

Программа по курсу «Квантовая радиофизика» («Квантовая электроника») 2014г.

1. Введение

Предмет квантовой электроники. История проблем. Квантовая электроника и радиоэлектроника. Роль квантовой электроники в разработке новейшей техники.

2. Квантовая теория свободного электромагнитного поля

Постановка задачи. Идея квантования. Разложение электромагнитного поля по свободным типам колебаний. Канонически сопряженные переменные для электромагнитного поля. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы физических величин (вектор потенциала, напряженностей электрического и магнитного поля и энергии) для электромагнитных полей. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля. Общие следствия квантования электромагнитного поля. Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии. Понятие электромагнитного вакуума. Его характерные свойства. Понятие фотона. Свойства фотона. Операторы электромагнитных полей для плоских волн. Операторы рождения и уничтожения для фотонов. Момент количества движения фотона, Спин фотона. Средние значения напряженностей полей и их дисперсии.

3. Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом

Оператор Гамильтона системы заряженных частиц и электромагнитного поля. Оператор энергии взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Квантовая теория излучения. Однофотонные и двухфотонные переходы в первом порядке теории возмущений. Матричные элементы оператора энергии взаимодействия поля с веществом для процессов однофотонного излучения и поглощения. Плотность радиационных осцилляторов (электромагнитных мод) в свободном пространстве и резонаторе. Индуцированное излучение фотона. Вероятность индуцированного излучения. Свойства индуцированного излучения. Спонтанное излучение. Вероятность спонтанного излучения. Свойства спонтанного излучения. Однофотонное поглощение. Вероятность однофотонного поглощения. Соотношение между вероятностями индуцированного и спонтанного процессов. Влияние вырождения состояний квантовой системы на величину вероятностей излучения и поглощения. Вероятности излучения и поглощения в электродипольном приближении. Правила отбора для электродипольного излучения (поглощения). Связь пространственной четности волновой функции квантовой системы с правилом отбора для дипольного излучения (поглощения). Магнитодипольное и электродипольное излучение (поглощение). Оценка величин для вероятности этих процессов. Вероятность спонтанного излучения. Соотношение неопределенностей энергия-время и естественная ширина линии излучения. Добротность спектральной линии. Спонтанное излучение в оптике и радиодиапазоне. Оценки величин. Связь вероятности излучения (поглощения) квантовой системы с интенсивностью, спектральной интенсивностью и спектральной яркостью источника. Влияние ширины линии излучения (поглощения) на величину вероятности излучения квантовой системы. Сечения фотопоглощения и излучения квантовой системы. Многофотонные процессы. Параметрические и непараметрические многофотонные процессы.

4. Механизмы уширения спектральных линий. релаксация

Спонтанное излучение. Приближение Вигнера-Вайскопфа. Спектральный контур линии спонтанного излучения. Лэмбовский сдвиг уровней. Релаксация. Время релаксации. Понятие о динамической и диссипативной подсистемах на примере спонтанного излучения атома. Релаксация динамической подсистемы как процесс взаимодействия с диссипативной подсистемой. Электромагнитный вакуум как диссипативная подсистема. Релаксация и уширение спектральных линий. Однородное уширение спектральных линий.

Физические механизмы однородного уширения спектральных линий в газах, жидкостях и твердых телах. Оценки величин однородного уширения спектральных линий для различных физических механизмов. Неоднородное уширение спектральных линий. Физические механизмы неоднородного уширения. Оценки величин неоднородного уширения линий в различных средах. Водородный мазер. Атомно-лучевая трубка. Квантовые стандарты времени и частоты.

5. Квантовая кинетика

Матрица плотности. Свойства матрицы плотности. Уравнение для матрицы плотности (уравнение фон-Неймана). Матрица плотности подсистемы. Квантовое кинетическое уравнение (уравнение для матрицы плотности динамической подсистемы, взаимодействующей с диссипативной подсистемой-термостатом). Времена релаксации для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности. Условия применимости квантового кинетического уравнения. Двухуровневая система. Продольное и поперечное времена релаксации и их физический смысл. Оценки продольного и поперечного времен релаксации для различных сред.

6. Взаимодействие двухуровневой среды с резонансным электромагнитным полем

Уравнения для двухуровневой среды взаимодействующей с классическим электромагнитным полем. Стационарные решения уровней двухуровневой среды, взаимодействующей с резонансным полем. Эффекты насыщения и просветления среды в сильном электромагнитном поле. Мощность, поглощаемая средой из электромагнитного поля. Вероятность индуцированного излучения при квантовом переходе между двумя уровнями под действием классического электромагнитного поля. Насыщающая мощность. Оценки насыщающей мощности для различных сред, используемых в качестве рабочих материалов в квантовой электронике. Применение эффекта насыщения для управления параметрами лазерного излучения. Электронный парамагнитный резонанс. Уравнения Блоха. Кинетические соотношения для магнитодипольных сред. Нестационарные (когерентные) явления в двухуровневых средах. Самоиндуцированная прозрачность.

7. Методы создания инверсной разности населенностей

Инверсия населенностей. Метод оптической накачки. Трехуровневые системы. Представление 3-х уровневой системы эквивалентной 2-х уровневой системой. Инверсия населенностей в неодимовом лазере. Оценки инверсной разности населенностей для неодима. Создание инверсной разности населенностей в газах с помощью газового разряда. Возбуждение атомов при столкновении с электронами. Вероятность возбуждения атома налетающим электроном. Неупругие соударения атомов. Перенос энергии при неупругом соударении атомов и молекул. Гелий-неоновый лазер. Величины инверсной разности населенностей для газовых лазеров. Создание инверсии в полупроводниковых средах. Создание инверсной разности населенностей методом сортировки атомов неоднородными статическими электрическими и магнитными полями.

8. Квантовые усилители и генераторы

Уравнение переноса излучения в усиливающей среде. Коэффициент усиления. Оценки величины коэффициента усиления для различных сред. Уравнения квантового генератора в полуклассическом приближении. Понятие о "холодных" и "горячих" модах. Одномодовое приближение. Укороченные уравнения для одномодового квантового генератора. Стационарный режим колебания квантового генератора и его характеристики. Условие самовозбуждения квантового генератора. Эффект затягивания частоты в квантовом генераторе. Добротность резонатора. Время жизни фотона в резонаторе. Мощность квантового генератора. Оценка мощности для различных типов мазеров и лазеров. Балансные уравнения для квантового генератора. Учет спонтанного излучения в

балансных уравнениях. Нестационарные процессы. Релаксационные колебания в квантовых генераторах. Частота и декремент затухания. Методы повышения мощности генерации лазеров. Метод модулированной добротности. Импульсная генерация в твердотельных лазерах. Метод синхронизации мод в лазерах. Различные типы лазеров – твердотельные (Nd), газовые (He-Ne), полупроводниковые.

Рекомендуемая литература:

а) основная литература:

1. Ханин Я.И. *Лекции по квантовой радиофизике*, - Н.Новгород, 2005.
2. Ярив А. *Квантовая электроника*. - М.: Сов.радио, 1980.
3. Страховский Г.Н., Успенский А.В. *Основы квантовой электроники* - М.: Высшая школа, 1979.
4. Звелто О. *Физика лазеров* - М.: Мир, 1979.
5. Карлов Н.В. *Лекции по квантовой электронике*. - М.: Наука, 1983.
6. Клышко Д.Н. *Физические основы квантовой электроники*. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1986.

б) дополнительная литература:

1. Хакен Г. *Лазерная светодинамика* - М.: Мир, 1988.
2. Файн В.М. *Квантовая радиофизика, Т.1. Фотоны и нелинейные среды*, - М.: Сов.радио, 1972.
3. Пантелл Р., Путхоф Г. *Основы квантовой электроники*. - М.: Мир, 1972.