

государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
(государственный университет «Дубна»)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической
работе

А.С. Деникин

2020 г.

ПРОГРАММА
вступительного экзамена в аспирантуру

Направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) программы

Теоретическая физика

Уровень высшего образования

подготовка кадров высшей квалификации

Дубна, 2020 г.

Автор программы:

Профессор кафедры фундаментальных проблем физики микромира,

доктор ф.-м. н., доцент  Д.В. Фурсаев

Доцент кафедры фундаментальных проблем физики микромира,

кандидат ф.-м. н., доцент  Е.А. Колганова Е.А.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. N 867, зарегистрированным в Минюсте России 25 августа 2014 г. N 33836, в ред. Приказа Минобрнауки России от 30 апреля 2015г. № 464).

Программа рассмотрена на заседании фундаментальных проблем физики микромира

Протокол заседания № 20 от «11» сентября 2020 г.

Заведующий кафедрой  Д.В. Фурсаев

1. Аннотация

Программа вступительных испытаний в аспирантуру по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), направленность (профиль) Теоретическая физика разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования и магистерскими программами по направлению высшего профессионального образования 03.04.02 Физика.

В основу настоящей программы положены дисциплины: теоретическая механика, теория твердого тела, термодинамики, статистическая физика, теория поля, электродинамика, квантовая механика и квантовая теория поля.

Для сдачи вступительного экзамена по специальности по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), направленность (профиль) Теоретическая физика поступающие должны:

- письменно и устно представить реферат с анализом той области, с которой будет связана научная работа над кандидатской диссертацией;
- уметь кратко изложить содержание научной работы над кандидатской диссертацией;
- знать материал, предусмотренный общей частью программы.

Тематическими разделами программы вступительного экзамена являются:

1) Общие вопросы всех разделов теоретической физики, включая:

- Вопросы теоретической механики;
- Теории твердого тела, термодинамики и статистики;
- Электродинамики и теории поля.
- Квантовой физики

2) Специальные вопросы статистической физики, квантовой механики или теории поля, связанные с узкой областью, с которой будет связана научная работа над кандидатской диссертацией.

2. Процедура проведения вступительного экзамена

Вступительный экзамен проводится в форме устного собеседования по экзаменационным билетам. Перед абитуриентов в экзаменационном билете ставятся 2 вопроса.

Время подготовки устного ответа составляет не более 40 минут. По истечении отведенного времени абитуриент приглашается для сдачи экзамена. После ответа на вопросы экзаменационного билета, абитуриенту задаются дополнительные вопросы для уточнения ответов на вопросы экзаменационного билета. Опрос одного абитуриента по экзаменационному билету продолжается не более 30 минут.

Общее время, отведенное на сдачу вступительного экзамена одним абитуриентом, составляет не более 30 минут.

Дополнительные материалы и оборудование на вступительном экзамене не используются.

3. Критерии выставления оценок по результатам сдачи вступительного экзамена

Ответы на вопросы билета вступительного экзамена оцениваются по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Отказ от ответа на один вопрос билета является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за вступительный экзамен в целом.

Оценка	Характеристики ответа
Отлично	Ответ полный, логичный, конкретный, без замечаний, продемонстрированы знания проблематики и терминологии в области физики.
Хорошо	Ответ полный, логичный, конкретный, присутствуют незначительные замечания в отношении знания проблематики и терминологии в области физики.
Удовлетворительно	Ответ неполный, отсутствует логичность повествования, допущены существенные фактологические ошибки.
Неудовлетворительно	Ответ на поставленный вопрос не дан.

4. Содержание программы

Тема 1 «Общие вопросы теоретической физики»

1. Обобщенные координаты. Функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.
2. Движение в центральном поле. Интегралы движения. Уравнение траекторий.
3. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром. Дифференциальное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
4. Кинематика и динамика твердого тела. Тензор инерции. Момент инерции. Уравнения Эйлера.
5. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Канонические преобразования.
6. Уравнение Ланжевена. Формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения броуновской частицы
7. Канонический ансамбль. Статистическое определение свободой энергии. Свободная энергия идеального газа.
8. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
9. Ковариантная формулировка уравнений Максвелла и динамические уравнения для потенциалов.
10. Объемная плотность и поток энергии электромагнитного поля.
11. Развитие системы во времени. Уравнение Шредингера и квантовое уравнение Ливилля.
12. Свободная частица и частица в потенциальной яме. Туннельный эффект, надбарьерное отражение.
13. Оператор момента количества движения. Орбитальный, спиновый и полный момент. Магнитный момент электрона.
14. Частица в центральном поле. Особенности энергетического спектра частицы в кулоновском поле. Спектр атома водорода.
15. Основы систематики элементарных частиц и законы сохранения в микромире. Взаимодействия элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия.

Тема 2. «Специальные вопросы теоретической физики»

2.1 Квантовая механика

1. Решение уравнения Шредингера для нерелятивистского водородоподобного атома.
2. Тонкая и сверхтонкая структура атомных спектров. Лэмбовский сдвиг.
3. Метод Хартри-Фока.
4. Момент количества движения. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.
5. Уравнение Дирака и доказательство его Лоренц-инвариантности.
6. Квантование электромагнитного поля.
7. Квантование электрон-позитронного поля.

8. Квантовая электродинамика взаимодействующих полей. Представление взаимодействия. Диаграммы Фейнмана.
9. Картина Фарри. Электронный пропагатор при наличии внешнего поля. Фотонный пропагатор в фейнмановской и кулоновской калибровках.
10. Формула для сдвига энергии одиночного уровня в рамках КЭД.
11. Амплитуда рассеяния и дифференциальное эффективное сечение. Оптическая теорема.
12. Разложение по парциальным волнам в теории рассеяния в центральном поле.
13. Рассеяние в кулоновском поле. Формула Резерфорда.
14. Рассеяние быстрых частиц. Приближение Борна.
15. Аналитические свойства S-матрицы в комплексной плоскости k . Физический смысл полюсов.
16. Функции Блоха и функции Ванье.
17. Метод плоских волн в расчетах зонной структуры.
18. Полуклассическая динамика электронов в твердом теле.
19. Поверхность Ферми.
20. Метод функции Грина в теории кристаллов с дефектами.

2.2 Теория поля

1. Глобальные симметрии, теорема Нетер и сохраняющиеся величины. Генераторы квантовых симметрий. Тензор энергии-импульса и вектор энергии-импульса. Внутренние симметрии и коммутационные соотношения для токов и зарядов.
2. Ультрафиолетовые расходимости петлевых диаграмм. Регуляризация Паули-Вилларса, фейнмановские параметры, виков поворот и размерная регуляризация.
3. Электродинамика. Калибровочная инвариантность, оператор заряда и локальные симметрии. Действие для фотонов, полевое уравнение и ковариантные производные. Связи и калибровочные условия. Фиксация калибровки.
4. Метод внешнего поля. Квантовое эффективное действие. Эффективный потенциал. Симметрии эффективного действия.
5. Действие и интегрирование по траекториям в квантовой механике. Лагранжева форма функционального интеграла. Интеграл Гаусса, действие и пропагатор для свободного скалярного поля. Функциональный определитель и замена переменных. Взаимодействующие поля и получение правил Фейнмана.
6. Фиксация калибровки в электродинамике. Квантование электродинамики в кулоновской калибровке, кулоновское взаимодействие. Тожества Уорда и теорема Фарри.
7. Спонтанно нарушенные глобальные симметрии. Вырожденный вакуум и голдстоуновские бозоны. Спонтанно нарушенные приближенные симметрии. Пионы в роли голдстоуновских бозонов. Эффективные теории поля: пионы и нуклоны. Киральная симметрия $SU(3) \times SU(3)$. Аномальные члены в эффективных теориях. Проблема $U(1)$.
8. Случайные симметрии. Случайное сохранение лептонных ароматов, P-, C- и T-четности в перенормируемой электродинамике лептонов.
9. Перенормируемость. Индекс расходимости. Критерий сходимости. Вычитания и программа перенормировки. Перенормируемые теории. Перекрывающиеся расходимости. R-операция. Сдвиг точки вычитания. Список перенормируемых теорий.
10. Полусные особенности амплитуд. Редукционная формула Лемана-Симанзика-Циммермана. Ренормированные поля и отсутствие радиационных поправок к внешним линиям. Оператор заряда, перенормировка заряда. Тожества Уорда-Такахаси.
11. Перенормировка калибровочных теорий. Уравнение Зинн-Жюстена. Перенормировка: общий случай и непосредственный анализ калибровочной теории. Эффективное однопетлевое действие, детерминанты.
12. Представление Челлена-Лемана и спектральные функции. Спектральное представление. Асимптотическое поведение пропагаторов. Полюса, составные частицы.

13. Спаривание и теорема Вика, координатное представление, комбинаторные факторы и знаки. Вычисление пропагатора. Фейнмановские пропагаторы для скалярного, векторного и спинорного полей. Нековариантные члены и временное упорядочивание.
14. Перенормировка поля, заряда и массы в квантовой электродинамике. Калибровочная инвариантность, типы расходимости и контрчлены. Сокращение расходимостей в однопетлевых графах.
15. Инфракрасные эффекты в квантовой электродинамике. Реальные мягкие фотоны. Суммирование по числу излученных фотонов. Сокращение инфракрасных особенностей.
16. Метод стационарной фазы в функциональном интеграле и древесное приближение, связь с классической теорией поля.
17. Операторные разложения. Уравнения ренормгруппы для коэффициентных функций. Правила сумм для спектральных функций. Ренормалоны.
18. Лоренцева инвариантность, токи и генераторы. Тензор Белинфанте. Инвариантность S-матрицы. Переход к картине взаимодействия.
19. Операторы рождения, сопряжение и соотношения коммутации и антикоммутации. Преобразования Лоренца для операторов рождения и уничтожения, C-, P- и T-преобразования.
20. Спонтанно нарушенные калибровочные симметрии. Унитарная калибровка. Перенормируемая калибровка. Электрослабая теория. Динамически нарушенные локальные симметрии. Объединение сильных и электрослабых взаимодействий.
21. Аномалии. Преобразование меры и абелева аномалия. Прямое вычисление аномалий. Распад нейтрального пиона. Безмассовые связанные состояния. Условия согласованности и отсутствия аномалий. Аномалии и голдстоуновские бозоны.
22. Принцип микропричинности и связанные части амплитуд. Структура взаимодействия.

2.3 Статистическая физика

1. Стационарное распределение зародышей стабильной фазы. Скорость нуклеации.
2. Нуклеация в пересыщенных парах. Постановка задачи об описании процесса нуклеации при мгновенном создании метастабильного состояния в приближении коллективного потребления вещества метастабильной фазы растущими частицами новой фазы.
3. Стадия нуклеации. Полное число зародившихся капель. Продолжительность стадии нуклеации
4. Вероятностно-статистический подход к описанию стадии нуклеации.
5. Среднее расстояние до ближайшей соседней капли и среднее время ее ожидания. Область применимости вероятностно-статистического подхода.
6. Критические индексы и соотношения между ними. Кинетика критических флуктуаций. Критическая опалесценция.
7. Развитая турбулентность. Переход к статистическому описанию.
8. Феноменологический вывод уравнений движения вязкой жидкости.
9. Галилеева инвариантность уравнения Навье-Стокса. Уточненная формулировка гипотез Колмогорова.
10. Уравнение Дайсона в теории турбулентности
11. Классические и квантовые размерные эффекты. Основные параметры.
12. Электронный спектр размерно-квантованных слоев
13. Уравнения гидродинамики жидкой смеси. Уравнение диффузии. Диффузия взвешенных частиц в жидкости.
14. Звуковые волны. Энергия звуковых волн. Поглощение звука
15. Уравнения движения жидкости в магнитном поле. Диссипационные процессы в магнитной гидродинамике.
16. Магнитогидродинамические волны.

17. Фазовые переходы II рода. Теория Ландау. Влияние внешнего поля на фазовый переход II рода.
18. Флуктуации параметра порядка.
19. Свободная энергия нематиков. Энергия Франка.
20. Эффект Фредерикса.

5. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10-х т. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; ред. Л.П. Питаевского. - Изд. 8-е, стереотип. - Москва: Физматлит, 2006. - Т. 2. Теория поля. - 504 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82966> (15.04.2018).
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10-х т. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; ред. Л.П. Питаевский. - 5-е изд., стереотип. - Москва: Физматлит, 2007. - Т. 1. Механика. - 216 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=83192> (15.04.2018).
3. Шифф, Л. Квантовая механика [Электронный ресурс] / Л. Шифф; пер. Г.А. Зайцев. - 2-е изд. - Москва: Изд-во иностр. лит., 1959. - 469 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213722> (15.04.2019).
4. Лифшиц, Е.М. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10-х т. [Электронный ресурс] / Е.М. Лифшиц, Л.Д. Ландау; ред. Л.П. Питаевский. - 4-е изд., стереотип. - Москва: Физматлит, 2005. - Т. 8. Электродинамика сплошных сред. - 652 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84180> (15.04.2018).
5. Берестецкий, В.Б. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10-х т. [Электронный ресурс] / В.Б. Берестецкий, Л.П. Питаевский, Е.М. Лифшиц. - 4-е изд., испр. и доп. - Москва: Физматлит, 2006. - Т. 4. Квантовая электродинамика. - 716 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82963> (15.04.2018).
6. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10-х т. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; ред. Л.П. Питаевского. - 5-е изд., стер. - Москва: Физматлит, 2001. - Т. 5. Статистическая физика. - Ч. 1. - 612 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=83401> (15.04.2018).
7. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика [Электронный ресурс] / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва: Наука, 1977. - 552 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482845> (15.04.2019).
8. Боголюбов, Н.Н. Квантовые поля: учебное пособие [Электронный ресурс] / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. - 3-е изд., доп. - Москва: Физматлит, 2005. - 385 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75464> (15.04.2019).

Дополнительная литература

1. Окунь, Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц [Электронный ресурс] / Л.Б. Окунь. - Москва: Физматлит, 2009. - 126 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76603> (15.04.2019).
2. Матвеев, А.Н. Электродинамика [Электронный ресурс] / А.Н. Матвеев. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1980. - 384 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492466> (15.04.2019).
3. Блохинцев, Д.И. Избранные труды [Электронный ресурс] / Д.И. Блохинцев. - Москва: Физматлит, 2009. - Т. 2. - 741 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67770> (15.04.2019).

Периодическая литература

1. Успехи физических наук / РАН; гл. ред. Л.В. Келдыш. - М.: Успехи физических наук. - Журнал, издается с апреля 1918 года. - Доступ к архиву выпусков с 1918 г. на сайте журнала: <http://ufn.ru/ru/articles/>.
2. Журнал экспериментальной и теоретической физики: продолжение физической части Журнала Русского физико-химического общества, издававшегося с 1873 по 1930 года / учредители: РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы РАН; гл. ред. А.Ф. Андреев. - М.: Наука. - Журнал, издается с 1931 года. - Доступ к архиву русской и английской версии выпусков 1967 - 2012 года на сайте журнала: <http://www.jetp.ac.ru/>.
3. Теоретическая и математическая физика / РАН; гл. ред. А.А. Логунов. - М.: ТМФ. - Журнал, издается с октября 1969 года. - Доступ к архиву выпусков с 1969 г. на сайте журнала: http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=tmf&option_lang=rus.

Иные библиотечно-информационные ресурсы

1. Springer on eLibrary.Ru - Полнотекстовые электронные версии научных журналов издательства SPRINGER.
2. Academic Press on eLibrary.Ru - Полнотекстовые электронные версии научных журналов издательства ACADEMIC PRESS.
3. Academic Search Premier - База данных комплексной тематики, содержащая информацию по гуманитарным и естественным областям знания.
4. Компьютерные науки статистика - тематический раздел информационной базы Science Now.
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн». - URL: <http://www.biblioclub.ru/>. - Режим доступа: ограниченный по логину и паролю.

Электронно-библиотечные системы и базы данных

1. Коллекции ЭБС «Лань»: <http://e.lanbook.com/>
2. Электронно-библиотечная система «Znanium.com»: <http://znanium.com/>
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»: www.biblioclub.ru
4. Научная электронная библиотека (НЭБ): <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
5. БД российских научных журналов на Elibrary.ru (РУНЭБ): http://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp?
6. БД периодических изданий East View: <http://dlib.eastview.com>
7. Архивы научных журналов: <http://lib.uni-dubna.ru/biblweb/search/resources.asp?sid=246>
8. Базы данных компании EBSCO Publishing: <http://search.ebscohost.com/>
9. SCOPUS: <http://www.scopus.com/home.url>

6. Перечень выносимых на экзамен вопросов

1. Обобщенные координаты. Функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.
2. Движение в центральном поле. Интегралы движения. Уравнение траекторий.
3. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром. Дифференциальное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
4. Кинематика и динамика твердого тела. Тензор инерции. Момент инерции. Уравнения Эйлера.
5. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Канонические преобразования.
6. Уравнение Ланжевена. Формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения броуновской частицы
7. Канонический ансамбль. Статистическое определение свободой энергии.. Свободная энергия идеального газа.

8. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
9. Ковариантная формулировка уравнений Максвелла и динамические уравнения для потенциалов..
10. Объемная плотность и поток энергии электромагнитного поля.
11. Развитие системы во времени. Уравнение Шредингера и квантовое уравнение Ливилля.
12. Свободная частица и частица в потенциальной яме. Туннельный эффект, надбарьерное отражение.
13. Оператор момента количества движения. Орбитальный, спиновый и полный момент. Магнитный момент электрона.
14. Частица в центральном поле. Особенности энергетического спектра частицы в кулоновском поле. Спектр атома водорода.
15. Основы систематики элементарных частиц и законы сохранения в микромире. Взаимодействия элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия.
16. Решение уравнения Шредингера для нерелятивистского водородоподобного атома.
17. Тонкая и сверхтонкая структура атомных спектров. Лэмбовский сдвиг.
18. Метод Хартри-Фока.
19. Момент количества движения. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.
20. Уравнение Дирака и доказательство его Лоренц-инвариантности.
21. Квантование электромагнитного поля.
22. Квантование электрон-позитронного поля.
23. Квантовая электродинамика взаимодействующих полей. Представление взаимодействия. Диаграммы Фейнмана.
24. Картина Фарри. Электронный пропагатор при наличии внешнего поля. Фотонный пропагатор в фейнмановской и кулоновской калибровках.
25. Формула для сдвига энергии одиночного уровня в рамках КЭД.
26. Амплитуда рассеяния и дифференциальное эффективное сечение. Оптическая теорема.
27. Разложение по парциальным волнам в теории рассеяния в центральном поле.
28. Рассеяние в кулоновском поле. Формула Резерфорда.
29. Рассеяние быстрых частиц. Приближение Борна.
30. Аналитические свойства S-матрицы в комплексной плоскости k . Физический смысл полюсов.
31. Функции Блоха и функции Ванье.
32. Метод плоских волн в расчетах зонной структуры.
33. Полуклассическая динамика электронов в твердом теле.
34. Поверхность Ферми.
35. Метод функции Грина в теории кристаллов с дефектами.
36. Глобальные симметрии, теорема Нетер и сохраняющиеся величины. Генераторы квантовых симметрий. Тензор энергии-импульса и вектор энергии-импульса. Внутренние симметрии и коммутационные соотношения для токов и зарядов.
37. Ультрафиолетовые расходимости петлевых диаграмм. Регуляризация Паули-Вилларса, фейнмановские параметры, виков поворот и размерная регуляризация.
38. Электродинамика. Калибровочная инвариантность, оператор заряда и локальные симметрии. Действие для фотонов, полевое уравнение и ковариантные производные. Связи и калибровочные условия. Фиксация калибровки.
39. Метод внешнего поля. Квантовое эффективное действие. Эффективный потенциал. Симметрии эффективного действия.
40. Действие и интегрирование по траекториям в квантовой механике. Лагранжева форма функционального интеграла. Интеграл Гаусса, действие и пропагатор для

- свободного скалярного поля. Функциональный определитель и замена переменных. Взаимодействующие поля и получение правил Фейнмана.
41. Фиксация калибровки в электродинамике. Квантование электродинамики в кулоновской калибровке, кулоновское взаимодействие. Тожества Уорда и теорема Фарри.
 42. Спонтанно нарушенные глобальные симметрии. Вырожденный вакуум и голдстоуновские бозоны. Спонтанно нарушенные приближенные симметрии. Пионы в роли голдстоуновских бозонов. Эффективные теории поля: пионы и нуклоны. Киральная симметрия $SU(3) \times SU(3)$. Аномальные члены в эффективных теориях. Проблема $U(1)$.
 43. Случайные симметрии. Случайное сохранение лептонных ароматов, P-, C- и T-четности в перенормируемой электродинамике лептонов.
 44. Перенормируемость. Индекс расходимости. Критерий сходимости. Вычитания и программа перенормировки. Перенормируемые теории. Перекрывающиеся расходимости. R-операция. Сдвиг точки вычитания. Список перенормируемых теорий.
 45. Полюсные особенности амплитуд. Редукционная формула Лемана-Симанзика-Циммермана. Ренормированные поля и отсутствие радиационных поправок к внешним линиям. Оператор заряда, перенормировка заряда. Тожества Уорда-Такахаси.
 46. Перенормировка калибровочных теорий. Уравнение Зинн-Жюстена. Перенормировка: общий случай и непосредственный анализ калибровочной теории. Эффективное однопетлевое действие, детерминанты.
 47. Представление Челлена-Лемана и спектральные функции. Спектральное представление. Асимптотическое поведение пропагаторов. Полюса, составные частицы.
 48. Спаривание и теорема Вика, координатное представление, комбинаторные факторы и знаки. Вычисление пропагатора. Фейнмановские пропагаторы для скалярного, векторного и спинорного полей. Нековариантные члены и временное упорядочивание.
 49. Перенормировка поля, заряда и массы в квантовой электродинамике. Калибровочная инвариантность, типы расходимости и контрчлены. Сокращение расходимостей в однопетлевых графах.
 50. Инфракрасные эффекты в квантовой электродинамике. Реальные мягкие фотоны. Суммирование по числу излученных фотонов. Сокращение инфракрасных особенностей.
 51. Метод стационарной фазы в функциональном интеграле и древесное приближение, связь с классической теорией поля.
 52. Операторные разложения. Уравнения ренормгруппы для коэффициентных функций. Правила сумм для спектральных функций. Ренормалоны.
 53. Лоренцева инвариантность, токи и генераторы. Тензор Белинфанте. Инвариантность S-матрицы. Переход к картине взаимодействия.
 54. Операторы рождения, сопряжение и соотношения коммутации и антикоммутации. Преобразования Лоренца для операторов рождения и уничтожения, C-, P- и T-преобразования.
 55. Спонтанно нарушенные калибровочные симметрии. Унитарная калибровка. Перенормируемая калибровка. Электрослабая теория. Динамически нарушенные локальные симметрии. Объединение сильных и электрослабых взаимодействий.
 56. Аномалии. Преобразование меры и абелева аномалия. Прямое вычисление аномалий. Распад нейтрального пиона. Безмассовые связанные состояния. Условия согласованности и отсутствия аномалий. Аномалии и голдстоуновские бозоны.

57. Принцип микропричинности и связанные части амплитуд. Структура взаимодействия.
58. Стационарное распределение зародышей стабильной фазы. Скорость нуклеации.
59. Нуклеация в пересыщенных парах. Постановка задачи об описании процесса нуклеации при мгновенном создании метастабильного состояния в приближении коллективного потребления вещества метастабильной фазы растущими частицами новой фазы.
60. Стадия нуклеации. Полное число зародившихся капель. Продолжительность стадии нуклеации
61. Вероятностно-статистический подход к описанию стадии нуклеации.
62. Среднее расстояние до ближайшей соседней капли и среднее время ее ожидания. Область применимости вероятностно-статистического подхода.
63. Критические индексы и соотношения между ними. Кинетика критических флуктуаций. Критическая опалесценция.
64. Развитая турбулентность. Переход к статистическому описанию.
65. Феноменологический вывод уравнений движения вязкой жидкости.
66. Галилеева инвариантность уравнения Навье-Стокса. Уточненная формулировка гипотез Колмогорова.
67. Уравнение Дайсона в теории турбулентности
68. Классические и квантовые размерные эффекты. Основные параметры.
69. Электронный спектр размерно-квантованных слоев
70. Уравнения гидродинамики жидкой смеси. Уравнение диффузии. Диффузия взвешенных частиц в жидкости.
71. Звуковые волны. Энергия звуковых волн. Поглощение звука
72. Уравнения движения жидкости в магнитном поле. Диссипационные процессы в магнитной гидродинамике.
73. Магнитогидродинамические волны.
74. Фазовые переходы II рода. Теория Ландау. Влияние внешнего поля на фазовый переход II рода.
75. Флуктуации параметра порядка.
76. Свободная энергия нематиков. Энергия Франка.
77. Эффект Фредерикса.