

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный педагогический университет»
(ТГПУ)

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического

факультета

Е.Г. Пьяных



ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности

1.3.3. Теоретическая физика

Отрасль науки: физико-математические науки

Разработчики программы кандидатского экзамена по научной специальности
1.3.3. Теоретическая физика:

Доктор физ.-мат. наук, профессор,
ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра
теоретической физики

И. Л. Бухбиндер

Доктор физ.-мат. наук, профессор,
директор научно-образовательного центра
теоретической физики

В. Я. Эпп

Программа кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика утверждена на заседании научно-образовательного центра теоретической физики «16» марта 2026 г., протокол № 4

Директор научно-образовательного центра
теоретической физики

В. Я. Эпп

Согласовано:

Директор научной библиотеки им. А.М. Волкова

Я. Ю. Остапенко

Программа кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика разработана в соответствии с паспортом указанной научной специальности <https://vak.gisnauka.ru/search-analytical-system/reference-materials>

Введение

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

Разделы программы

1. Механика
2. Теория поля
3. Электродинамика сплошных сред
4. Механика сплошных сред и физическая кинетика
5. Квантовая механика
6. Статистическая физика
7. Общая теория относительности

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. Одномерный гармонический осциллятор. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, нормальные координаты. Колебания при наличии трения.
5. Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.
6. Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, канонические преобразования, 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 быстродвижущегося 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. Центральносимметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.
9. Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновском и первом пост-ньютоновском приближениях (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет).
10. Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуумдоминированной стадиях. Инфляционная модель Вселенной.

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

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.
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 Бюргерса.

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.

Квантовая механика

1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Соотношения неопределенности.
2. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный гармонический осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.
3. Математический аппарат квантовой механики, пространство состояний, линейные эрмитовы операторы, представление векторов и операторов, задача на собственные значения. Физические величины и эрмитовы операторы. Координатное и импульсное представления. Квантовое измерение. Чистое и смешанное состояния. Оператор эволюции. Статистический оператор, уравнение фон Неймана. Постулаты квантовой механики.
4. Орбитальный угловой момент. Квантование углового момента. Собственные функции углового момента в координатном представлении. Спин. Оператор спина. Волновая функция частицы со спином. Частица со спином в магнитном поле.
5. Движение в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.
6. Стационарная и нестационарная теория возмущений. Вероятности переходов. Возмущения, периодически зависящие от времени. Золотое правило Ферми. Сечение рассеяния и его вычисление в борновском приближении.
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. Периодическая система Менделеева.
9. Столкновения частиц. Общая теория. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта-Вигнера.
10. Релятивистские волновые уравнения. Уравнение Клейна-Фока-Гордона. Уравнение Дирака, трактовка состояний с отрицательной энергией, нерелятивистский предел уравнения Дирака.
11. Интегралы по траекториям, функция Грина, представление функции Грина фейнмановским интегралом по траекториям, классический предел в интеграле по траекториям.

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-Клаузиуса. 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. Критерий Ландау.
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.

Раздел для специалистов по теории электромагнитного излучения

Теория электромагнитного излучения

1. Спектральное разложение запаздывающих потенциалов.
2. Спектр излучения частиц при периодическом и квазипериодическом движении. Дискретный и непрерывный спектр.
3. Преобразование Лоренца для углового распределения излучения заряженной частицы.
4. Особенности излучения в нерелятивистском и ультрарелятивистском приближениях.
5. Интенсивность и мощность излучения. Угловое распределение мощности излучения в ковариантной форме.
6. Синхротронное излучение. Формула Шотта, основные характеристики синхротронного излучения.
7. Ондуляторное излучение. Приближение сильного и слабого поля ондулятора.

8. Радиационное трение. Декремент затухания колебаний частиц при квазипериодическом движении.
9. Излучение частиц при прохождении через вещество. Виды поляризационного излучения.
10. Излучение Черенкова и переходное излучение, дифракционное излучение, излучение Смита-Парселла, параметрическое рентгеновское излучение.
11. Пределы применимости классической электродинамики. Швингеровское критическое значение поля.
12. Квантовая теория излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Дипольное излучение.
13. Решение уравнения Дирака для электрона в однородном магнитном поле. Вероятность спонтанных переходов в однородном магнитном поле с учетом поляризационных эффектов.
14. Квантовая теория тормозного излучения. Формула Бете-Гайтлера. Следствия из формулы Бете-Гайтлера
15. Уравнения Максвелла в присутствии гравитационного поля. Уравнение движения заряженной частицы в электромагнитном поле в криволинейной системе координат.

Раздел для специалистов по общей теории относительности

Общая теория относительности.

1. Движение частиц в гравитационном поле.
2. Сферически-симметричная метрика. Геометрия Шварцшильда. Теорема Биркгофа.
3. Внешнее решение Шварцшильда. Геодезические. Движение тел в поле Шварцшильда. Распространение света в метрике Шварцшильда: отклонение лучей света, гравитационные линзы, красное смещение.
4. Метрика Шварцшильда в изотропных и гармонических координатах. Внутреннее решение Шварцшильда.
5. Сингулярность в решении Шварцшильда. Черная дыра, горизонт событий.
6. Заряженные и вращающиеся черные дыры. Метрики Рейсснера-Нордстрема, Керра и Керра — Ньюмена.
7. Диаграммы Пенроуза. Эффект Пенроуза. Термодинамика черных дыр.
8. Линеаризованная теория гравитации. Аналогия уравнений Эйнштейна с уравнениями Максвелла. Уравнения баланса импульса, момента импульса и энергии.
9. Гравитационные волны. Плоские гравитационные волны, поляризация гравитационных волн.
10. Точные решения уравнений Эйнштейна для гравитационных волн.
11. Излучение гравитационных волн. Замедление вращения пульсаров и ускорение вращения в двойных системах. Обнаружение гравитационных волн.
12. Космология. Модель Фридмана. Красное смещение, плотность масс, реликтовое излучение.
13. Метрика Робертсона—Уолкера и ее свойства. Движение частиц и распространение света в пространстве Робертсона—Уолкера. Измерение расстояний.
14. Проблема темной материи и темной энергии. Ускоренное расширение Вселенной. Альтернативные теории гравитации.
15. Однородные модели Вселенных Бианки.

Основная литература.

1. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 1 : Механика. - 5-е изд., стер. - 2007. - 222 с.
2. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 2 : Теория поля. - 8-е изд., стер. - 2006. - 533 с.
3. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 3 : Квантовая механика. - 5-е изд., стер. - 2002. - 803 с.
4. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика. - 5-е изд., стер. - 613 с.
5. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 8 : Электродинамика сплошных сред. - 3-е изд., стер. - 651 с.
6. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учебное пособие / Ю. Б. Румер, М. С. Рывкин. - 2-е изд. испр. и доп. - Новосибирск : НГУ, 2000, - 608 с.
7. Квасников, И. А. Термодинамика и статистическая физика : учебное пособие для вузов : в 3 т. / И.А. Квасников. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Едиториал УРСС, 2002. - Т. 1 : Теория равновесных систем : Термодинамика. - 238 с.
8. Квасников, И. А. Термодинамика и статистическая физика : учебное пособие для вузов : в 3 т. / И.А. Квасников. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Едиториал УРСС, 2002. - Т. 3 : Теория неравновесных систем. - 2003. - 447 с.
9. Ландау, Л. Д., Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. - Т. 6 : Гидродинамика. - 5-е изд., стер. - 2006. - 731 с.
10. Бьеркен, Дж. Д. Релятивистская квантовая теория : в 2 т. / Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл ; под ред. В. Б. Берестецкого. — Москва : Наука, 1978. - Т. 1 : Релятивистская квантовая механика / пер. с англ. Б. О. Кербикова. — 295 с.
11. Бьеркен, Дж. Д. Релятивистская квантовая теория : в 2 т. / Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл ; под ред. В. Б. Берестецкого. — Москва : Наука, 1978. - Т. 2 : Релятивистские квантовые поля / пер. с англ. И. М. Народецкого. — 407 с.
12. Уолд, Р. М. Общая теория относительности / Р. М. Уолд ; пер. с англ. В. Р. Гаврилова [и др.] ; ред. пер. : И. Л. Бухбиндер, С. В. Червон. — Москва : РУДН, 2008. — 692, [1] с.

Дополнительная литература.

1. Гантмахер, Ф. Р. Лекции по аналитической механике : учебное пособие для вузов / Ф. Р. Гантмахер ; под ред. Е. С. Пятницкого. — 3-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 262 с.
2. Голдстейн, Г. Классическая механика / Г. Голдстейн ; пер. с англ. А. Н. Рубашова. — Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. — 408 с.

3. Buchbinder, I. L. Introduction to Quantum Field Theory with Applications to Quantum Gravity : Oxford graduate texts / I. L. Buchbinder, I. L. Shapiro. — Oxford : Oxford University Press, 2021. — 525 p.
4. Теория излучения релятивистских частиц / под ред. В. А. Бордовицына. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 575 с.
5. Бухбиндер, И. Л. Модели теории поля : учебное пособие / И. Л. Бухбиндер. - Томск : ТГПУ, 2012. - 78 с.
6. Обухов, В. В. Штеккелевы пространства в теории гравитации : монография / В. В. Обухов. — Томск : ТГПУ, 2006. — 267 с.
7. Обухов, В. В. Классификационные проблемы в теории гравитации / В. В. Обухов, К. Е. Осетрин. — Томск : ТГПУ, 2007. — 264 с.

Интернет ресурсы

1. eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. - URL: <https://elibrary.ru/>
2. arXiv.org : электронный архив научных статей открытого доступа. - URL: <https://arxiv.org/>
3. physics42.ru : образовательный портал, посвящённый физике и её законам. - URL: <https://physics42.ru/>
4. Научная библиотеки им. А. М. Волкова ТГПУ : электронный каталог. - URL: <https://libserv.tspu.ru/novyj-elektronnyj-katalog.html>