

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по ОД

_____ Е.В. Луков

» _____ 2022г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности
«1.3.3. Теоретическая физика»

Томск – 2022

Программа кандидатского экзамена по научной специальности

«1.3.3. Теоретическая физика» рассмотрена и рекомендована к утверждению
ученым советом *наименование факультета/института*

протокол № 523 от 13.10.2022

Авторы-разработчики:

1. Ляхович Семен Леонидович, д. ф.- м. н., профессор, заведующий кафедрой
квантовой теории поля ФФ
2. Шаповалов Александр Васильевич, д. ф.- м. н., профессор, заведующий
кафедрой теоретической физики ФФ

Согласовано:

Руководитель ОП



д. ф.- м. н., проф. С.Л. Ляхович

1. Общие положения

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» кандидатские экзамены сдаются в соответствии с научной специальностью (научными специальностями) и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени к проведению научных исследований по научной специальности «1.3.3. Теоретическая физика» по физико-математическим наукам (далее – кандидатский экзамен).

Программа кандидатского экзамена разработана на основе Паспорта научной специальности «1.3.3. Теоретическая физика» (далее – Программа), утвержденного ВАК при Минобрнауки России

<https://drive.google.com/drive/folders/1RNYkXhvAzaEF85GqxOH8HhbenJIoUMR7> .

Организация и проведение приема кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с установленным в НИ ТГУ порядком.

Подготовка по Программе может осуществляться как самостоятельно, так и в рамках освоения соответствующей программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре НИ ТГУ. Сдача аспирантом кандидатского экзамена является обязательным условием обучения и относится к оценке результатов освоения базовой дисциплины (модуля) образовательного компонента программы, осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

2. Структура кандидатского экзамена и шкала оценивания уровня знаний

Кандидатский экзамен проводится в форме устного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

1. Основные вопросы (не более трёх вопросов из раздела 1).
2. Дополнительные вопросы (не более трёх вопросов из раздела 2).

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

«отлично» – 5 баллов;

«хорошо» – 4 балла;

«удовлетворительно» – 3 балла;

«неудовлетворительно» – 1-2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет.	5 баллов
Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные.	4 балла
Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования.	3 балла
Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный	1-2 балла

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» – при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» – при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» – при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» – при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

3. Перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена

Раздел 1. Основные вопросы (по содержанию курса «Теоретическая физика»).

Тема 1. Механика

1. 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.

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

5. Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.
6. 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.

Тема 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 больших расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.
6. Движение частицы в гравитационном поле. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля.
7. Действие для частицы в гравитационном поле. 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. Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет). Гравитационные линзы.
9. 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.

Тема 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. Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле. 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. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.
2. Магнитная гидродинамика. МГД-волны. Проблема динамо.
3. Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники.
4. Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах. Рэлеевское рассеяние.

Тема 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. Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости. 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.
2. Звук. Звуковые волны. Одномерное движение сжимаемого газа. Характеристики. Инварианты Римана. Простая волна Римана. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы. Теория сильного взрыва.
3. Ударные волны слабой интенсивности. Бесстолкновительные ударные волны. Уравнение Бюргерса. Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ. Солитоны и их взаимодействие.
4. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. SHS-теорема. Теплопроводность и вязкость газов.

5. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория. Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

Тема 5. Квантовая механика

1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы.
2. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.
3. 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.
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 и неупругое рассеяние. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

Тема 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. Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях.
4. 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 идеального классического газа.
6. 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.
7. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри. Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.
8. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.
9. 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.
10. 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.

Тема 7. Теория конденсированного состояния (*Раздел для специалистов по теории твердого тела*)

1. Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов, бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Двухжидкостное описание. Критерий Ландау. Теория Фейнмана. Квантовые вихри. Корреляции в положении частиц бозе-газа.

2. Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.
3. Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.
4. Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа—ван Альфвена.
5. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Акустические и оптические ветви. Модель Дебая. Удельная теплоемкость решетки. Квантование фононов. Ангармонизм и тепловое расширение. Фактор Дебая—Уоллера.
6. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.
7. Магнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные свойства изолированного атома. Правило Хунда. Гамильтониан Гейзенберга. Модель Хаббарда. Природа магнетизма металлов. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ). Эффект Кондо.
8. Магнитный порядок. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков. Спиновые волны (магноны). Квантовые флуктуации и спиновые волны в антиферромагнетике. Вклад магнонов в термодинамику магнетиков. Динамика магнитного момента в ферромагнетике. Уравнение Ландау—Лифшица.
9. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов.
10. Нелокальная электродинамика сверхпроводника: лондоновский и пиппардовский случай. Эффекты четности числа электронов в сверхпроводниках малых размеров.
11. Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока.
12. Сверхпроводники первого и второго рода. Верхнее и нижнее критические поля. Вихревая решетка. Эффект Джозефсона.
13. Эффект близости. Флуктуационные эффекты вблизи сверхпроводящего перехода. Туннельные эффекты в сверхпроводниках. Функции Грина. Корреляционные функции. Термодинамический предел и квазисредние. Основные принципы диаграммной техники. Уравнение Дайсона. Вершинная функция. Многочастичные функции Грина. Диаграммная техника при конечных температурах. Кинетические уравнения.
14. Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.
15. Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний. Квантовый эффект

Холла в двумерном электронном газе. Эффекты локализации электронов в одно- и двумерных системах, перколяционные явления.

Тема 8. Квантовая теория полей (*Раздел для специалистов по теории элементарных частиц и физике высоких энергий*)

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. Тожества Уорда—Такахаси.
3. Квантово-электродинамические расчеты: комптон-эффект, e^+ , e^- Представление Челлена—Лемана. Формула Лемана—Симанчика—Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Кутковского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм. аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.
4. Ренормгруппа. β -функция и аномальные размерности. Операторное разложение. Аномальные размерности составных операторов.
5. Калибровочные теории поля. Квантование по Фаддееву—Попову и духи. Тожества Славнова—Тейлора. Квантовая хромодинамика и асимптотическая свобода.
6. Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.
7. Кварковая модель. Спектроскопия адронов и составляющие кварки. Чармоний, боттомоний.
8. КХД и киральная симметрия сильных взаимодействий. Частичное сохранение аксиального тока. Пионы как голдстоуновские частицы. Киральная аномалия Адлера—Белла—Джакива.
9. Стандартная модель. W- и Z-бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Кабиббо—Кобаяши—Маскава.
10. β -распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады. Нарушение CP-инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов. Глубоконеупругое рассеяние и партонная модель. Нарушение скейлинга и уравнения эволюции Грибова—Липатова—Докшицера—Алтарелли—Паризи. e^+ , e^-
11. Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи Хоофта—Полякова. Действие Новикова—Веса—Зумино—Виттена. аннигиляция в адроны. Рождение адронных струй и существование глюонов.
12. Вне стандартной модели: великое объединение, распад протона, осцилляции нейтрино.
13. Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы. Формализм Беки—Руэ—Стора—Тютина. Теоремы об отсутствии перенормировок.

14. Физика частиц и ранняя Вселенная. Космологические фазовые переходы. Темная материя, ограничения на свойства массивных нейтрино.
15. Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

Рекомендуемая 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. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2001.
17. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.
18. Дополнительная литература
19. Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2001.
20. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция вселенной. М.: Наука, 1975.
21. Вигнер Е. Теория групп и ее приложение к квантовой механике. М.: Изд-во иностр. лит., 1961.
22. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 2000.
23. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. М.: Ижевск: РиХД, 2001.
24. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2000.
25. Абрикосов А.А., Горьков Л.П., Дзялошинский И.Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике. М.:

26. Физматгиз, 1962.
27. Окунь Л.Б. Кварки и лептоны. М.: Наука, 1990.

Раздел 2. Дополнительные вопросы.

Область исследования: Квантовая теория поля

1. Принцип действия и уравнения движения
2. Глобальные и локальные симметрии классических полей
3. Первая теорема Нетер
4. Вторая теорема Нетер
5. Тензоры энергии-импульса и момента импульса
6. Токи и заряды, отвечающие внутренним симметриям
7. Модель свободного векторного поля
8. Модели спинорной и скалярной электродинамики
9. Калибровочный принцип. Лагранжиан поля Янга-Миллса
10. Калибровочная формулировка гравитации
11. Модель линеаризованной гравитации
12. Гамильтонова формулировка классических особенных теорий
13. Гамильтонова формулировка с первичными связями. Алгоритм Дирака-Бергмана
14. Системы со связями первого рода, фиксация калибровки
15. Системы со связями второго рода. Скобки Дирака. Координаты Дарбу
16. Алгебра Березина. Системы со связями в алгебре Березина
17. Континуальный интеграл для систем со связями первого и второго рода
18. Духи Фаддеева-Попова. Рецепт Фаддеева-Попова для квантования калибровочных полей общего вида.
19. Гамильтоново БФВ-БРСТ квантование
20. Свойства гамильтонова БРСТ-заряда
21. Когомологическая теория возмущений
22. Симметрии и законы сохранения в теориях с высшими производными
23. Гамильтонова формулировка теорий с высшими производными

Рекомендуемая литература.

1. M. Henneaux and C. Teitelboim, Quantization of Gauge Systems, Princeton University Press, 1992.
2. D. M. Gitman, I. V. Tyutin, Quantization of Fields with Constraints, Springer-Verlag, 1990
3. K. Sundermeyer, Constrained Dynamics, Springer-Verlag, 1982.
4. Гитман Д. М., Ляхович С. Л., Тютин И. В. Гамильтонова формулировка теорий с высшими производными // Изв. вузов. Физика. – 1983. – № 8. – С. 61-66.

5. Б. А. Дубровин, Новиков С. П., Фоменко А. Т., Современная геометрия: Методы геометрия. – М.: Наука, 1986.
6. Л. Д. Фаддеев, Д. А. Славнов, Введение в квантовую теорию калибровочных полей // М.: Наука, 1988.
7. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теория поля. – М.: Физматлит, 2012. – 536 с.
8. M. Henneaux, Hamiltonian form of the path integral for theories with a gauge freedom // Physics Reports. – 1985. – V. 126. – № 1. – P. 1-66.
9. Woodard R. P. The Theorem of Ostrogradsky // arXiv e-print archive. – 2015. – V. 1506. – P. 02210. – URL: <http://arxiv.org/abs/1506.02210>.
10. W. Siegel, Fields // <http://xxx.lanl.gov/e-print/hep-th/9912205>

3. Пример экзаменационного билета

БИЛЕТ № 1

Основные вопросы:

1. Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных
2. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы.
3. Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой.

Дополнительные вопросы:

1. Первая теорема Нетер
2. Гамильтоново БФВ-БРСТ квантование