

ПРОГРАММА
специального курса кафедры квантовой электроники
"Физические основы квантовой электроники"
(4 курс, 7 семестр, 72 часа)
проф. Кулик С.П., с.н.с. Кузнецов К.А.

1. Основы квантовой электроники

- 1.1 Введение.** История квантовой электроники. Основные понятия: вынужденное и спонтанное излучение, инверсия населенностей, релаксация, обратная связь. Сечение перехода и коэффициент поглощения (усиления). Условие самовозбуждения квантового генератора. Методы инверсии населенностей.
- 1.2 Коэффициенты поглощения и усиления.** Уравнение Шредингера в энергетическом представлении. Теория возмущения. Приближения: линейное, дипольное, вращающейся волны, неподвижных независимых атомов. Вероятность перехода в монохроматическом поле. Учет ширины резонанса. Естественное, столкновительное, доплеровское уширение. Однородное и неоднородное уширение.
- 1.3 Взаимодействие с некогерентным полем.** Функция корреляции, время когерентности и ширина спектра. Спектральная плотность поля. Коэффициенты Эйнштейна А и В. Вывод формулы Планка по Эйнштейну. Электромагнитное поле как термостат. Плотность мод. Спектральная яркость излучения и число фотонов на моду. Эффективная температура.
- 1.4 Линейная поляризация среды.** Определение и общие свойства диэлектрической восприимчивости - роль вещественности поля, симметрии среды, принципа причинности. Симметрия кинетических коэффициентов. Классическая модель дисперсии. Поправки на локальное поле. Закон дисперсии и нормальные волны. Поляритоны. Двупреломление. Квантовая теория дисперсии. Матрица плотности - определение, свойства, связь с поляризацией среды. Уравнение фон Неймана. Кинетические уравнения. Времена релаксации T_1 , T_2 и T_2^* . Дисперсионная формула Крамерса-Гейзенберга. Сила осциллятора.
- 1.5 Двухуровневая модель.** Уравнения Блоха. Стационарное решение. Эффект насыщения. Времена релаксации T_1 , T_2 , T_2^* . Насыщение неоднородно-уширенного перехода. Провалы Беннета и Лемба. Спектроскопия насыщения. Когерентное взаимодействие. Условия наблюдения нестационарных эффектов. Вектор и сфера Блоха. Геометрическая интерпретация. Свободная прецессия. Вынужденная нутация. Формула Раби для населенностей. Эффекты самоиндуцированной прозрачности, оптического эхо, сверхизлучения, резонансной флуоресценции. Когерентная спектроскопия.

2. Основы физики лазеров

- 2.1 Принципиальная схема оптического квантового генератора.** Усилитель, обратная связь, частотная селекция, источники энергии.
- 2.2 Индукцированные и спонтанные переходы в двухуровневой системе.** Взаимодействие с когерентным полем. Дипольный момент перехода двухуровневой системы. Осцилляции Раби. Когерентность индуцированного излучения

- 2.3 **Усиление и генерация света.** Поглощение и усиление. Сечение поглощения. Коэффициент поглощения, коэффициент усиления. Условия усиления, инверсия населенности уровней, “отрицательная температура”. Эффект насыщения, интенсивность насыщения. Активные среды. Предельный коэффициент усиления, предельная мощность на выходе из усилителя. Предельная длина активной среды. Шумы квантового усилителя, шумовая и спиновая температуры. Усиление и генерация. Полоса пропускания. Частота генерации.
- 2.4 **Открытые резонаторы.** Резонаторы в радиотехнике. Добротность и модовый состав закрытых объемных резонаторов. Мода (собственное колебание) закрытого резонатора межмодовое расстояние (по частоте). Его зависимость от номера моды. Открытые резонаторы и прореживание спектра. Моды пассивного открытого резонатора. Дифракционные потери. Метод Фокса-Ли. Устойчивые конфигурации открытых резонаторов. Диаграмма устойчивости. Конфокальные и концентрические резонаторы. Неустойчивые резонаторы, Конкретные схемы, их свойства, достоинства и недостатки. Матричный метод расчета оптических систем. Примеры передаточных функций для распространенных оптических систем.
- 2.5 **Гауссовы пучки,** Основные характеристики: размер перетяжки, расходимость, кривизна волнового фронта. Преобразование и оптика гауссовых пучков.
- 2.6 **Режимы работы лазеров.** Непрерывный режим. Свободная генерация. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Спектр продольных мод открытого резонатора. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Самосинхронизация при эффекте насыщения и при самовоздействии (керровская линза).

3. Лазеры

- 3.1 **Газовые лазеры.** Особенности газообразных активных сред. Основные методы возбуждения: электрический разряд, газодинамическое и химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка. Гелий-неоновый лазер Высоковольтный разряд. Резонансный столкновительный механизм передачи энергии. Схема уровней. Конкуренция линий. Параметры разряда, параметры лазера. Аргоновый лазер. Дуговой разряд. Ионные лазеры. Схема уровней. Условие инверсии. Перекачка газа в разряде. Параметры разряда, параметры лазера
- 3.2 **Лазеры на парах металлов.** Гелий - кадмиевый лазер. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Электрофорез. Схема уровней. Параметры разряда, параметры лазера. Самоограниченные переходы. Лазеры на самоограниченных переходах. Лазер на парах меди. Схема уровней. Параметры разряда, параметры лазера. Другие примеры лазеров на парах металлов.
- 3.3 **Молекулярные лазеры.** Колебательно - вращательные спектры молекул. Правила отбора. P-, Q-,R- ветви. Нормальные колебания многоатомных молекул. CO₂ - лазер. Механизм инверсии. Роль азота и гелия. Продольная накачка. Спектральные свойства CO₂ - лазеров. Вращательная структура. Перестройка частоты излучения. Импульсный разряд. ТЕА CO₂ - лазеры. Самостоятельные и несамостоятельные разряды. СО- лазер. Особенности строения энергетической структуры СО. Параметры лазеров.
- 3.4 **Газодинамические лазеры.** Принципы построения. Основные параметры.

- 3.5 **Химические лазеры.** Принципы действия. Основные параметры
- 3.6 **Твердотельные лазеры.** Трехуровневые и четырехуровневые схемы генерации. Матричные эффекты в твердотельных активных средах. Рубиновый лазер Уровни энергии иона хрома в корунде. Лазер на алюмо-иттриевом гранате.
- 3.7 **Лазеры с перестраиваемой частотой генерации** Лазеры на красителях. Лазеры на центрах окраски. Лазер на сапфире с ионами титана. Фемтосекундный режим генерации титан-сапфирового лазера. Аттосекундные лазерные системы.
- 3.8 **Полупроводниковые лазеры.** Механизмы рекомбинации и инъекции носителей в гомо- и гетероструктурах. Каскадные лазеры на квантовых ямах, терагерцевые лазеры.
- 3.9 **Лазеры на модах "шепчущей галереи".**
- 3.10 **Лазеры на свободных электронах, рентгеновские лазеры.**

Литература

1. Д.Н. Клышко. «Физические основы квантовой электроники», Москва, Наука, 1986.
2. П. В. Елютин. «Теоретические основы квантовой радиофизики», Москва, Изд-во МГУ, 1982.
3. Ю.А. Ильинский, Л.В.Келдыш. «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом», Москва, Изд-во МГУ, 1989.
4. О.Звелто. «Принципы лазеров». 4-е изд. СПб., Лань, 2008.
5. Н.В. Карлов. «Лекции по квантовой электронике», Москва, Наука, 1988.
6. В.П.Быков, О.О.Силичев. «Лазерные резонаторы», Москва, Физматлит, 2003.
7. П.Г. Крюков. «Непрерывные фемтосекундные лазеры», УФН, т.183, №9, с.897, 2013.
8. А.Н. Пихтин. «Оптическая и квантовая электроника», Москва, Высшая школа, 2001.
9. У. Льюиселл. «Излучение и шумы в квантовой электронике», Москва, Наука, 1972.