**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О. Ю. Долматов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА кандидатского экзамена**

Прием **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **очная**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1.3.3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА** | | | | |
|  |  | | | |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | | |
| Курс | 2 | | семестр | **4** |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  | |  | | |
| Заведующий кафедрой - руководитель  отделения на правах кафедры | |  | | Б.С. Мерзликин |
| Руководитель программы аспирантуры (ПА) | |  | | О.В. Богданов |

Томск – 2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.3. Теоретическая физика (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 1.3.3. Теоретическая физика, составили ключевые проблемы современной физики конденсированного состояния.

Направления исследований по специальности 1.3.3. Теоретическая физика:

1. Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности.

3. Теоретическое и экспериментальное изучение свойств конденсированных веществ в экстремальном состоянии (сильное сжатие, ударные воздействия, сильные магнитные поля, изменение гравитационных полей, низкие и высокие температуры), фазовых переходов в них и их фазовых диаграмм состояния.

4. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

5. Разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.

6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

7. Теоретические расчеты и экспериментальные измерения электронной зонной структуры, динамики решётки и кристаллической структуры твердых тел

1. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**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. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные 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, действие как функция координат, 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. Центрально-симметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.

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

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

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

**3. 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. Магнитная гидродинамика. МГД волны. Проблема динамо.

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

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

4. 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. Колмогоровский спектр.

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. Диэлектричесая 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.

**5. Квантовая механика**

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

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

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

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

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

6. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

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. Тонкая структура томных уровней. Периодическая система Менделеева.

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

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

**6. 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-Клаузиса. 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. Квантовые вихри.

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. Флуктационно-диссипативная теорема.

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

**7. Квантовая теория полей**

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

2. Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тождества Уорда-Такахаши.

3. Квантовоэлектродинамические расчеты: Комптон-эффект, e+e- аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.

4. Представление Челлена--Лемана. Формула Лемана-Симанчика-Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Куткоского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм.

5. Ренормгруппа. Бета-функция и аномальные размерности. Операторное разложение. Аномальные размерности составных операторов.

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

7. Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

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

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

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

11. Бета-распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.

12. Нарушение СР инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов.

13. 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.

14. Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи 'т~Хоофта-Полякова. Действие Новикова-Весса-Зумино-Виттена.

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

16. Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы. Формализм Бекки-Руэ-Стора-Тютина. Теоремы об отсутствии перенормировок.

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

18. Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

**8. Вопросы дополнительной программы**

1. Свободное электромагнитное поле, фотоны, момент и P- чётность фотонов, С-чётность фотонов, поляризация фотонов, система двух фотонов.

2. Уравнение Клейна-Гордона-Фока в электромагнитном поле, ток, калибровочная инвариантность, частицы и античастицы; C , P, T преобразования; нерелятивистский предел.

3. Уравнение Дирака, плоские волны; уравнение во внешнем электромагнитном поле, калибровочная инвариантность, ток; частицы и античастицы; C, P, T преобразования, внутренняя симметрия частиц и античастиц, позитроний; нерелятивистский предел уравнения Дирака.

4. Рассеяние в центрально-симметричном поле; спиральность, сохранение спиральности в рассеянии при высоких энергиях. Релятивистские эффекты при движении спина во внешнем поле.

5. Нуклон-нуклонное взаимодействие при низких энергиях, изотопическая инвариантность, обобщённый принцип Паули; свойства ядерных сил, роль кулоновских сил в деформации и делении ядер; энергия связи ядер.

6. Дейтрон, магнитный момент дейтрона, примесь d-волны. pn, pp и nn рассеяние при очень низких энергиях, виртуальный уровень.

7. Потенциал Саксона-Вудса и трёхмерный осциллятор, оболочки, магические ядра,спин-орбитальное взаимодействие, кулоновское взаимодействие, pp и nn спаривание в ядрах; магнитные моменты ядер.

8. Изотопы, стабильность ядер, - распад, спектр -электронов и влияние массы нейтрино, правила отбора для -распада; -распад, деление ядер.

9. Одночастичные возбуждения в ядрах, электромагнитные переходы, правила отбора; статическая деформация ядер, вращательные спектры, колебательные спектры, гигантские дипольные резонансы; упругие и неупругие реакции, ядерные реакции.

10. Четыре типа взаимодействий. Их пространственно-временные масштабы, константы связи. Элементарные частицы: кварки, лептоны, калибровочные бозоны.

11. Мезоны и барионы как кварковые состояния. Новое квантовое число- цвет, симметрия барионной волновой функции. Изотопический дублет u- и d-кварков, дублет антикварков, G-чётность.

12. Изомультиплеты, следствия изотопической инвариантности, методы получения изотопических соотношений; массовые формулы, электромагнитные характеристики адронов.

13. Асимптотическая свобода, квантовая хромодинамика, невылетание цвета, кварконий, спектроскопия состояний, аннигиляционные каналы распада, определение величины константы связи.

14. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны, глубоко неупругое рассеяние лептонов, кварк-партонная модель, вакуум в КХД.

15. Стандартная модель слабых и электромагнитных взаимодействий, промежуточные векторные бозоны, их массы, каналы распада, ширины; нейтральные каоны, осцилляции странности, нарушение CP инвариантности.

16. Квантовые эффекты в макроскопических системах, квантовое вырождение, квазичастицы, методы определения спектра элементарных возбуждений.

17. Бозе-жидкость, свойства сверхтекучего гелия-4; спектр элементарных возбуждений, фононы и ротоны, критерий сверхтекучести Ландау, второй звук, вихри в сверхтекучем гелии.

18. Ферми-жидкость, поверхности ферми, время жизни квазичастиц, возбуждения частица-дырка, теплоёмкость.

19. Идеальный кристалл, квантование колебаний решётки, модель Дебая, эффект Мессбауэра, фактор Дебая-Уоллера.

20. Сверхпроводимость, эффект Мейснера, уравнение Лондонов, Уравнение Гинзбурга-Ландау, сверхпроводники первого и второго рода, критические магнитные поля; квантование магнитного потока, вихревые нити в сверхпроводниках.

21. Теория Бардина-Купера-Шрифера. Энергетическая щель, фононный механизм притяжения, спектр возбуждений; стационарный и нестационарный эффект Джозефсона.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,**

**включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

**1. Ондуляторы**

Изучаются основные принципы их работы, виды и механизмы действия. Ондуляторы представляют собой устройства, которые позволяют генерировать переменное электромагнитное поле, необходимое для формирования радиации с определённой длиной волны. Исследуются различные типы ондуляторов, такие как периодические и случайные, а также их применение в различных областях, включая физику элементарных частиц, синхротронные источники и рентгеновскую оптику.

Рассматриваются техники и методы создания ондуляторов, их характеристики и платформы для интеграции в научные экспериенты и промышленные процессы. Обсуждаются проблемы, связанные с повышением эффективности ондуляторов, их стабильностью и возможностью управления параметрами излучения. Это позволяет лучше понять их значение в современной науке и технике, а также определить перспективы их дальнейшего развития.

**2. Закрученные фотоны**

Изучаются свойства и характеристики фотонов с фиксированным значением спина, которые имеют особую геометрическую структуру. Эти фотоны обладают закрученной природой, что позволяет им передавать дополнительную информацию, благодаря чему они могут использоваться в квантовых коммуникациях и квантовой криптографии. Исследуются методы генерации закрученных фотонов, включая использование нелинейных оптических процессов и лазерных систем, а также влияние их закрученности на взаимодействие с веществом.

Анализируются приложения закрученных фотонов в различных областях науки и технологии. Например, рассматриваются их возможности в квантовых вычислениях, создании новых типов датчиков и в области высокоточных измерений. Исследование взаимосвязи между закрученной световой волной и её воздействием на микроскопические объекты открывает новые горизонты в понимании квантовой механики и может привести к разработке новых технологий, основанных на квантовых эффектах.

1. **Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного ОММФ ИЯТШ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 1.3.3. Теоретическая физика аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50 % последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий**  **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие**  **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 7-е изд., стереотип. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021. — Том 1: Механика. — 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-9221-1611-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/185654 (дата обращения: 18.02.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 9-е изд., стереотип. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 2: Теория поля. — 2020. — 508 с. — ISBN 978-5-9221-1568-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/185651 (дата обращения: 18.02.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 3: Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 2021. — 800 с. — ISBN 978-5-9221-0530-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/185658 (дата обращения: 18.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Батыгин, В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности: учебное пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. — 4-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-0921-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167812 (дата обращения: 18.02.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Белоусов, Ю. М. Задачи по теоретической физике: учебное пособие / Ю.М. Белоусов, С.Н. Бурмистров, А.И. Тернов. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 584 с. ISBN 978-5-91559-134-8. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/510284 (дата обращения: 18.02.2024). - Режим доступа: по подписке.

**Дополнительная литература**

1. Савельев, И. В. Курс физики. В 3 т. Т.3.: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. / И. В. Савельев. — СПб.: Лань, 2016. — 308 c. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/187811?ysclid=m9ccswvu8n821738257> (дата обращения: 11.04.2025). — Режим доступа: по подписке.
2. Хелзен, Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин — М.: Мир, 1987. — 456 с. — Текст : непосредственный.
3. Ситенко, А. Лекции по теории ядра / А.Т. Ситенко, В.К. Тарковский. — М.: Атомиздат, 1972. — 352 с. Текст : непосредственный.
4. Мухин, К.Н. Введение в ядерную физику / К.Н. Мухин — М.: Атомиздат, 1965. — 720 с. Текст : непосредственный.