

## ПРОГРАММА КУРСА

### Современные лазерные и оптоэлектронные системы

3 курс, физический факультет, кафедра общей физики и волновых процессов

В.Б.Морозов, А.Н.Оленин

#### Введение. План курса

1. Современная оптика и фотоника. Основные технологические достижения современной оптики. Современная оптика и смежные дисциплины. Оптоэлектроника. Фотоника. Лазер – одно из главных изобретений XX века. Историческая справка. Общие сведения об устройстве лазера. Основные характеристики. Области применения лазеров. О классификации лазеров.

#### Свет. Волны и пучки. Оптические резонаторы.

2. Основные сведения из электромагнитной теории. Уравнения Максвелла. Электромагнитное поле в изотропной и в анизотропной среде. Волновое уравнение. Плоские электромагнитные волны. Энергия и мощность электромагнитного поля. Интенсивность и плотность электромагнитной энергии плоской волны. Волны в кристаллах. Передача света в свободном пространстве и в среде.

3. Оптика лучей. Параксиальные лучи. Распространение оптических лучей через оптические среды и системы оптических элементов. Простейшие оптические элементы. ABCD-матрица передачи луча. Последовательность оптических элементов. Периодическая последовательность оптических элементов. Критерий устойчивости траектории.

4. Световые волны и пучки. Волновое уравнение. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны. Параксиальное приближение. Параксиальная волна. Параксиальное уравнение Гельмгольца. Гауссов пучок. Основные параметры гауссова пучка. Ширина пучка и расходимость. Фаза и кривизна волнового фронта. Мера качества реальных пучков. Гауссовы пучки в однородной среде. Прохождение Гауссовых пучков через оптические элементы. Закон ABCD. Понятие о Эрмит-Гауссовых и Лагерр-Гауссовых пучках.

5. Резонатор для оптических пучков. Эталон Фабри-Перо как оптический резонатор. Резонаторы со сферическими зеркалами. Продольные и поперечные моды оптического резонатора. Диаграмма устойчивости. Резонансные частоты оптических резонаторов. Потери в оптических резонаторах. Неустойчивые оптические резонаторы.

#### Взаимодействие света со средой. Усиление света

6. Взаимодействие света со средой. Излучение и поглощение. Кванты. Излучение черного тела. Моды прямоугольной полости. Формула Рэлея-Джинса. Формула Планка. Квантовая природа света.

7. Взаимодействие излучения с атомами (ионами). Излучение и поглощение света. Спонтанное и вынужденное излучение. Усиливающая активная среда. Пороговое условие усиления. Взаимодействие атомов с электромагнитными модами. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение. Сила осциллятора. Функция формы линии. Сечение перехода и время жизни. Переходы, индуцированные монохроматическим и широкополосным излучением. Вероятности переходов и коэффициенты Эйнштейна.

8. Лазерное усиление. Основные признаки лазерного усиления. Характеристики лазерного усилителя. Коэффициент усиления. Ширина полосы. Фазовый сдвиг. Требования к накачке лазерного усилителя. Характерные времена распада уровней. Скоростные уравнения. Четырехуровневая схема накачки. Трехуровневая схема накачки. Насыщение усиления. Однородно уширенная и неоднородно уширенная среда. Шумы усилителей. Основные типы накачки. Некоторые лазерные среды.

### **Лазеры. Режимы генерации**

9. Лазерная генерация. Распространенные типы лазеров. Условия лазерной генерации. Усиление в активной среде. Фазовый сдвиг при усилении. Потери в оптическом резонаторе. Условия лазерной генерации. Порог генерации. Моды лазерной генерации. Мощность генерации. Плотность фотонов в резонаторе. Спектр генерации при однородном и неоднородном уширении. Выжигание пространственных провалов. Выжигание спектральных провалов. Провал Лэмба. Пространственное распределение лазерного излучения. Пучки Эрмита-Гаусса и Лагерра-Гаусса. Одномодовое и многомодовое излучение. Селекция мод. Основные типы лазеров.

10. Динамика лазерной генерации. Модель «точечного лазера». Активная среда. Усреднение по ансамблю. Релаксация поляризации и населенности. Дипольное приближение. Резонансное приближение. Усиление и поглощение излучения. Балансные уравнения. 3-х и 4-х уровневые среды. Излучение в резонаторе: усиление и потери. Уравнения для частиц и для поля. Переход к безразмерным величинам.

11. Режимы лазерной генерации. Стационарные значения интенсивности и инверсной населенности. Пиковый режим. Пиковая интенсивность и длительность импульса. Релаксационные колебания. Оптимальный резонатор. Примеры 3-х и 4-х уровневых сред. Населенность нижнего лазерного уровня. Пороговое значение мощности накачки. Продольная и поперечная накачка. Скорость накачки. Выходные характеристики. Тепловой режим. Модуляция добротности – импульсы длиннее времени обхода резонатора. Длительность импульса. Мощность и энергия. Способы модуляции добротности резонатора. Синхронизация мод резонатора – импульсы короче времени обхода резонатора. Способы синхронизации мод. Методы измерения длительности лазерных импульсов.

### **Лазеры и оптоэлектроника. Оптико-электронные системы. Оптические технологии**

13. Оптика полупроводников. Энергетические зоны и носители заряда в полупроводниках. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Полупроводниковые материалы. Концентрация электронов и дырок. Генерация, рекомбинация, инжекция. Полупроводниковый p-n-переход, диод на p-i-n-переходе. Гетеропереходы. Квантово-размерные структуры. Взаимодействие фотонов с носителями зарядов в полупроводниках.

14. Полупроводниковые источники света. Светоизлучающие диоды. Полупроводниковые оптические усилители. Суперлюминесцентные

диоды. Лазерные диоды. Квантово-размерные лазеры. Лазеры с микрорезонаторами.

15. Полупроводниковые детекторы фотонов. Основные физические принципы работы фотодетекторов (фотоприемников). Основные классы фотодетекторов. Фотоэлектронная эмиссия (внешний фотоэффект). Фотопроводимость (внутренний фотоэффект). Общие характеристики полупроводниковых фотодетекторов. Фотоприемники. Фотопроводники. Фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Матричные детекторы. Шумы фотодетекторов. Основные источники и характеристики шумов.

16. Оптические волокна и волоконные лазеры. Структура оптических волокон. Направляемые лучи. Критический угол. Числовая апертура. Моды оптических волокон. Параметр волокна  $V$ . Одномодовые и многомодовые волокна. Ослабление света при распространении в волокне. Дисперсия оптических волокон. Распространение лазерных импульсов. Нелинейно-оптические эффекты. Солитоны. Уширение коротких оптических импульсов из-за дисперсии. Изготовление оптических волокон. Активные волокна. Схемы накачки. Внутриволоконные брэгговские решетки. Брэгговские зеркала. Схемы построения и компоненты волоконных лазеров. Источники накачки волоконных лазеров. Резонатор Фабри-Перо. Кольцевой резонатор. Общая схема эрбиевого волоконного лазера. Общая схема иттербиевого волоконного лазера. Другие волоконные лазеры. Непрерывное излучение. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Волоконные лазеры сверхкоротких импульсов. Волоконные усилители. Рамановские волоконные усилители.

17. Современные лазерные, оптоэлектронные и оптические технологии. Лазеры в обработке материалов. Лазеры в химии, биологии и медицине. Оптические системы записи, обработки и отображения информации. Оптоволоконные линии связи. Лазеры в измерительных и навигационных системах. Уникальные лазерные комплексы.