

5. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика. Часть 1. 6-е издание. – Москва, Физматлит, 2018 г.

6. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 6. Гидродинамика. 5-е издание. – Москва, Физматлит, 2015 г.

7. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 7. Теория упругости. 5-е издание. – Москва, Физматлит, 2007 г.

8. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред. 5-е издание. – Москва, Физматлит, 2016 г.

9. Лифшиц, Е.М., Питаевский, Л.П. Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Часть 2. Теория конденсированного состояния. 5-е издание. – Москва, Физматлит, 2015 г. ISBN 5-9221-0124-2 (т. IX).

10. Лифшиц, Е.М., Питаевский, Л.П. Теоретическая физика. Том 10. Физическая кинетика. 2-е издание. – Москва, Физматлит, 2007 г. – ISBN 5-9221-0053-X.

11. Арнольд, В.И. Математические методы классической механики. 6-е издание. – М.: Ленард, 2016 г.

12. Давыдов, А.С. Квантовая механика: [Текст]: учебное пособие для студентов университетов и технических вузов / А. С. Давыдов. - 3 изд., стер. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. - 703 с.: ил., табл.; 23. - (Учебная литература для вузов).; ISBN 978-5-9775-0548-2: 1200.

13. Боголюбов, Н.Н., Ширков Д.В. Квантовые поля. 3-е издание. – Москва, Физматлит, 2005 г.

14. Румер, Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: Учеб. пособия для студентов физ. специальностей вузов / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. - 2. изд., испр. и доп. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. - 608 с.: ил.; 22 см.; ISBN 5-7615-0383-2.

Основная литература к части 2:

1. Иоффе, Б.Л., Липатов, Л.Н., Фадин, В.С. Квантовая хромодинамика в 2т., URSS, 2019. – 408 с. – ISBN 978-5-534-08081-0.

2. М.Б. Волошин, К.А. Тер-Мартirosян, Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, Ленанд, 2015. – 295 с. – ISBN 978-5-9710-1697-7.

3. Вайнберг, С. Квантовая теория поля, тт. 1-3, Физматлит, 2015-2018 – ISBN 978-5-9221-1621-3.

4. A.V. Smilga, Lectures on QUANTUM CHROMODYNAMICS, World Scientific, 2001. – 352 pages. – ISBN-13 978-9810243319

5. Крайнов, В.П., Смирнов, Б.М. Квантовая теория излучения атомных частиц. Долгопрудный, Интеллект, 2015. – 293 с. – ISBN 978-5-91559-204-8.

## II. Дополнительная литература:

1. Гантмахер, Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер; под ред. Е. С. Пятницкого. - Изд. 3-е, стер. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 262 с.: ил., табл.; 23 см.; ISBN 5-9221-0067-X (в пер.)

2. Коткин, Г.Л., Сербо В.Г. Сборник задач по классической механике [Текст] / Г. Л. Коткин, В. Г. Сербо. - Изд. 4-е, испр. и доп. - Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2010. - 360 с.: ил.; 20 см. - (Университетские учебники и учебные пособия).; ISBN 978-5-93972-848-5.

3. Батыгин, В.В., Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Часть 1. Микроскопическая теория. 2-е издание, исправленное. – Москва, Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005 г.

4. Галицкий, В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике: Учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган. - 3. изд., испр. и доп. - М.: УРСС, 2001-23см.Ч. 1. - 2001. - 300, [2] с.: ил., табл.; 23 см.; ISBN 5-354-00002-5.

5. Цвелик, А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния / А. М. Цвелик; Пер. с англ. П. М. Островского, Я. В. Фоминова. - М.: Физматлит, 2002. - 320 с.: ил.; 22 см.; ISBN 5-9221-0237-0.

6. Топтыгин, И.Н. Современная электродинамика. Часть 2. Теория электромагнитных явлений в веществе. – Москва, Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005 г.

7. Фейнман, Р. Статистическая физика. Курс лекций. – Москва, Платон, 2000 г.

8. Белоусов, Ю.М., Бурмистров С.Н., Тернов А.И. Задачи по теоретической физике [Текст]: учебное пособие для студентов вузов по направлению "Прикладные математика и физика" / Ю. М. Белоусов, С. Н. Бурмистров, А. И. Тернов. - Долгопрудный: Изд. дом Интеллект, 2013. - 581 с.: граф.; 22 см. - (Физтеховский учебник).; ISBN 978-5-91559-134-8.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Учебные материалы по основам химической физики МФТИ: [сайт]. – URL: <https://mipt.ru/dmcp/student/files/chmoph/> (дата обращения: 30.09.2022).

2. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

3. Словари и энциклопедии на Академике: [сайт]. – URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/695372> (дата обращения: 28.06.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: [https://platonanet.net/load/knigi\\_po\\_filosofii/2](https://platonanet.net/load/knigi_po_filosofii/2) (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.scilib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect. Коллекция журналов Complete Freedom



Collection: [сайт]. – URL:  
<http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm>

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer\_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, онлайн и оффлайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).
7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).
8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).
9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).
10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).
11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).
12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).
13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).
14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

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

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.