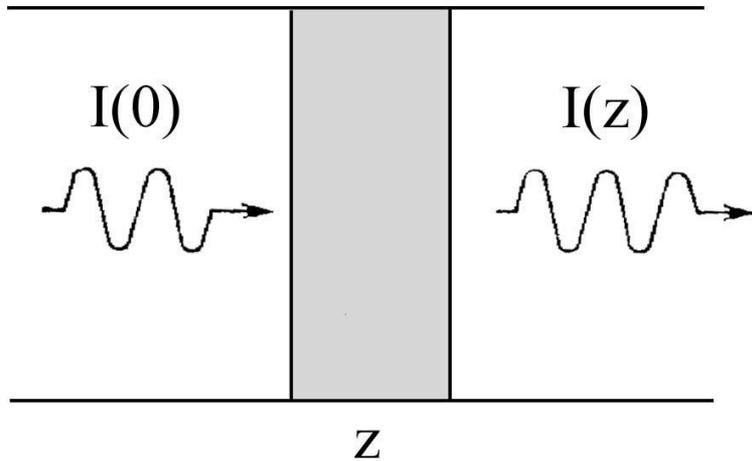


## Поглощение и усиление, инверсная населенность



$$I(z) = I(0) \cdot \exp(-\alpha z)$$

$$\frac{dI}{dz} = (B_{mn}N_m - B_{nm}N_n)\rho(\nu)$$

$$\alpha = -\frac{1}{I} \cdot \frac{dI}{dz}$$

В условиях термодинамического равновесия коэффициент поглощения положителен

$$\alpha(\nu) = \frac{A_{mn}c^2}{8\pi} \left( N_n - \frac{g_n}{g_m} N_m \right) F(\nu) = \sigma(\nu) \left( N_n - \frac{g_n}{g_m} N_m \right)$$

# Поглощение и усиление, инверсная населенность

**Вкладом спонтанного излучения можно пренебречь**

Оно не связано с наличием или отсутствием внешнего поля, и, следовательно, создает только некий фон

При достаточно больших интенсивностях внешнего поля его влияние мало

**Поглощающие свойства среды могут характеризоваться сечением поглощения:**

$$\sigma(\nu) = 2B \frac{h\nu}{\pi c \Delta\nu}$$

ширина контура линии поглощения (усиления)

**Сечение поглощения количественно определяет величину взаимодействия квантовой системы с резонансным электромагнитным полем**

# Поглощение и усиление, инверсная населенность

Коэффициент усиления

$$g = -\alpha = \sigma \left( N_n - \frac{g_n}{g_m} N_m \right)$$

$G=gL$ - логарифмическое усиление

Пороговый коэффициент усиления: усиление = сумма всех потерь



## **Поглощение и усиление, инверсная населенность**

**Помимо потерь, связанных с пропусканием зеркал, которые являются полезными с той точки зрения, что для получения выходного излучения лазера неизбежно часть излучения нужно выводить из резонатора через выходное зеркало резонатора, в лазере существует ряд других источников потерь**

**Один из них обусловлен тем, что, поскольку зеркала резонатора имеют конечные размеры, часть излучения может выходить за пределы апертуры зеркал. Эти потери, источником которых служит явление дифракции, называются дифракционными потерями. Другим источником потерь является потеря части излучения при распространении его в активной среде, например, вследствие рассеяния на оптических неоднородностях, примесях, дефектах кристаллических решеток и т. д. Этот вид потерь называется внутренними или распределенными**

## **Поглощение и усиление, инверсная населенность**

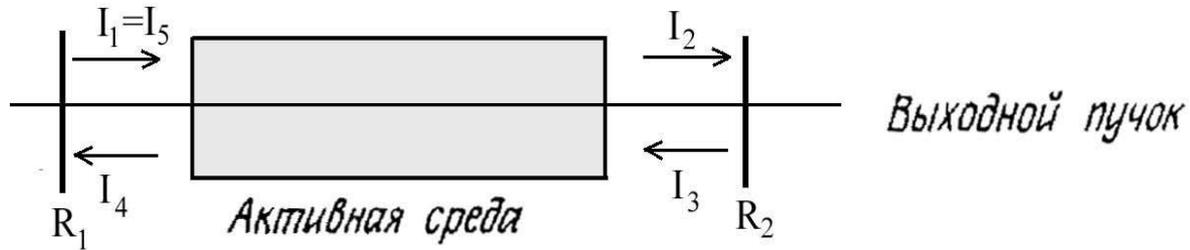
**Получение в среде инверсной населенности между какими-либо двумя ее уровнями не является достаточным условием для создания лазера – генератора излучения.**

**Для того, чтобы превратить усилитель в генератор, необходимо ввести положительную обратную связь. Обратную связь получают путем размещения активной среды между двумя зеркалами с высокими коэффициентами отражения.**

**В этом случае электромагнитная волна, распространяющаяся в направлении, перпендикулярном плоскостям зеркал, и поочередно отражающаяся от них, усиливается при каждом прохождении через активную среду. Если одно из зеркал сделать частично прозрачным (выходное зеркало), то на выходе из полученной системы появится излучение - лазерная генерация**

**Генерация возникнет тогда, когда усиление активной среды окажется достаточным для компенсации всех потерь в ней**

## Пороговый коэффициент усиления



$$I_2 = I_1 \exp(gL) \quad I_3 = I_2 R_2$$

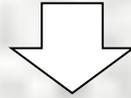
$$I_4 = I_2 \exp(gL) = I_1 R_2 \exp(2gL)$$

$$I_5 = I_4 R_1 = R_1 R_2 \exp(2gL)$$

$$g_{\text{пор}} = \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{1}{R_1 R_2} \right) \quad g_{\text{пор}} = \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{1}{R_1 R_2} \right) + \Sigma$$

## Пороговый коэффициент усиления

При выполнении порогового условия количество первоначально изученных спонтанных фотонов, распространяющихся вдоль оси резонатора, начинает увеличиваться



возникновение лазерной генерации

Если в активной среде поддерживать постоянную во времени величину инверсной населенности, достаточную для выполнения порогового условия, то величина коэффициента усиления всегда в точности равна пороговой

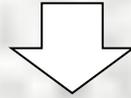
В этом случае для интенсивности поля в резонаторе выполняется условие:

$$K_{\text{пор}} I_{\text{пор}} = I = I_{\text{пор}}$$

лазер излучает через выходное зеркало  
с постоянной во времени интенсивностью

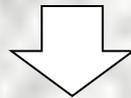
## **Поглощение и усиление, инверсная населенность**

**Полученные результаты соответствуют ситуации, когда коэффициент поглощения (или усиления) не зависит от интенсивности электромагнитного поля, воздействующего на двухуровневую систему**



**Поле не изменяет населенностей энергетических состояний, которые остаются подчиненными статистике Больцмана**

**При больших интенсивностях поля квантовая система может быть настолько существенно выведена из состояния термодинамического равновесия, что независимостью коэффициента поглощения от интенсивности пренебречь никак нельзя**



**Именно зависимость коэффициента усиления от интенсивности поля обуславливает тот факт, что в режиме генерации лазера с постоянной интенсивностью коэффициент усиления всегда равен пороговому значению**

# **Поглощение и усиление, инверсная населенность**

## **Основные термины**

**Инверсная населенность – состояние квантовой системы, в которой для какой-то пары состояний населенность верхнего состояния больше населенности нижнего**

**Активная среда – квантовая система, в которой создана инверсная населенность**

**Коэффициент усиления – величина, противоположная по знаку коэффициенту поглощения**

**Пороговый коэффициент усиления – величина коэффициента усиления, при достижении которой начинает развиваться лазерная генерация**

**Пороговая инверсная населенность – инверсная населенность, соответствующая пороговому коэффициенту усиления**

# **Поглощение и усиление, инверсная населенность**

## **Основные термины**

**Лазерная накачка – механизм создания инверсной населенности**

**Открытый оптический резонатор – система из двух соосных зеркал, между которыми помещается активная среда**

**Отрицательная температура – синоним термину ”инверсная населенность”**

**Пороговая мощность накачки – минимальная для достижения коэффициентом усиления порогового значения мощность накачки**

**Стационарная генерация – режим генерации лазера с постоянной во времени мощностью излучения**

**Потери – источники уменьшения интенсивности поля в резонаторе во времени**