

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



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ТГПУ
А.Н. Макаренко
2022 г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания в аспирантуру

по научной специальности
1.3.3 Теоретическая физика

Отрасль науки: физико-математические науки

Томск 2022

Пояснительная записка

Программа вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика составлена в соответствии с основными образовательными программами подготовки специалиста или магистра по соответствующему направлению подготовки.

Вступительные испытания проводятся в форме экзамена, цель которого выявить способности и готовность абитуриента к обучению по образовательной программе аспирантуры по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Ответ абитуриента оценивается по пятибалльной системе.

Критерии оценки ответа абитуриента

5 - «Отлично»: Абитуриент демонстрирует высокий уровень владения теоретическими знаниями; свободно ориентируется в вопросах теории и практики. В своем ответе он апеллирует к классическим трудам и работам современных исследователей; проявляет умение доказательно объяснять факты и явления; владеет навыком выявлять причинно-следственные и межпредметные связи. Абитуриент обнаруживает умение критично относиться к научной информации, доказательно формулирует свое мнение. Ответ логически построен, речь грамотная, осмысленно использует в суждениях общенаучную и профессиональную терминологию, не затрудняется в ответах на заданные членами комиссии вопросы.

4 - «Хорошо»: Абитуриент демонстрирует достаточно высокий уровень овладения теоретическими знаниями, свободно ориентируется в специальных терминах. В ответе абитуриент ссылается на классические общепризнанные научные труды и работы современных авторов. Абитуриент проявляет умение доказательно объяснять факты и явления, однако, допускает некоторые неточности. Ответ иллюстрируется собственными наблюдениями, примерами из учебной практической деятельности; прослеживаются межпредметные связи. В целом ответ имеет логическую последовательность в изложении материала; речь профессионально грамотная; на вопросы предоставляет развернутые правильные ответы.

3 - «Удовлетворительно»: Абитуриент знает основной материал, но испытывает трудности в его самостоятельном изложении; ориентируется в вопросах с помощью дополнительных уточнений. Испытывает трудности в объяснении фактов и процессов. В ответе ссылается на классические труды и работы современных исследователей, но не в полном объеме; слабо прослеживаются межпредметные связи; нарушена логика в выстраивании ответа. После дополнительных наводящих вопросов абитуриент высказывает собственные суждения относительно дискуссионных вопросов, но проявляет недостаточно сформированную профессиональную позицию; допускает неточности при использовании общенаучной и профессиональной терминологии.

2 - «Неудовлетворительно»: Абитуриентом не усвоена большая часть изученного ранее материала, имеются лишь отдельные отрывочные представления, не прослеживаются межпредметные связи. Не проявлена способность доказательно объяснять факты и процессы; отсутствует умение критично относиться к научной информации, а также собственная точка зрения и логические рассуждения относительно проблемных вопросов. Отрывочные теоретические высказывания не иллюстрируются собственными наблюдениями, примерами из учебной практической деятельности. Абитуриент не владеет общенаучной и профессиональной терминологией, испытывает значительные затруднения в ответах на уточняющие и дополнительные вопросы членов комиссии.

**Содержание специальной дисциплины,
соответствующей научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика**

I. Классическая механика

Основные положения механики Ньютона. Объекты и модели классической механики. Пространство и время. Системы отсчета. Преобразования Галилея. Инвариантность и ковариантность уравнений движения при переходе от одной инерциальной системы к другой. Законы Ньютона. Уравнения движения в классической механике.

Лагранжева формулировка механики. Классификация связей. Конфигурационное пространство. Вариационные принципы механики. Принцип Гамильтона. Уравнения Лагранжа. Основные свойства уравнений Лагранжа и функции Лагранжа. Функция Лагранжа свободной частицы. Функция Лагранжа и уравнения движения системы взаимодействующих частиц.

Законы сохранения. Одномерное движение. Понятие об интегралах движения. Законы сохранения. Одномерное движение. Преобразование сохраняющихся величин при изменении системы отсчета.

Малые колебания. Функция Лагранжа линейного гармонического осциллятора. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Свободные колебания в системах со многими степенями свободы.

Движение в центральном поле. Общие свойства движения в центральном поле. Нахождение траектории в центральном поле. Задача Кеплера. Движение частицы в кулоновском поле отталкивания.

Столкновения и рассеяние частиц. Постановка задачи о столкновении частиц. Система отсчета центра инерции. Упругие и неупругие столкновения. Преобразование координат, импульсов и угла рассеяния частиц от системы центра инерции к лабораторной системе. Эффективное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.

Гамильтонова формулировка механики. Канонические уравнения движения. Фазовое пространство. Интегралы движения и скобки Пуассона. Канонические преобразования. Производящие функции. Теорема Лиувилля. Уравнение Гамильтона-Якоби. Разделение переменных в уравнении Гамильтона-Якоби.

Движение относительно неинерциальных систем отсчета. Функция Лагранжа системы частиц в неинерциальной системе отсчета. Уравнения движения, силы инерции.

Динамика абсолютно твердого тела. Кинетическая энергия абсолютно твердого тела. Тензор инерции и его свойства. Момент импульса абсолютно твердого тела. Уравнения движения абсолютно твердого тела. Уравнения Эйлера.

II. Классическая электродинамика

Обзор истории создания теории электромагнитного поля. Проблема применения принципа относительности к электромагнитному полю. Предпосылки создания теории относительности.

Основы специальной теории относительности. Принцип относительности. Интервал между событиями. Преобразования Лоренца для координат и скорости. Относительность длин и отрезков времени.

Четырехмерный формализм теории относительности. Ковариантные и контравариантные координаты события в 4-мерном пространстве. Четырехмерные векторы и тензоры. Ковариантная запись интервала и преобразований Лоренца.

Релятивистская кинематика и динамика. Четырехмерная скорость и ускорение. Релятивистское действие и функция Лагранжа для свободной частицы. Релятивистские выражения для энергии и импульса.

Взаимодействие заряда с электромагнитным полем. Потенциалы электромагнитного поля. Функция Лагранжа для заряда во внешнем электромагнитном поле. Уравнения движения заряженной частицы. Сила Лоренца. Тензор электромагнитного поля. Закон преобразования Лоренца для напряженностей полей. Инварианты электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность.

Уравнения электромагнитного поля. Действие для электромагнитного поля. Микроскопические уравнения Максвелла. Ковариантная запись уравнений для электромагнитного поля. Интегральная форма уравнений Максвелла.

Законы сохранения для электромагнитного поля и заряженных частиц. Закон сохранения заряда. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись законов сохранения энергии и импульса для электромагнитного поля и частиц. Закон сохранения момента импульса.

Статическое электромагнитное поле. Уравнение Пуассона. Поле точечного заряда. Электрическое поле на больших расстояниях от зарядов, поле диполя, мультипольное разложение скалярного потенциала. Уравнение Пуассона для векторного потенциала. Закон Био-Савара. Магнитное поле вдали от системы токов, магнитный момент, мультипольное разложение векторного потенциала.

Электромагнитные волны в вакууме. Волновое уравнение. Плоские волны. Плоская монохроматическая волна. Закон преобразования Лоренца для частоты и волнового вектора электромагнитной волны.

Излучение и рассеяние электромагнитных волн зарядами. Решение уравнений для потенциалов. Запаздывающие потенциалы. Поле произвольно движущегося точечного заряда. Свойства излучения релятивистского точечного заряда. Радиационное трение, уравнение Лоренца-Дирака. Рассеяние электромагнитных волн, сечение рассеяния.

III. Квантовая механика

Физические предпосылки квантовой механики. Излучение абсолютно черного тела и квантовая гипотеза Планка. Фотоэффект и квантовая гипотеза Эйнштейна. Планетарная модель атома и квантовая гипотеза Бора. Дифракция электрона и волна де Бройля. Принцип атомизма, квант действия, постоянная Планка.

Понятие волновой функции Уравнение Шредингера. Анализ экспериментов по дифракции микрочастиц. Волновая функция и ее физический смысл. Проблема задания состояния микрообъекта. Принцип суперпозиции. Соотношение неопределенностей. Средние значения физических величин. Понятие об операторах физических величин. Одночастичное уравнение Шредингера. Поток вероятности. Волновая функция свободной частицы. Понятие стационарного состояния. Общие свойства волновой функции. Обращение времени. Квазиклассическое приближение.

Одномерные задачи квантовой механики. Одномерная волновая функция. Частица в потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Потенциальный барьер. Коэффициент прохождения, туннельный эффект.

Математический аппарат квантовой механики. Гильбертово пространство. Функционалы. Дельта-функция. Операторы. Основные классы операторов. Представления векторов и операторов. Задача на собственные значения, дискретный и непрерывный спектры. След оператора.

Физические величины и операторы. Проблема нахождения возможных значений физических величин. Правила сопоставления операторов физическим величинам. Квантовые скобки Пуассона. Коммутационные соотношения. Координатное и импульсное представления.

Состояния и физические величины. Эффект вмешательства. Приготовление. Приборы. Измерения. Количественные характеристики состояния. Вычисление средних значений физических величин. Статистический оператор. Чистые и смешанные состояния. Формальное определение волновой функции. Статистический характер квантовой механики. Одновременная измеримость. Полный набор физических величин. Неравенства Гейзенберга. Физический смысл собственных векторов операторов.

Квантовая динамика. Уравнение Шредингера. Изменение средних со временем. Гамильтониан. Законы сохранения в квантовой механике. Стационарные состояния. Соотношения неопределенностей для энергии и времени. Шредингера и гейзенбергова картины динамики. Интегралы движения. Вычисление вероятностей результатов измерений физических величин. Волновая функция как амплитуда вероятности. Функция Грина. Уравнение фон Неймана для статистического оператора. Постулаты квантовой механики.

Угловой момент. Орбитальный угловой момент, спин, оператор углового момента. Оператор квадрата момента. Квантование углового момента. Четность состояния. Спиновая волновая функция. Энергетический спектр электрона в постоянном магнитном поле.

Частица в центрально-симметричном поле. Задача о стационарных состояниях в центрально-симметричном поле. Энергетический спектр в кулоновском поле. Проблема энергетического спектра сложных атомов.

Системы тождественных частиц. Система многих частиц в квантовой механике. Тождественные частицы, принцип тождественности, симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули. Волновая функция системы свободных тождественных фермионов. Основное состояние системы невзаимодействующих тождественных частиц. Вырожденный ферми-газ.

Теория возмущений. Стационарная теория возмущений для невырожденного и вырожденного спектра. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Золотое правило Ферми. Переходы под действием возмущения, периодически зависящего от времени. Сечение рассеяния в борновском приближении.

Элементы релятивистской квантовой механики. Уравнение Клейна-Гордона Фока. Уравнение Дирака, частицы и античастицы, море Дирака. Квантование электромагнитного поля в кулоновской калибровке, фотоны.

Перечень вопросов для вступительных испытаний

1. Конфигурационное пространство. Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.
2. Принцип относительности Галилея и функция Лагранжа свободной частицы.
3. Функция Лагранжа и уравнения движения системы взаимодействующих частиц.
4. Движение относительно неинерциальных систем отсчета.
5. Интегралы движения.
6. Закон сохранения энергии и однородность времени.
7. Одномерное движение. Потенциальная яма, потенциальный барьер. Финитное и инфинитное движения.
8. Закон сохранения импульса и однородность пространства.
9. Закон сохранения момента импульса и изотропность пространства.
10. Уравнения движения системы из двух взаимодействующих частиц.
11. Движение частицы в центральном поле. Задача Кеплера.
12. Движение частицы в кулоновском поле отталкивания.
13. Постановка задачи о столкновениях частиц. Система отсчета центра инерции.
14. Упругое столкновение частиц. Эффективное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
15. Линейный гармонический осциллятор.
16. Затухающие колебания. Учет трения в механике.
17. Вынужденные колебания.
18. Свободные колебания систем со многими степенями свободы.
19. Ангармонические колебания.
20. Кинематика твердого тела. Число степеней свободы. Поступательное движение. Вращательное движение. Угловая скорость.
21. Кинетическая энергия твердого тела.
22. Тензор инерции.
23. Момент импульса твердого тела.
24. Уравнения движения твердого тела. Уравнения Эйлера.
25. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле.
26. Магнитное поле постоянных токов.
27. Закон электромагнитной индукции Фарадея.
28. Ток смещения и уравнения Максвелла в вакууме.
29. Диэлектрики. Электрическая поляризация.
30. Магнетики. Намагниченность.
31. Токи намагничивания и поляризации. Уравнения Максвелла в среде.
32. Граничные условия для уравнений Максвелла в среде.
33. Электрическое поле, создаваемое заданным распределением зарядов. Уравнение Лапласа.
34. Потенциал пространственного распределения зарядов, поверхностного и линейного распределения.
35. Поле связанных зарядов. Поле заряженных проводников.
36. Энергия электрического поля.

37. Энергия системы заряженных проводников.
38. Методы решения задач электродинамики: метод отражений, метод инверсии.
39. Силы, действующие на проводники и диэлектрики в электрическом поле.
40. Магнитное поле, создаваемое данным распределением зарядов. Векторный потенциал.
41. Поле постоянных магнитов.
42. Энергия магнитного поля постоянных токов.
43. Стационарный электрический ток. Законы Кирхгофа.
44. Переменное электрическое поле в однородной среде.
45. Плоские электромагнитные волны.
46. Волновая функция. Принцип суперпозиции. Разложение по плоским волнам. Соотношение неопределенностей.
47. Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности.
48. Спектр энергии частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме и трехмерной прямоугольной потенциальной яме.
49. Линейный гармонический осциллятор.
50. Отражение и прохождение через потенциальный барьер.
51. Физические величины и операторы. Эрмитовы операторы.
52. Ортогональность и нормировка собственных функций эрмитовых операторов.
53. Вычисление вероятностей результатов измерений и средних значений.
54. Собственные функции и собственные значения операторов координаты и импульса.
55. Гамильтониан. Стационарные состояния.
56. Собственные значения и собственные функции оператора момента импульса.
57. Уравнение Шредингера для частицы в центральном поле. Спектр энергии электрона в атоме водорода.
58. Квазиклассическое приближение. Движение в потенциальной яме и прохождение через барьер в квазиклассическом приближении.
59. Стационарная теория возмущений.
60. Нестационарная теория возмущений.
61. Взаимодействие с электромагнитным полем. Поглощение и излучение света. Спонтанное и вынужденное излучение.
62. Спин элементарной частицы. Системы тождественных частиц.
63. Многоэлектронные атомы. Периодическая система элементов.
64. Атом в электрическом и магнитном полях.
65. Теория двухатомных молекул. Молекула водорода. Химическая связь. Вращения и колебания молекул.

Рекомендуемая литература


а) основная литература:

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001-2002. – (Теоретическая физика). Т. 1 : Механика. – 5-е изд., стер. – 2002. – 222 с.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001-2002 ; Т.2 : Теория поля. – 8-е изд., стер. – 2001. – 530.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001-2002 ; Т. 3 : Квантовая механика. – 5-е изд., стер. — 2002. – 803 с.
4. Давыдов, А. С. Квантовая механика : учебное пособие для вузов / А. С. Давыдов. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. - 703 с.
5. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие для вузов / Д. И. Блохинцев. - 5-е изд. – Москва : Наука, 1976. – 664 с.

6. Васильев, А. Н. Классическая электродинамика : краткий курс лекций : учебное пособие для вузов / А. Н. Васильев. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. – 276 с.
7. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. Т. 5, ч. 1 : Статистическая физика. – 5-е изд., стер. – 2001. – 613 с.


б) дополнительная литература:

1. Голдстейн, Г. Классическая механика / Г. Голдстейн : пер. с англ. А. Н. Рубашова. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 408 с.
2. Бредов, М. М. Классическая электродинамика : учебное пособие для вузов / М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин ; под ред. И. Н. Топтыгина. – Санкт-Петербург : Москва : Краснодар : Лань, 2003. – 398 с.
3. Соколов, А. А. Квантовая механика : учебное пособие для вузов / А. А. Соколов, И. М. Тернов, В. Ч. Жуковский. – Москва : Наука, 1979. – 528 с.
4. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учебное пособие / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Изд-во НГУ, 2000. – 608 с.

Программу вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика составил доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры физики и методики обучения физике, директор научно-образовательного центра теоретической физики  И.Л. Бухбиндер

Программа утверждена на заседании кафедры физики и методики обучения физики
Протокол № 1 от 16 февраля 2022 г.

И.О. зав. кафедрой физики и методики
обучения физике  А. Р. Аржаник

Программа одобрена учебно-методической комиссией ФМФ
Протокол № от « 1 » 25.03 2022 г.
Председатель учебно-методической комиссии ФМФ  Е.А. Фомина

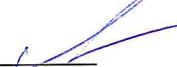
Согласовано:

Проректор по НР




Е.А. Полева

Начальник УАД



Н.И. Медюха

Директор Научной библиотеки
имени А.М. Волкова ТГПУ



Н.А. Семененко