

Y 型四能级系统中 Doppler 展宽对 VIC 相关的双光子吸收的影响*

贾克宁¹⁾ 刘中波¹⁾ 梁颖¹⁾ 仝殿民²⁾ 樊锡君^{1)†}

1) (山东师范大学物理与电子科学学院, 济南 250014)

2) (山东大学物理学院, 济南 250100)

(2011 年 6 月 3 日收到; 2011 年 6 月 26 日收到修改稿)

利用数值计算结果讨论了 Doppler 展宽对 Y 型四能级原子系统中真空诱导相干性 (VIC) 相关的双光子吸收的影响. 研究表明: 1) 在无 Doppler 展宽的情况中, 不存在 VIC 时, 吸收曲线具有双峰结构并产生电磁感应透明 (EIT) 现象, 存在 VIC 时吸收曲线具有单峰结构而 EIT 现象不再发生; 2) 在有 Doppler 展宽的情况中, 不管是否存在 VIC, EIT 现象都能发生; 不存在 VIC 时, 不管探测场和驱动场传播方向相同还是相反, 随 Doppler 展宽宽度 D 值的增大, 吸收先增大后减小, 吸收曲线逐渐从双峰结构变为单峰结构; 存在 VIC 时, 若探测场和驱动场传播方向相同, 随 D 值的增大, 吸收先增大后减小, 吸收曲线逐渐从单峰结构变为双峰结构; 若探测场和驱动场传播方向相反, 随 D 值的增大, 吸收单调减小, 但吸收曲线仍保持单峰结构.

关键词: Y 型四能级, Doppler 展宽, 双光子吸收, 真空诱导相干性

PACS: 42.50.Gy, 42.50.Hz

1 引言

原子系统中的量子相干可以导致一系列重要的物理现象, 如无反转激光^[1]、电磁感应透明^[2,3]、超慢光和超快光^[4,5]、荧光猝灭^[6]、相干粒子数捕获^[7,8]、折射率增强^[9]等. 产生量子相干有不同的方法, 一般情况下是通过相干驱动场或初始相干性注入实现的, 原子所处的真空辐射场之间的干涉也可以导致相干性, 通常称为真空诱导相干性 (VIC). 近年来, 人们关于 VIC 对原子系统光学性质和光学现象的影响已经做了广泛和深入的研究^[10–21], 但其中涉及原子系统吸收性质的研究工作基本上都集中在单光子的情况. 双光子吸收在双光子激光^[22]、共振荧光传播^[23]以及量子信息处理中的双光子纠缠^[24,25]等方面都具有重要作用. 因此对双光子吸收的研究引起了人们的极大关注^[26–37]. 最近, Hou 等^[38]研究了在 Y 型四能级原子系统中 VIC 对双光子吸收性质的影响. 他们的研究表明, 不存在 VIC 时吸收曲线具有双峰结构并能产生电磁感应透明 (EIT) 现象; 存在 VIC

时, 吸收曲线变为单峰结构而 EIT 现象不再发生. 目前 VIC 对原子系统光学性质和光学现象影响的研究通常都使用了静止的原子系统即无 Doppler 展宽的原子系统, 同样 Hou 等^[38]的研究也是针对无 Doppler 展宽的原子系统进行的. 实际上, 关于原子系统光学性质和光学现象的实验研究多以原子气体作为工作介质, 此时 Doppler 展宽十分显著. 因此, 研究 VIC 对原子系统光学性质和光学现象的影响时考虑 Doppler 展宽的作用是非常必要的. 本文在 Hou 等^[38]研究的基础上, 考察了在 Y 型四能级原子系统中 Doppler 展宽对与 VIC 相关的双光子吸收性质的影响, 得出了一些与无 Doppler 展宽时大不相同的新结果.

2 系统模型和密度矩阵方程

本文采用的 Y 型四能级原子系统能级结构如图 1 所示. 能级 $|4\rangle$ 与 $|2\rangle$ 之间的跃迁频率为 ω_{42} , 在两能级之间加一频率为 ω , Rabi 频率

* 国家自然科学基金 (批准号: 10875072) 资助的课题.

† E-mail: xjfan108@yahoo.com.cn

为 $G = \boldsymbol{\mu}_{42} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}/\hbar$ 的驱动场. 能级 $|2\rangle$ 与 $|1\rangle$ 之间的跃迁频率为 ω_{12} , 在此两能级之间加一频率为 ω_1 , Rabi 频率为 $G_1 = \boldsymbol{\mu}_{12} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_1/\hbar$ 的弱探测场. 能级 $|2\rangle$ 与 $|3\rangle$ 之间的跃迁频率为 ω_{23} , 在此两能级之间加一频率为 ω_2 , Rabi 频率为 $G_2 = \boldsymbol{\mu}_{32} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_2/\hbar$ 的相干抽运场. 能级 $|1\rangle \rightarrow |2\rangle$, $|4\rangle \rightarrow |2\rangle$ 和 $|2\rangle \rightarrow |3\rangle$ 的自发衰变速率分别为 $2\gamma_1$, 2γ 和 $2\gamma_2$. 在偶极近似和旋转波近似下, 系统的密度矩阵运动方程组可写成以下形式^[38]:

$$\frac{d\rho_{11}}{dt} = -2\gamma_1\rho_{11} - (iG_1\rho_{12} + \eta\rho_{41} + \text{H.c.}), \quad (1)$$

$$\frac{d\rho_{33}}{dt} = 2\gamma_2\rho_{22} + (iG_2\rho_{23} + \text{H.c.}), \quad (2)$$

$$\frac{d\rho_{44}}{dt} = -2\gamma_2\rho_{44} - (iG\rho_{42} + \eta\rho_{41} + \text{H.c.}), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{12}}{dt} = & -(\gamma_1 + \gamma_2 + i\Delta_1)\rho_{12} - iG_1^*\rho_{11} \\ & - iG_2\rho_{13} - iG^*\rho_{14} \\ & + iG_1^*\rho_{22} - \eta\rho_{42}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{13}}{dt} = & -(\gamma_1 + i\Delta_1 + i\Delta_2)\rho_{13} - iG_2^*\rho_{12} \\ & + iG_1^*\rho_{23} - \eta\rho_{43}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{14}}{dt} = & -(\gamma_1 + \gamma + i\Delta_1 - i\Delta)\rho_{14} - iG\rho_{12} \\ & + iG_1\rho_{24} - \eta(\rho_{11} + \rho_{44}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{23}}{dt} = & -(\gamma_2 + i\Delta_2)\rho_{23} + iG_1\rho_{13} - iG_2^*\rho_{22} \\ & + iG_2^*\rho_{33} + iG\rho_{43}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{24}}{dt} = & -(\gamma + \gamma_2 - i\Delta)\rho_{24} + iG_1\rho_{14} - iG\rho_{22} \\ & + iG_2^*\rho_{34} + iG\rho_{44} - \eta\rho_{21}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{34}}{dt} = & -(\gamma - i\Delta_2 - i\Delta)\rho_{34} - iG\rho_{32} \\ & + iG_2\rho_{24} - \eta\rho_{31}, \end{aligned} \quad (9)$$

并且满足 $\rho_{mn}^* = \rho_{nm}$ 和 $\rho_{11} + \rho_{22} + \rho_{33} + \rho_{44} = 1$, ρ_{mm} 表示能级 $|m\rangle$ 上的粒子数布居, ρ_{mn} ($m \neq n$) 表示能级 $|m\rangle$ 和 $|n\rangle$ 之间的极化率. 方程组中的 $\Delta_1 = \omega_{12} - \omega_1$, $\Delta_2 = \omega_{23} - \omega_2$, $\Delta = \omega_{42} - \omega$ 分别表示探测场、抽运场和驱动场的失谐量, $\eta = p\sqrt{\gamma_1\gamma}$ 表示由 $|1\rangle \rightarrow |2\rangle$ 和 $|4\rangle \rightarrow |2\rangle$ 两个自发辐射通道之间的耦合导致的 VIC 效应. 参量 p 定义为 $p = \boldsymbol{\mu}_{12} \cdot \boldsymbol{\mu}_{42}/(|\boldsymbol{\mu}_{12}||\boldsymbol{\mu}_{42}|) = \cos\theta$, θ 表示电偶极矩 $\boldsymbol{\mu}_{12}$ 和 $\boldsymbol{\mu}_{42}$ 之间的角度. 如果 $\boldsymbol{\mu}_{12}$ 和 $\boldsymbol{\mu}_{42}$ 正交, 即 $\theta = \pi/2$, 则 $p = 0$, VIC 效应

消失. 当 $\boldsymbol{\mu}_{12}$ 和 $\boldsymbol{\mu}_{42}$ 不正交, 即 $\theta \neq \pi/2$ 时, VIC 效应存在. 所以 θ 的取值决定了 VIC 效应存在与否及 VIC 效应的强弱. 这里, 我们仅考虑探测场只作用在 $|1\rangle \leftrightarrow |2\rangle$ 跃迁而驱动场只作用在 $|4\rangle \leftrightarrow |2\rangle$ 跃迁的情况, 所以探测场的极化方向垂直于 $\boldsymbol{\mu}_{42}$ 而驱动场的极化方向垂直于 $\boldsymbol{\mu}_{12}$, 即 $\boldsymbol{\varepsilon}_1 \cdot \boldsymbol{\mu}_{42} = 0$ 和 $\boldsymbol{\varepsilon} \cdot \boldsymbol{\mu}_{12} = 0$. 这样与角度 θ 相关联的 G 和 G_1 可写为 $G = G_0 \sin\theta$ 和 $G_1 = G_{10} \sin\theta$, 其中 $G_0 = |\boldsymbol{\mu}_{42}||\boldsymbol{\varepsilon}|/\hbar$, $G_{10} = |\boldsymbol{\mu}_{12}||\boldsymbol{\varepsilon}_1|/\hbar$. 为了使 VIC 对系统光学性质有显著的影响, 我们假设两个激发态能级 $|1\rangle$ 和 $|4\rangle$ 是近简并的, 即 $\omega_{14} \approx 0$.

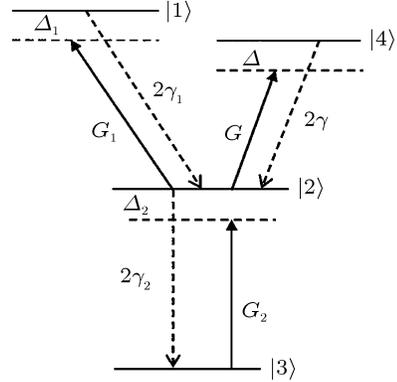


图1 Y型四能级原子系统

此 Y 型四能级原子系统中的双光子跃迁是由 Rabi 频率为 G_2 的抽运场和 Rabi 频率为 G_1 的探测场引起的. 双光子吸收可以用激发态 $|1\rangle$ 上的粒子布居 ρ_{11} 来量度^[38]. 当考虑 Doppler 展宽时, ρ_{11} 可以写为下列形式

$$\bar{\rho}_{11} = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{11}(\delta_1) \rho(\delta_1) d\delta_1, \quad (11)$$

其中

$$\rho(\delta_1) = \exp[-(\delta_1 - \Delta_1)^2/2D^2]/\sqrt{2\pi D^2}, \quad (12)$$

$$\delta_1(v) = \Delta \mp \omega_1 v/C, \quad (13)$$

$$\delta(v) = \Delta \pm \omega [\delta_1(v) - \Delta_1]/\omega_1, \quad (14)$$

$$\delta_2(v) = \Delta_2 \pm \omega_2 [\delta_1(v) - \Delta_1]/\omega_1. \quad (15)$$

N 是介质密度, \hbar 是普朗克常量, $\rho(\Delta_p)$ 是速率的 Maxwell-Boltzmann 分布, D 是 Doppler 展宽宽度, v 是原子速率, C 为光速, $\delta_1(v)$, $\delta_2(v)$ 是考虑 Doppler 展宽时探测场、驱动场和抽运场的失谐. 正号(负号)表示光场的传播方向和原子的运动方向是反向(同向). 在以下的讨论中我们假设探测场和抽运场与原子运动的方向相同, 则正(负)号也对应于驱动场和探测场方向相反(相同).

3 数值计算结果和讨论

对于定态情况 ($d\rho_{mn}/dt = 0$), 我们利用双光子共振 ($\Delta_1 + \Delta_2 = 0$) 和驱动场共振 ($\Delta = 0$) 条件下得到的 $\bar{\rho}_{11}$ 的数值计算结果来讨论 Doppler 展宽对 VIC 相关的双光子吸收特性的影响. 当 $\bar{\rho}_{11} = 0$ 时则有电磁感应透明现象发生.

3.1 不存在 VIC 效应 ($\theta = \pi/2$) 时

图 2 给出了探测场和驱动场传播方向相同的情况下, 当 $\theta = \pi/2$ 时即不存在 VIC 效应时, 不同 Doppler 展宽宽度值对应的双光子吸收 $\bar{\rho}_{11}$ 随探测场失谐 Δ_1 的变化. 由图 2 可以看出: 1) 当无 Doppler 展宽 ($D = 0$) 时, 在 $\Delta_1 < 0$ 和 $\Delta_1 > 0$ 的区域各有一个双光子吸收峰, 它们关于 $\Delta_1 = 0$ 的轴是对称的, 两个吸收峰的峰值即极大值是相等的. $\Delta_1 = 0$ 即探测场共振时 EIT 现象发生. 2) 当 Doppler 展宽存在 ($D > 0$) 时, 双光子吸收具有以下特点: ① 在 $\Delta_1 < 0$ 区域, 随 D 值的增大, 双光子吸收峰峰值即极大值先增加后减小, 且出现极大值时的失谐量 Δ_1 也越来越小, 而吸收峰宽度却逐渐增大; 在 $\Delta_1 > 0$ 区域, 随着 D 值的增大, 双光子吸收峰极大值、出现极大值时的失谐量 Δ_1 及吸收峰宽度皆单调减小, 最后趋于 0, 从而使双光子吸收曲线从双峰结构变成单峰结构; ② 相对于 $\Delta_1 < 0$ 区域内的双光子吸收, 在 $\Delta_1 > 0$ 区域内的双光子吸收受 Doppler 效应的影响更显著; ③ 对一个确定的 D 值, $\Delta_1 < 0$ 区域内的双光子吸收极大值也是双光子吸收最大值, 它总大于 $\Delta_1 > 0$ 区域内的双光子吸收极大值; ④ 当有 Doppler 展宽时, 吸收曲线不再具有关于探测场失谐 Δ_1 的对称性, 但在探测场共振 ($\Delta_1 = 0$) 时总可以产生 EIT 现象.

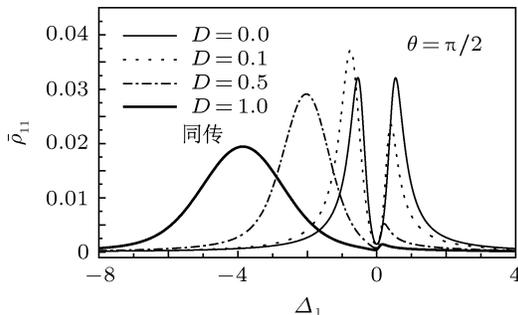


图 2 $\theta = \pi/2$ 时, 探测场和驱动场传播方向相同时情况下, D 取不同值时 $\bar{\rho}_{11}$ 随 Δ_1 的变化 其中 $\gamma = \gamma_1 = 0.1, \gamma_2 = 0.3, G_0 = 0.5, G_{10} = G_2 = 0.1$

图 3 给出了当 $\theta = \pi/2$ 时即不存在 VIC 效应时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下, 不

同 Doppler 展宽宽度值对应的双光子吸收 $\bar{\rho}_{11}$ 随探测场失谐 Δ_1 的变化. 比较图 3 和图 2 可以看出: 1) 当无 Doppler 展宽 ($D = 0$) 时, 探测场和驱动场传播方向相反和相同两种情况下的双光子吸收完全相同. 2) 当 Doppler 展宽存在 ($D > 0$) 时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 随 Δ_1 的变化规律与传播方向相同情况下相比存在明显的差别. 在传播方向相反情况下, 随着 D 值的逐渐增大, 原来处于 $\Delta_1 > 0$ 区域的吸收峰峰值和宽度逐渐增大而原来处于 $\Delta_1 < 0$ 区域的吸收峰峰值和宽度逐渐减小, ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 曲线逐渐向 $\Delta_1 < 0$ 区域移动, 最后 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 曲线由双峰结构变为单峰结构. 当 D 值很小时, EIT 现象仍可发生.

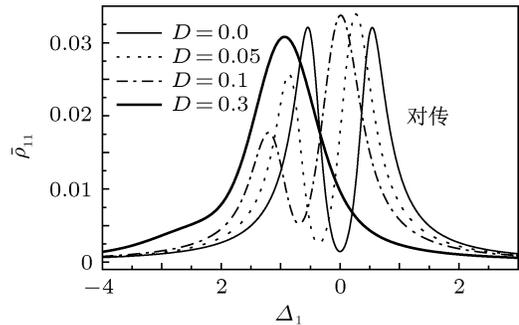


图 3 $\theta = \pi/2$ 时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下, D 取不同值时 $\bar{\rho}_{11}$ 随 Δ_1 的变化 其他参量值同图 2

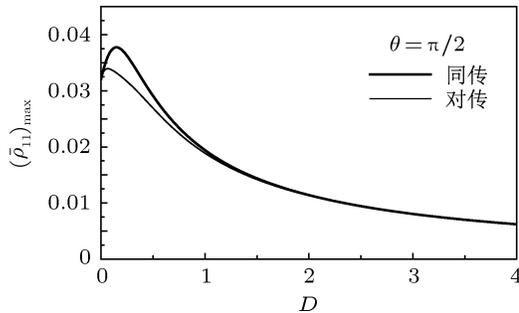


图 4 $\theta = \pi/2$ 时, 当探测场和驱动场传播方向相同与相反两种情况下 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 随 D 的变化 其他参量值与图 2 相同

图 4 给出了不存在 VIC 效应 ($\theta = \pi/2$) 时, 在探测场和驱动场传播方向相同与相反两种情况下, 双光子吸收极大值 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 随 Doppler 展宽宽度 D 的变化曲线. 可以看出, 在两种情况下, ($\bar{\rho}_{11}$)_{max} 都是随着 D 值的增加而先增加后减小. 在传播方向相同的情况下, 当 $D = 0.2$ 时, 双光子吸收获得最大的 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max}; 而在传播方向相反的情况下, 当 $D = 0.1$ 时, 双光子吸收获得最大的 ($\bar{\rho}_{11}$)_{max}. 当 D 值较小时, 探测场和驱动场传播方向相反时的双光子吸收极大值要小于传播方向相同时的极大

值; 当 D 值为 0 或足够大时, 传播方向相同和相反两种情况下双光子吸收极大值相等.

3.2 存在 VIC 效应 ($\theta \neq \pi/2$) 时

图 5 给出了当 $\theta = \pi/6$ 时, 探测场和驱动场传播方向相同的情况下双光子吸收 $\bar{\rho}_{11}$ 随探测场失谐 Δ_1 的变化. 在无 Doppler 展宽 ($D = 0$) 的情况下, 吸收曲线具有单峰结构并在 $\Delta_1 = 0$ 处有最大值, EIT 现象不再发生. 存在 Doppler 展宽时, 随着 D 值的增加, 吸收曲线逐渐由单峰结构变为双峰结构; 在 $\Delta_1 = 0$ 处总是得到吸收极大值, 随着 D 值的增加, 极大值先增大后减小; 当 Doppler 展宽值足够大时 ($D > 0.1$), 会在 $\Delta_1 < 0$ 的区域出现一个吸收峰, 但其峰值要小于 $\Delta_1 = 0$ 处的吸收峰值; 随着 D 值的继续增大, 在 $\Delta_1 < 0$ 区域的吸收峰逐渐向左 (即探测场失谐增大的方向) 移动, 峰值逐渐减小. 从图 5 可以看出, 在 D 的一定取值范围内, 在 $\Delta_1 < 0$ 区域中靠近 $\Delta_1 = 0$ 的位置, EIT 现象发生.

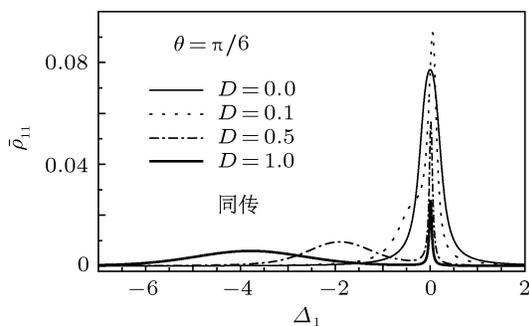


图 5 $\theta = \pi/6$ 时, 探测场和驱动场传播方向相同情况下 D 取不同值时 $\bar{\rho}_{11}$ 随 Δ_1 的变化. 其他参量值与图 2 相同

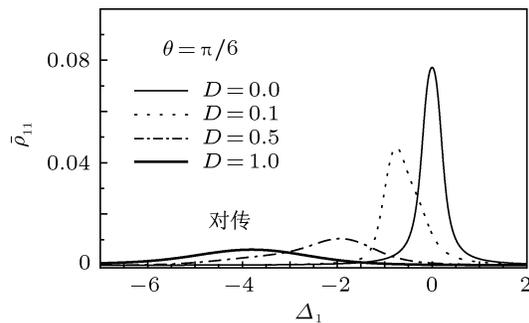


图 6 $\theta = \pi/6$ 时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下 D 取不同值时 $\bar{\rho}_{11}$ 随 Δ_1 的变化. 其他参量值同图 2

图 6 给出了当 $\theta = \pi/6$ 时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下双光子吸收 $\bar{\rho}_{11}$ 随探测场失谐 Δ_1 的变化. 比较图 6 和图 5 可以看出: 1) 当无 Doppler 展宽 ($D = 0$) 时, 探测场和驱动场传播

方向相反和相同两种情况下的双光子吸收完全相同; 2) 存在 Doppler 展宽时, 探测场和驱动场传播方向相反情况下 D 值的增加不再像传播方向相同情况那样使吸收曲线由单峰结构向双峰结构转变, 而是使吸收峰逐渐向左 (即探测场失谐增大的方向) 移动, 峰值逐渐减小. 不管 D 值大小都不再出现 EIT 现象.

图 7 给出了当 $\theta = \pi/6$ 时探测场和驱动场传播方向相同与相反两种情况下双光子吸收极大值 $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 随 Doppler 展宽宽度 D 的变化曲线. 需要说明的是, 图中探测场和驱动场传播方向同时的吸收极大值 $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 是在 $\Delta_1 = 0$ 时所得到的. 由图 7 可以看出: 当探测场和驱动场传播方向相同时, $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 随 D 值的增加先增加后减小; 当 $D = 0.15$ 时, 双光吸收有最大的 $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$, 随 D 值的继续增加, $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 逐渐趋向于 0; 当探测场和驱动场传播方向相反时, $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 随 D 值的增加而单调减小; 当 $D = 0$ 和 D 值较大时探测场和驱动场传播方向相反和相同时吸收极大值相同, 当 D 值较小时探测场和驱动场传播方向相反时的吸收极大值小于传播方向相同时的极大值.

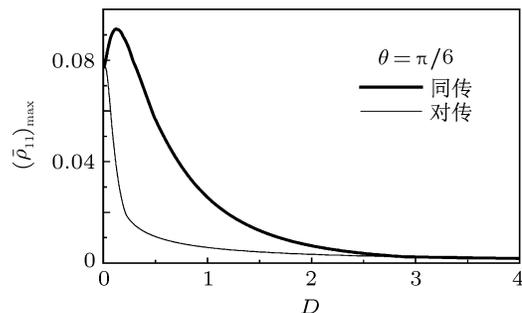


图 7 $\theta = \pi/6$ 时, 探测场和驱动场传播方向相同与相反两种情况下 $(\bar{\rho}_{11})_{\max}$ 随 D 的变化. 其他参量值同图 2

4 结论

本文利用数值计算结果, 讨论了在 Y 型四能级原子系统中 Doppler 展宽对与真空诱导相干性相关的双光子吸收的影响. 研究表明: 1) 在无 Doppler 展宽情况中, 不存在 VIC 时, 吸收曲线具有双峰结构并产生电磁感应透明现象, 存在 VIC 时吸收曲线变为单峰结构而 EIT 现象不再发生; 2) 在有 Doppler 展宽情况中, 不管是否存在 VIC, EIT 现象都能发生, 不存在 VIC 时, 不管探测场和驱动场传播方向相同还是相反, 随 Doppler 展宽宽度 D 值的增大, 吸收先增大后减小, 吸收曲线逐渐从双峰结构变为单峰结构, 但演化方式在探测场

和驱动场传播方向相同和相反两种情况中大不相同; 存在 VIC 时, 若探测场和驱动场传播方向相同, 随 D 值的增大, 吸收先增大后减小, 吸收曲线逐渐从单峰结构变为双峰结构, 双峰结构中一个吸收峰总是位于探测场共振 ($\Delta_1 = 0$) 处, 而另一个位

于 $\Delta_1 < 0$ 区域内的吸收峰逐渐左移 (即向探测场失谐增大的方向移动); 若探测场和驱动场传播方向相反, 随 D 值的增大, 吸收曲线仍保持单峰结构但吸收峰逐渐左移且峰值单调减小.

- [1] Mompert J, Corbalan R 2000 *J. Opt. B: Quant. Semiclas. Opt.* **2** R4
- [2] Harris S E, Field J E, Imamoglu A 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 1107
- [3] Boller K J, Imamoglu A, Harris S E 1991 *Phys. Rev. Lett.* **66** 2593
- [4] Keitel C H 1998 *Phys. Rev. A* **57** 1412
- [5] Dogariu A 2000 *Nature* **406** 277
- [6] Wilson-Gordon A D, Friedmann H 2001 *Phys. Rev. A* **63** 043818
- [7] Arimondo E 1996 *Progress in Optics XXXV* (Edited by Wolf E) (North-Holland: Amsterdam) p257
- [8] Scully M O, Zhu S Y 1998 *Science* **281** 1973
- [9] Scully M O 1991 *Phys. Rev. Lett.* **67** 1855
- [10] Berman P R 2005 *Phys. Rev. A* **72** 035801
- [11] Antón M A, Calderón O G, Carreño F 2005 *Phys. Rev. A* **72** 023809
- [12] Gonzalo I, Antón M A, Carreño F, Calderón O G 2005 *Phys. Rev. A* **72** 033809
- [13] Niu Y P, Gong S Q 2006 *Phys. Rev. A* **73** 053811
- [14] Cui N, Fan X J, Tian S F, Ma H, Li A Y, Xu Z Z 2006 *J. Modern Opt.* **53** 1165
- [15] Li A Y, Ma H, Tan X, Yang Y L, Tong D M, Fan X J 2007 *Opt. Commun.* **280** 397
- [16] Li A J, Song X L, Wei X G, Wang L, Gao J Y 2008 *Phys. Rev. A* **77** 053806
- [17] Yan X A, Song J P, Yi B Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3538 (in Chinese) [严祥安, 宋建平, 尹宝银 2008 物理学报 **57** 3538]
- [18] Yang Y L, Wang L, Liu Z B, Lu H W, Fan X J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3161 (in Chinese) [杨艳玲, 王蕾, 刘中波, 卢洪武, 樊锡君 2009 物理学报 **58** 3161]
- [19] Osman K I, Hassan S S, Joshi A 2009 *Eur. Phys. J. D* **54** 119
- [20] Braunstein D, Shuker R 2009 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **42** 125401
- [21] Weatherall J O, Search C P 2010 *Phys. Rev. A* **81** 023806
- [22] Agarwal G S, Harshwardhan W 1996 *Phys. Rev. Lett.* **77** 1039
- [23] Gao J Y, Yang S H, Wang D, Guo X Z, Chen K X, Jiang Y, Zhao B 2002 *Phys. Rev. A* **61** 063812
- [24] Petrosyan D, Kurizki G 2001 *Phys. Rev. A* **64** 023810
- [25] Paternostro M, Kim M S 2003 *Phys. Rev. A* **67** 023811
- [26] Wahlstrand J K, Cundiff S T, Sipe J E 2011 *Phys. Rev. B* **83** 233201
- [27] Malaguti S, Bellanca G, de Rossi A, Combríe S, Trillo S 2011 *Phys. Rev. A* **83** 051802
- [28] Saha K, Venkataraman V, Londero P, Gaeta A L 2011 *Phys. Rev. A* **83** 033833
- [29] Hendrickson S M, Lai M M, Pittman T B, Franson J D 2010 *Phys. Rev. Lett.* **105** 173602
- [30] Chuntunov L, Rybak L, Gandman A, Amitay Z 2010 *Phys. Rev. A* **81** 045401
- [31] Wang C K, Zhang Z D, Ding M C, Li X J, Sun Y H, Zhao K 2010 *Chin. Phys. B* **19** 103304
- [32] You H, Hendrickson S M, Franson J D 2009 *Phys. Rev. A* **80** 043823
- [33] Sun Y P, Liu J C, Wang C K 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3934 (in Chinese) [孙玉萍, 刘纪彩, 王传奎 2009 物理学报 **58** 3934]
- [34] Sun Y H, Li J, Zhao K, Wang C K 2010 *Chin. Phys. B* **19** 044207
- [35] Sun Y H, Li L H, Li J, Wang C K 2010 *Chin. Phys. B* **19** 083102
- [36] Cui H Y, Li Z F, Ma F J, Chen X S, Lu W 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7055 (in Chinese) [崔昊杨, 李志锋, 马法君, 陈效双, 陆卫 2010 物理学报 **59** 7055]
- [37] Zheng J J, Lu Y Q, Li P L 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 4687 (in Chinese) [郑加金, 陆云清, 李培丽 2010 物理学报 **59** 4687]
- [38] Hou B P, Wang S J, Yu W L, Sun W L 2004 *Phys. Rev. A* **69** 053805

Effect of Doppler broadening on VIC-dependent two-photon absorption in Y-type four-level system*

Jia Ke-Ning¹⁾ Liu Zhong-Bo¹⁾ Liang Ying¹⁾
Tong Dian-Min²⁾ Fan Xi-Jun¹⁾†

1) (*College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Jinan 250014, China*)

2) (*School of Physics, Shandong University, Jinan 250100, China*)

(Received 3 June 2011; revised manuscript received 26 June 2011)

Abstract

Using the numerical result, the influence of the Doppler broadening on the two-photon absorption related to vacuum induced coherence is discussed. In the absence of Doppler broadening, when VIC is absent, the absorption curve has a double-peak structure and the electromagnetically induced transparency phenomenon can occur; when VIC is present, the absorption curve has a single-peak structure and EIT phenomenon does not appear. In the presence of Doppler broadening, regardless of VIC being present or not, EIT phenomenon always can occur; when VIC is absent, no matter whether the propagation directions of the probe and driving fields are the same or opposite, with the Doppler broadening width (D) increasing, the absorption first increases and then decreases and the absorption curve changes gradually from a double-peak structure to a single-peak structure; when VIC is present, if propagation directions of the probe and driving fields are the same, with the value of D increasing, the absorption first increases and then decreases and the absorption curve changes gradually from a single-peak structure to a double-peak structure; if propagation directions of the probe and driving fields are opposite, with the value of D increasing, the absorption decreases monotonically and the absorption curve remains a single-peak structure.

Keywords: Y-type four-level, Doppler broadening, two-photon absorption, vacuum induced coherence

PACS: 42.50.Gy, 42.50.Hz

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10875072).

† E-mail: xjfan108@yahoo.com.cn