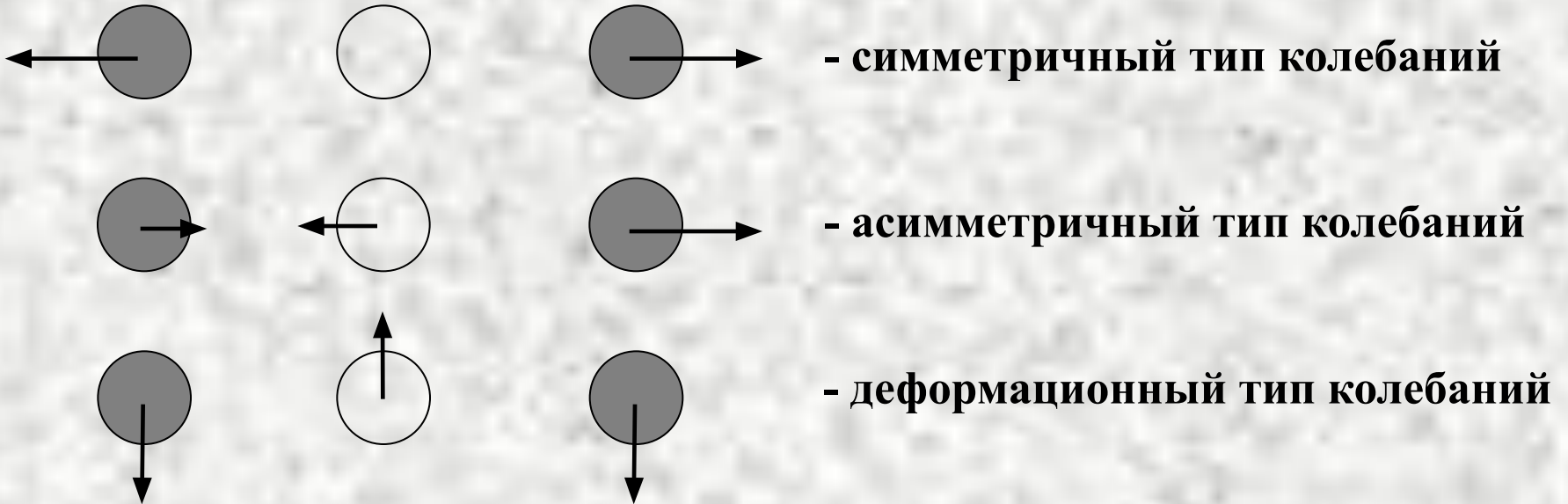


Газовые лазеры: CO₂ лазер

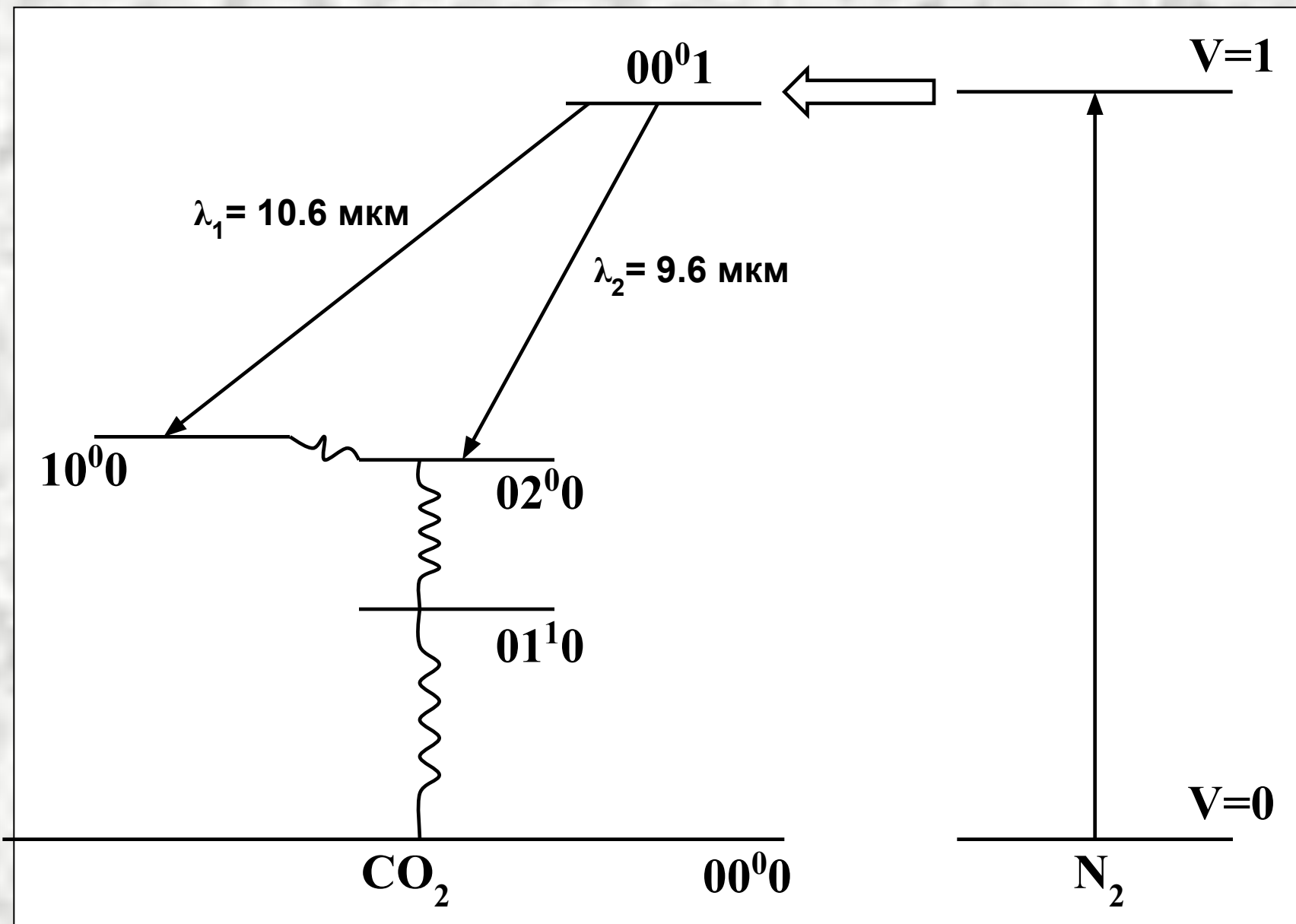
Типы колебаний молекулы CO₂



Деформационные колебания могут происходить как в одной, так и в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, вследствие чего данный тип колебаний имеет две моды: $l=0, 1$

Все типы колебаний являются взаимно-независимыми, каждое колебательное состояние определяется перечислением всех колебательных чисел, включая моду деформационного колебания: $(V_1 V_2^l V_3)$

Газовые лазеры: CO₂ лазер



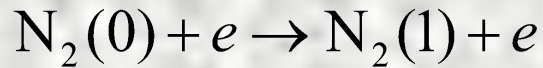
Газовые лазеры: CO₂ лазер

Лазерная генерация возникает на переходах $00^01 \rightarrow 10^00$ и $00^01 \rightarrow 02^00$ с длинами волн 10.6 мкм и 9.6 мкм

Величина первого колебательного кванта молекулярного азота ($V=1 \rightarrow V=0$) отличается от энергии уровня 00^01 на 18 см^{-1} .

Состояние N₂ ($V=1$) является метастабильным

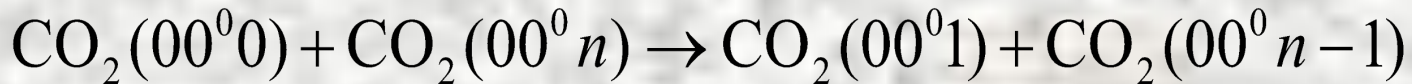
В разряде протекают следующие процессы:



Также происходит столкновительная передача энергии в процессах:



с последующим столкновением молекул углекислого газа друг с другом:



Газовые лазеры: CO₂ лазер

Состояние 00⁰1 имеет время жизни порядка 0.5 мс. Далее происходит излучательная релаксация в одно из состояний 10⁰0 или 02⁰0

Состояние 10⁰0 очень быстро безызлучательно релаксирует в состояние 02⁰0

Скорость безызлучательной релаксации состояния 02⁰0 в состояние 01¹0 велика при столкновениях с гелием. Состояние 01¹0 так же быстро в столкновениях с гелием безызлучательно релаксирует в основное состояние

Вероятность перехода 00⁰1→10⁰0 выше, чем вероятность перехода 00⁰1→02⁰0. Поэтому в обычном режиме CO₂-лазер будет генерировать на длине волны 10.6 мкм

Газовая смесь в CO₂-лазере трехкомпонентная: генерация происходит на переходах молекулы CO₂, N₂ используется для накачки верхнего лазерного уровня, а гелий используется для опустошения нижних лазерных уровней
Характерные соотношения компонентов смеси CO₂: N₂:He=1:1:8 при полном давлении порядка 10-15 Торр

Газовые лазеры: CO₂ лазер

Роль гелия

1. Гелий является газом, в котором хорошо поддерживается газовый разряд
2. Гелий отличается высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно охлаждать зону разряда: при высоких температурах происходит заселение состояния 01^10
3. При больших концентрациях гелия заметно снижается степень диссоциации молекул CO₂ при их столкновениях с электронами

Вращательная структура

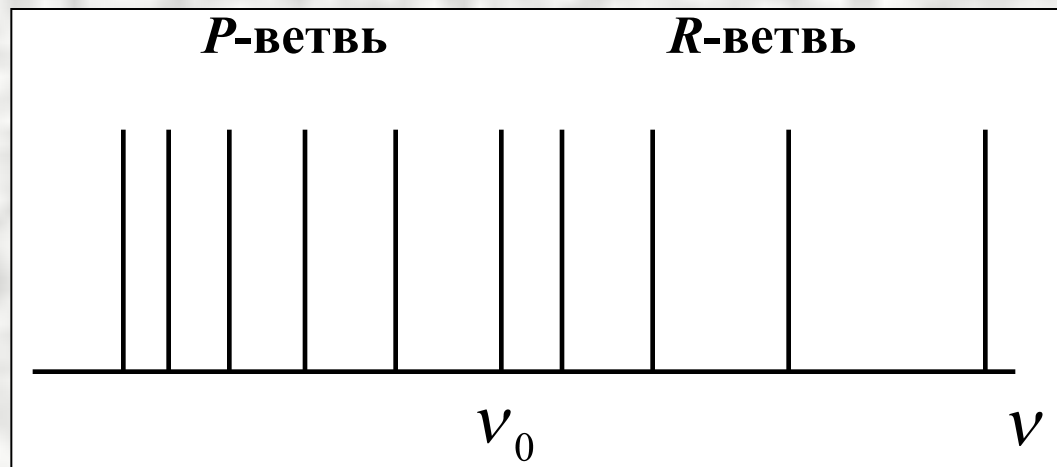
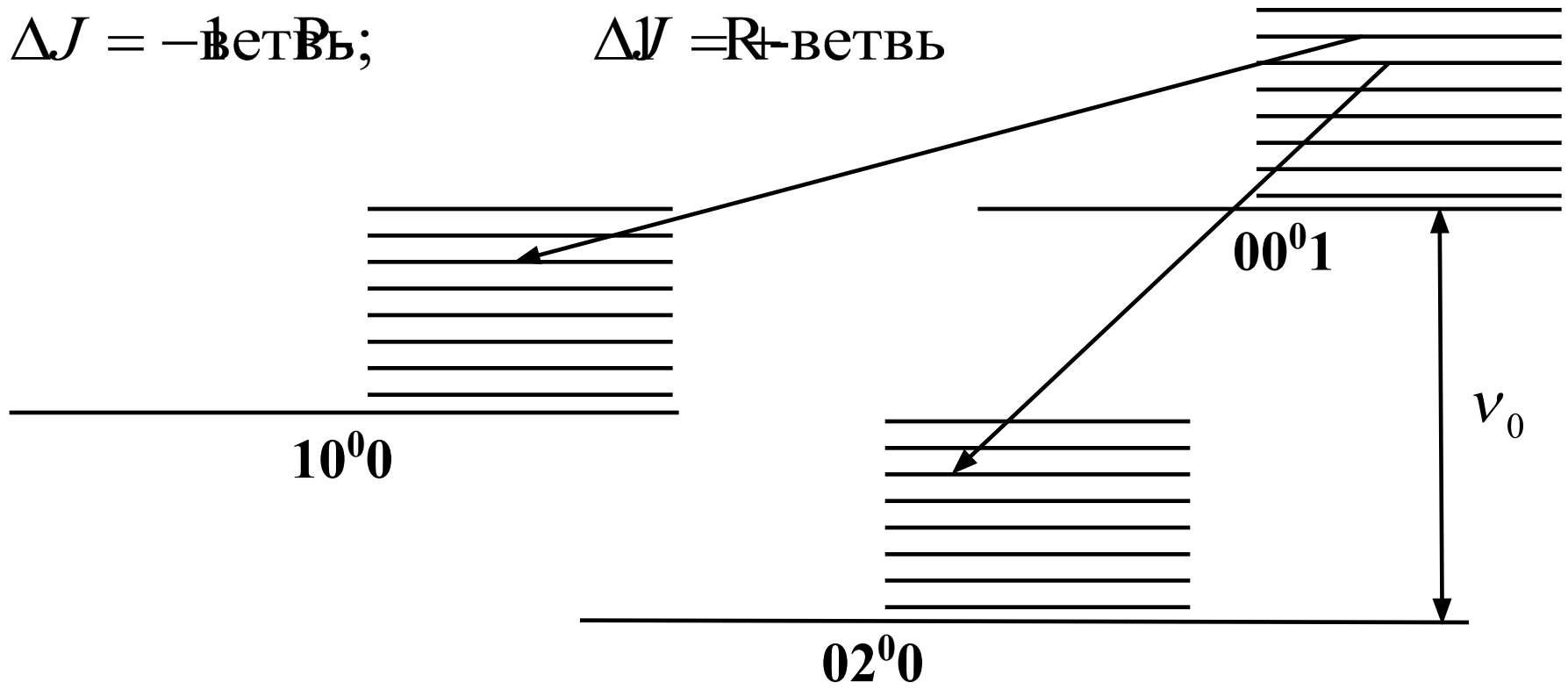
Каждое колебательное состояние характеризуется набором вращательных уровней. Вследствие этого генерация может происходить на целом ряде колебательно-вращательных переходах, образуя в спектре излучения лазера так называемые *P*- и *R*-ветви

При фиксированной температуре максимальная населенность достигается для определенного номера вращательного уровня J ($J=20$ при рабочей температуре) - генерация возникает на соответствующем переходе

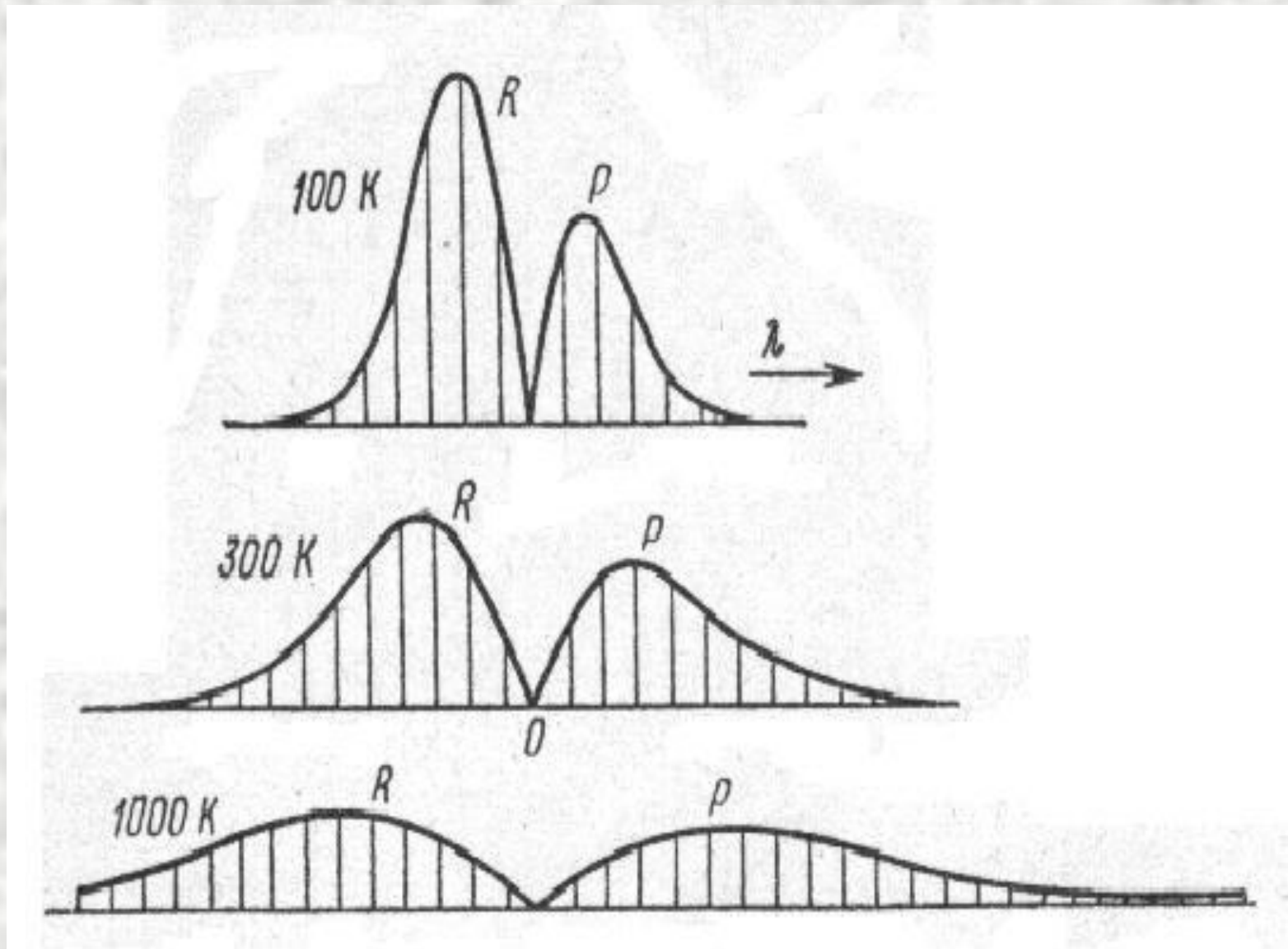
Газовые лазеры: CO₂ лазер

$\Delta J = -1$ ветвь;

$\Delta J = +1$ ветвь



Газовые лазеры: CO_2 лазер



Распределение частот и интенсивностей в спектре излучения при различных температурах

Газовые лазеры: CO₂ лазер

Типы CO₂-лазеров

лазеры с продольной быстрой прокачкой и продольным разрядом

лазеры с продольной медленной прокачкой и продольным разрядом

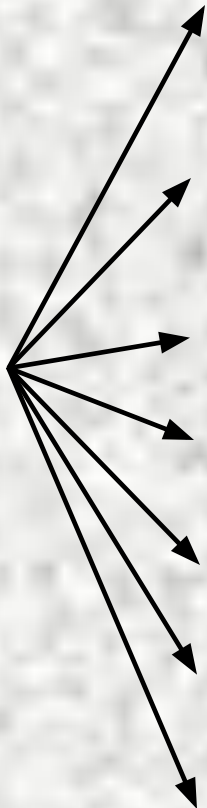
лазеры с поперечной прокачкой

отпаянные лазеры

ТЕА-лазеры

волноводные лазеры

газодинамические лазеры



Газовые лазеры: CO₂ лазер

Лазеры с продольной медленной прокачкой и продольным разрядом

Продольная прокачка используется для удаления продуктов диссоциации

- длина резонатора порядка 1 м
- выходная мощность излучения примерно 50 Вт/м в непрерывном режиме
- давление газовой смеси p не превышает 10-15 Торр
- диаметр трубки $d=1-2$ см
- имеется оптимальная величина pd

Ширина линии преимущественно доплеровская (около 50 МГц), при давлениях порядка 25-30 Торр столкновительная ширина становится сравнимой с доплеровской

Лазер работает преимущественно на одной продольной моде, использование селективных устройств позволяет дискретно перестраивать длины волн генерации по разным колебательно-вращательным переходам

Охлаждение водяное

Имеется оптимальная величина плотности тока: увеличение плотности тока приводит к нагреву газа, что увеличивает населенность нижних лазерных уровней и коэффициент усиления

Газовые лазеры: CO₂ лазер

Лазеры с продольной быстрой прокачкой и продольным разрядом

Скорость прокачки составляет десятки м/с

Снимается ограничение на выходную мощность излучения, определяемую максимально допустимой плотностью тока

Уносимая смесь газов охлаждается в специальном теплообменнике и проходит химическую очистку

В таких лазерах удается получить выходные мощности излучения до нескольких кВт в непрерывном режиме

Лазеры с продольной быстрой прокачкой и продольным разрядом

Можно получать большие давления газовой смеси и, как следствие, большую выходную мощность (десятки кВт)

Газовые лазеры: CO₂ лазер Отпаянные лазеры

Прокачка газовой смеси не осуществляется

Необходимо компенсировать диссоциацию молекул CO₂ на молекулы CO - добавление атомарного водорода (приблизительно 1%). Молекула CO₂ в результате диссоциации распадается на CO и кислород, который, соединяясь с водородом, образует пары воды. Пары взаимодействуют с окисью углерода, восстанавливая ее до двуокиси углерода

Выходные характеристики мало отличаются от лазеров с медленной прокачкой

ТЕА-лазеры

Существенное увеличение мощности излучения за счет перехода от непрерывного режима генерации к импульсному:

- увеличение давления смеси до атмосферного и более**
- включение разряда в поперечном направлении в виде короткого импульса**

Газовые лазеры: CO₂ лазер ТЕА-лазеры

Достигаются выходные мощности до 100 МВт в импульсе при длительности импульса 0.1 мкс

Используется предыонизация разряда – обеспечение начальной степени ионизации газа непосредственно перед включением основного разряда (УФ излучение, электронный пучок и др.)

Большая столкновительная ширина линий усиления (3-4 ГГц) - возможность синхронизации мод с длительностями импульсов, составляющими доли наносекунд

Газодинамические лазеры

**Газовая смесь, изначально находящаяся в резервуаре при высоких температуре и давлении, вылетает со сверхзвуковой скоростью из специального сопла в зону низких температур и давления. При установлении равновесного распределения населенность нижнего уровня уменьшается быстрее и в какой-то момент времени между нижним и верхним уровнями возникает инверсная населенность
Мощность возрастает до сотен кВт**