

1.3.3

Теоретическая Физика



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Физический факультет**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
и инновациям  
Ашурбеков Н.А.



«29» 09 2022 г.

**ПРОГРАММА - МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по подготовке кадров высшей квалификации  
по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»  
(физико-математические науки)

**Направленность (профиль) программы**

**1.3.3. «Теоретическая физика»**

1.3.3

Теоретическая Физика

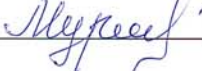
Программа – минимум кандидатского экзамена по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия, направленность (профиль) программы 1.3.3 «Теоретическая физика» составлена в 2022 году на основе паспорта научной специальности и учебного плана ДГУ по образовательной программе подготовки аспирантов.


Разработчик (и): кафедра теоретической и вычислительной физики, Муртазаев А.К., чл.- Корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Программа – минимум кандидатского экзамена одобрена: на заседании ученого совета физического факультета от «31» июня 2022 г., протокол № 10

Председатель совета  Курбанисмаилов В.С.  
«31» июня 2022 г

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» июня 2022 г., протокол № 10

Председатель  Ж.Х. Мурлиева

Программа – минимум кандидатского экзамена по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия согласована с Управлением аспирантуры и докторантуры «30» 09 2022 г.  Э.Т. Рамазанова

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности  
1.3.3 «Теоретическая физика»  
по физико-математическим наукам**

**Введение**

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

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Института ядерных исследований РАН, ГИЦ «Курчатовский институт», МИФИ и МГУ им. М.В. Ломоносова.

**1. Механика**

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Теория поля

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3. Электродинамика сплошных сред

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.

Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.

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.

Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность. Магнитная гидродинамика. МГД-аолкы. Проблема динамо.

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

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

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

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

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

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.

Звук. Звуковые волны. Геометрическая акустика.

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

Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргерса.

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

Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.

Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. 5ВД-теорема. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка.

Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау.

Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.

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

## 5. Квантовая механика

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

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

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

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

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

Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

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

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

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

Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при на

линии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

## 6. Статистическая физика

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

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

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

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

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

Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиуса. Критическая точка.

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

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



Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Ква-,1 частицы.

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

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

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

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

## 7. Теория конденсированного состояния

(Раздел для специалистов по теории твердого тела)

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

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

Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.

Поверхность Ферми. Диаманитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа-ван Альфвена.

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

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

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

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

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

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

Функции Грина. Корреляционные функции. Термодинамический предел и квазисредние. Основные принципы диаграммной техники. Уравнение

Дайсона. Вершинная функция. Многочастичные функции Грина. Диаграммная техника при конечных температурах. Кинетические уравнения. Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы. Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Эффекты локализации электронов в одно- и двумерных системах, перколяционные явления.

## 8. Квантовая теория полей

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

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

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

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

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

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

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

Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

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

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

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

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

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

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

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

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

Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы.

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

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

Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюоинная плазма.

**Основная литература**

1. Вронская Е.С. Теоретическая механика (статика) [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.С. Вронская, Г.В. Павлов, Е.Н. Элекина. — Электрон. текстовые данные. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 140 с. — 978-5-9585-06651. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58835.html>
2. Диевский, Виктор Алексеевич. Теоретическая механика : учеб. пособие / Диевский, Виктор Алексеевич. - Изд. 2-е, испр. - СПб. [и др.] : Лань, 2009, 2008. - 320 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Рекомендовано УМО. - ISBN 978-5-8114-0606-7 : 289-74. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
3. Давыдов, Александр Сергеевич. Квантовая механика : Учебное пособие для ун-тов / Давыдов, Александр Сергеевич. - Изд. 2-е, испр. перераб. - М. : Наука, 1973. - 703 с. ; 22 см. - 1-73. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
4. Ландау, Л.Д. Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1974. - 752 с. - (Серия "Теоретическая физика". Т.3). - 0-0. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
5. Васильев А.С. Основы теоретической механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.С. Васильев, М.В. Канделя, В.Н. Рябченко. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 191 с. — 978-5-4486-0154-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/70776.html>
6. Игнатьева Т.В. Теоретическая механика. Статика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.В. Игнатьева, Д.А. Игнатьев. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2018. — 101 с. — 978-5-4487-0131-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72539.html>
7. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html>
8. Магазинников А.Л. Введение в квантовую механику [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Л. Магазинников, В.А. Мухачев. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 112 с. — 978-5-4332-0046-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13860.html>
9. Толмачев В.В. Основы квантовой механики [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Толмачев В.В., Федотов А.А., Федотова С.В.—

- Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005.— 240 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=16586>. — «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю
10. Квантовая механика частиц со спином в магнитном поле [Электронный ресурс] / Е.М. Овсюк [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2017. — 510 с. — 978-985-08-2132-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/74074.html>
  11. Балашов В.В. Курс квантовой механики [Электронный ресурс] / В.В. Балашов, В.К. Долинов. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. — 336 с. — 5-93972-077-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16546.html>
  12. Зоммерфельд Арнольд Термодинамика и статистическая физика [Электронный ресурс] / Арнольд Зоммерфельд. — Электрон. текстовые данные. — Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2002. — 480 с. — 5-93972-178-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17666.html>
  13. Березин Ф.А. Лекции по статистической физике [Электронный ресурс] / Ф.А. Березин. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2002. — 192 с. — 5-93972-193-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16556.html>
  14. Московский С.Б. Курс статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учебник для вузов / С.Б. Московский. — Электрон. текстовые данные. — М. : Академический Проект, Фонд «Мир», 2015. — 317 с. — 5-8291-0616-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/36735.html>
  15. Лисейкина Т.А. Курс физики. Раздел шестой. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.А. Лисейкина, Т.Ю. Пинегина, А.Г. Черевко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013. — 122 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45476.html>
  16. Пастухов Д.И. Элементы теории поля [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.И. Пастухов, Н.В. Кулиш. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 92 с. — 978-5-7410-1533-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69978.html>
  17. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Физматлит, 2001.
  18. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Физматлит, 2001.
  19. Берестеский В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая

электродинамика. М.: Физматлит, 2001

20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2001.

### Дополнительная литература

1. Шостак А.С. Электродинамика сплошных сред [Электронный ресурс] : курс лекций для студентов очного, заочного и дистанционного обучения специальности 201300 / А.С. Шостак. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 190 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72227.html>
2. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html>
3. Смирнов В.П. Курс статистической физики [Электронный ресурс] : конспект лекций / В.П. Смирнов. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2010. — 101 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67234.html>
4. Михнев Л.В. Термодинамика и статистическая физика [Электронный ресурс] : практикум / Л.В. Михнев, Е.А. Бондаренко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 125 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69442.html>
5. Диевский, Виктор Алексеевич. Теоретическая механика. Интернет-тестирование базовых знаний : учеб. пособие / Диевский, Виктор Алексеевич, Диевский Алексей Викторович. - СПб;М;Краснодар : Лань, 2010. - 246-40. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
6. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2001.
7. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.
8. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. М. Ижевск: РиХД, 2001.
9. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2000.