

激光场线宽对四能级原子系统相干效应的影响

王 丽 宋海珍 肖绍武

(南阳师范学院物理与电子工程学院, 河南 南阳 473061)

摘要 采用密度矩阵方程,在引入激光场线宽的条件下,计算了 N 型四能级原子系统中介质对探测场的吸收。结果表明:耦合场线宽的引入,消弱了四能级原子相干,对抑制吸收有增强作用,对增强吸收有抑制作用,即耦合场线宽的引入导致了退相干。控制场线宽的引入,在电磁感应透明中削弱了四能级原子相干性,降低了共振吸收,增强了光透明;在电磁感应吸收中,控制场线宽的增加使谱线中心两侧的吸收增强,削弱了谱线中心的吸收增强,从而使四能级系统的电磁感应吸收转换为电磁感应透明。

关键词 量子光学; 原子相干; 激光场线宽; N 型四能级原子系统; 退相干

中图分类号 O431 **文献标识码** A

Influence of Laser-Field Linewidth on Atomic Coherence Effect in Four-Level Atomic System

Wang Li Song Haizhen Xiao Shaowu

(College of Physics and electronics engineering, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China)

Abstract Using density matrix equation, the absorption of the probing field in N-type four-level atomic system with three coupling laser-fields under introducing laser field linewidth is calculated. The results indicate that the coupling-field linewidth abates the atomic coherence in four-level system, which enhances absorption to absorption inhibition and inhibits absorption to absorption enhancement. The coupling-field linewidth leads to decoherence. The results also indicate that the controlling-field linewidth abates the atomic coherence in four-level system, reduces absorption and enhances light transparency in electromagnetically induced transparency. The increase of controlling-field linewidth enhances absorption of the both sides absorption of the spectral line centre in electromagnetically induced absorption, while abates the absorption enhancement of the spectral line centre. So the electromagnetically induced absorption in four-level system switches to the electromagnetically induced transparency.

Key words quantum optics; atomic coherence; laser-field linewidth; N-type four-level atomic system; decoherence

1 引 言

光与原子相互作用具有丰富的物理内容。众所周知,激光的实现就是光与物质在腔内相互作用的结果。原子相干效应是光与物质相互作用的一种重要物理现象,近年来备受关注。它在原子冷却^[1]、测磁学^[2]、增强原子色散^[3]、原子量子态的相干布居传输^[4]、光速减慢及增强^[5~7]、原子纠缠的产生以及量子开关^[8,9]等方面有重要的应用价值。近年来许多人

在原子相干效应方面做了很多有价值的工作,例如用两束强度相同的光与三能级原子耦合,导致原子上能级变为暗态的现象,即相干布居俘获^[10]。一束弱光与另一束强光同时与三能级原子耦合引起光吸收减弱即电磁感应透明(Electromagnetically induced transparency, EIT)^[11~14],同时导致光群速度的减慢^[5]等现象,以及简并二能级原子系统中从激发态到基态的相干转移产生电磁感应吸收现象

收稿日期: 2007-04-12; 收到修改稿日期: 2007-08-21

基金项目: 河南省自然科学基金(0611055400)和南阳师范学院高层次人才科研启动基金(NYTC2004K13)资助课题。

作者简介: 王 丽(1977—),女,河南泌阳人,讲师,硕士,主要从事量子光学和激光物理方面的研究。

E-mail: wli1217@sohu.com

导师简介: 胡响明(1963—),男,湖南长沙人,教授,主要从事量子光学、激光物理和量子通信方面的研究。

E-mail: xmhu@phy. ccnu. edu. cn

(Electromagnetically induced absorption, EIA)^[15,16]。光与原子相互作用可以极大地改变介质的非线性系数,从而以电磁感应透明为基础的各种非线性光学效应不断涌现^[17~19]。

随着对原子相干效应认识的不断深入,探索更多有应用前景的相干效应成为该领域研究的焦点。如研究多能级原子系统中的原子相干效应,从而发现在不同的条件下,均可以产生电磁感应透明或电磁感应吸收^[20~23]。但原子相干效应受到诸多因素的影响,激光场的线宽就是其中之一。如在简并的二能级系统中,引入耦合场线宽,发现耦合场线宽抑制吸收增强^[24]。这与耦合场线宽增强三能级系统中电磁感应透明的吸收形成鲜明的对比。本文是以三个电偶极跃迁构成的 N 型四能级原子系统为例,中间跃迁作为探测跃迁,两边分别是耦合跃迁和控制跃迁,研究了耦合场、控制场线宽对原子相干效应的影响。

2 模型与方程

考虑如图 1 所示的均匀展宽的四能级原子系统,能级 $|1\rangle$ 和 $|3\rangle$ 是没有弛豫的简并基态能级,能级 $|2\rangle$ 和 $|4\rangle$ 是简并的激发态能级。原子受到三个光场的作用:

$$E(r,t) = E_1 \exp(-i\omega_1 t) + E_2 \exp(-i\omega_2 t) + E_3 \exp(-i\omega_3 t) + \text{c. c.}, \quad (1)$$

在由激发态到基态的跃迁中,由于选择定则 $|1\rangle - |4\rangle$ 跃迁是偶极禁止的。在(1)式中,假定第一项和第三项较大,分别作为耦合场和控制场,耦合场驱动 $|1\rangle - |2\rangle$ 跃迁,控制场驱动 $|3\rangle - |4\rangle$ 跃迁;第二项作为探测场,激发 $|2\rangle - |3\rangle$ 跃迁。其中 E_1, E_2, E_3 和 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别是耦合场、探测场和控制场的振幅与频率。

在相互作用绘景和旋波近似下,系统哈密顿

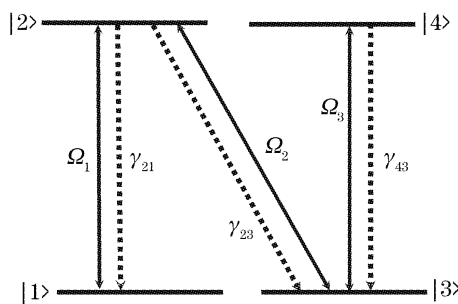


图 1 N 型四能级原子系统的能级与跃迁

Fig. 1 Energy level and transition of N-type four-level atomic system

量为

$$H = \hbar\Delta_1\sigma_{22} + \hbar(\Delta_1 - \Delta_2)\sigma_{33} + \hbar(\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3)\sigma_{44} - \hbar(\Omega_1\sigma_{21} + \Omega_1^*\sigma_{12} + \Omega_2\sigma_{23} + \Omega_2^*\sigma_{32} + \Omega_3\sigma_{43} + \Omega_3^*\sigma_{34}), \quad (2)$$

式中 $\Delta_1 = \omega_{21} - \omega_1, \Delta_2 = \omega_{23} - \omega_2$ 和 $\Delta_3 = \omega_{43} - \omega_3$ 是原子-场耦合的失谐量,且 $\Delta_1 = \Delta_3; 2\Omega_1, 2\Omega_2, 2\Omega_3$ 分别是耦合场、探测场和控制场的拉比频率。系统的约化密度矩阵主方程为

$$\dot{\rho} = -\frac{i}{\hbar}[H, \rho] + \gamma_{21}l_{12}^{21}\rho + \gamma_{23}l_{32}^{23}\rho + \gamma_{43}l_{34}^{43}\rho, \quad (3)$$

式中 γ_{21} 和 γ_{23} 分别是激发态 $|2\rangle$ 自发衰减到基态 $|1\rangle$ 和 $|3\rangle$ 的速率, γ_{43} 是激发态 $|4\rangle$ 自发衰减到基态 $|3\rangle$ 的速率; $\sigma_{ij} = |i\rangle\langle j|$ 是原子极化算符 ($i \neq j$) 和布居算符 ($i = j$),

$$l_{ij}^{ii}\rho = \frac{1}{2}(2\sigma_{ij}\rho\sigma_{ji} - \sigma_{ji}\sigma_{ij}\rho - \rho\sigma_{ji}\sigma_{ij}), \quad i = 1, 3; j = 2, 4 \quad (4)$$

表示原子布居的转移。

现在我们引入激光场的相位起伏。为处理问题方便^[25],首先假设控制场和探测场为严格的单频场,即只考虑耦合场的相位随机扰动项。定义耦合场的拉比频率与相位的依赖关系为

$$\Omega_1 = \Omega_1^0 \exp(-i\phi_1), \quad (5)$$

其中 Ω_1^0 是耦合场拉比频率的振幅,且为实数, ϕ_1 是耦合场拉比振荡的相位,以线宽 R_1 表示起伏宽度(白噪声)^[26]:

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_1 &= \mu(t), & \langle \mu(t) \rangle &= 0, \\ \langle \mu(t)\mu(t') \rangle &= R_1 \delta(t-t'). \end{aligned} \quad (6)$$

为了描述耦合场线宽对原子相干的影响,定义密度矩阵元与相位的依赖关系^[27]为

$$\begin{aligned} \tilde{\rho}_{1i} &= \rho_{1i} \exp(-i\phi_1), & i &= 2, 3, 4 \\ \tilde{\rho}_{ij} &= \rho_{ij}, & i, j &\neq 1 \end{aligned} \quad (7)$$

以 $\tilde{\rho}_{12}$ 为例,相应的运动方程可按下述方式改写

$$\dot{\tilde{\rho}}_{12} = \dot{\rho}_{12} \exp(-i\phi) - i\mu(t)\tilde{\rho}_{12}, \quad (8)$$

利用白噪声的性质完成对相位的库平均:

$$\begin{aligned} \langle \mu(t)\tilde{\rho}_{12}(t) \rangle &= \langle \mu(t)\tilde{\rho}_{12}(t-\epsilon) \rangle + \int_{t-\epsilon}^t d\tau \langle \mu(t)\tilde{\rho}_{12}(\tau) \rangle = \langle \mu(t)\tilde{\rho}_{12}(t-\epsilon) \rangle - \int_{t-\epsilon}^t d\tau \langle \mu(t)\mu(\tau) \rangle \tilde{\rho}_{12}(\tau-\epsilon) + O(\epsilon) = -\frac{i}{2}R\langle \tilde{\rho}_{12}(t-\epsilon) \rangle + O(\epsilon). \end{aligned} \quad (9)$$

对其它矩阵元进行类似的处理。以下省去 $\langle \cdot \rangle$ ，以 ρ_{ij} 表示库平均 $\langle \rho_{ij} \rangle$ 。于是在极限 $\epsilon \rightarrow 0$ 时，得到密度矩阵元的方程：

$$\tilde{\rho}_{11} = \gamma_{21} \tilde{\rho}_{22} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{21} - i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{12}, \quad (10)$$

$$\tilde{\rho}_{22} = -(\gamma_{21} + \gamma_{23}) \tilde{\rho}_{22} - i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{21} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{12} + i\Omega_2 \tilde{\rho}_{32} - i\Omega_2^* \tilde{\rho}_{23}, \quad (11)$$

$$\tilde{\rho}_{33} = \gamma_{23} \tilde{\rho}_{22} + \gamma_{43} \tilde{\rho}_{44} + i\Omega_3^* \tilde{\rho}_{43} - i\Omega_3 \tilde{\rho}_{34} - i\Omega_2 \tilde{\rho}_{32} + i\Omega_2^* \tilde{\rho}_{23}, \quad (12)$$

$$\tilde{\rho}_{44} = -\gamma_{43} \tilde{\rho}_{44} - i\Omega_3^* \tilde{\rho}_{43} + i\Omega_3 \tilde{\rho}_{34}, \quad (13)$$

$$\tilde{\rho}_{12} = -\Gamma_{12} \tilde{\rho}_{12} + i\Omega_1^0 (\tilde{\rho}_{22} - \tilde{\rho}_{11}) - i\Omega_2^* \tilde{\rho}_{13}, \quad (14)$$

$$\tilde{\rho}_{34} = -\Gamma_{34} \tilde{\rho}_{34} + i\Omega_3^* (\tilde{\rho}_{44} - \tilde{\rho}_{33}) + i\Omega_2^* \tilde{\rho}_{24}, \quad (15)$$

$$\tilde{\rho}_{13} = -\Gamma_{13} \tilde{\rho}_{13} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{23} - i\Omega_3 \tilde{\rho}_{14} - i\Omega_2 \tilde{\rho}_{12}, \quad (16)$$

$$\tilde{\rho}_{14} = -\Gamma_{14} \tilde{\rho}_{14} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{24} - i\Omega_3^* \tilde{\rho}_{13}, \quad (17)$$

$$\tilde{\rho}_{23} = -\Gamma_{23} \tilde{\rho}_{23} + i\Omega_2 (\tilde{\rho}_{33} - \tilde{\rho}_{22}) - i\Omega_3 \tilde{\rho}_{24} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{13}, \quad (18)$$

$$\tilde{\rho}_{24} = -\Gamma_{24} \tilde{\rho}_{24} + i\Omega_1^0 \tilde{\rho}_{14} - i\Omega_3^* \tilde{\rho}_{23} + i\Omega_2 \tilde{\rho}_{34}, \quad (19)$$

其中原子布居满足： $\tilde{\rho}_{11} + \tilde{\rho}_{22} + \tilde{\rho}_{33} + \tilde{\rho}_{44} = 1$ ，其他的参量为

$$\begin{aligned} \Gamma_{12} &= \frac{1}{2}(\gamma_{21} + \gamma_{23} + R_1) - i\Delta_1, \\ \Gamma_{13} &= \frac{1}{2}R_1 - i(\Delta_1 - \Delta_2), \\ \Gamma_{14} &= \frac{1}{2}(\gamma_{43} + R_1) - i(\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3), \\ \Gamma_{23} &= \frac{1}{2}(\gamma_{21} + \gamma_{23}) + i\Delta_2, \\ \Gamma_{24} &= \frac{1}{2}(\gamma_{21} + \gamma_{23} + \gamma_{43}) + i(\Delta_2 - \Delta_3), \\ \Gamma_{34} &= \frac{1}{2}\gamma_{43} - i\Delta_3. \end{aligned} \quad (20)$$

从衰减速率(20)式可知，相位扰动产生附加相干衰减项，即耦合场线宽增大了原子相干的衰减率。

首先，要得到原子布居和原子相干的零阶定态解。令(10)式~(15)式的时间导数为零，得到原子布居和原子相干的零阶解为

$$\begin{aligned} \rho_{11}^{(0)} &= \rho_{22}^{(0)} = \rho_{12}^{(0)} = 0, \\ \rho_{33}^{(0)} &= (\gamma_{43} + D_0)/(\gamma_{43} + 2D_0), \\ \rho_{44}^{(0)} &= D_0/(\gamma_{43} + 2D_0), \\ \rho_{34}^{(0)} &= \frac{i\Omega_3^*}{\Gamma_{34}}[\rho_{44}^{(0)} - \rho_{33}^{(0)}], \end{aligned} \quad (21)$$

其中 $D_0 = |\Omega_3|^2/\Gamma_{34} + |\Omega_3|^2/\Gamma_{34}^*$ 。

由(21)式可见，对吸收有贡献的布居和相干只有取非零值的 $\rho_{33}^{(0)}$ 、 $\rho_{44}^{(0)}$ 、 $\rho_{34}^{(0)}$ 。设非对角密度矩阵元方程(16)式~(19)式的时间导数为零，求得 $\rho_{13}^{(1)}$ 、 $\rho_{23}^{(1)}$ 、 $\rho_{14}^{(1)}$ 、 $\rho_{24}^{(1)}$ 的一阶解，而介质吸收由下式决定

$$\alpha = \text{Re}[-i\Omega_2^* \rho_{23}^{(1)}] = \text{Re}\left[\frac{|\Omega_2|^2 D_1}{D_3 D_1 - D_4 D_2} \rho_{33}^{(0)} + \frac{|\Omega_2|^2}{\Gamma_{24}} \frac{i\Omega_1^* D_4 - i\Omega_3 D_1}{D_3 D_1 - D_4 D_2} \rho_{34}^{(0)}\right], \quad (22)$$

其中

$$\begin{aligned} D_1 &= \Gamma_{14} + \frac{|\Omega_3|^2}{\Gamma_{13}} + \frac{|\Omega_1|^2}{\Gamma_{24}}, \\ D_2 &= \frac{\Omega_1^* \Omega_3^*}{\Gamma_{13}} + \frac{\Omega_1^* \Omega_3^*}{\Gamma_{24}}, \\ D_3 &= \Gamma_{23} + \frac{|\Omega_1|^2}{\Gamma_{13}} + \frac{|\Omega_3|^2}{\Gamma_{24}}, \\ D_4 &= \frac{\Omega_1 \Omega_3}{\Gamma_{13}} + \frac{\Omega_1 \Omega_3}{\Gamma_{24}}. \end{aligned} \quad (23)$$

应用完全类似的方法，可以讨论控制场线宽对原子相干效应的影响。

3 线宽对吸收谱的影响

通过理论计算得到介质吸收的数学表达式(22)，从而可借助数值分析研究介质对探测场的吸收特性。为了计算方便，首先设能级 $|2\rangle$ 上的衰减率为一个衰变单元，且 $\gamma_{21} = \gamma_{23} = 0.5$ 。根据实际原子系统的参量近似，由于电子的拉比频率与耦合场、控制场的强度成正比关系，在此设定 $\Omega_1 = \Omega_3 = 0.1$ 。通常探测场的强度相对于耦合场、控制场很弱，所以设定 $\Omega_2 = 0.01$ 。

图2给出了当耦合场和控制场的中心频率与原子共振耦合($\Delta_1 = \Delta_3 = 0$)时，耦合场线宽对介质吸收谱的影响。图2(a)是在电磁感应透明($\gamma_{43} = 1.0$)中，耦合场线宽对吸收谱的影响。由吸收谱中心，从下到上，耦合场线宽(R_1)的取值分别为 $R_1 = 0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, \infty$ 。从图2(a)中可见，当 $R_1 = 0$ 时，在吸收曲线中心出现一凹陷，对应吸收有一定程度的抑制，即为电磁感应透明现象。随着耦合场线宽的增大，在共振处，介质吸收逐渐增大。当耦合场线宽 $R_1 \geq \gamma_{23}, \gamma_{21}$ 时，吸收曲线近似为二能级原子系统的吸收曲线。另一方面，在远离共振的地方，吸收几乎没有变化。与相干场的情形相比，耦合场线宽仅对抑制的吸收产生明显的增强。图2(b)为在电磁感应吸收($\gamma_{43} = 0.1$)中，耦合场线宽对吸收谱的影响。由吸收谱线中心，从上到下，耦合场线宽的取值分别为 $R_1 = 0, 0.05, 0.1, 0.5, \infty$ 。在图2(b)

中,当 $R_1=0$ 时,在吸收曲线中心出现一凸起,对应吸收增强,即为电磁感应吸收现象。随着耦合场线宽的增大,在共振处,吸收峰下降。当耦合场线宽远大于耦合场拉比频率时,吸收曲线近似为二能级原子系统的吸收曲线,也即四能级原子相干退化为二能级原子相干。而在远离共振的地方,吸收几乎没

有变化。由此可见,耦合场线宽的增大消弱了四能级原子相干,对抑制的吸收有增强作用,对增强的吸收有抑制作用。也即耦合场线宽的引入,导致了退相干。退相干在电磁感应透明中增强吸收,在电磁感应吸收中抑制吸收增强。

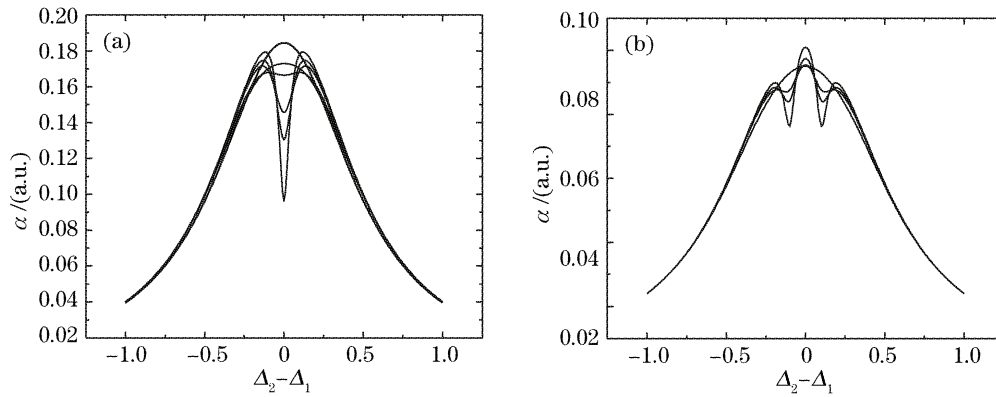


图 2 耦合场线宽对吸收谱的影响。(a)在电磁感应透明中,耦合场线宽的影响,(b)在电磁感应吸收中,耦合场线宽的影响

Fig. 2 The influence of the coupling-field linewidth on the absorption spectra. (a) Influence of the coupling-field linewidth in electromagnetically induced transparency, (b) influence of the coupling-field linewidth in electromagnetically induced absorption

图 3 给出了当耦合场和控制场的中心频率与原子共振耦合($\Delta_1=\Delta_3=0$)时,控制场线宽对吸收谱的影响。图 3(a)是在电磁感应透明中,控制场线宽对吸收谱的影响。由吸收谱线中心,从上到下,控制场线宽的 R_3 的取值分别为 $R_3=0, 0.5, 1.0, 5.0, \infty$ 。从图 3(a)可知,在四能级原子系统的电磁感应透明中,随着控制场线宽的增大,在共振处,吸收曲线中心的凹陷更深,介质吸收逐渐减小,电磁感应透明透明程度增大。另一方面,在远离共振的地方,吸收几乎没有变化。可见,在四能级原子系统的电磁感应透明中,随着控制场线宽的增大,四能级原子相干越来越弱。当控制场线宽取无穷大时,四能级原子相干完全退化为三能级原子相干。也即在四能

级原子系统的电磁感应透明中,控制场线宽的引入,削弱了四能级原子相干,从而增强了电磁感应透明的透明程度,这与耦合场线宽在电磁感应透明中增强吸收有所不同。图 3(b)是在电磁感应吸收中,控制场线宽对吸收谱的影响。由吸收谱线中心的两侧,从下到上,控制场线宽的取值分别为 $R_3=0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 5.0, \infty$ 。由图 3(b)知,在四能级原子系统的电磁感应吸收中,随着控制场线宽的增大,在共振处,吸收的峰值不变,但吸收的相对强度减弱。当控制场线宽远大于控制场的拉比频率时,在共振处附近,吸收尖峰消失,在曲线中心出现一凹陷,也即产生电磁感应透明现象。当控制场线宽取无穷大时,四能级原子相干完全退化为三能

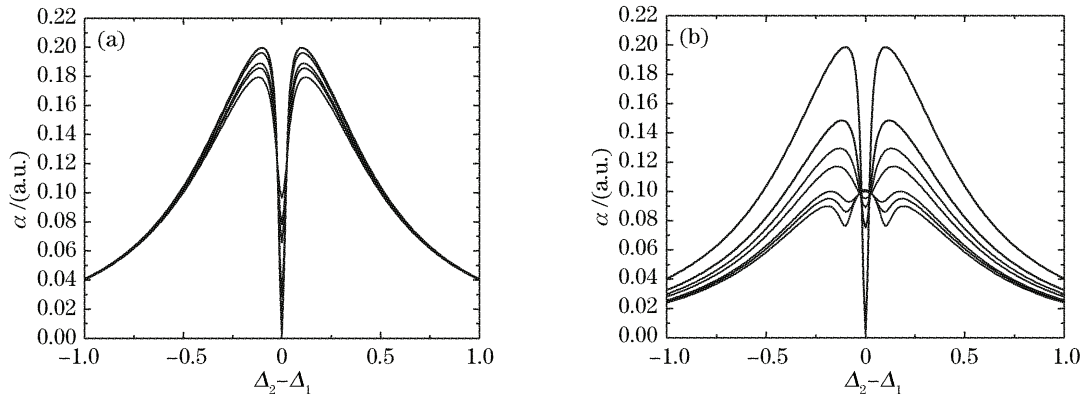


图 3 控制场线宽对吸收谱的影响。(a)在电磁感应透明中,控制场线宽的影响,(b)在电磁感应吸收中,控制场线宽的影响

Fig. 3 Influence of the controlling field-line width on the absorption spectra. (a) Influence of the controlling-field linewidth in electromagnetically induced transparency, (b) influence of the controlling-field linewidth in electromagnetically induced absorption

级原子相干,从而实现电磁感应吸收与电磁感应透明之间的转换。由此可以看到控制场线宽的引入破坏了四能级系统的原子相干,线宽的增加会使两侧的吸收增强,同时削弱曲线中心的吸收增强。由以上分析可知,在四能级原子系统中,控制场线宽的引入,削弱了四能级原子系统的原子相干性,从而降低谱线中心的共振吸收,增强光透明程度。

综上所述,在四能级原子系统中,耦合场和控制场线宽的引入将减弱四能级原子相干性,从而改变介质对探测场的吸收。

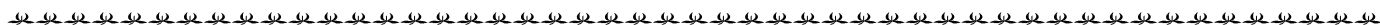
4 结 论

本文通过理论计算,分析了四能级原子系统中激光场线宽对介质吸收的影响。在四能级原子系统中,耦合场线宽的引入,削弱了四能级原子相干,对抑制的吸收有增强作用,对增强的吸收有抑制作用。也即耦合场线宽的引入,导致退相干。退相干在电磁感应透明中增强吸收,在电磁感应吸收中抑制吸收增强。在四能级系统的电磁感应透明中,控制场线宽的引入,削弱了四能级原子相干性,降低共振吸收,增强光透明,这与耦合场线宽的影响有所不同。而在四能级系统的电磁感应吸收中,控制场线宽的引入,破坏了四能级原子相干性,控制场线宽的增加使两侧的吸收增强,削弱了谱线中心的吸收增强,从而使四能级系统的电磁感应吸收转换为电磁感应透明。也即在四能级原子系统中,控制场线宽的引入,都将削弱四能级原子系统的原子相干性,从而降低谱线中心的共振吸收,增强光透明程度。

参 考 文 献

- 1 A. Aspect, E. Arimondo, R. Kaiser *et al.*. Laser cooling below the one-photon recoil energy by velocity-selective coherent population trapping[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1988, **61**(7): 826~829
- 2 A. Nagel, L. Graf, A. Naumov *et al.*. Experimental realization of coherent dark-state magnetometers[J]. *Europhys. Lett.*, 1998, **44**(1): 31~36
- 3 S. E. Harris, J. E. Field, A. Kasapi. Dispersive properties of electromagnetically induced transparency[J]. *Phys. Rev. A*, 1992, **46**(1): R29~R32
- 4 K. Bergmann, H. Theur, B. W. Shore. Coherent population transfer among quantum states of atoms and molecules[J]. *Rev. Mod. Phys.*, 1998, **70**(3): 1003~1025
- 5 L. V. Hau, S. E. Harris, Z. Dutton *et al.*. Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas[J]. *Nature* (London), 1999, **397**(6720): 594~598
- 6 Guo Ruimin, Xiao Feng, Liu Cheng *et al.*. Dependence of electromagnetically induced transparency on laser linewidth[J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2003, **20**(9): 1507~1510
- 7 Liang Qingchang, Wang Haihua, Jiang Zhankui. Investigation on electromagnetically induced transparency and slowing-down of group velocity in $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ crystal[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 946~950
- 梁卿昌,王海华,蒋占魁. $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ 晶体中电磁感应透明及群速度减慢研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 946~950
- 8 J. Hald, J. L. Sorensen, C. Schori *et al.*. Spin squeezed atoms: a macroscopic entangled ensemble created by light[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1999, **83**(7): 1319~1322
- 9 A. Braje Danielle, Vlatko Balic, G. Y. Yin *et al.*. Low-light-level nonlinear optics with slow light[J]. *Quant. Phys.*, 2003, **9**(10): 035109
- 10 R. M. Whitley, C. R. Stroud. Double optical resonance[J]. *Phys. Rev. A*, 1976, **14**(4): 1498~1513
- 11 S. E. Harris. Electromagnetically induced transparency[J]. *Phys. Today*, 1997, **50**(7): 36~42
- 12 D. Mcgloin, D. J. Fulton, M. H. Dunn. Electromagnetically induced transparency in N -level cascade schemes[J]. *Opt. Commun.*, 2001, **190**(4): 221~229
- 13 Ying Wu, Xiaoxue Yang. Electromagnetically induced transparency in $V-$, $\Lambda-$, and cascade-type schemes beyond steady-state analysis[J]. *Phys. Rev. A*, 2005, **71**(5): 053806-1~7
- 14 Zhang Liying, Liu Zhengdon, Chen Jun. Electromagnetically induced transparency quasi Λ type four level atom system at low-light levels[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(9): 1419~1423
- 张丽英,刘正东,陈峻. 准 Λ 型四能级原子系统在弱场中的增益及电磁感应透明[J]. *光学学报*, 2006, **26**(9): 1419~1423
- 15 A. M. Kulshin, S. Barreiro, A. Lezama. Electromagnetically induced absorption and transparency due to resonant two-field excitation of quasidegenerate levels in Rb vapor[J]. *Phys. Rev. A*, 1998, **57**(4): 2996~3002
- 16 A. Lezama, S. Barreiro, A. M. Akulshin. Electromagnetically induced absorption[J]. *Phys. Rev. A*, 1999, **59**(6): 4732~4735
- 17 M. J. McDonnell, D. N. Stacey, A. M. Steane. Laser linewidth effects in quantum state discrimination by electromagnetically induced transparency[J]. *Phys. Rev. A*, 2004, **70**(5): 053802-1~13
- 18 Ying Wu. Two-color ultraslow optical solitons via four-wave mixing in cold-atom media[J]. *Phys. Rev. A*, 2005, **71**(5): 053820-1~5
- 19 Ying Wu, Xiaoxue Yang. Highly efficient four-wave mixing in double-system in ultraslow propagation regime[J]. *Phys. Rev. A*, 2004, **70**(5): 053818-1~5
- 20 Du Yingjie, Zhang Junxiang, Gao Jiangrui. Atomic coherence effects in four-level system[J]. *Acta Sinica Quantum Optica*, 2004, **10**(1): 14~19
- 杜英杰,张俊香,郜江瑞. 四能级系统中的原子相干效应[J]. *量子光学学报*, 2004, **10**(1): 14~19
- 21 Wang Li, Song Haizhen. Electromagnetically induced absorption in four-level atomic system[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(8): 4145~4149
- 王丽,宋海珍. 四能级原子系统中的电磁诱导吸收[J]. *物理学报*, 2006, **55**(8): 4145~4149
- 22 Zhang Yanliang, Zhang Xunli, Sun Zhenrong *et al.*. Double electromagnetically induced transparency and ultra-narrow linewidth in Y-type energy level system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(4): 563~567
- 张衍亮,张循利,孙真荣等. Y型四能级中的双电磁感应透明和超窄吸收[J]. *光学学报*, 2004, **24**(4): 563~567
- 23 Yang Suhui, Guo Xiuzhen, Wang Dong *et al.*. Electromagnetically induced two-photon transparency and absorption enhancement[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(3): 309~314
- 杨苏辉,国秀珍,王冬等. 电磁感应双光子光透明及共振吸收增强[J]. *光学学报*, 2000, **20**(3): 309~314

- 24 Wang Li, Hu Xiangming. Coupling field linewidth: inhibiting electromagnetically induced absorption[J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(8): 2551~2555
王 丽,胡响明. 耦合场线宽:抑制电磁诱导吸收[J]. 物理学报, 2004, **53**(8): 2551~2555
- 25 Yang Suhui, Zhang Hanzhuang, Guo Xiuzhen *et al.*. Effect of finite bandwidths of laser fields on electromagnetically induced two-photon transparency and absorption enhancement[J]. *Acta Physica Sinica*, 1998, **47**(6): 931~937
杨苏辉,张汉壮,国秀珍 等. 激光场的线宽对双光子电磁感应光透明及共振吸收增强的影响[J]. 物理学报, 1998, **47**(6): 931~937
- 26 C. W. Gardiner. *Handbook of Stochastic Methods* [M]. Berlin: Springer Press, 1985. 210~218
- 27 Gong Shangqing, Xu Zhizhan, Zhang Wenqi *et al.*. Influence of driving-field linewidth on electromagnetically induced transparency[J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(3): 321~324
龚尚庆,徐至展,张文琦 等. 相干驱动场的线宽对电磁诱导透明的影响[J]. 光学学报, 1996, **16**(3): 321~324



《中国激光》“综述”栏目征稿启事

《中国激光》创刊 30 多年以来,以反映我国激光领域的研究进展和成果为己任,见证了中国激光领域的发展历程和重大突破,在读者中树立了较高的学术地位,形成了较为成熟的办刊风格。近年来,激光研究的领域取得了令人瞩目的成就,在我国科技体系与国民经济中占据了越来越重要的地位,为了给广大研究人员提供更丰富、更全面的信息,应部分读者的要求,本刊增辟“综述”栏目,刊发综述类文章,反映激光领域热点专题的研究进展或动态。

具体要求:综述应尽可能就激光领域的研究热点结合最新的研究成果进行论述,涉及范围不需太大,但必须要有一定的深度和时间性,能反映出这一专题的历史背景、研究现状和发展趋势。文章必须有作者自己的研究经验或体会,所介绍的工作应尽量适合国内已开展的工作或将要开展工作的需要。

综述的写作格式一般包括四部分,即**引言、正文、结论、参考文献**。

引言,要用简明扼要的文字说明写作的目的、必要性、有关概念的定义,综述的范围,阐述有关问题的现状和动态,以及目前对主要问题争论的焦点等。引言一般以 200~300 字为宜,不宜超过 500 字。

正文,是综述的重点,应能较好地表达综合的内容。正文主要包括论据和论证两个部分,通过提出问题、分析问题和解决问题,比较不同学者对同一问题的看法及其理论依据,进一步阐明问题的来龙去脉和作者自己的见解。当然,作者也可从问题发生的历史背景、目前现状、发展方向等提出文献的不同观点。正文的重要部分应包括作者自己的工作实践。正文部分可根据内容的多少分为若干个小标题分别论述。

结论,是对综述正文部分作扼要的总结,作者应对各种观点进行综合评价,提出自己的看法,指出存在的问题及今后发展的方向和展望。

参考文献,是综述的重要组成部分。一般参考文献的多少可体现作者阅读文献的广度和深度,应以最近 3~5 年内的最新文献为主。

文章篇幅一般在 1 万字左右,一经录用,从速发表,稿酬从优。

《中国激光》编辑部