Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

УТВЕРЖДАЮ
Директор
_____ С.В. Иванов
«14» января 2025 г.

**ПРОГРАММА**
**КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**
**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**
**по научной специальности**
**1.3.3 Теоретическая физика**

Санкт-Петербург

2025 г.

**1. Общие сведения**

В основу данной программы положены следующие дисциплины: механика, теория поля, электродинамика и механика сплошных сред, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория поля.

Кандидатский экзамен проводится в устной форме и состоит из 2-х вопросов по билету и презентации по теме диссертационного исследования о выполненной работе за период обучения в аспирантуре, в соответствии с индивидуальным планом работы.

**2. Механика**

2.1. Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа.

2.2. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

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

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

2.5. Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс.

2.6. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.

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

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

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

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

**3. Теория поля**

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

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

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

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

3.5. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

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

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

3.8. Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центрально-симметричное гравитационное поле. Метрика Шварцши льда. Гравитационный коллапс.

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

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

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

**4. Электродинамика сплошных сред**

4.1. 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.

4.2. Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.

4.3. 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.

4.4. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Еффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.

4.5. Магнитная гидродинамика. МГД волны. Проблема динамо.

4.6. Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники.

4.7. Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах. Рэлеевское рассеяние.

**5. Механика сплошных сред и физическая кинетика**

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

5.2. Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.

5.3. 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.

5.4. Звук. Звуковые волны. Геометрическая акустика.

5.5. Одномерное движение сжимаемого газа. Характеристики. Инварианты Римана. Простая волна Римана. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы. Теория сильного взрыва.

5.6. Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргерса.

5.7. Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ. Солитоны и их взаимодействие. Бесстолкновительные ударные волны.

5.8. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.

5.9. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. $H$-теорема. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.

5.10. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектричесая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.

5.11. Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

**6. Квантовая механика**

6.1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

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

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

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

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

6.6. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

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

6.8. Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. С амосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми. Тонкая структура томных уровней. Периодическая система Менделеева.

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

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

**7. Статистическая физика**

7.1. 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.

7.2. 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.

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

7.4. 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.

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

7.6. Равновесие фаз. Формула Клапейрона-Клаузиса. Критическая точка.

7.7. 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.

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

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

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

7.11. 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.

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

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

*Раздел для специалистов по теории твердого тела*

**8. Теория конденсированного состояния**

8.1. Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов,

8.2. бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Двухжидкостное описание. Критерий Ландау. Теория Фейнмана. Квантовые вихри. Корреляции в положении частиц бозе-газа.

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

8.2. Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.

8.3. Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Гааза-ван Альфена.

8.4. 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.

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

8.6. 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.

8.7. 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.

8.8. 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.

8.9. 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.

8.10. 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.

8.11. Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.

8.12. 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. Квантовая теория полей**

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

9.2. Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тождества Уорда-Такахаши.

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

9.4. Представление Челлена--Лемана. Формула Лемана-Симанчика-Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Куткоского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм.

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

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

9.7. Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

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

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

9.10. Стандартная модель. $W$- и $Z$-бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Каббибо-Кобаяши-Маскава.

9.11. $\beta$-распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.

9.12. Нарушение CP инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов итяжелых мезонов.

9.13. 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.

9.14. Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи 't~Хоофта-Полякова. Действие Новикова-Весса-Зумино-Виттена.

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

9.16. Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы.

9.17. Формализм Бекки-Руэ-Стора-Тютина. Теоремы об отсутствии перенормировок.

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

9.19. Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

**Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену:**

1. Уравнения движения классических систем. Принцип наименьшего действия. Формализм Лагранжа.
2. Слабонеидеальный бозе-газ. Сверхтекучесть.
3. Уравнения движения классических систем в форме Гамильтона. Теорема Лиувилля.
4. 4.Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.
5. Интегрирование уравнений движения классических частиц. Одномерное движение, движение в центральном поле.
6. Удельная теплоемкость решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Ангармонизм и тепловое расширение.
7. Распад частиц, упругие столкновения и сечение рассеяния в нерелятивистской классической механике; формула Резерфорда.
8. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.
9. Малые колебания классических систем. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс.
10. Магнетизм. Обменное взаимодействие. Гамильтониан Гейзенберга.
11. Классическое движение твердых тел. Угловая скорость, тензор инерции и вращательный момент. Уравнения Эйлера.
12. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау.
13. Уравнения движения классических систем в форме Гамильтона— Якоби.
14. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ).
15. Принцип относительности. Метрика четырехмерного пространства- времени. Преобразование Лоренца.
16. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков.
17. Четырехмерные векторы и тензоры в специальной теории относительности. Четырехмерная скорость.
18. Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока.
19. Принцип наименьшего действия в релятивистской классической механике. Энергия и импульс релятивистской частицы.
20. Эффект Шубникова-де Газа. Функция Грина для электронов при рассеянии на примесях.
21. Распад частиц и упругие столкновения в релятивистской классической механике.
22. Теория оптической ориентации спинов в полупроводниках. Роль релаксации спина.
23. Уравнения движения заряда в электромагнитном поле. Калибровочная (градиентная) инвариантность.
24. Механизмы спиновой релаксации в твердых телах.
25. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.

26. Явление слабой локализации в полупроводниковых наноструктурах.

27. Уравнения электромагнитного поля. Уравнение непрерывности. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

28. Кулоновская щель в плотности состояний слаболегированного полупроводника.

29. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле.

30. Метод оптимальной флуктуации в теории неупорядоченных полупроводников.

31. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.

32. Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний.

33. Электромагнитные волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.

34. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.

35. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара—Вихерта. Излучение электромагнитных волн.

36. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность.

37. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

38. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктационно- диссипативная теорема.

39. Движение частицы в гравитационном поле. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.

40. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона.

41. Уравнения гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.

42. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

43. Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центрально-симметричное гравитационное поле.

44. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание и теория Бардина— Купера—Шриффера.

45. Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении. Гравитационные линзы.

46. Кинетическое уравнение для фононов в твердом теле. Теплопроводность.

47. Электростатическое поле проводников. Энергия электростатического поля.

48. Колебания решетки. Акустические и оптические фононы.

49. Электростатическое поле в диэлектриках. Термодинамика диэлектриков в электрическом поле.

50. Тензор деформации и внутренних напряжений. Закон Гука для кристаллов.

51. Постоянное магнитное поле в среде. Термодинамические соотношения в магнитном поле.

52. Полупроводники. Метод эффективной массы и водородоподобные примеси.

53. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.

54. Металлы. Поверхность Ферми. Плазмоны.

55. Уравнения электромагнитных волн в среде в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости.

56. Кристаллы. Зонная теория твердых тел. Блоховские волновые функции.

57. Соотношения Крамерса—Кронига. Плоские монохроматические волны в среде.

58. Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы и смесь идеальных газов.

59. Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах. Принцип взаимности.

60. Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиса. Критическая точка.

61. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея.

62. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.

63. Пространственная дисперсия электромагнитных волн в среде. Естественная оптическая активность.

64. Распределение Бозе. Вырожденный бозе-газ и конденсация Бозе— Эйнштейна.

65. Ионизационные потери быстрых частиц в среде. Излучение Черенкова.

66. Распределение Ферми. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях.

67. Уравнения движения идеальной жидкости. Потоки энергии и импульса. Сохранение циркуляции скорости.

68. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Одноатомный идеальный газ.

69. Уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.

70. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

71. Турбулентность и неустойчивость ламинарных течений. Теория Ландау—Хопфа.

72. Термодинамические величины и термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства.

73. Звуковые волны. Геометрическая акустика.

74. Роль энергии в статистической механике. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

75. Одномерное движение сжимаемого газа. Образование ударных волн.

76. Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля.

77. Солитоны и уравнение КДВ. Бесстолкновительные ударные волны.

78. Вторичное квантование систем тождественных фермионов. Квантованное электронное поле.

79. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.

80. Вторичное квантование системы тождественных бозонов. Квантованное электромагнитное поле.

81. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. Н-теорема Больцмана.

82. Принцип неразличимости тождественных частиц в квантовой механике. Симметрия волновой функции при перестановках частиц.

83. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов.

84. Сечение рассеяния частиц в борновском приближении. Формула Резерфорда.

85. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка.

86. Фазовая теория упругого рассеяния частиц. Сечение рассеяния и его свойства.

87. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы.

88. Уравнение Паули для описания движения заряженной частицы со спином в потенциальном и магнитном полях. Спиновый магнитный момент.

89. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны.

90. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура уровней энергии атомов.

91. Уравнение Шредингера и его свойства. Стационарное уравнение Шредингера.

92. Самосогласованное центрально-симметричное поле и метод Томаса— Ферми для описания многоэлектронных атомов.

93. Уравнение Шредингера и его свойства. Стационарное уравнение Шредингера.

94. Спин. Оператор спина. Волновые функции частиц со спином. Частицы со спином 1/2.

95. Решение уравнения Шредингера для одномерного гармонического осциллятора.

96. Правило квантования Бора-Зоммерфельда и прохождение сквозь барьер в квазиклассическом приближении.

97. Решение уравнения Шредингера для частицы в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса. Шаровые функции.

98. Одномерная волновая функция в квазиклассическом приближении. Переход через классическую точку остановки частицы.

99. Решение уравнения Шредингера для одноэлектронного атома или иона. Дискретный и непрерывный спектры.

100.Теория возмущений, зависящих от времени по периодическому закону. Золотое правило квантовой механики.

101.Оператор момента в квантовой механике. Правило сложения моментов. Коэффициенты Клебша—Гордона.

102.Теория возмущений, зависящих от времени. Внезапные и адиабатические возмущения.

103. Одновременная измеримость физических величин в квантовой механике. Соотношения неопределенности.

104. Стационарная теория возмущений для невырожденных и вырожденных уровней.

**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. Давыдов А. С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., ФМЛ, 2001.

5. Шифф Л. Квантовая механика. М. ИЛ. 1957.

6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: ФМЛ, 2001.

7. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Квантовая электродинамика. М.: ФМЛ, 2001.

8. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б., Квантовая теория поля. В 2-х томах. М.: Мир, 1984.

9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.: ФМЛ, 2001.

10. Румер Ю.Б. , Рывкин С.М., Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, 1971.

11. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991.

12. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.

13. Кубо Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1967.

14. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Статистическая физика. Ч.2. М.: Наука, 2000.

15. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.

16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Гидродинамика. М.: ФМЛ, 2001.

17. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.

**Дополнительная литература**

1. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2001.

2. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д., Строение и эволюция вселенной. М.: Наука, 1975.

3. Вигнер Е., Теория групп и ее приложение к квантовой механике. М.: ИЛ, 1961.

4. Абрикосов А.А., Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.

5. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск: РиХД, 2001.

6. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2000.
7. Абрикосов А.А., Горьков Л.П., Дзялошинский И.Е. , Методы квантовой теории поля в статистической физике. М.: Физматгиз, 1962.
8. Окунь Л.Б., Кварки и лептоны. М.: Наука, 1990.