

# ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 2006/2007 учебный год.

### Примеры вопросов и задач

#### I. Формирование лазерного излучения.

- Показатель усиления слабого сигнала.
- Показатель усиления слабого сигнала при колебательно-вращательных переходах. Полная и частичная инверсия.
- Показатель усиления при наличии поля излучения в резонаторе. Случай однородно уширенного контура линии усиления.
- Моды оптического резонатора.
- Резонаторы лазеров. Диаграмма устойчивости.
- Селекция поперечных мод лазера.
- Селекция продольных мод лазера.
- Работа лазеров в импульсном режиме. Оптимальная скважность импульсов генерации.
- Методы получения импульсного лазерного излучения.
- Метод самосинхронизации мод, генерация ультракоротких импульсов.

#### II. Типы лазеров.

- Лазеры на углекислом газе. Особенности накачки и формирования инверсной заселенности.
- Лазер на окиси углерода.
- Химические лазеры. Механизм образования инверсии. Основные параметры.
- Химические лазеры на передаче энергии.
- Твердотельные лазеры.
- Экцимерные лазеры.
- Лазеры на красителях.
- Лазеры на самоограниченных переходах, азотный и водородный.
- Полупроводниковые лазеры.

#### III. Релаксационные явления в газах.

- Классификация процессов колебательной релаксации. Иерархия характерных времен.
- Колебательная релаксация. Вероятность процесса. Параметр Мессе.
- Колебательная релаксация гармонического осциллятора. Формула Ландау-Теллера.
- Характерное время колебательно-поступательной релаксации.
- Колебательная релаксация многоатомных молекул на примере CO<sub>2</sub>.
- Колебательная релаксация в смеси газов.

- Механизм образования инверсии в лазерах на углекислом газе.
- Колебательно-колебательный обмен. Кинетическое уравнение. Соотношение между колебательными температурами двух осцилляторов, находящихся в равновесии и не испытывающих колебательно-поступательной релаксации.
- Колебательная релаксация ангармонического осциллятора.
- Механизм формирования "плато" функции распределения ангармонического осциллятора.

#### **IV. Задачи.**

- На каких вращательных линиях возможна генерация в молекуле CO, если полная заселенность верхнего уровня лазерного перехода в три раза ниже, чем нижнего. Температура газа 87 К, вращательная постоянная  $B=1.92 \text{ см}^{-1}$ .
- Определить, на каком вращательном переходе реализуется максимальный показатель усиления в CO<sub>2</sub>-лазере. Вращательная постоянная молекул CO<sub>2</sub> составляет  $0.39 \text{ см}^{-1}$ , температура газа 300К.
- Известно, что время колебательной релаксации молекул CO при нормальных условиях составляет около 1.0 с. Каким оно будет в смеси  $0.9\text{CO} + 0.1\text{N}_2$ , при  $P=10 \text{ атм.}$  и  $T=300 \text{ К}$ , если известно, что молекулы водорода эффективнее в колебательной релаксации молекул CO в сто раз.
- Известно, что время колебательной релаксации молекул азота при нормальных условиях составляет около 10 с. Каким оно будет в смеси  $0.3\text{N}_2 + 0.7\text{He}$ , при  $P=0.1 \text{ атм.}$  и  $T=300 \text{ К}$ , если известно, что молекулы гелия эффективнее в колебательной релаксации молекул азота в 60 раз.
- Оценить предельную разрешающую способность лазерного спектрометра, в котором используется лазер с расстоянием между зеркалами 1.0 м и коэффициентом отражения 99%.
- Оценить расстояние между зеркалами при котором, генерация лазера на углекислом газе становится одномодовой. Параметры лазера: рабочее давление  $P=0.05 \text{ атм.}$ , температура  $T=300 \text{ К}$ . Принять, что оптический диаметр при столкновительном уширении линий CO<sub>2</sub> всеми компонентами смеси одинаков и равен  $\sigma=10^{-15} \text{ см}^2$ , средний молекулярный вес смеси-20.
- Газовая смесь, в которой распространяется ударная волна, содержит молекулы CO и N<sub>2</sub>. Определить колебательную температуру молекул CO за ударной волной, когда V-V' обмен колебательными квантами между молекулами CO и N<sub>2</sub> пришел к равновесию, а процессы V-T релаксации еще являются «замороженными». Характеристические температуры молекул CO и N<sub>2</sub> равны соответственно 3060 и 3340 К, температура газа-2500 К, колебательная температура азота 2500К.
- Оценить расстояние между зеркалами, при котором генерация лазера на CO становится одномодовой. Параметры лазера: рабочее давление  $P=0.01 \text{ атм.}$ , температура  $T=87 \text{ К}$ . Принять, что оптический диаметр при столкновительном уширении линий CO всеми компонентами смеси одинаков и равен  $\sigma=10^{-15} \text{ см}^2$ , средний молекулярный вес смеси-20.

- Лазерная смесь содержит молекулы CO и N<sub>2</sub>. Определить колебательную температуру молекул CO после импульса возбуждения, когда V-V' обмен колебательными квантами между молекулами CO и N<sub>2</sub> пришел к равновесию, а процессы V-T релаксации еще являются замороженными. Характеристические температуры молекул CO и N<sub>2</sub> равны соответственно 3060 и 3340К, температура газа-200К, колебательная температура молекул азота 1800К.
- Потери в резонаторе лазера при одном проходе составляют 10%. Определить, возможна ли генерация, если показатель усиления слабого сигнала равен 0.2 м<sup>-1</sup>, расстояние между зеркалами 0.5 м, времена релаксации верхнего и нижнего лазерных уровней, имеющих одинаковое вырождение- 10<sup>-7</sup> и 4.0 10<sup>-8</sup> с, а характерное время между взаимодействием частицы с фотонами 6.0 10<sup>-6</sup> с. Также известно, что линия усиления уширена за счет столкновений.
- Показатель усиления слабого сигнала в центре линии равен 0.6 м<sup>-1</sup> при отношении доплеровской и столкновительной полуширин  $a=0.4$  и температуре газа 400 К. Каким он будет при T=200 К, если населенности колебательных состояний поддерживаются неизменными, а вращательная постоянная равна 0.39 см<sup>-1</sup>.
- Показатель усиления слабого сигнала в центре линии равен 0.6 м<sup>-1</sup> при отношении доплеровской и столкновительной полуширин  $a=0.4$  и температуре газа 400 К. Каким он будет при T=200 К, если населенности колебательных состояний поддерживаются неизменными, а вращательная постоянная равна 0.39 см<sup>-1</sup>.
- Определить, на каком вращательном переходе реализуется максимальный показатель усиления в CO-лазере. Вращательная постоянная молекул CO составляет 1.92 см<sup>-1</sup>, температура газа 87К.
- Оценить время колебательной релаксации молекул окиси углерода при температуре T=2000 К, если известно, что при T=300 оно было 0.4 сек. Давление газа не изменялось. Характеристическая температура колебаний окиси углерода  $\theta=3060$  К. Константа скорости процесса колебательной релаксации окиси углерода может быть аппроксимирована соотношением:  $K_{V-T}=2.9 \cdot 10^{-15} T^{1/2}$  см<sup>3</sup>/с.
- На каких вращательных линиях возможна генерация в молекуле CO<sub>2</sub>, если полная заселенность верхнего уровня лазерного перехода в два раза ниже, чем нижнего. Температура газа 300 К, вращательная постоянная углекислого газа  $B=0.39$  см<sup>-1</sup>.
- Оценить время колебательной релаксации молекул азота при температуре T=3000 К, если известно, что при T=300 оно было 1 сек. Давление газа не изменялось. Характеристическая температура колебаний азота  $\theta=3340$  К. Константа скорости процесса колебательной релаксации азота может быть аппроксимирована соотношением:  $K_{V-T}=4.9 \cdot 10^{-16} T^{3/2}$  см<sup>3</sup>/с.