

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ФОПФ ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

На вступительном испытании будут заданы вопросы по выпускной квалификационной работе, вопросы по общефизическим и математическим дисциплинам и вопросы по направленности, по которой поступающий намерен обучаться, в зависимости от выбранного им факультета.

**Вопросы по выпускной квалификационной работе
(магистратура или специалитет)**

1. Основные положения.
2. Новизна.
3. Актуальность.

Оглавление

Направленность: 01.04.21 Лазерная физика	2
Направленность: 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	6
Направленность: 01.04.02 Теоретическая физика	8
Направленность: 01.04.07 Физика конденсированного состояния	10
Направленность: 01.04.05 Оптика	13
Направленность: 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц	16
Направленность: 01.04.09 Физика низких температур	18
Направленность: 01.04.23 Физика высоких энергий	20

ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.21 ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

1. Фазовая и групповая скорость света. Дисперсия групповых скоростей. Формирование показателя преломления в среде. Теория дисперсии света. Нормальная и аномальная дисперсия. Эффективное поле и поляризуемость среды. Диэлектрическая проницаемость и показатель преломления среды.
2. Оптика металлов. Плазменная частота. Формула Друде и ее приложения к плазме и металлам. Обобщения формулы Друде. Дисперсионные соотношения для плазмонов в металле. Поверхностные плазмон-поляритоны.
3. Распространение света в изотропных и анизотропных сред. Пространственная дисперсия. Одноосные и двуосные кристаллы. Обыкновенная и необыкновенная волны. Вращение плоскости поляризации.
4. Интерференционные явления в оптике. Пространственная и временная когерентность света. Двухлучевая и многолучевая интерференция. Разрешающая сила оптического прибора. Критерий разрешения Релея.
5. Дифракционные явления в оптике. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Предельные случаи. Основы точной теории дифракции.
6. Резонаторы и волноводы. Стоячие электромагнитные волны в резонаторах. Собственные частоты колебаний в резонаторах. Распространение ТМ и ТЕ волн в волноводах. Критический радиус волновода. Нижняя граница частот для распространения волн в волноводах. Главная волна в коаксиальном волноводе.
7. Уровни энергии и спектры водородоподобных атомов. Формула Ридберга. Специфика высоковозбужденных состояний атома. Тонкая и сверхтонкая структура атомов. Характерные масштабы энергий, частот и длин волн переходов в атомах и ионах.
8. Основные представления теории молекул. Приближение Борна-Оппенгеймера. Электронные и ядерные волновые функции двухатомной молекулы. Электронные термы. Энергетический спектр двухатомной молекулы. Характерные масштабы энергий, частот и длин волн переходов. Линейчатый, полосатый и непрерывный спектры.
9. Электронно-колебательно-вращательная структура спектров двухатомной молекулы. Приближения гармонического осциллятора и жесткого ротатора, их обобщения. Правила отбора для электронных, колебательных и вращательных переходов.
10. Атом во внешнем поле. Эффекты Зеемана и Штарка. Линейный эффект Штарка в атоме водорода. Случайное вырождение и переходный случай.
11. Термодинамические распределения. Распределения Гиббса, Максвелла, Больцмана, Планка. Закон действующих масс. Соотношения детального равновесия для частиц в дискретном и непрерывном спектрах. Формулы Саха и Саха-Больцмана. Статистический вес непрерывного спектра.
12. Специфика оптического диапазона. Дипольное приближение. Поля в ближней и дальней зонах. Интенсивность дипольного излучения. Разложение полей по мультиполям. Магнито-дипольное и электро-квадрупольное излучение. Мультипольное излучение.
13. Классический осциллятор с затуханием в поле электромагнитной волны. Сила радиационного трения и константа затухания осциллятора. Дисперсионная формула классической электродинамики на примере осциллятора во внешнем поле. Динамическая и статическая поляризуемости атома. Естественная ширина линии. Классическое и квантовое выражения для $\Delta\omega_{nat}$ и $\Delta\lambda_{nat}$. Лоренцевское распределение интенсивности излучения при радиационном уширении линии.
14. Собственные колебания поля. Разложение электромагнитного поля по плоским волнам. Гамильтоновский метод в электродинамике. Канонические переменные. Квантование свободного поля излучения. Правило коммутации обобщенных координат и импульсов.

Операторы рождения и уничтожения фотонов; оператор числа частиц. Энергия и импульс квантованного поля.

15. Когерентные и сжатые состояния света. Квантовые шумы светового поля в различных квантовых состояниях: когерентном, N-фотонном, сжатом, тепловом. Статистика фотонов.
16. Гамильтониан системы: атом + поле. Оператор взаимодействия поля с движущимся зарядом. Общие выражения теории возмущения для вероятностей однофотонного излучения и поглощения света. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятности и интенсивности дипольного излучения. Принцип соответствия.
17. Силы осцилляторов перехода. Теорема о сумме сил осцилляторов. Спектральное распределение коэффициента Эйнштейна. Эффективные сечения поглощения и вынужденного излучения. Контуры спектральных линий. Зависимость сечений в центре линии от ее ширины. Интегральные по линии и по всему спектру сечения поглощения. Коэффициент поглощения света на связанно-связанном переходе.
18. Механизмы уширения спектральных линий. Однородное и неоднородное уширения. Допплеровское уширение. Ударное и квазистатическое уширение. Ударное уширение нейтральными частицами (модель степенного взаимодействия). Лоренцовский контур линии в ударном пределе. Вайскопсовский радиус и частота. Границы применимости ударного и квазистатического пределов. Квазистатическое и антистатическое крылья линии.
19. Квантовые формулы для сечений ударного уширения и сдвига спектральных линий. Уширение и сдвиг линии в газах на переходах между высоковозбужденными и слабовозбужденными уровнями атомов. Асимптотические выражения для ширин и сдвигов ридберговских уровней. Закон Ферми.
20. Типы связанно-свободных радиационных переходов с участием атомов и молекул. Фотоионизация атома и фоторекомбинация. Фотоотрыв электрона от отрицательного иона. Фотодиссоциация молекул. Свободно-свободные фотопереходы. Тормозное излучение электрона в кулоновском поле.
21. Упругое и неупругое рассеяние света на атомах и молекулах. Классическая теория упругого рассеяния света. Дисперсионная формула классической электродинамики и ее предельные случаи. Релеевский и Томсоновский пределы. Резонансная флуоресценция.
22. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние. Формула Крамерса-Гайзенберга. Рассеяние на молекулах. Стоксовы и антистоксовы компоненты. Тензор рассеяния. Правила отбора при рассеянии света.
23. Теория двухфотонного испускания и поглощения света. Зависимость вероятности двухфотонного испускания от частот испускаемых квантов. Сравнение вероятности однофотонного и двухфотонного испускания. Коэффициент двухфотонного поглощения.
24. Нелинейная поляризация вещества. Классификация нелинейных явлений, характерные интенсивности света. Генерация второй гармоники. Условия фазового синхронизма: угловой и частотный синхронизм. Перекачка энергии в гармонику и обратно. Генерация суммарных и разностных частот.
25. Параметрическая генерация и усиление света. Параметрическая люминесценция и усиление. Параметрическая генерация света. Четырехволновое смешение. Связь четырехволнового смешения с известными механизмами нелинейности.
26. Взаимодействие двухуровневого атома с полем. Уравнения Блоха. Осцилляции Раби под действием монохроматического поля. Отклик атома на воздействие лазерного импульса (площадь импульса, π - и 2π -импульсы). Фотонное эхо. Самоиндуцированная прозрачность.
27. Квантовые особенности нелинейно-оптических явлений (генерация второй гармоники, параметрическая генерация света и генерация сжатых состояний, генерация субпуассоновского света).

28. Столкновительные процессы. Упругое и неупругое рассеяние. Эффективное сечение. Рассеяние в центральном поле. Оптическая теорема и ее следствия для рассеяния волн и частиц. Сечение возбуждения. Квазиклассическое и Борновское приближения.
29. Фемтосекундные лазерные импульсы. Фемтосекундный лазер. Самофокусировка и фазовая самомодуляция. Нелинейное параболическое уравнение. Применения фемтосекундных лазеров.
30. Лазерное охлаждение атомов и ионов. Оптическая патока, доплеровский предел. Субдоплеровское охлаждение.
31. Методы захвата заряженных частиц. Ловушка Пауля. Методы захвата нейтральных частиц. Магнитная, оптическая дипольные ловушки. Магнито-оптическая ловушка.
32. Физические основы субволновой оптики и микроскопии ближнего поля. Прохождение света через малое ($a \ll \lambda$) отверстие в экране. Формула Бете для коэффициента пропускания света в дальнюю зону. Получение локализованных световых полей в сужающихся металлизированных волноводах с субволновой апертурой (оптические зонды ближнего поля).
33. Гауссовы пучки: поперечная структура, продольная структура. Соотношение между углом фокусировки и радиусом перетяжки. Преобразование гауссова пучка идеальной линзой.
34. Моды резонаторов; условие устойчивости (связь с дифракцией). Частоты продольных и поперечных мод. Синхронизация продольных мод (фемтосекундные световые импульсы).
35. Строение волоконных световодов; одномодовые и многомодовые световоды. Эффективный волновой вектор; длина волны отсечки. Причины потерь излучения.
36. Принцип действия лазеров. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.
37. Одно- и многофотонная ионизация атомов и молекул. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов.
38. Многофотонная диссоциация молекул в лазерном поле. Лазерное разделение изотопов. Оптическое стимулирование химических реакций.

Литература

1. Д.В. Сивухин. Общий курс физики, том IV "Оптика" (Физматлит, Москва; Издательство МФТИ, 2002)
2. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики (Наука, Москва, 1970)
3. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика, (Издательство Московского Университета, Москва, 1998).
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Квантовая механика (Наука, Москва, 1974).
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля (Наука, Москва, 1973).
6. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика (Наука, Москва, 1976).
7. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред (Наука, Москва, 1982).
8. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика (Наука, Москва, 1980).
9. В. Гайтлер. Квантовая теория излучения (Изд. Иностранной литературы, Москва, 1956).
10. Р. Лоудон. Квантовая теория света, (Мир, Москва, 1976).
11. В.П. Крайнов, Б.М. Смирнов. Излучательные процессы в атомной физике (Высшая школа, Москва, 1983).
12. И.И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров (Наука, Москва, 1977).
13. Л.А. Вайнштейн, И.И. Собельман, Е.А. Юков. Возбуждение атомов и уширение спектральных линий (Наука, Москва, 1979).
14. С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов. Проблемы нелинейной оптики, (Москва, 1964).
15. В.П. Быков, О.О. Силичев. Лазерные резонаторы, (Физматлит, Москва, 2003).
16. Д.Н. Клышко. Фотоны и нелинейная оптика, (Наука, Москва, 1980).

17. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики, (Наука, Москва, 1989).
18. Л. Аллен, Дж. Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы, (Мир, Москва, 1978).
19. Д. Маркузе. Оптические волноводы (Мир, Москва, 1974).
20. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., 1988
21. О.Звелто. Принципы лазеров. М., 1989
22. Д.Н. Клышко. Физические основы квантовой электроники. М., 1986
23. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990

Дополнительная литература

1. Л. Мандель, Э. Вольф. Оптическая когерентность и квантовая оптика (Физматлит, Москва, 2000).
2. У. Люисел. Излучение и шумы в квантовой электронике, (Наука, Москва, 1972).
3. Я. Перина. Квантовая статистика линейных и нелинейных оптических явлений, (Мир, Москва, 1987).
4. М.М. Сушинский. Вынужденное рассеяние света, (Наука, Москва, 1985).
5. Р. Ньютон. Теория рассеяния волн и частиц (Мир, Москва, 1969).
6. В.Л. Гинзбург. Теоретическая физика и астрофизика (Наука, Москва, 1987).
7. М. Баранже. Уширение спектральных линий в плазме. Гл. 13. В кн.: Атомные и молекулярные процессы, под ред. Д. Бейтса (Мир, Москва, 1964).
8. Г. Герцберг. Спектры и строение двухатомных молекул, (Издательство иностранной литературы, Москва, 1949)
9. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия, Издание второе, (Эдиториал УРСС, Москва, 2001)
10. Л.А. Вайнштейн. Электромагнитные волны (Изд. "Советское радио", Москва, 1957).
11. Н.Б. Брандт, В.А.Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния, (Физматлит, Москва, 2007)
12. А. Ярив, П. Юх. Оптические волны в кристаллах, (Мир, Москва, 1987).
13. Н.Б. Делоне. Взаимодействие лазерного излучения с веществом, (Наука, Москва, 1989).

**НАПРАВЛЕННОСТЬ: 05.13.18 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

1. Основы строгой кинетической теории газов
 - 1.1. Функция распределения молекулярных скоростей
 - 1.2. Определение макропараметров газа по функции распределения
 - 1.3. Газ в состоянии термодинамического равновесия
 - 1.4. Кинетическое уравнение Больцмана для одноатомного газа
 - 1.5. Классический вывод уравнения Больцмана
 - 1.6. Вывод уравнения Больцмана из уравнения Лиувилля
 - 1.7. Пределы применимости уравнения Больцмана
2. Оператор столкновений для одноатомного газа
 - 2.1. Формулы преобразования скоростей при бинарных столкновениях
 - 2.2. Основные свойства оператора столкновений
 - 2.3. H-теорема и необратимость
 - 2.4. Консервативное вычисление оператора столкновений проекционным методом
3. Постановка краевых задач и методы решения уравнения Больцмана
 - 3.1. Взаимодействие газа с поверхностью твердого тела
 - 3.2. Постановка граничных условий для кинетического уравнения
 - 3.3. Безразмерные величины и критерии подобия
 - 3.4. Кинетическое уравнение в безразмерных переменных
 - 3.5. Решение уравнения Больцмана методом дискретных ординат
4. Кинетические уравнения для смеси газов и для молекулярных газов
 - 4.1. Система кинетических уравнений для смеси газов
 - 4.2. Вращательные уровни энергии многоатомных молекул
 - 4.3. Колебательные уровни энергии многоатомных молекул
 - 4.4. Обобщенное кинетическое уравнение для газа с внутренними степенями свободы
5. Конечно-разностные аппроксимации оператора адвекции кинетического уравнения
 - 5.1. Интегральные формы кинетического уравнения Больцмана
 - 5.2. Аппроксимация уравнения Больцмана на пространственно-скоростной сетке узлов
 - 5.3. Построение конечно-разностных схем метода характеристик на основе интегральных форм уравнения Больцмана
 - 5.4. Расщепление кинетического уравнения по физическим процессам
 - 5.5. Консервативные конечно-разностные схемы
6. Дискретная реализация начальных и граничных условий
 - 6.1. Типичные начальные условия
 - 6.2. Граничные условия на поверхности твёрдого тела
 - 6.3. Граничные условия на поверхностях симметрии течения
 - 6.4. Консервативная формулировка граничных условий
7. Вычисление интеграла столкновений и решение уравнения Больцмана
 - 7.1. Консервативный проекционный метод
 - 7.2. Многомерные кубатурные сетки Коробова и их преимущество
 - 7.3. Скорости после столкновения для произвольного молекулярного потенциала
 - 7.4. Обобщение метода для смеси газов
 - 7.5. Решение дискретного кинетического уравнения

8. Кинетическое уравнение для молекулярных газов

- 8.1. Проекционный метод вычисления интеграла столкновений с учётом поступательно-вращательного и поступательно-колебательного переноса энергии
- 8.2. Простая релаксационная модель поступательно-вращательного переноса энергии
- 8.3. Решение системы кинетических уравнений для газа с внутренними степенями свободы молекул

9. Примеры микро и нано устройств

- 9.1. Мембранный микро фильтр
- 9.2. Кнудсеновский компрессор
- 9.3. Насос из перемежающихся разно нагретых пластин
- 9.4. Микро ротатор (радиометр Крука)

Литература

- 1. М.Н.Коган, Динамика разреженного газа. Москва, «Наука», 1967
- 2. Чепмен С. и Каулинг Т., Математическая теория неоднородных газов, Москва, «Иностранная литература», 1960
- 3. Е.М.Лифшиц и Л.П.Питаевский, Физическая кинетика; Теоретическая физика под редакцией Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица в 10 томах, том 10. Москва, «Физматлит», 2002.
- 4. Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц, Статистическая физика; Теоретическая физика под редакцией Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица в 10 томах, том 5. Москва, «Физматлит», 1995.
- 5. Дж. Ферцигер и Г.Капер, Математическая теория процессов переноса в газах, Москва, «Мир», 1976
- 6. Людвиг Больцман, Избранные труды. В серии «Классики науки». Москва. «Наука», 1984
- 7. А.А. Самарский, Ю.П. Попов. Разностные методы решения задач газовой механики. – М.: Наука - Физматлит, 1992
- 8. В.С. Рябенкий. Введение в вычислительную математику. – М.: Наука - Физматлит, 2000
- 9. Лабораторный практикум по курсу ОСНОВЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ. – М.: - МЗ Пресс, 2001.
- 10. Randall J. Leveque. Finite volume methods for hyperbolic problems. - Cambridge University Press, 2002
- 11. Р. Лафоре. Объектно-ориентированное программирование в C++. 4-е изд.– СПб.: Питер, 2008.
- 12. Довбуш Г.Ф. Visual C++ на примерах. Под ред. Проф. Хомоненко А.Д. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.02 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

1. Механика

Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Законы сохранения, энергия, импульс, момент импульса. Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле. Распад частиц, упругие столкновения, сечения рассеяния частиц, формула Резерфорда. Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, колебания систем с многими степенями свободы, нормальные координаты. Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции, момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера. Канонические переменные, уравнение Гамильтона-Якоби, разделение переменных. Переменные действие-угол. Адиабатический инвариант.

2. Теория поля

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц. Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, градиентная инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля. Уравнение электромагнитного поля. Первая пара уравнений Максвелла. Действие для электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Вторая пара уравнений Максвелла. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Разложение электростатического поля. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Спектральное разложение запаздывающих потенциалов. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Дипольное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Синхротронное излучение.

3. Квантовая механика

Основные понятия квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы, их сложение и умножение. Дискретный и непрерывный спектр. Операторы энергии и импульса. Гамильтониан и дифференцирование операторов по времени. Стационарные состояния. Представление операторов в виде матриц. Гейзенберговское представление. Оператор импульса. Соотношение неопределенности. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер. Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Секулярное уравнение. Возмущения, зависящие от времени. Периодические возмущения. Спин. Оператор спина. Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.

4. Статистическая физика

Основные принципы статистики. Статистическое распределение. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Энтропия. Закон возрастания энтропии.

Термодинамические величины. Температура. Адиабатический процесс. Давление. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Максимальная работа. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Система с переменным числом частиц. Равновесие тела во внешнем поле. Распределение Гиббса. Свободная энергия и распределение Гиббса. Вывод термодинамических соотношений. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия и уравнение состояния. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ. Распределение Ферми и Бозе. Неравновесные Ферми- и Бозе-газы. Ферми- и Бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Вырожденный Бозе-газ. Флуктуации. Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации в идеальном газе. Формула Пуассона.

5. Электродинамика сплошных сред

Электростатика проводников. Электростатическое поле проводников. Энергия электростатического поля проводников. Электростатика диэлектриков. Электростатическое поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Постоянный ток. Плотность тока и проводимость. Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Сверхпроводимость. Магнитные свойства сверхпроводников. Сверхпроводящий ток. Критическое поле. Уравнение электромагнитных волн. Магнитная гидродинамика. Вмороженность. МГД-волны.

6. Механика сплошных сред

Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Уравнение непрерывности. Гидростатика. Условие отсутствия конвекции. Уравнение Бернулли. Поток энергии. Поток импульса.

7. Физическая кинетика

Ансамбль Гиббса. Функция распределения. Уравнение Лиувилля. Уравнение Больцмана. Уравнение Фоккера-Планка. H-теорема. Статистическая энтропия. Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Бесстолкновительная плазма: самосогласованное поле, квазинейтральная плазма, гидродинамика двухтемпературной плазмы.

8. Математические методы физики

Теория функций комплексного переменного. Вычисление интегралов вычетами. Решение уравнений с помощью контурных интегралов (метод Лапласа). Вычисление асимптотик интегралов. Специальные функции (Лежандра, Бесселя, эллиптические, гипергеометрические, гамма-функции).

Литература

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Механика. М.: Физматлит, 2012.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. М.: Физматлит, 2012.
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Физматлит, 2008.
4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика. М.: Физматлит, 2010.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2005.
6. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2006.
7. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Физическая кинетика. М.: Физматлит, 2007.
8. Лаврентьев М.А., Шабат Б. В., Методы теории функций комплексного переменного, Лань, СП, 2002.
9. Смирнов В.И., Курс высшей математики, Лань, СП, 2008.
10. Бейтмен Г., Эрдейи А., Высшие трансцендентные функции, Лань, СП, 2001.

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.07 ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

1. Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.

Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

10. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
8. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.05 ОПТИКА

1. Электромагнитная теория света

Уравнения Максвелла. Вектор Умова-Пойнтинга. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Фазовая и групповая скорости света. Поляризация света. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Типы поляризационных устройств. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения при отражении света. Распространение света в анизотропных и гиротропных средах. Волновые поверхности в кристаллах. Лучи и волновые нормали. Эллипсоид Френеля. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление. Электрооптические эффекты Керра и Поккельса. Оптическая активность. Эффект Фарадея. Оптика движущихся сред. Опыты Физо и Майкельсона. Преобразования Лоренца. Продольный и поперечный эффекты Допплера.

2. Геометрическая оптика

Асимптотическое решение волнового уравнения. Геометро-оптическое приближение. Уравнение эйконала. Область применения лучевого приближения. Принцип Ферма. Гомоцентрические пучки. Понятие оптического изображения. Параксиальное приближение. Преломление на сферической поверхности. Сферические зеркала и линзы. Образование каустик в оптических системах. Геометрические aberrации третьего и более высоких порядков. Хроматическая aberrация. Типы оптических приборов.

3. Интерференция и дифракция световых волн

Интерференционные явления в оптике. Комплексная степень когерентности. Теорема Ван-Циттерта-Цернике. Двухлучевая и многолучевая интерференция. Сдвиговая и спекл-интерферометрия. Многослойные покрытия. Дифракция. Дифракционные интегралы Кирхгофа-Гюйгенса. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Влияние дифракции на разрешающую силу систем, образующих изображение. Дифракционная решетка. Обратные задачи теории дифракции. Синтез оптических элементов.

4. Теория излучения и взаимодействия световых волн с веществом

Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Резонансное приближение. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Оптические нутации. Оптический эффект Штарка. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность. Солитоны. Релаксационные процессы. Уравнение для матрицы плотности. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей. Эффект насыщения. Законы теплового излучения. Формула Планка. Фотоэффект. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля. Однофотонные и многофотонные процессы. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Кооперативные эффекты. Сверхизлучение. Когерентное и комбинационное рассеяния. Распространение волн в нелинейной среде. Условие синхронизма. Генерация оптических гармоник. Самофокусировка света. Вынужденное комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Четырехволновое взаимодействие. Обращение волнового фронта. Вещество в сверхсильном световом поле.

5. Статистическая оптика

Временная и пространственная когерентность световых полей; корреляционные функции первого и высших порядков. Спектральное представление. Теорема Винера-Хинчина. Распределение Бозе-Эйнштейна. Параметр вырождения поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Связь статистик фотонов и

фотоотсчетов, формула Манделя для распределения фотоотсчетов. Дробовой шум. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Бифотоны. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Неравенства Белла.

6. Спектроскопия

Спектры атомов. Систематика спектров многоэлектронных атомов. Типы связей электронов. Определение набора термов. Мультиплетная структура. Правила отбора. Спектры молекул. Адиабатическое приближение. Группы симметрии молекул. Колебательные спектры. Классификация нормальных колебаний по типам симметрии. Правила отбора в колебательных спектрах поглощения и комбинационного рассеяния. Вращательная структура колебательных полос. Электронные спектры молекул. Классификация электронных состояний двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона. Типы связи электронного движения и вращения. Спектроскопия твердого тела. Переходы под действием света в идеальном кристалле. Поглощение в инфракрасной области спектра и взаимодействие света с фононной подсистемой. Поглощение света в металлах. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектриках. Переходы с остовных уровней. Эффекты Оже и Фано. Эффекты на краях остоного поглощения: EXAFS и XANES. Понятие о поляритонах. Спектроскопия дефектных состояний в кристаллах. Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения. Молекулярная и рекомбинационная люминесценция. Закон Стокса-Ломмеля. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции Левшина. Закон Вавилова. Триpletные состояния молекул и их роль в процессах деградации и миграции энергии электронного возбуждения. Схема Теренина-Льюиса. Тушение люминесценции. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Люминесценция молекулярных кристаллов.

7. Экспериментальная и прикладная оптика

Источники оптического излучения. Тепловые, газоразрядные и лазерные источники. Синхротронное излучение. Оптические материалы. Характеристики приемников излучения: спектральная и интегральная чувствительность, шумы, инерционность. Техника спектроскопии. Светофильтры, призмные и дифракционные спектральные приборы, интерферометры. Фурье-спектроскопия. Основные характеристики приборов: аппаратная функция, разрешение, светосила, дисперсия. Лазерная спектроскопия. Запись и обработка оптической информации. Волоконная оптика. Типы волоконных световодов. Волоконные линии связи. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.

8. Оптика лазеров

Принцип работы лазера. Схемы накачки. Теория Лэмба. Эффекты затягивания частоты и выгорания дыр. Лэмбовский провал. Оптические резонаторы. Моды оптических резонаторов. Свойства лазерных пучков. Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски. Режимы работы лазеров. Непрерывные и импульсный режимы. Пиковый режим. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов.

9. Нанофотоника

Ближнеполевые взаимодействия. Оптика затухающих волн. Плазмоника. Распределение поля в системе металл-диэлектрик. Гигантское усиление электромагнитного поля вблизи металлических наноструктур. Нелинейные свойства наноразмерных структур. Ближнеполевые нелинейные оптические процессы. Фотонные материалы с запрещенной зоной. Фотонные кристаллы. Наноразмерные источники света. Метаматериалы. Суперлинза.

Фотовольтаика. Характеризация поверхности. Сканирующая зондовая микроскопия. Электронная микроскопия.

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970.
2. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
3. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М: Изд-во МГУ, 1998.
4. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000.
5. Ландсберг Оптика: учебное пособие, 6-е изд., М: Физматлит, 2010.
6. Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики, М.: Физматлит, 2011.
7. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая оптика, М.: Физматлит, 2003.
8. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
9. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Изд-во МГУ, 1994.
10. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Изд-во МГУ, 1996.
11. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
12. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1990.
13. Парыгин В.Н., Балакий В.И. Оптическая обработка информации. М.: Изд-во МГУ, 1987.
14. B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, A John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2007.
15. P.N. Prasad, Nanophotonics, John Wiley & Sons Inc., 2004.
16. S. Kawata, Near-field optics and surface plasmon polaritons, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.16 ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

1. Уравнение Дирака и его свободное решение.
2. Лагранжиан и квантование электромагнитного поля.
3. S-матрица и правила Фейнмана в КЭД.
4. Радиационные поправки в КЭД.
5. Инфракрасная катастрофа и ее устранение.
6. Калибровочная инвариантность в абелевых и неабелевых теориях.
7. Структура слабых токов. Левые заряженные токи. Универсальность слабого взаимодействия. Нейтральные токи.
8. Спонтанное нарушение SU(2)-симметрии и генерация масс фермионов и векторных бозонов.
9. Лагранжиан Стандартной модели.
10. Теория Великого объединения.
11. Суперсимметрия.
12. Экспериментальное определение элементов матрицы CKM.
13. Наблюдение осцилляций B^0 , B_s и D^0 мезонов.
14. Эксперименты по поиску осцилляций нейтрино от различных источников.
15. Экспериментальное изучение CP-нарушения в B и K мезонах.
16. Экспериментальная проверка Стандартной модели в экспериментах ЦЕРНа (ускорители LEP, SPS).
17. Спектроскопия адронов, содержащих тяжелые кварки.
18. Изучение свойств tau-лептона. g-2 эксперименты.
19. Структурные функции и глубоко-неупругое рассеяние.
20. Открытие бозона Хиггса.
21. Масса нейтрино. Иерархия масс нейтрино. 2beta-распад.
22. Поиск процессов за границами Стандартной модели.
23. Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизация. Эффект Вавилова-Черенкова. Переходное излучение.
24. Прохождение электронов и фотонов через вещество. Электромагнитные ливни.
25. Прохождение адронов через вещество. Адронные ливни.
26. Фотодетекторы. Классификация. Основные характеристики и область применения.
27. Газовые детекторы. Классификация. Основные характеристики и область применения.
28. Кремниевые детекторы. Классификация. Основные характеристики и область применения.
29. Детекторы черенковского излучения. Классификация. Основные характеристики и область применения.
30. Электромагнитные калориметры. Классификация. Основные характеристики и область применения.
31. Трековые детекторы. Классификация. Основные характеристики и область применения.
32. Общие принципы устройства современного детектора в физике частиц высоких энергий.
33. Общие принципы устройства современного низкофонового детектора.

Литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Квантовая механика (Наука, Москва, 1974).
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля (Наука, Москва, 1973).
3. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика (Наука, Москва, 1980).
4. J. Beringer et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 86, 010001 (2012) (и более поздние издания).

5. Л.Б.Окунь « $\alpha \beta \gamma \dots Z$ » Элементарное введение в физику элементарных частиц, Москва «Наука» 1985.
6. Л.Б.Окунь «Лептоны и кварки», Москва, Наука, 1981.
7. М.В.Данилов УФН, т.168, №6, с.631, (1988) «Поиск нарушения СР-инвариантности в распадах В-мезонов»
8. Мизнер Ч., Торн К. Уилер Д.- Гравитация, 3 тома (Мир, 1977)
9. Вейнберг С. — Гравитация и космология. М., Мир, 1975.
10. Уолд Р. — Общая теория относительности, 2002
11. Статистические методы в экспериментальной физике, под редакцией А.А. Тяпкина, Москва, Атомиздат, 1976г.
12. Ахиезер, А. И., Берестецкий, В. Б., Квантовая электродинамика. -4-е изд., перераб., М.: Наука, 1981
13. К. Группен, «Детекторы элементарных частиц», Новосибирск, «Сибирский хронограф», 1999.
14. К. Н. Мухин, «Экспериментальная ядерная физика», книга 2, Москва, Энергоатомиздат, 1993.
15. Ф.Дайсон, Релятивистская квантовая механика, ИКС 2009
16. Хелзен Ф. Мартин А. «Кварки и лептоны. Введение в физику частиц». 1987 год.
17. Б.В.Мартемьянов Десять лекций по кварковой структуре адронов
18. Д.Перкинс «Введение в физику высоких энергий», Москва, Энергоатомиздат, 1991.
19. Л. Б. Окунь, Лептоны и кварки, Москва, Наука (1990).
20. Л. Райдер, Элементарные частицы и симметрии. Москва, Наука, (1983).
21. С. В. Семенов, Физика очарованных адронов, УФН т.169, №.9 937 (1999).
22. Высоцкий М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий, Физматлит, М., 2011
23. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. – Пер. с англ. – М.: R&S Dynamics, 2001.
24. Ю. Весс и Дж. Баггер, «Суперсимметрия и Супергравитация», М.~Мир, 1986.
25. П. Уэст, «Введение в суперсимметрию и супергравитацию», М. Мир, 1989
26. С. Вайнберг, «Квантовая теория полей. т. 3, Суперсимметрия, М. ФАЗИС, 2002
27. «Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва», Д.С.Горбунов, В.А.Рубаков, Москва: «ЛКИ», 2008
28. «Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория», Д.С.Горбунов, В.А.Рубаков, Москва: «КРАСАНД», 2009

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.09 ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

1. Холодильные циклы.

Идеальный процесс ожижения газов и минимальная работа ожижения. Ожижение водорода и гелия. Охлаждение путем откачки паров ^3He и ^4He методом растворения ^3He в ^4He . Охлаждение с использованием эффекта Померанчука и адиабатического размагничивания. Термометрия при низких температурах.

2. Термодинамика и статистическая физика

Распределения Гиббса, Максвелла, Больцмана. Второе начало термодинамики. Термодинамические потенциалы, соотношения между их производными. Термодинамические функции идеального газа. Теорема равнораспределения энергии по степеням свободы. Условие равновесия фаз. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Фазовые переходы второго рода. Изменение симметрии и параметр порядка. Скачок теплоемкости. Критические индексы. Распределения Бозе и Ферми. Температура вырождения. Порядок величины теплоемкости вырожденного Ферми-газа.

3. Симметрия, кристаллография

Кристаллические системы. Решетки Браве. Обратная решетка, зона Бриллюэна. Кристаллические структуры простых веществ. Жидкие кристаллы. Магнитная симметрия.

4. Тепловые свойства диэлектриков.

Теплоемкость: закон Дебая, закон Дюлонга и Пти. Температура Дебая. Законы сохранения энергии и квазиимпульса при взаимодействии фононов. Теплопроводность диэлектриков. Зависимость от температуры. Роль процессов переброса.

5. Магнитные свойства диэлектриков

Атом в магнитном поле. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Закон Кюри. Гамильтониан Гейзенберга. Магнитоупорядоченные вещества. Ферромагнетики. Закон Кюри-Вейсса. Антиферромагнетики. Продольная и поперечная восприимчивость АФМ. Ферримагнетики. Магнетики в слабых и сильных магнитных полях. Спиновые волны. Закон дисперсии для ферро- и антиферромагнетика. Температурная зависимость магнитного вклада в теплоемкость и намагниченности ферромагнетика в приближении теории спиновых волн. Резонансы. ЯМР, ЭПР, ФМР, АФМР. Области частот резонансов.

6. Нормальные металлы

Модель свободных электронов. Энергия, импульс, скорость, температура Ферми. Вид зависимости энергии от квазиимпульса для электронов в периодическом поле решетки. Закрытые и открытые поверхности Ферми. Плотность состояний. Квазичастицы. Элементарные формулы для проводимости и теплопроводности. Длина свободного пробега электронов. Электрон-фононные столкновения (условия сохранения энергии и импульса). Температурная зависимость проводимости и теплопроводности. Закон Видемана-Франца. Диамагнетизм Ландау и парамагнетизм Паули. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс. Квантовые осцилляции магнитного момента и сопротивления.

7. Сверхпроводники

Изменение свободной энергии, энтропии, теплоемкости при переходе металла из нормального состояния в сверхпроводящее в магнитном поле. Соотношения БКШ для T_c и щели Δ . Электронный энергетический спектр возбуждений в сверхпроводнике и нормальном металле. Связь между шириной щели и H_c при $T = 0$. Зависимость теплоемкости и теплопроводности сверхпроводников от температуры при $T \ll T_c$. Длина когерентности и глубина проникновения. Выражение этих величин через ширину щели, фермиевскую

скорость, массу и плотность электронов. Квантование магнитного потока. Эффекты Джозефсона. Сверхпроводники I и II рода. Кривые намагничивания. Структура сверхпроводников в смешанном состоянии. Вихри Абрикосова.

8. Гелий-4 и гелий-3.

Фазовая диаграмма ^4He и ^3He . Энергетический спектр сверхтекучего ^4He и критическая скорость Ландау. Температурная зависимость фононного и ротонного вклада в теплоемкость. Термомеханический эффект. 1-й и 2-й звуки. Вихри в сверхтекучем ^4He . Ферми-жидкость: температура вырождения, теплоемкость, вязкость, теплопроводность.

Литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
5. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.
6. Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика, М, Наука, Физматлит 1995
7. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред, М, Наука, Физматлит 2001

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.23 ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1. Экспериментальные методы в физике высоких энергий

Раздел 1. Взаимодействие излучения с веществом

Тема 1. Ионизационные потери

Модель Ферми для кулоновского взаимодействия заряженной частицы с атомными электронами. Спектр электронов отдачи. Формула Бете-Блоха. Понятие MIP. Границы применимости. Эффект плотности. Плато Ферми. Ограниченные потери. Флуктуации потерь. Распределение Ландау. Ионизационные потери как основной механизм детектирования частиц.

Тема 2. Черенковское и переходное излучение

ЧИ как интерференционный эффект. Пороговый характер ЧИ. Кинематическая интерпретация ЧИ. Спектр, угловое распределение и поляризация ЧИ. ЧИ как часть ионизационных потерь.

Идентификация частиц посредством регистрации ЧИ.

ПИ от границы раздела сред. ПИ от фольги и щели. ПИ от регулярной структуры. ПИ Оптическое и рентгеновское ПИ. Насыщение ПИ как функции Лоренц-фактора частицы. Идентификация частиц посредством регистрации РПИ.

Тема 3. Многократное рассеяние.

Резерфордское рассеяние. Понятие радиационной длины. Угловое распределение рассеяния.

Тема 4. Тормозное излучение и рождение пар.

ТИ в поле ядра. Длина экранировки. Критическая энергия. Рождение электронпозитронных пар -квантом в поле ядра. Формулы Бете-Гайтлера. Электромагнитный каскад. Модель каскада. Продольная форма каскада. Приближение Росси. Радиус Мольер.

Тема 5. Дополнительные вопросы излучения и взаимодействия с веществом.

Синхротронное излучение. Поглощение низкоэнергичных -квантов веществом: комптоновское рассеяние; фотоэффект; рэлеевское рассеяние. Взаимодействие мюонов очень высоких энергий с веществом. Взаимодействие адронов с веществом, его общие характеристики. Ядерный каскад.

Раздел 2. Детекторы частиц и излучений

Тема 6. Газовые детекторы частиц.

Физические процессы в газе: первичная и полная ионизация; -электроны; дрейф и диффузия заряженных частиц; газовое усиление; пробой; фотоионизация и фотопоглощение.

Ионизационная камера. Форма сигнала. Индукционный эффект. Цилиндрический пропорциональный счетчик. МПК, ДК, ДТ, GEM. Время-проекционная камера. dE/dx - идентификация частиц.

Тема 7. Полупроводниковые детекторы.

Зонная структура полупроводника. Собственная и примесная проводимость; ионизация; термализация; дрейф; рекомбинация. Шумы в п/проводнике. Необходимость обеднения. Емкость перехода. PIN-детектор. Формирование сигнала в ППД. Разрешение. Спектрометрические и трековые ППД. Вершинный детектор.

Тема 8. Сцинтилляционные детекторы и фотоприемники.

Виды и свойства сцинтилляторов, основные характеристики; механизмы сцинтилляции.

Эффект Биркса. Конструкции СД.

Вакуумный ФЭУ, основные процессы и характеристики: фото- и термо- эмиссия из полупроводникового фотокатода; вторичная эмиссия; оптическая и ионная обратная связь; объемный заряд. Шумы ФЭУ

Полупроводниковые фотоприемники. Ячеистый лавинный фотодиод.

Тема 9. Детекторы черенковского и переходного излучения.

Черенковские счетчики. Пороговый, дифференциальный и многоканальный счетчики. Детектор колец черенковского излучения.

Детекторы переходного излучения (ДНИ). Радиатор, детектирующие элементы.

Тема 10. Калориметры и установки.

Типы калориметров. Электромагнитный калориметр. Факторы разрешения: флуктуации сбора «заряда» и выборки, утечки, шумы. Линейность. Радиационная стойкость калориметра. Адронные калориметры: дополнительные факторы энергетического (и пространственного) разрешения. Конструкции калориметров.

Основные детекторы и типовые компоновки установок в ФВЭ.

Литература

1. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. М.: Энергоатомиздат. 1985.
2. Ю.К.Акимов. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.:Энергоатомиздат, 1989
3. Ю.К.Акимов Фотонные методы регистрации излучений. Дубна: ОИЯИ, 2006
4. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Ю.А.Будагов и др. Ионизационные измерения в физике высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. К.Клайнкнехт. Детекторы корпускулярных излучений. М.: Мир, 1990.
7. Д.Джелли. Черенковское излучение и его применения. М.: ИИЛ, 1960.
8. Walter Blum, Werner Riegler, Luigi Rolandi. Particle Detection with Drift Chambers. Springer, 2008. e-ISBN: 978-3-540-76684-1

Дополнительная литература

1. C.Grupen. Particle Detectors. Cambridge: University Press. 1992
2. В.Л.Гинзбург. Теоретическая физика и астрофизика. М.: Наука, 1981.
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред (т.VIII). М.: Наука, 1982
4. А.И.Ахиезер, Н.Ф.Шульга. Электродинамика высоких энергий в веществе: М. Наука, 1993

2. Статистические и численные методы анализа данных

Раздел 1. Использование технологии Грид в ФВЭ

Тема 1. Характеристики и типы Грид-систем.

Грид-ресурсы и виртуальные организации. Архитектура Грид. Промежуточное программное обеспечение. Европейская инфраструктура Грид.

Тема 2. Организация практической работы в ГРИД.

Задания в Грид. Типы заданий. Запуск, получение результатов. Основные принципы работы с данными в Грид. Понятия SURL, TURL, LFN. Информационная система в Грид.

Раздел 2. Статистические методы в ФВЭ

Тема 3. Доверительный интервал и пределы доверия.

Частотный подход. На примере нормального распределения. Байесовский подход на примере распределения Пуассона с ненулевым фоном. Метод максимального правдоподобия на примере распределения Пуассона.

Тема 4. Проверка гипотез.

Учет систематических ошибок. Проверка гипотез. Статистическое программное обеспечение в задачах физики высоких энергий.

Раздел 3. Нейронные сети

Тема 5. Нейронные сети.

Математическая модель нейрона. Функции активации нейронных элементов.

Обучение с учителем. Дельта-правило корректировки весов. Однослойные и многослойные НС. Распространение сигнала в многослойных сетях. Алгоритмы обратного распространения ошибок для обучения многослойных НС.

Раздел 4. Прикладное программное обеспечение в ФВЭ

Тема 6. Среда программирования ROOT.

Задание и построение графиков и функций, работа с графическим редактором, введение в генераторы случайных чисел. Виды гистограмм: 1D, 2D и профильные.

Тема 7. Моделирование в среде ROOT.

Метод моделирования Монте-Карло. Классы для работы с 4-векторами. Основные методы подгонки данных. Моделирование распада пиона на 2 гамма кванта. Основные методы работы с массивами данных. Извлечение информации из объектов типа TTree и их анализ. Моделирование работы электромагнитного калориметра. Генераторы событий на примере генератора PYTHIA. Моделирование процесса образования лептонной пары в pp соударениях.

Тема 8. Применение баз данных и интернет технологий в ФВЭ.

Базы данных на примере MySQL. Основные команды MySQL. Формирование очередей запросов в базу данных. Знакомство с интернет технологиями - HTML, PHP.

Раздел 5. Основные методы реконструкции и анализа в ФВЭ

Тема 9. Основные методы реконструкции и анализа и физических процессов в ФВЭ. Основные компоненты моделирования взаимодействия. Основные типы генераторов. Знакомство с программой моделирования детекторов и процессов в них GEANT. Методы определения параметров заряженных частиц. Основные алгоритмы определения параметров струй. Проблема двойного счёта для струй и методы её решения.

Основные идеи b-tagging.

Литература

1. Б. Эккель. Философия C++. Практическое программирование. СПб. Питер, 2004
2. С. Прата. Язык программирования C++. Москва, DiaSoft, 2005
3. Д.Худсон. Статистика для физиков. Москва, Мир, 1970
4. Е.Бюклинг, К.Каянти. Кинематика элементарных частиц. Москва, Мир, 1973
5. <http://root.cern.ch>
6. С. Осовский; Нейронные сети для обработки информации, М: Финансы и статистика, 2002.
7. В.В. Круглов, "Искусственные нейронные сети", Телеком, 2001.
8. G. Cowan, Statistical Data Analysis, Oxford Univ. Press, 1998.
9. R. J. Barlow, Statistics, J. Wiley, 1989.

10. С. Битюков, Н. Красников, Применение статистических методов для поиска новой физики на Большом Адронном Коллайдере, e-Print -- arXiv: 1107.3974 [physics.data-an], 2011
11. Jacob, Bart; et al. Introduction to Grid Computing. IBM.
<http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg246778.html?Open>
12. GEANT - Detector Description and Simulation Tool
<http://wwwasd.web.cern.ch/wwwasd/geant/>
13. Pythia event generator <http://root.cern.ch/root/html/tutorials/pythia/index.html>

3. Основы физики ускорителей

Раздел 1. Принципы работы ускорителей

Тема 1. Значение ускорителей в физической науке и технологии.

Классификация ускорителей. Применение ускорителей. Встречные пучки, светимость, современные коллайдеры. Электронные и ионные источники заряженных частиц. Линейные ускорители: высоковольтные ускорители прямого действия, ускоритель Вин де Граафа, тандемные ускорители, каскадные ускорители, линейные индукционные ускорители. Циклические ускорители с постоянной орбитой: бетатрон, синхротрон. Циклические ускорители с переменной орбитой: циклотрон, микротрон.

Тема 2. Резонансное ускорение.

Резонансный принцип ускорения. Линейные ускорители электронов, ионов (ускоритель Альвареса), RFQ ускоритель, мезонные фабрики. Синхротроны с совмещенными и разделенными функциями магнитной структуры. Примеры синхротронов на высокие энергии: Дубна, Бустер ИФВЭ, У-70, ЛНС, УНК, проект Омега в ИФВЭ.

Тема 3. Синхротрон: устройство и принцип действия.

Понятие о фокусировке. Проектная орбита (reference orbit). Изменение магнитного поля, коэффициент расширения орбиты. Ускорение в синхротроне: принцип автофазировки, синхронная энергия и синхронная фаза, критическая энергия, уравнения синхротронного движения, синхротронные колебания.

Литература

1. А.А. Коломенский, А.Н. Лебедев. Теория циклических ускорителей. М., Физматгиз, 1962.
2. А.А. Коломенский. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. Издательство Московского университета, 1980.
3. А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. Основы физики и техники ускорителей. М., Энергоатомиздат, 1991.

4. Теория фундаментальных взаимодействий

Раздел 1. Квантовая электродинамика

Тема 1. Функция распространения

Тема 2. Электромагнитное поле

Тема 3. Свободные релятивистские частицы с массой

Тема 4. Свободные частицы со спином 1/2

Тема 5. Функция Грина электрона

- Тема 6. Матричные элементы амплитуд рассеяния
 Тема 7. Взаимодействие с фотоном электрона и скалярной частицы
 Тема 8. Рассеяние фотона электроном и скалярной частицей (Комптон-эффект)
 Тема 9. Аннигиляция электрон-позитронной пары
 Тема 10. Аннигиляция скалярных частиц
 Тема 11. Формула Вайцекера-Вильямса

Раздел 2. Слабые взаимодействия

- Тема 1. Структура слабых токов
 Тема 2. Распад мюона
 Тема 3. Лептонные распады адронов
 Тема 4. Нейтральные К-мезоны, распады и смешивание
 Тема 5. Нарушение СР-инвариантности
 Тема 6. Распады т-лептона
 Тема 7. Распады очарованных частиц
 Тема 8. Матрица смешивания кварков
 Тема 9. Калибровочная инвариантность
 Тема 10. Стандартная модель электрослабого взаимодействия
 Тема 11. Спонтанное нарушение симметрии
 Тема 12. Свойства промежуточных бозонов
 Тема 13. Свойства Хиггсовских бозонов

Литература

1. М. Пескин, Д. Шредер, «Введение в квантовую теорию поля», Addison-WesleyPublishingCompany (русский перевод: Научно-издательский центр «R&C Dynamics», Москва-Ижевск, 2001 г.)
2. В.Н. Грибов, «Квантовая электродинамика», Научно-издательский центр «R&C Dynamics», Москва-Ижевск, 2001г.
3. Р. Фейнман, «Квантовая электродинамика», издательство «Мир», Москва, 1964 г.
4. Л.Б. Окунь, «Лептоны и кварки», Москва, «Наука», 1981 г.

Дополнительная литература

1. Дж.Д. Бьёркен, С.Д. Дрелл, «Релятивистская квантовая теория. (В 2х томах)», И: Наука, 1978 г.

5. Введение в физику высоких энергий

Тема 1. Что и как изучает физика высоких энергий.

Массы частиц. Размеры частиц. Естественные единицы. Виды фундаментальных взаимодействий. Сечение. Светимость. Типичные эксперименты.

Кинематика реакций.

Пороги реакций. Бинарные реакции. Преобразования распределений. Двухчастичные распады. Трехчастичные распады. Инклюзивные и эксклюзивные реакции.

Тема 2. Теория рассеяния.

Выражение амплитуды рассеяния через фазы. Оптическая теорема. Формула Брейта-Вигнера. Дифракционное рассеяние. Барийонные и мезонные резонансы.

Тема 3. Изотопическая симметрия

Адроны. SU(2)-симметрия. Коэффициенты Клебша. SU(2)-симметрия в сильных и слабых взаимодействиях. Нарушение SU(2)-симметрии.

Тема 4. Рассеяние электронов на нуклонах и ядрах.

Вывод формулы Резерфорда. Формфактор. Формулы Мёллера и Розенблата. Формфакторы нуклонов.

Тема 5. Жесткие процессы (1).

e^+e^- в адроны. Полное сечение. Струи. Цвет.

Тема 6. Систематика адронов.

Кварковая модель, $SU(3)_c$ -симметрия, цвет.

Мезоны, барионы, тяжелый кварконий.

Тема 7. Жесткие процессы(2).

Глубоко-неупругое взаимодействие. Кинематика. Скейлинг. Партоновая модель.

Тема 8. Дискретные симметрии

P , C , T -симметрии. Тождественность частиц. Связь спина и статистики

Тема 9. Уравнение Дирака. Волновая функция частиц со спином U . Частицы и античастицы.

Тема 10. Слабые взаимодействия.

Распады лептонов. Нарушение P -четности. Взаимодействие ток*ток. Фермиевская константа.

Распады адронов. Универсальность слабого взаимодействия.

Тема 11. Смешивание кварков.

Матрица смешивания кварков. Нарушение CP -четности. Эксперименты по исследованию распадов тяжелых кварков.

Тема 12. Нейтрино

Массы нейтрино. Дираковские и майорановские нейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом. Осцилляции.

Тема 13. Промежуточные бозоны.

Рождение промежуточных бозонов в адронных взаимодействиях. Рождение Z -бозонов в e^+e^- взаимодействиях. Массы, ширины, вероятности распадов.

Тема 14. Сведения о стандартной модели

Проблемы модели Ферми. Калибровочные теории. Хиггсовская модель. Свойства хиггсовского бозона.

Литература

1. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 1991
2. Ф.Клоуз. Кварки и партоны. М.: Мир, 1988
3. Ф.Хелзен, А.Мартин. Кварки и лептоны. Москва, Мир, 1987.
4. Л.Б.Окунь, Лептоны и кварки, Наука, М., 1981
5. Л.Б.Окунь. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988

6. Феноменология в ФВЭ

Раздел 1. Электромагнитные взаимодействия

Тема 1. Высшие порядки в КЭД Лэмбовский сдвиг. Вклад адронов в a_e . Аномальный магнитный момент мюона. Измерение аномального магнитного момента мюона.

Тема 2. Электромагнитные свойства адронов. Относительные ширины распадов $V \rightarrow l^+l^-$ в кварковой модели Относительные ширины распадов $V \rightarrow \mu^+\mu^-$ в кварковой модели Модель

доминантности векторных мезонов. Реакции Примакова. Приближение эквивалентных фотонов.

Тема 3. Эксперименты по измерению квантовых чисел адронов Пространственная четность пиона. Спин пиона. С-четность пиона. Примеры разрешенных и запрещенных (подавленных) реакций.

Тема 4. Эксперименты по проверке С, Р, Т инвариантности. Как преобразуются различные величины при Р и Т инверсиях Сравнение сечений прямых и обратных реакций Наблюдение несохранения Р-четности в слабых взаимодействиях Комбинированная четность Измерение электрического дипольного момента нейтрона

Раздел 2. Сильные взаимодействия

Тема 5. Лагранжиан КХД Локальное преобразование $SU(3)_c$ Восемь безмассовых глюонов Самодействие глюонов. Неабелевость. Лагранжиан КХД.

Тема 6. Асимптотическая свобода, конфайнмент. Эволюция α_s с q^2 . Асимптотическая свобода. Конфайнмент.

Тема 7. Модели адронов Потенциальная модель Модель мешков Трубки. Тяжелый кварконий.

Тема 8. Экзотические адроны
Какие состояния могут реализовываться в нерелятивистской модели. Глюболы. Гибридные мезоны и барионы. Многокварковые состояния. Пентакварковые барионы. Состояния X, Y, Z

Тема 9. Киральная симметрия, массы кварков Киральная симметрия $SU(2)_L \times SU(2)_R$. Пион как псевдоголдстоуновский бозон Киральная симметрия $SU(3)_L \times SU(3)_R$ Массы u и d - кварков

Тема 10. Струи
Факторизация жестких и мягких процессов. Обнаружение струй в экспериментах на e⁺e⁻ коллайдерах. Алгоритмы выделения струй (конус, k_t...). Характеристики струй. Методы калибровки энергии струй.

Тема 11. Множественные процессы
Быстрота и псевдобыстрота. Лестничная модель. Фрагментация и рекомбинация. Правила счета для процессов с малыми p_t

Тема 12. Реджистика.
Дисперсионные соотношения. Унитарность. Перекрестная симметрия. Диаграмма Чу-Фраучи. Померон. Феноменология бинарных реакций.

Тема 13. Кварк-глюонная плазма. Фазовая диаграмма. Критическая температура. Коллективные свойства.

Раздел 3. Стандартная модель

Тема 14. Структура слабых взаимодействий при низких энергиях, несохранение четности. Взаимодействие ток-ток. Универсальность заряженного тока. Фермиевская константа. Левые заряженные токи. Нейтральный ток. Распад мюона. Эксперименты по исследованию распада мюона.

Тема 15. Распад пиона Угол Кабиббо. Сохранение векторного тока. Эксперименты по

исследованию распада пиона.

Тема 16. Р-распад нейтрона. Общий вид векторного и аксиального токов. Векторные формфакторы. Аксиальные формфакторы. Частичное сохранение аксиального тока. Эксперименты по исследованию распада нейтрона.

Тема 17. Распады каонов. Нелептонные распады.

Тема 18. Нейтральные каоны. Переходы $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$. Разность масс K_1 и K_2 . Осцилляции странности. Механизм ГИМ. Регенерация.

Тема 19. Несохранение СР. Распады $K \rightarrow \pi \pi$. Феноменология нарушения СР. СР - неинвариантные эффекты.

Эксперименты по исследованию нарушения СР-инвариантности в распадах каонов.

Тема 20. τ -лептон

Лептонные распады. Полуадронные распады. Эксперименты по исследованию распадов τ -лептона.

Тема 21. Распады тяжелых кварков. Мезоны с d и b -кварками. Лептонные распады. Нелептонные распады. t -кварк.

Тема 22. Несохранение СР-четности в распадах тяжелых кварков. Матрица ККМ. Измерение констант V_{ij} . Треугольник ККМ.

Тема 23. Нейтринные взаимодействия. Взаимодействие нейтрино с электроном. Взаимодействие нейтрино с нуклонами. Эксперименты по прямому измерению массы нейтрино.

Тема 24. Осцилляции нейтрино. Осцилляции для системы из двух нейтрино. Эксперименты по наблюдению осцилляций. Взаимодействие с веществом. Общий вид матрицы смешивания для трех нейтрино.

Тема 25. Лагранжиан стандартной модели. Свойства Z, W . Массы W и Z — бозонов. Слабые заряды нейтральных токов. Массы лептонов и кварков. Эксперименты по измерению параметров W и Z -бозонов.

Тема 26. Свойства H бозонов. Ограничения на массу хиггсовского бозона. Роль хиггсовского бозона при высоких энергиях. Взаимодействие H -бозона с кварками. Взаимодействие H -бозона с глюонами и фотонами. Открытие хиггсовского бозона.

Литература

1. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 1991
2. Ф.Клоуз. Кварки и партоны. М.: Мир, 1988
3. Ф.Хелзен, А.Мартин. Кварки и лептоны. Москва, Мир, 1987.
4. P.D.B. Collins & A.D. Martin. Hadroninteractions, 1984, ISBN 0-85274-768-3
5. Фейнман Р., Взаимодействие фотонов с адронами, Наука, М., 1975
6. Л.Б.Окунь, Лептоны и кварки, Наука, М., 1981
7. Т.-П.Ченг, Л.-Ф.Ли. Калибровочные теории в физике элементарных частиц, Мир, 1987
8. Боум Ф., Фогель П. Физика массивных нейтрино. М. Мир 1990.