

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАДРЫ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ
(АСПИРАНТУРА)



УТВЕРЖДАЮ

Декан Физического факультета НИ ТГУ

С.Н. Филимонов

«27» сентября 2018 г.

ПРОГРАММА

вступительных экзаменов по специальной дисциплине

01.04.23 «Физика высоких энергий»

(направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия)

Томск 2018

I. Основные положения

Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в два этапа и в следующих формах:

Первый этап – экзаменационный по вопросам специальной дисциплины соответствующей направленности образовательной программы аспирантуры.

Второй этап – собеседование с руководителем основной образовательной программы аспирантуры по соответствующему направлению подготовки.

Для проведения собеседования поступающий предоставляет в отборочную комиссию до проведения вступительного испытания следующие документы:

- мотивационное письмо, в котором он обосновывает выбор направленности программы аспирантуры, выбор предполагаемого научного руководителя из числа преподавателей и научных работников университета, имеющих право осуществлять научное руководство аспирантами по соответствующей направленности образовательной программы аспирантуры (научной специальности), излагает профессиональные планы и цели подготовки и защиты кандидатской диссертации по выбранной научной специальности;

- рекомендательное письмо от предполагаемого научного руководителя с согласием осуществлять научное руководство в случае поступления на соответствующую программу аспирантуры. Рекомендательное письмо должно отражать наличие (или отсутствие) у поступающего:

- научного задела по теме предполагаемого диссертационного исследования;

- способностей и мотивации к проведению самостоятельных научных исследований.

Итоги каждого этапа вступительного испытания оформляются отдельным протоколом.

Этапы вступительного испытания по специальной дисциплине	Максимальное количество баллов
Первый этап (экзаменационный)	50
Второй этап (собеседование)	50

Программа вступительного испытания предназначена для поступающих в аспирантуру в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче вступительного экзамена по специальной дисциплине.

В основу данной программы положены следующие дисциплины: механика, теория поля, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория поля, теория элементарных частиц, физика полупроводников, теория вероятности и математической статистики.

Программа сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета и магистратуры.

II. Содержание вступительного испытания и темы для самостоятельной подготовки

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 больших расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

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

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. 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 атомных 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 наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

4. Статистическая физика

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.

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.

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—Клаузиса. 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. Квазичастицы.

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. Флуктационно-диссипативная теорема.

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

5. Теория элементарных частиц

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—Такахаси.

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

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.

b-распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.

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

Конфайнмент кварков. Асимптотическая свобода в сильном взаимодействии.

Глубоконеупругое рассеяние лептонов. Скейлинг. Партоновая модель.

Осцилляции нейтрино.

Теория возмущений. Диаграммы Фейнмана.

Экспериментальный статус теории.

Применение КХД к процессам на Большом Адронном Коллайдере. Образование бозонов Хиггса в адронных соударениях.

Теория Великого объединения.

6. Физика полупроводников

Эффективная масса носителей заряда. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок. Уравнение электронейтральности. Заполнение электронами примесных центров. Зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда от температуры в собственном и примесном полупроводниках. Полупроводник, содержащий донорную и акцепторную примесь.

Плотность электрического тока и потока энергии. Тензоры кинетических коэффициентов. Электропроводность полупроводников; многодолинный полупроводник. Эффект Холла.

Полупроводники n- и p-типа. Характеристики потенциального барьера. Вольт-амперные характеристики идеального p-n перехода. Особенности реальных p-n переходов. Пробой в p-n переходе. p-n переход на малом переменном сигнале. Переходные процессы в p-n переходе. Туннельный диод.

7. Теория вероятности и математической статистики

Понятие случайного события и вероятности этого события. Пространство элементарных событий. Элементарные и составные события. Алгебра событий. Диаграммы Виенна. Вероятностные пространства. Классическая формула вероятности. Геометрическая вероятность. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Условная вероятность. Формула полной вероятности и формула Байеса.

Дискретные случайные величины. Функция распределения и ее свойства. Биномиальное распределение, распределение Пуассона, геометрическое и гипергеометрическое распределения. Непрерывные случайные величины. Парадокс непрерывности. Функция плотности распределения и ее свойства. Связь между дифференциальной и интегральной функцией распределения. Равномерное, нормальное, показательное и гамма-распределение. Числовые характеристики случайных величин.

Центральная предельная теорема.

Функции одного случайного аргумента для дискретных и непрерывных случайных величин. Функции двух случайных аргументов.

Условные и безусловные законы распределения двумерных случайных величин. Необходимые и достаточные условия независимости случайных величин. Числовые характеристики двумерных случайных величин. Коэффициент корреляции и его свойства. Функции регрессии.

Методы оценки параметров. Критерии качества статистических оценок. Точечные оценки - метод моментов и метод максимального правдоподобия. Распределения Стьюдента, Пирсона и Фишера. Интервальные оценки. Оценка параметров нормального распределения по методу доверительных интервалов

Общая схема проверки статистических гипотез. Ошибки I-го и II-го рода. Параметрические критерии для средних и дисперсий для выборок из нормальных генеральных совокупностей. Критерии Кочрена и Бартлетта. АЕ-критерий. Критерии согласия Пирсона и Колмогорова. Непараметрические критерии - критерий знаков, серийный критерий, критерий Колмогорова-Смирнова. Отсев грубых ошибок эксперимента.

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. Шифф Л. Квантовая механика. М. Изд-во иностр. лит., 1957.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.
7. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2001.
8. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. В 2 т. М.: Мир, 1984.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.: Физматлит, 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 МГУ, 1991.
12. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 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. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.
17. В.Е Гмурман., Теория вероятностей и математическая статистика, М: Высшая школа, 1976.
18. В.Е Гмурман., Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике, М: Высшая школа, 1979.
19. Е.Н. Львовский , Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для втузов.,М: Высшая школа, 1988.
20. Киреев П.С. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
21. Шалимова К.В. Физика полупроводников: Учебник. 4_е изд., стер.— СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 400 с
22. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах. Перев. с англ. 2-ое перераб. и доп. издание.- М: Мир, 1984.
23. В.И. Гаман. Физика полупроводниковых приборов. 2-ое перераб. и доп. издание. Томск, 2000 - 425 с.
24. М.Б. Волошин и К.А. Тер-Мартirosян, —Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, М: Энергоатомиздат 1981

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.: Изд-во иностр. лит., 1961.
4. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.
5. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. М.: 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.

III. Критерии формирования оценок

Билет вступительного испытания включает два вопроса. Каждый из вопросов билета оценивается баллами от 0 до 25 в соответствии со следующей таблицей.

Количество баллов	Критерии
25-20	Полный безошибочный ответ с правильным применением понятий и определений.
19-15	Правильный и достаточно полный, не содержащий существенных ошибок ответ. Оценка может быть снижена за отдельные несущественные ошибки.
14-10	Недостаточно полный объем ответа, наличие ошибок и некоторых пробелов в знаниях.
9-5	Неполный объем ответов, наличие ошибок и пробелов в знаниях.
4-0	Отсутствие необходимых знаний, отрывочный, поверхностный ответ.

Проверка и оценка ответов на вопросы вступительного экзамена проводится аттестационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

Общая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми членами аттестационной комиссии по результатам вступительного экзамена.

Минимальное количество баллов, необходимое для сдачи и получения положительной оценки за вступительное испытание по специальности – 60 баллов

Вступительное испытание по специальной дисциплине носит приоритетный характер при ранжировании списков поступающих.

Программа обсуждена и рекомендована методической комиссией ФФ, протокол № 06-18 от 28.06.2018.