原子终态与激光多脉冲衰减系数匹配条件的讨论

Abstract. We have got an improved decayingfactor relationship between the atomic final state and the laser light by analyzing the two-photon transition functions for the decaying optical pulse series excitation.

文献[1]从理论上推导了衰减多脉冲激发的双光子跃迁几率的表达式。其中原子能级2上的激发几率振幅的运动方程为:

$$\dot{C}_2(t)=\frac{-i}{2}\langle 1|D|2\rangle\varepsilon_1 e^{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)t}\cdot C_1(t) \tag{1}$$

式中 $\Delta\omega=\omega_{21}-\omega_L,\quad r_{2L}=r_2-r_L$

我们认为积分(1)式时, 时间 t 应从 $(n-1)(T+\tau)$ 取到 $(n-1)(T+\tau)+t'$, $(0\leqslant t'\leqslant\tau)$。这是由于 $C_2(t)$ 也是受激于衰减多脉冲 $\varepsilon(t)$ 的。而文献[1]中却取为从 $0\sim t$, 这不太合适(详见文献[1]中式(7))。

对 $t=0$, 取近似 $C_1(0)=1$, $C_2(0)=0$。(1)式的积分结果为:

$$\begin{aligned}C_2(t')&=\frac{-i}{2}\langle 1|D|2\rangle\varepsilon_1\\&\quad\times\int_{(n-1)(T+\tau)}^{(n-1)(T+\tau)+t'}e^{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)t}dt\\&=\frac{-i}{2}\frac{\langle 1|D|2\rangle\varepsilon_1}{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)}\left[e^{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)t'}-1\right]\\&\quad\times e^{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)(n-1)(T+\tau)}\end{aligned} \tag{2}$$

那么双光子跃迁终态激发的总几率振幅为:

$$\begin{aligned}C_3(t)&=\sum_{n=1}^{N}C_3^{(n)}(t)\\&=\frac{1}{4}\frac{\langle 1|D|2\rangle\langle 2|D|3\rangle\varepsilon_1^2}{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)}\\&\quad\times\left[e^{\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)\tau}-1\right]\\&\quad\times\sum_{n=1}^{N}e^{\left(i\Delta\Omega'+\frac{1}{2}\Gamma'\right)(n-1)(T+\tau)}\\&=\frac{1}{4}\frac{\langle 1|D|\rangle\langle 2|D|3\rangle\varepsilon_1^2}{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)}\\&\quad\times\left[e^{\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)\tau}-1\right]\\&\quad\times\left[\frac{e^{\left(i\Delta\Omega'+\frac{1}{2}\Gamma'\right)N(T+\tau)}-1}{e^{\left(i\Delta\Omega'+\frac{1}{2}\Gamma'\right)(T+\tau)}-1}\right]\end{aligned} \tag{3}$$

那么, 双光子跃迁在多脉冲激发下的几率为:

$$\begin{aligned}P(t)&=|C_3(t)|^2e^{-r_3t}\\&=\left[\frac{1}{4}\frac{\langle 1|D|2\rangle\langle 2|D|3\rangle\varepsilon_1^2}{\left(i\Delta\omega+\frac{1}{2}r_{2L}\right)\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)}\right]^2\\&\quad\times\left[e^{\left(i\Delta\Omega+\frac{1}{2}\Gamma\right)\tau}-1\right]^2e^{-r_3t}\\&\quad\times e^{\frac{1}{2}\Gamma'(N-1)(T+\tau)}\\&\quad\times\left[\frac{\sin\left[\left(\Delta\Omega'+\frac{1}{2i}\Gamma'\right)N(T+\tau)/2\right]}{\sin\left[\left(\Delta\Omega'+\frac{1}{2i}\Gamma'\right)(T+\tau)/2\right]}\right]^2\end{aligned} \tag{4}$$

上式中
$$\Delta\Omega'=\Delta\Omega+\Delta\omega=\omega_{31}+\omega_{21}-3\omega_L$$
$$\Gamma'=\Gamma+r_{2L}=r_3+r_2-3r_L$$

$\Delta\Omega$、Γ 为文献[1]中相应的符号。取与文献[1]相同的近似, 得:

$$\Gamma'\approx r_3-3r_L$$

所以从(4)式可知, 要使谱线进一步变窄, 可通过匹配终态与激光衰减系数 r_3 与 r_L, 并调节使 $\Delta\Omega'\approx 0$, 从而(4)式的最后一项正比于 N^2(N 为脉冲数)。

即有匹配条件

$$r_3=3r_L,\quad(\text{由 }\Gamma'=0\text{ 推知}) \tag{5}$$

(而文献[1]的结果是 $r_3=2r_L$)

参考文献

[1] 黄永楷;《中国激光》, 1983, **10**, No.4, 193~197.

(天津大学物理系83级研究生 张 涛
1983年10月31日收稿)