

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**«Институт ядерной физики им.Г.И.Будкера Сибирского отделения**  
**Российской академии наук»**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯФ СО РАН,  
Член-корреспондент РАН \_\_\_\_\_ П.В.Логачев  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Теоретическая физика (кандидатский экзамен)**

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки

**03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации)**

Форма обучения

**Очная**

**Новосибирск- 2016**

Рабочая программа дисциплины «Теоретическая физика (кандидатский экзамен)», предназначенная для аспирантов ИЯФ СО РАН, разработана в 2016 году в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Составитель:

д.ф.-м.н., проф. А.И.Мильштейн

Рабочая программа

## Содержание

Аннотация .....	4
1. Цели освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре программы обучения.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины .....	4
4. Структура и содержание дисциплины .....	5
5. Образовательные технологии.....	10
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов.....	10
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	11

# Рабочая программа дисциплины «Теоретическая физика (кандидатский экзамен)»

## Аннотация

Программа курса «Теоретическая физика (кандидатский экзамен)» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума, для аспирантов, обучающихся по направленности (профилю подготовки) 01.04.02 "Теоретическая физика".

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: самостоятельная подготовка студента по программе кандидатского экзамена, консультации с преподавателем, сдача кандидатского экзамена по специальности "Теоретическая физика".

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: очные индивидуальные консультации с преподавателем

Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен по специальности "Теоретическая физика"

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 8 часов индивидуальных консультаций.

### 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Теоретическая физика (кандидатский экзамен)» предназначена для закрепления и контроля знаний аспирантов, специализирующихся в области теоретической физики, по следующим разделам физики: механика, теория поля, электродинамика и механика сплошных сред, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория поля.

### 2. Место дисциплины в структуре программы обучения

Дисциплина «Теоретическая физика (кандидатский экзамен)» относится к вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)». Аспиранты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны пройти предусмотренные программой обучения в аспирантуре курсы и иметь детальное представление о всех представленных в программе дисциплины разделах.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов для решения научных и практических задач (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-1);
- Способность к получению, критическому осмыслению и реферативному изложению научных результатов в области физики (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-2);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** основные законы и положения включенных в программу кандидатского экзамена разделов теоретической физики
- **уметь** находить и анализировать научную информацию о теоретических моделях физических явлений

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Теоретическая физика. Кандидатский экзамен» представляет собой полугодовой курс, читаемый в аспирантуре ИЯФ СО РАН. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Индивидуальные консультации с преподавателем (кол-во часов)		
	2	3	4	5	6	7	8
1	Механика	1-2	9		1	8	
2	Теория поля	3-4	9		1	8	
3	Электродинамика сплошных сред	5-6	9		1	8	
4	Механика сплошных сред и физическая кинетика	7-8	9		1	8	
5	Квантовая механика	9-10	9		1	8	
6	Статистическая физика	11-12	9		1	8	
7	Квантовая теория полей	13-14	9		1	8	
8	Вопросы дополнительной программы	15-16	9		1	8	
9	Кандидатский экзамен по специальности "Теоретическая физика"						36
	Итого				8	64	
			72				36

Содержание дисциплины:

Содержание дисциплины совпадает с программой кандидатского экзамена по специальности 01.04.02 "Теоретическая физика". Дисциплина содержит следующие разделы

#### 1. Механика

1. Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.
2. Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле.
3. Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.
4. Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.
5. Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлера углы и уравнение Эйлера.
6. Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона-Якоби, разделение переменных.

7. Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.
8. Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц.

## **2. Теория поля**

1. Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.
2. Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
3. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.
4. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.
5. 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.
6. Движение частицы в гравитационном поле. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.
7. Уравнения гравитационного поля. Тензор кривизны. Действие для гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.
8. Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центральное-симметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.
9. Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет). Гравитационные линзы.
10. Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуум-доминированной стадиях.
11. Физические процессы в ранней Вселенной. Закалка нейтрино. Первичный нуклеосинтез. Рекомбинация, реликтовые фотоны.

## **3. Электродинамика сплошных сред**

1. Электростатика диэлектриков и проводников. Диэлектрическая проницаемость и проводимость. Термодинамика диэлектриков. Магнитные свойства. Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамические соотношения. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.
2. Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.
3. Уравнения электромагнитных волн. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса-Кронига. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление. Принцип взаимности.
4. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.
5. Магнитная гидродинамика. МГД волны. Проблема динамо.
6. Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники.
7. Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах. Рэлеевское рассеяние.

## **4. Механика сплошных сред и физическая кинетика**

1. Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Поток энергии. Поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное обтекание тел: присоединенная масса, сила сопротивления, эффект Магнуса.

2. Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.
3. Переход к турбулентности. Неустойчивости ламинарных течений. Теория Ландау-Хопфа. Типы аттракторов. Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов. Развитая турбулентность. Спектр турбулентности в вязком интервале. Колмогоровский спектр.
4. Звук. Звуковые волны. Геометрическая акустика.
5. Одномерное движение сжимаемого газа. Характеристики. Инварианты Римана. Простая волна Римана. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы. Теория сильного взрыва.
6. Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргера.
7. Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ. Солитоны и их взаимодействие. Бесстолкновительные ударные волны.
8. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.
9. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана.  $H$ -теорема. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.
10. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.
11. Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

### **5. Квантовая механика**

1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.
2. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.
3. Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша-Гордана.
4. Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.
5. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.
6. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.
7. Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.
8. Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми. Тонкая структура томных уровней. Периодическая система Менделеева.
9. Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.
10. Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта-Вигнера.

### **6. Статистическая физика**

1. 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.
2. 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.
3. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.

4. 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.
5. Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства неидеального классического газа.
6. Равновесие фаз. Формула Клапейрона-Клаузиса. Критическая точка.
7. 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.
8. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.
9. Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.
10. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.
11. 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.
12. Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.
13. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

## **7. Квантовая теория полей**

1. Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой.
2. Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тожества Уорда-Такахаси.
3. Квантовоэлектродинамические расчеты: Комптон-эффект,  $e^+e^-$  аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.
4. Представление Челлена--Лемана. Формула Лемана-Симанчика-Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Кутковского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм.
5. Ренормгруппа. Бета-функция и аномальные размерности. Операторное разложение. Аномальные размерности составных операторов.
6. Калибровочные теории поля. Квантование по Фаддееву-Попову и духи. Тожества Славнова-Тейлора. Квантовая хромодинамика и асимптотическая свобода.
7. Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.
8. Кварковая модель. Спектроскопия адронов и составляющие кварки. Чармоний, боттомоний.
9. КХД и киральная симметрия сильных взаимодействий. Частичное сохранение аксиального тока. Пионы как голдстоуновские частицы. Киральная аномалия Адлера-Белла-Джакива.
10. Стандартная модель.  $W$  и  $Z$  -бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Каббиво-Кобаяши-Маскава.
11. Бета-распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.
12. Нарушение CP инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов.
13. 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.
14. Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи 'т-Хоофта-Полякова. Действие Новикова-Весса-Зумино-Виттена.
15. Вне стандартной модели: великое объединение, распад протона, осцилляции нейтрино.
16. Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы. Формализм Бекки-Руэ-Стора-Тютина. Теоремы об отсутствии перенормировок.

17. Физика частиц и ранняя Вселенная. Космологические фазовые переходы. Темная материя, ограничения на свойства массивных нейтрино.
18. Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

### 8. Вопросы дополнительной программы

1. Свободное электромагнитное поле, фотоны, момент и P-чётность фотонов, C-чётность фотонов, поляризация фотонов, система двух фотонов.
2. Уравнение Клейна-Гордона-Фока в электромагнитном поле, ток, калибровочная инвариантность, частицы и античастицы; C, P, T преобразования; нерелятивистский предел.
3. Уравнение Дирака, плоские волны; уравнение во внешнем электромагнитном поле, калибровочная инвариантность, ток; частицы и античастицы; C, P, T преобразования, внутренняя симметрия частиц и античастиц, позитроний; нерелятивистский предел уравнения Дирака.
4. Рассеяние в центрально-симметричном поле; спиральность, сохранение спиральности в рассеянии при высоких энергиях. Релятивистские эффекты при движении спина во внешнем поле.
5. Нуклон-нуклонное взаимодействие при низких энергиях, изотопическая инвариантность, обобщённый принцип Паули; свойства ядерных сил, роль кулоновских сил в деформации и делении ядер; энергия связи ядер.
6. Дейтрон, магнитный момент дейтрона, примесь d-волны. pp, pp и nn рассеяние при очень низких энергиях, виртуальный уровень.
7. Потенциал Саксона-Вудса и трёхмерный осциллятор, оболочки, магические ядра, спин-орбитальное взаимодействие, кулоновское взаимодействие, pp и nn спаривание в ядрах; магнитные моменты ядер.
8. Изотопы, стабильность ядер,  $\beta$ -распад, спектр  $\beta$ -электронов и влияние массы нейтрино, правила отбора для  $\beta$ -распада;  $\alpha$ -распад, деление ядер.
9. Одночастичные возбуждения в ядрах, электромагнитные переходы, правила отбора; статическая деформация ядер, вращательные спектры, колебательные спектры, гигантские дипольные резонансы; упругие и неупругие реакции, ядерные реакции.
10. Четыре типа взаимодействий. Их пространственно-временные масштабы, константы связи. Элементарные частицы: кварки, лептоны, калибровочные бозоны.
11. Мезоны и барионы как кварковые состояния. Новое квантовое число-цвет, симметрия барионной волновой функции. Изотопический дублет u- и d-кварков, дублет антикварков, G-чётность.
12. Изомультиплеты, следствия изотопической инвариантности, методы получения изотопических соотношений; массовые формулы, электромагнитные характеристики адронов.
13. Асимптотическая свобода, квантовая хромодинамика, невылетание цвета, кварконий, спектроскопия состояний, аннигиляционные каналы распада, определение величины константы связи.
14. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны, глубоко неупругое рассеяние лептонов, кварк-партонная модель, вакуум в КХД.
15. Стандартная модель слабых и электромагнитных взаимодействий, промежуточные векторные бозоны, их массы, каналы распада, ширины; нейтральные каоны, осцилляции странности, нарушение CP инвариантности.
16. Квантовые эффекты в макроскопических системах, квантовое вырождение, квазичастицы, методы определения спектра элементарных возбуждений.
17. Бозе-жидкость, свойства сверхтекучего гелия-4; спектр элементарных возбуждений, фононы и ротоны, критерий сверхтекучести Ландау, второй звук, вихри в сверхтекучем гелии.
18. Ферми-жидкость, поверхности ферми, время жизни квазичастиц, возбуждения частица-дырка, теплоёмкость.
19. Идеальный кристалл, квантование колебаний решётки, модель Дебая, эффект Мессбауэра, фактор Дебая-Уоллера.
20. Сверхпроводимость, эффект Мейснера, уравнение Лондонов, Уравнение Гинзбурга-Ландау, сверхпроводники первого и второго рода, критические магнитные поля; квантование магнитного потока, вихревые нити в сверхпроводниках.
21. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Энергетическая щель, фононный механизм притяжения, спектр возбуждений; стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.

## 5. Образовательные технологии

Основным методом обучения по курсу является самостоятельная подготовка аспирантов по вопросам, изложенным в программе, с регулярным обсуждением изученных вопросов на индивидуальных консультациях с преподавателем.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов поддерживается учебниками и учебно-методическими пособиями, приведенными в списке основной и дополнительной литературы, а также обзорными статьями в научных журналах

Текущий контроль успеваемости происходит на индивидуальных консультациях.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра в рамках сдачи кандидатского экзамена по специальности 01.04.02 "Теоретическая физика".

## 7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

**Образцы вопросов для подготовки к экзамену** – вопросы формулируются идентично названиям подразделов программы курса, представленной выше в п. 4. В экзаменационные билеты включается по три вопроса из основной и дополнительной программы кандидатского экзамена.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Список основной и дополнительной литературы:

#### Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М., ФМЛ, 2001.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., Наука, 1988.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики, М., Лань, 2004
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., ФМЛ, 2001.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: ФМЛ, 2001.
6. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Квантовая электродинамика. М.: ФМЛ, 2001.
7. Боголюбов Н.Н, Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т. Общие принципы квантовой теории поля, М.: ФМЛ, 2006
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.: ФМЛ, 2001.
9. Ансельм А.И., Основы статистической физики и термодинамики, М., Лань, 2007
10. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Статистическая физика. Ч.2. М.: Наука, 2000.
11. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Гидродинамика. М.: ФМЛ, 2001.
13. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.
14. Б.Л. Иоффе, Л.Н. Липатов, В.С. Фадин. Квантовая хромодинамика. М. 2012

#### Дополнительная литература

1. Курош А.Г., Теория групп. М.: ФМЛ, 2011.
2. Абрикосов А.А., Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.
3. Цвеллик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния, М.: ФМЛ, 2004.
4. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика, М., Лань, 2009.
5. В.М.Михайлов, О.Е.Крафт. Ядерная физика. Л. 1988.
6. Л.Б.Окунь. Физика элементарных частиц. М.,1988.
7. Ф.Клоуз. Кварки и глюоны. М., 1982.
8. Ф.Хелзен, А.Мартин. Кварки и лептоны. «Мир», М.,1987.
9. Р.Фейнман. Статистическая механика. М. 1975.
10. Дж.Займан. Принципы теории твердого тела. М., 1974.

11. П.Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., 1968.
12. Д.Р.Тилли, Дж.Тилли. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.,1977.
13. Д.Пайнс, Ф.Нозьер. Теория квантовых жидкостей. М., 1967.

#### Открытые интернет-ресурсы

1. *И.Ф. Гинзбург* [Нерешённые проблемы фундаментальной физики \(рус.\)](#) // *Успехи физических наук*. — 2009. — Т. 179. — С. 525–529. — DOI:10.3367/UFNr.0179.200905d.0525
2. *И. М. Дремин, А. Б. Кайдалов* [Квантовая хромодинамика и феноменология сильных взаимодействий](#) // *Успехи физических наук*, том 176, № 3., с. 275, 2006 г
3. *Биленький С. М.* [Массы, смешивание и осцилляции нейтрино](#), УФН 173 1171—1186 (2003).
4. *Лукаш В. Н., Михеева Е. В.* [Тёмная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной](#), УФН 177 1023—1028 (2007).
5. *С. М. Биленький* [Массы, смешивание и осцилляции нейтрино](#) // *УФН*. — 2003. — Т. 173. — С. 1171—1186. — DOI:10.3367/UFNr.0173.200311b.1171
6. *8. Н. В. Красников, В. А. Матвеев* (июль 2004). [«Поиск новой физики на большом адронном коллайдере»](#). *Успехи физических наук* **174** (7): 697-725.

#### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специальное материально-техническое оборудование для изучения дисциплины не требуется.