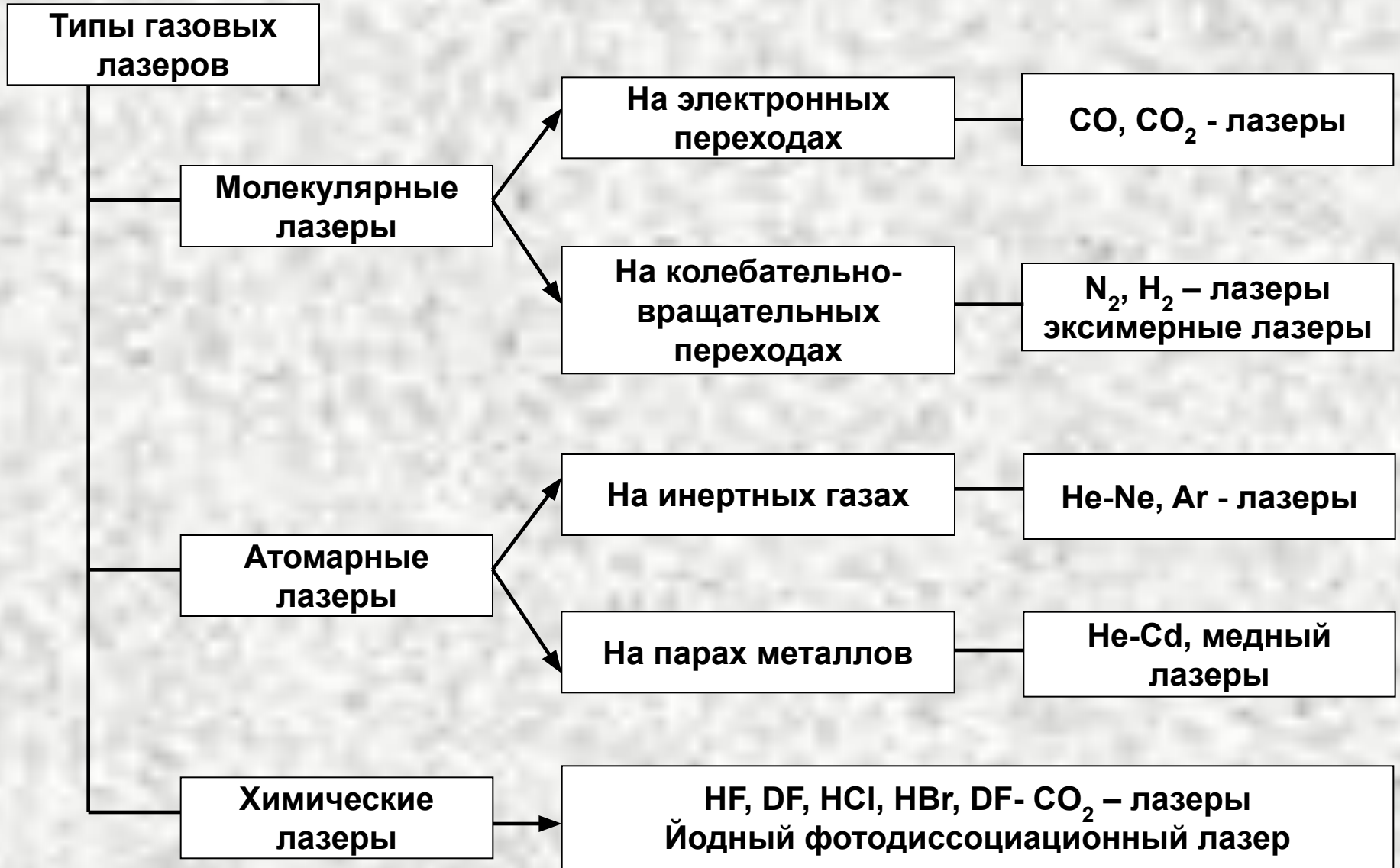


# Газовые лазеры



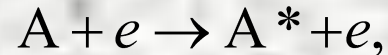
# Газовые лазеры



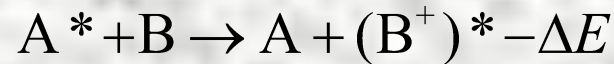
## Газовые лазеры

### Механизмы создания инверсной населенности в электрическом разряде

#### 1. Непосредственное столкновение атома или молекулы с электроном:



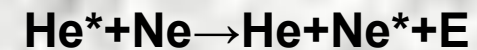
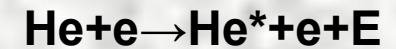
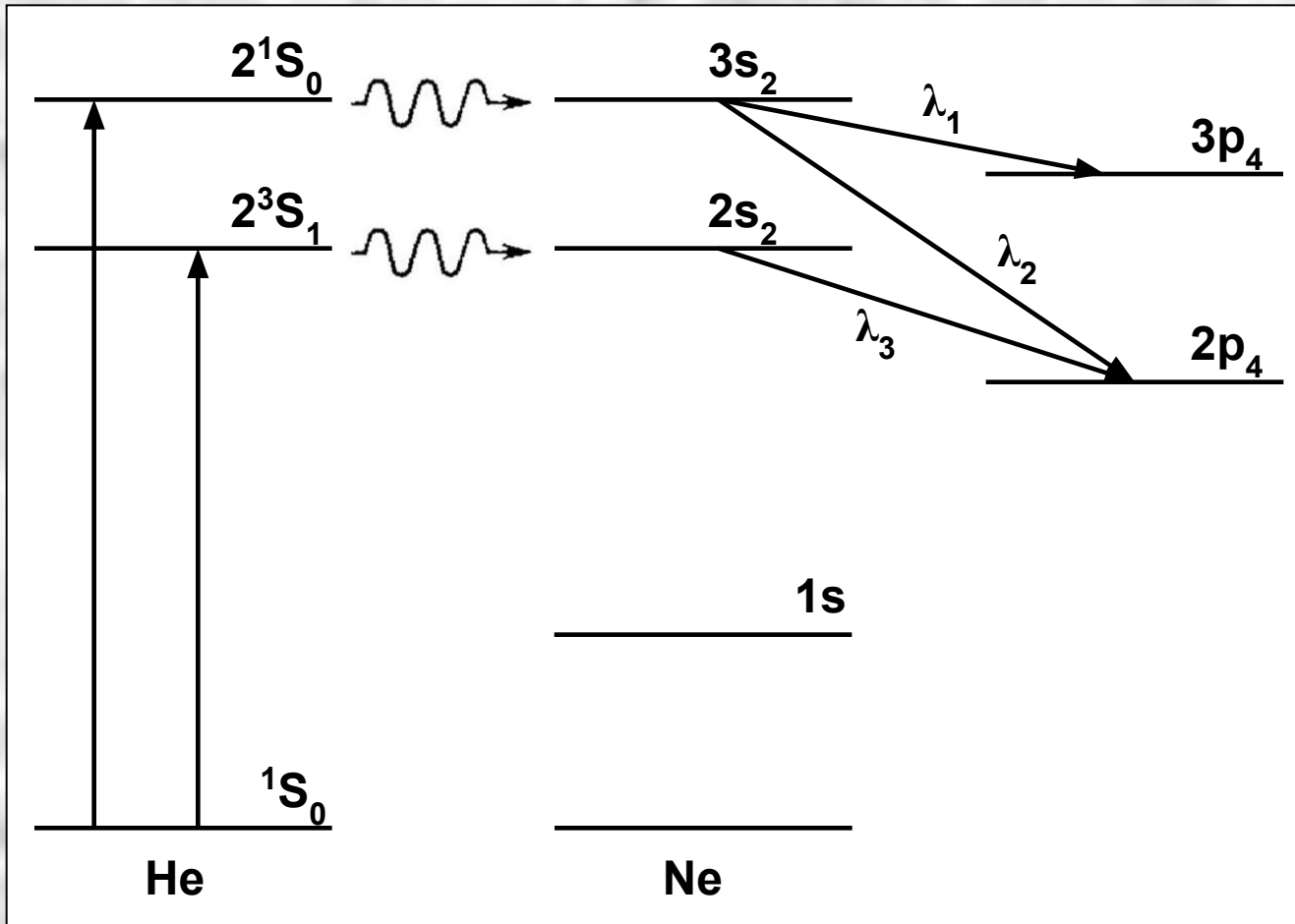
#### 2. Резонансная передача энергии:



Для высокой эффективности этого процесса необходимо, чтобы разность энергий между соответствующими состояниями частиц А и В была меньше или порядка  $kT$

#### 3. Столкновения нейтральных частиц газа с положительными ионами. Эффективность таких процессов невысока из-за большой инертности ионов (малой их скорости)

## Газовые лазеры: He-Ne лазер



$$\lambda_1 = 3,39 \text{ мкм}$$

$$\lambda_2 = 0,63 \text{ мкм}$$

$$\lambda_3 = 1,15 \text{ мкм}$$

Состояния  $2^1S_0$  и  $2^3S_1$  – метастабильные, их времена жизни порядка 1 мс

Времена жизни состояний  $3s_2$  и  $2s_2$  больше времен жизни состояний  $3p_4$  и  $3p_2$

Состояние  $1s$  – метастабильное и заселяется при столкновениях с электронами

Опустошение нижних лазерных уровней происходит при столкновениях со стенками

## Газовые лазеры: He-Ne лазер

Дефект энергии между уровнями  $2^1S_0$  и  $3s^2$ ,  $2^3S_0$  и  $2s^2$  составляет  $300 \text{ см}^{-1}$

Разрешенными переходами с уровней  $3s^2$  и  $2s^2$  Ne являются переходы в состояния  $3p^4$  и  $2p^4$

Времена жизни состояний  $3s^2$  и  $2s^2$  приблизительно на порядок больше времен жизни состояний  $3p^4$  и  $2p^4$

Основным каналом релаксации нижних лазерных уровней  $3p^4$  и  $2p^4$  является безызлучательная релаксация при столкновениях Ne, главным образом, со стенками газоразрядной трубки

Для достижения наибольшей эффективности резонансной передачи энергии от гелия к неону необходимо, чтобы концентрация гелия в несколько раз (в 5-10) превышала концентрацию неона

На длине волны  $0.63 \text{ мкм}$  усиление составляет 5-6% на метр, на длине волны  $1.15 \text{ мкм}$  – 20% на метр, а на длине волны  $3.39 \text{ мкм}$  – 20 дБ/м. Поэтому генерация на длине волны  $3.39 \text{ мкм}$  подавляет генерацию на длинах волн  $0.63 \text{ мкм}$  и  $1.15 \text{ мкм}$



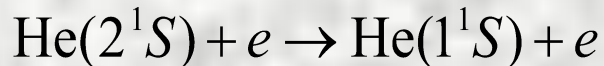
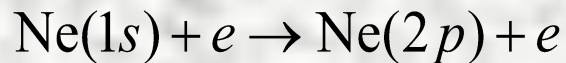
## Газовые лазеры: He-Ne лазер

Для обеспечения возможности лазера излучать на длинах волн 0.63 мкм и 1.15 мкм зеркала резонатора лазера изготавливаются в виде многослойных диэлектрических интерференционных зеркал, имеющих максимум отражения на одной длине волны, превышающий отражение на конкурирующих длинах волн на несколько порядков

Характерным параметром является оптимальная величина произведения диаметра газоразрядной трубки  $d$  (капилляра) на полное давление смеси гелия и неона  $p$

Характерными диаметрами капилляров являются величины порядка 2 мм. Для длин волн 0.63 мкм и 3.39 мкм оптимальные значения  $pd$  составляют 3.5-4.0 Торр.мм, для длины волны 1.15 мкм – в области 10-12 Торр.мм.

### Оптимальная плотность тока разряда



← паразитные процессы, роль которых возрастает с увеличением плотности тока

## Газовые лазеры: He-Ne лазер

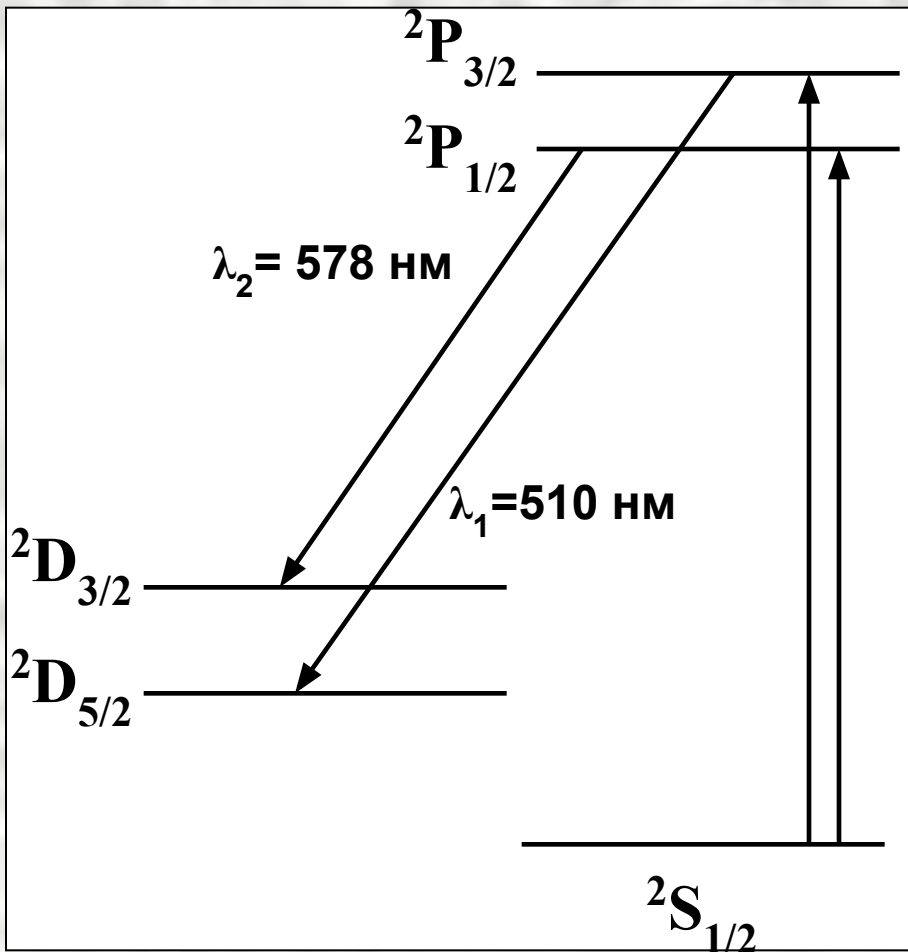
**Выходная мощность излучения гелий-неонового лазера пропорциональна длине газоразрядной трубки. При ее длине 1 м на длине волны 0.63 мкм характерная мощность составляет десятки мВт, на длине волны 3.39 мкм – сотни милливатт, а на длине волны 1.15 мкм мощность несколько больше, чем на длине волны 0.63 мкм.**

**Модовый характер излучения определяется длиной трубки, диаметром капилляра и характером уширения лазерных линий. Диаметр капилляра, как правило, хорошо селективирует поперечные моды, поэтому гелий-неоновые лазеры преимущественно работают на продольных модах**

**На длине волны 0.63 мкм доплеровская ширина линии составляет порядка 1 ГГц, а при рабочих давлениях в несколько Торр столкновительная ширина не превышает 100 МГц. На длине волны излучения 3.39 мкм вклад столкновительного уширения становится сравним с вкладом доплеровского**

**Для получения поляризованного излучения окошки капилляра газоразрядной трубки выполняют под углом Брюстера**

## Газовые лазеры: лазер на парах меди



Возбуждение верхних лазерных уровней  $2P$  происходит в электрическом разряде. Лазерная генерация возникает на переходах  $2P \rightarrow 2D$ . Переход  $2S \rightarrow 2P$  является разрешенным, а переход  $2S \rightarrow 2D$  запрещен. Сечение перехода  $2S \rightarrow 2P$  больше по сравнению с сечением перехода  $2S \rightarrow 2D$ , и между уровнями  $2P$  и  $2D$  возникает инверсная населенность

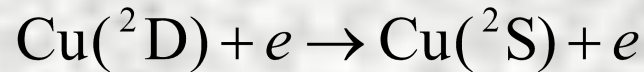
Для возникновения инверсии необходимо, чтобы скорость излучательной релаксации для перехода  $2P \rightarrow 2S$  не превышала соответствующую скорость для перехода  $2P \rightarrow 2D$ . Это можно обеспечить созданием высокой плотности атомов меди, поскольку при этом оказывается возможным захват излучения на переходе  $2P \rightarrow 2S$ .



## Газовые лазеры: лазер на парах меди

Времена жизни состояний  $^2P$  составляют сотни наносекунд, переход  $^2D \rightarrow ^2S$  является запрещенным. Следовательно, медный лазер является лазером на самоограниченных переходах – он может работать только в импульсном режиме с длительностью импульсов не больше, чем время жизни верхних лазерных уровней

Релаксация состояний  $^2D$  осуществляется, преимущественно, при столкновениях со стенками и за счет процессов:



Медный лазер излучает на двух длинах волн: 510 нм (переход  $^2P_{3/2} \rightarrow ^2D_{5/2}$ ) и 578 нм (переход  $^2P_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$ ).

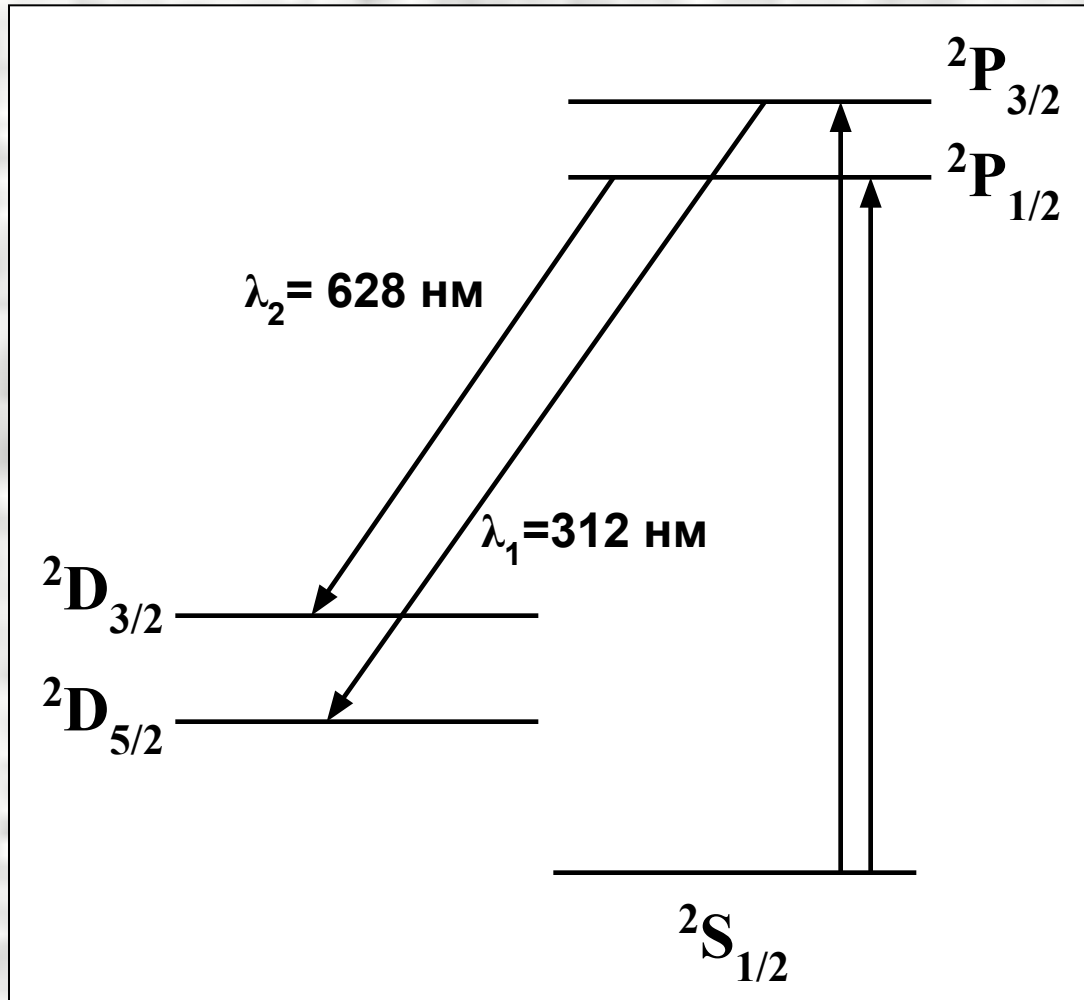
Характерная длительность импульсов порядка 10 нс с мощностью излучения в пике импульса до сотни кВт.

Частоты следования импульсов могут достигать десятков и сотен кГц.

Длины разрядных трубок медных лазеров составляют несколько десятков сантиметров с диаметрами порядка 20 см.

Давление паров меди примерно 0.5 Торр, что при температуре активной среды 1500 °С соответствует плотностям  $10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

## Газовые лазеры: лазер на парах золота



Генерация происходит, преимущественно, на длине волны 628 нм, поскольку при рабочей температуре состояние  $^2D_{5/2}$  оказывается существенно заселенным