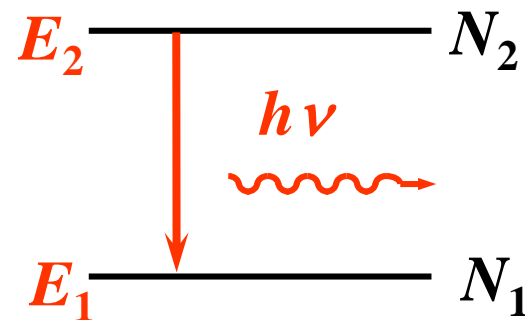


一. 原子的激发和辐射

1. 自发辐射 (spontaneous radiation)

原子处于激发态是不稳定的，会自发的跃迁到低能级，同时放出一个光子，这叫自发辐射。



设 N_1 、 N_2 为单位体积中处于 E_1 、 E_2 能级的原子数。则在单位体积中单位时间内从 $E_2 \rightarrow E_1$ 自发辐射的原子数

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{\text{自发}} \propto N_2$$

写成等式

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{\text{自发}} = A_{21}N_2$$

A_{21} —自发辐射系数

它是单个原子在单位时间内发生自发辐射的概率。

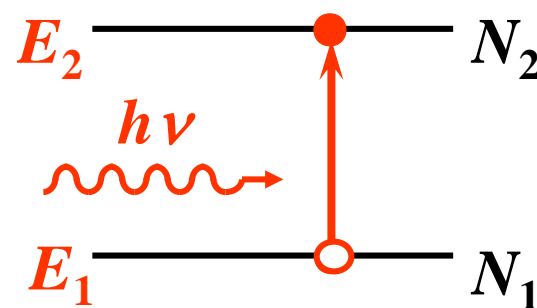
各原子自发辐射的光是独立的、
无关的 非相干光。

$\frac{1}{A_{21}} = \tau$ 是原子在 E_2 能级的平均停留时间（寿命）

2. 吸收 (absorption)

若原子处在某个能量为 E_1 的低能级，能量为 E_2 的高能级。当入射光子的能量 $h\nu$ 等于 $E_2 - E_1$ 时，原子就可能吸收光子而从低能级跃迁到高能级，这个过程称为吸收。

设 N_1 、 N_2 分别为单位体积中处于 E_1 、 E_2 能级的原子数。则单位体积中单位时间内，因吸收光子而从 $E_1 \rightarrow E_2$ 的原子数为：



$$\left(\frac{dN_{12}}{dt} \right)_{\text{吸收}} = W_{12} N_1$$

W_{12} ——单个原子在单位时间内发生吸收过程的概率。

设 $\rho(\nu, T)$ 是温度为 T 时，频率 $\nu = (E_2 - E_1) / h$ 附近，单位频率间隔内外来辐射的能量密度。

则有

$$W_{12} = B_{12} \rho(\nu, T)$$

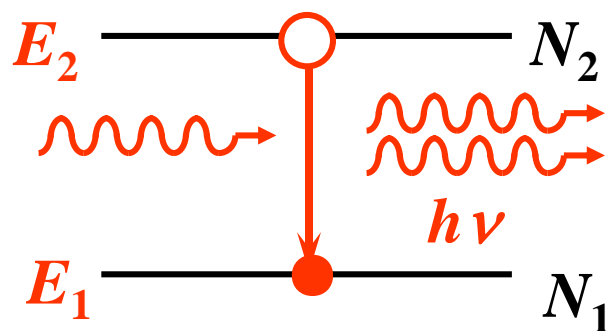
B_{12} —— 吸收系数

3. 受激辐射 (stimulated radiation)

爱因斯坦在研究黑体辐射时，发现辐射场和原子交换能量时，只靠自发辐射和吸收是不能达到热平衡的，还必须存在另一种辐射方式——受激辐射。

受激辐射指的是，若入射光子的能量 $h\nu$ 等于原子高、低能级的能量差 $E_2 - E_1$ 、且高能级上有原子存在时，入射光子的电磁场就会诱发原子从高能级跃迁到低能级，同时放出一个与入射光子完全相同的光子。

受激辐射有光放大作用：



全同光子（频率、相位、振动方向和传播方向相同）

好激光器： $>10^{20}$ 个光子 / 量子态

单位体积中单位时间内，从 $E_2 \rightarrow E_1$ 的受激辐射的原子数为

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{\text{受激}} = W_{21} N_2$$

$$W_{21} = B_{21} \cdot \rho(\nu, T)$$

——单个原子在单位时间内发生受激辐射过程的概率。

B_{21} ——受激辐射系数

A_{21} 、 B_{21} 、 B_{12} 统称为爱因斯坦系数。

$$N_1 B_{12} \rho = N_2 A_{21} + N_2 B_{21} \rho$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$$

$$\rho = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$h\nu = E_2 - E_1$$

联立

得出：

$$B_{21} = B_{12}$$

$$A_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{12}$$

→ A_{21} 大，则 B_{12} 也大

爱因斯坦的受激辐射理论为六十年代初实验上获得激光奠定了理论基础。

没有实验家,理论家就会迷失方向。

没有理论家,实验家就会迟疑不决。

1964年诺贝尔物理奖授予了对发明激光有贡献的三位科学家。



巴索夫



汤斯



普罗恰洛夫

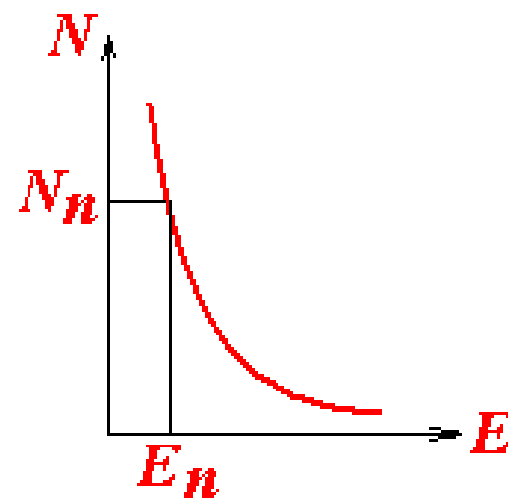
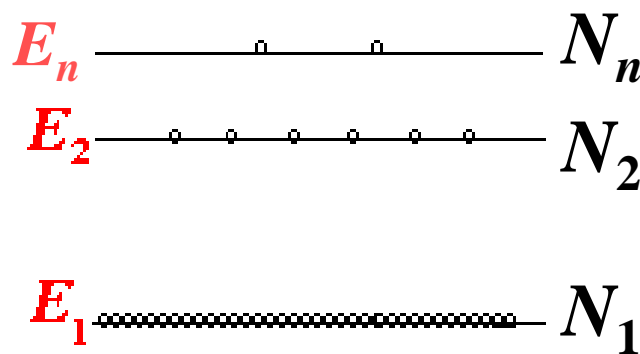
二. 由受激辐射产生激光的两个基本条件

1. 粒子数反转 (population inversion)

由大量原子组成的系统，在温度不太低的平衡态，原子数目按能级的分布服从玻耳兹曼统计分布：

$$N_n \propto e^{-\frac{E_n}{kT}}$$

$$\longrightarrow N_2 < N_1$$



若 $E_2 > E_1$ ，则两能级上的原子数目之比

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} < 1$$

数量级估计：

$$T \sim 10^3 \text{ K};$$

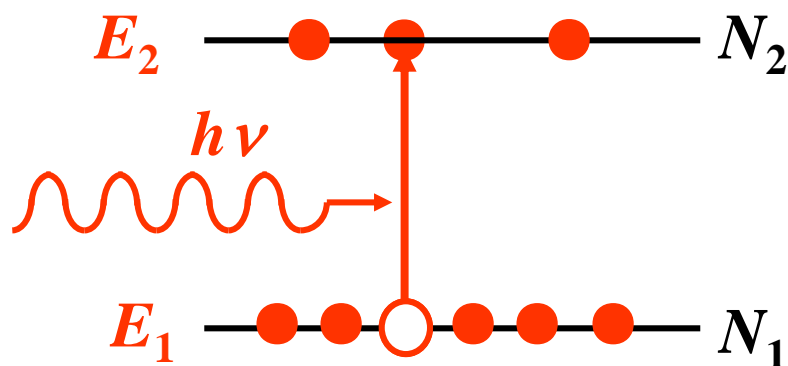
$$kT \sim 1.38 \times 10^{-20} \text{ J} \sim 0.086 \text{ eV};$$

$$E_2 - E_1 \sim 1 \text{ eV};$$

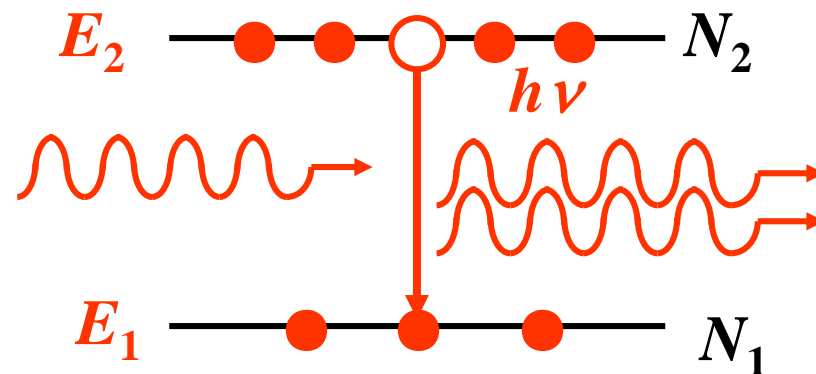
$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} = e^{-\frac{1}{0.086}} \approx 10^{-5} \ll 1$$

但要产生光放大必须 $N_2 > N_1$ ，这是因为：能量为 $E_2 - E_1$ 的入射辐射光可引起两种过程：**吸收**或**受激辐射**

$$\text{因为 } B_{21}=B_{12} \rightarrow W_{21}=W_{12}$$



$N_1 > N_2$, 吸收为主

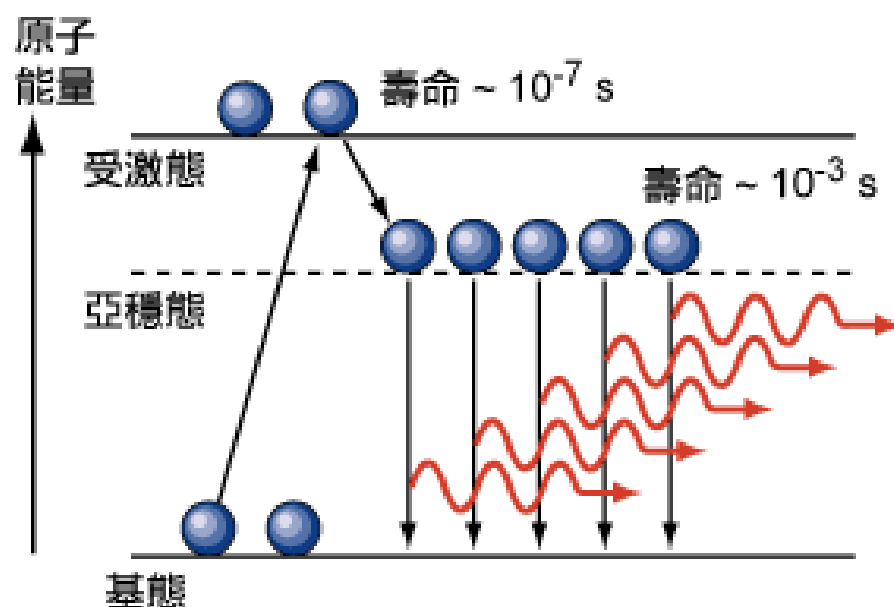


$N_2 > N_1$, 受激辐射为主

∴要产生光放大必须 $N_2 > N_1$

—— 粒子数布居反转

粒子数反转态是非热平衡态。为了促使粒子数反转的出现，必须用一定的手段去激发原子体系。这称为“泵浦”或“抽运”。激发的方式可以有光激发和原子碰撞激发等。



为了有利于粒子数反转，
激活物质应满足：

- ▲ 有三能级或三能级以上的能级系统；
- ▲ 上能级应为“亚稳态”（自发辐射系数小）；
- ▲ 下能级不应是基态，而且对下能级的自发辐射要大。

