

# 强光场激励的自发辐射的频率—角度相关

V. V. Lebedeva, R. I. Sokolovsky

(苏联莫斯科大学物理学院光学和光谱系, 莫斯科)

如果原子系统被强电磁场所辐照, 并且电磁场的频率处在允许跃迁  $m-n$  的频率  $\omega_{mn}$  附近, 则由于不同能级之间的跃迁  $g-n$ 、 $m-l$  引起的自发辐射会变成相关。强场使能级  $m$ 、 $n$  耦合, 使发射光子的方向和频率相关。相关时间取决于弛豫过程, 因而可用来研究原子和分子系统的参数。

本文主要涉及频率相关, 也就是设在频率  $\omega_{gn}$  ( $g-n$  跃迁) 附近, 发射频率为  $\omega_1$  的光子的话, 则在  $\omega_{ml}$  ( $m-l$  跃迁) 附近, 频率为  $\omega_2$  的光子发射的“条件”几率  $W(\omega_1, \omega_2)$  是多少。

我们用共振方法求解量子电动力学方程。强场以经典形式描述, 并假定它是平面单色波。自发辐射用量子力学描述。我们得到了条件几率函数的一般表示式。在一般情况下, 该函数有三个分别由 3-、2-、1-光子跃迁引起的极大值。极大值的宽度由禁戒跃迁的宽度决定, 强度与初始跃迁能级的寿命成正比。

如果  $r_l \ll r_n, r_m, r_g$ , 则条件几率函数表示式可以简化。用一级微扰近似理论得到:

$$W(\omega_1, \omega_2) = \frac{2|V_0|^2}{(\omega_0 - \omega_{mn})^2 + \Gamma_{mn}^2} \cdot \frac{r_{ml} \cdot r_{gn}}{(\omega_1 + \omega_2 - \omega_0 - \omega_{gl})^2 + \Gamma_{mn}^2} \cdot \left\{ \frac{1}{r_m} \cdot \frac{\Gamma_{ml}}{\Gamma_{ml} + (\omega_2 - \omega_{ml})^2} + \frac{1}{r_n} \cdot \frac{\Gamma_{nl}}{\Gamma_{nl}^2 + (\omega_2 - \omega_0 - \omega_{nl})^2} + \text{Re} \left[ \frac{1}{[\Gamma_{ml} - i(\omega_2 - \omega_{ml})][\Gamma_{nl} - i(\omega_2 - \omega_0 - \omega_{nl})]} \right] \right\},$$

式中  $V_0 = -D_{mn}\epsilon_0/2\hbar$ ,  $D_{mn}$  是  $m-n$  跃迁的矩阵元,  $\epsilon_0$  和  $\omega_0$  是强场振幅和频率,  $r_{ml}$  和  $r_{gn}$  是爱因斯坦系数,  $r^{-1}_{l, m, n, g}$  是  $l, m, n$  和  $g$  能级的寿命。

对于运动的原子, 有必要考虑:

$$\omega_1' = \omega_1 - \vec{k}_1 \vec{v}, \quad \omega_2' = \omega_2 - \vec{k}_2 \vec{v}, \quad \omega_0' = \omega_0 - \vec{k} \vec{v}.$$