



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)

Утверждаю

Проректор по учебной работе
А.И. Вокин

2025 г.



ПРОГРАММА

вступительного испытания для поступающих на обучение по программам
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность: 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной
физики

Иркутск 2025

1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Механика

Понятия силы и массы. Законы Ньютона и принцип относительности Галилея.

Закон изменения и закон сохранения импульса системы материальных точек.

Лагранжева механика, Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа. Циклические координаты. Законы сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле. Движение в центрально-симметричном поле, интегралы движения.

Упругие столкновения и распад частиц, сечение рассеяния, формула Резерфорда.

Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, колебания при наличии трения. Определение резонанса, примеры физических систем, в которых наблюдается резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, нормальные координаты.

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

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал, собственное время. Преобразование Лоренца. Пространство Минковского, релятивистская механика.

Электродинамика, оптика

Постоянное электромагнитное поле. Напряженности и индукции полей. Скалярный и векторный потенциалы, их связь с полями. Закон Кулона. Электрический потенциал, Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.

Система уравнений Максвелла. Граничные условия. Уравнения Пуассона и Лапласа. Тензор электромагнитного поля. Инварианты поля. Уравнения Максвелла в ковариантной форме. Квазистационарные явления. Скин-эффект. Дипольное излучение в волновой зоне. Излучение заряда, движущегося по окружности. Особенности излучения при больших скоростях

Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля по плоским волнам, собственные колебания поля. Рассеяние волн.

Приближение геометрической оптики. Принцип Ферма, законы отражения и преломления света. Линзы. Когерентность электромагнитных волн. Интерференция. Интерференционные приборы. Принцип голографии. Дифракция. Приближение Френеля. Приближение Фраунгофера. Формула Эйнштейна. Внутренний и внешний фотоэффекты. Вакуумные и кремниевые фотоэлектронные умножители.

Термодинамика и статистическая физика

Основные принципы статистической механики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение, каноническое и большое каноническое распределения Гиббса.

Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Первое и второе начала термодинамики. Теорема Нернста. Свободная энергия, химический потенциал, другие термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье.

Фазовые переходы и критические явления. Фазовые переходы второго рода, теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

Распределение Максвелла-Больцмана. Термодинамика идеальных газов, теорема равнораспределения. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Кинетическое уравнение Больцмана и его стационарное решение. H-теорема Больцмана.

Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Вырожденный идеальный ферми-газ. Идеальный ферми-газ, уравнение состояния и больцмановский предел. Вырожденный электронный газ и его термодинамика в нерелятивистском и ультрарелятивистском пределах. Роль вырожденного электронного газа в устойчивости гидростатического равновесия звезды □ белого карлика.

Законы излучения абсолютно черного тела. Распределение Планка и два его классических предела, термодинамика равновесного фотонного газа.

Твердые тела, колебания решетки, взаимодействие электронов с решеткой, фононы и другие квазичастицы. Модель Эйнштейна и модель Дебая теплоемкости твердого тела. Вырожденный бозе-газ, конденсация Бозе-Эйнштейна. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

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

Элементы теории погрешностей измерения. Распределение Гаусса. Распределение Пуассона. Флуктуации. Абсолютная и относительная погрешности. Случайная и систематическая погрешности.

Квантовая физика

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. Тождественность частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.

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

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

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

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Основные характеристики атомных ядер. Квантовые характеристики ядерных состояний.

Ядерные силы и их свойства. Модели ядер: модель оболочек, капельная модель, модель ферми-газа. Основные положения ядерной модели оболочек, эксперименты, подтверждающие оболочечную модель ядра. Одночастичные и коллективные возбуждения ядра.

Радиоактивные превращения ядер, α -распад, β -распад, γ -излучение. Резонансное поглощение γ -квантов ядрами, эффект Мессбауэра.

Деление и синтез ядер. Ядерная энергия. Реакторы. Ядерные реакции под действием γ -квантов, протонов, нейтронов и α - частиц. Дейтрон и его свойства.

Ядерные взаимодействия при высоких энергиях. Взаимодействие ядерных частиц и γ -квантов с веществом, энергетические потери частиц при прохождении через вещество.

Космические лучи, прохождение космических лучей через атмосферу Земли.

Ядерные реакции в звездах и эволюции звезд. Реакции под действием нейтронов, p - и s -процессы, внутризвездный синтез химических элементов. Термоядерные реакции на Солнце, светимость и нейтринное излучение Солнца.

Элементарные частицы и их взаимодействия. Классификация частиц Пространственно-временные симметрии (непрерывные и дискретные) и лоренц-инвариантность, внутренние

симметрии и внутренние квантовые числа (спин, изоспин, лептонные числа, барионное число, аромат, цвет), законы сохранения.

Слабое взаимодействие. Слабые распады лептонов, мезонов и барионов. Феноменология электрослабых взаимодействий, процессы с заряженными и нейтральными токами.

Физика нейтрино: массы, смешивание, осцилляции. Рассеяние нейтрино на электронах, нуклонах и ядрах.

Астрофизические источники нейтрино. Роль нейтрино в астрофизике высоких энергий. Солнечные нейтрино и нейтрино от сверхновых. Методы регистрации астрофизических нейтрино.

Сильное взаимодействие. Изотопическая инвариантность нуклон-нуклонных взаимодействий. Сильновзаимодействующие частицы – адроны (барионы, мезоны, резонансы) и ядра. Примеры сильных, слабых и электромагнитных распадов адронов. Спектроскопия адронов. Кварковая структура адронов. Цвет – сильный заряд кварков, глюоны как переносчики сильного взаимодействия кварков.

Принципы и методы ускорения заряженных частиц. Методы детектирования частиц. Примеры уравнений движения релятивистской заряженной частицы в электромагнитном поле. Линейные и циклические ускорители элементарных частиц и ядер. Циклотронная частота, синхронное излучение. Ускорители на встречных пучках (коллайдеры). Большой адронный коллайдер.

Космические лучи и их взаимодействие с атмосферой Земли. Широкие атмосферные ливни. Результаты экспериментальных исследований энергетического спектра и элементного состава космических лучей. Наземные установки для исследования космических лучей.

2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Физматлит, 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.: Физматлит, 2001.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.
6. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.Г. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2001.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. М.: Физматлит, 2001.
8. Ю.Румер Ю.Б., Рыбкин С.М. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, 1971.
9. И.Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М: Изд-во МГУ, 1991.
10. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. 4.2. М.: Наука, 2000.
11. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.
12. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2001.
13. Кунь Л.Б. Кварки и лептоны. М.: Наука, 1990.
14. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. В 2 т. М.: Мир, 1984.
15. Райдер Л. Элементарные частицы и симметрии. М.: Наука, 1983.
16. Клоуз Ф. Кварки и партоны. Введение в теорию. М. Мир, 1982
17. Хуанг К. Кварки, лептоны и калибровочные поля. М. Мир, 1985.

18. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 1. Физика атомного ядра. С-Петербург-Москва-Краснодар: Лань, 2016 г.
19. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 2. Физика ядерных реакций. С-Петербург-Москва-Краснодар: Лань, 2016.
20. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т3. Физика элементарных частиц. С-Петербург-Москва-Краснодар:.
21. Дж Сквайрс, Практическая физика. 1971, издательство "Мир"
22. А.Н. Зайдель, Элементарные оценки ошибок измерений. 1968. Наука.
23. Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей. 2007 М. Университетская книга. Логос
24. .. Д. Худсон. Статистика для физиков. М. Мир. 1967.

Дополнительная литература

- ...1. Индурайн Ф. Квантовая хромодинамика. М.: Мир, 1986.
2. Райдер Л. Элементарные частицы и симметрии. М.: Наука, 1983.

3. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Экзамен проводится устно по билетам.

4. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

1. Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.
2. Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.
3. Малые, колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.
4. Преобразование Лоренца. Релятивистская механика.
5. Постоянное электрическое поле. Постоянное магнитное поле. Уравнения Максвелла. Сила Лоренца. Закон Кулона. Закон Био-Саварра-Лапласа. Закон Фарадея. Электрический и магнитный диполи. Электрическое и магнитное поле в веществе. Диэлектрики. Магнетики. Теорема Лармора. Плотность и поток энергии.
6. Электрический ток в различных средах. Законы Киргхофа. Мощность постоянного и переменного электрического поля. Реактивные элементы электрических цепей. Импеданс. Символический метод расчета.
7. 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.
8. Основные принципы статистической механики. Функция распределения и матрица плотности. Теорема Лиувилля. Закон возрастания энтропии.
9. Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Первое и второе начала термодинамики. Теорема Нернста. Свободная энергия, химический потенциал,

другие термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье.

10. Фазовые переходы и критические явления. Фазовые переходы первого и второго рода, теория Ландау. Критические индексы.

11. Распределение Максвелла-Больцмана. Термодинамика идеальных газов, теорема равнораспределения. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Кинетическое уравнение Больцмана и его стационарное решение.

12. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Вырожденный идеальный ферми-газ. Идеальный ферми-газ, уравнение состояния и больцмановский предел.

13. Законы излучения абсолютно черного тела. Распределение Планка и два его классических предела, термодинамика равновесного фотонного газа.

14. Приближение геометрической оптики. Принцип Ферма, законы отражения и преломления света. Линзы.

15. Свет как электромагнитные волны. Интерференция. Интерференционные приборы. Принцип голографии. Дифракция. Приближение Френеля. Приближение Фраунгофера.

16. Формула Эйнштейна. Внутренний и внешний фотоэффекты. Вакуумные и кремниевые фотоэлектронные умножители.

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

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

19. Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов.

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

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

22. Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса—Ферми. Тонкая структура атомных уровней.

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

24. Космические лучи, гамма-кванты высоких энергий и методы их регистрации.

Разработчик:

доктор физ.-мат. наук Н.М. Буднев