

钡蒸气中放大自发辐射与参量四波混频的竞争

霍芸生 林英仪 丁爱臻 上官诚 楼棋洪

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 研究了在双光子共振条件下, Ba 蒸气中放大自发辐射 (ASE) 与参量四波混频 (PFWM) 的竞争过程, 其机制可归结为 ASE 与 PFWM 之间的干涉相消。

关键词 双光子共振, 干涉相消, 钡蒸气

在非线性光学的研究中, 数种不同的非线性过程之间的竞争是一个比较复杂而又很重要的研究课题^[1~5]。对于此类竞争机制的研究将可在更深的层次上研究光与物质的非线性相互作用, 并有助于在激光束的非线性频率转换及非线性光谱测量中, 抑制所不希望的非线性过程。本文研究了对 Ba 原子的 $6p^2\ ^3P_0$ 能级的双光子共振激发过程中, 放大自发辐射 (ASE) 与参量四波混频 (PFWM) 之间的竞争。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示。一台 Lumonics 440 型 XeCl 准分子激光器泵浦的上海光机所 EDL-851 型脉冲染料激光器。使用 Rh6G 激光染料, 其波长可在 571.0~608.0 nm 范围内调谐, 谱线宽度约为 0.01 nm。染料激光脉冲能量约 0.5 mJ, 脉宽 10 ns, 光束发散角约 1 mrad。经中性滤光片 F 衰减及双色片 BS 反射后的染料激光束由焦距为

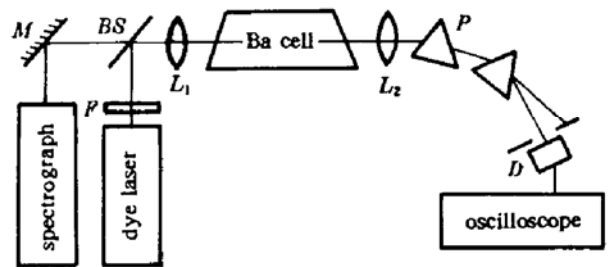


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental arrangement

70 cm 的透镜聚焦于热区长度为 1 m 的 Ba 蒸气热管炉的中央, 焦斑处的功率密度约为 10 MW/cm^2 , 由热管炉前向输出的 ASE 及 PFWM 相干辐射经透镜 L_2 准直后, 由 WP₁ 型 1 m 平面光栅摄谱仪进行光谱测量; 或经一对棱镜 P 色散后与泵浦光束分离, 再用直径约 5 mm 的掩板除去沿轴向传播的 ASE 辐射, 呈锥状的 PFWM 辐射信号由 QD-11 型快速强流管测量。后向放大自发辐射由透镜 L_1 自准直, 并在透过双色片 BS 后进行光谱及强度测量。

2 实验结果与讨论

当染料激光器调谐到 Ba 原子的 $6s^2 1S_0 - 6p^2 3P_0$ 跃迁的双光子共振波长 579.65 nm 时,在热管炉的前、后向均可观察到轴向蓝光辐射,其波长为 457.4 nm,经 $f = 60$ cm 的透镜聚焦测得其远场发散角约为 1.7 mrad。它们相应于 Ba 原子为入射激光双光子共振激发到 $6p^2 3P_0$ 能级后,经 $6p^2 3P_0 - 6p^3 3P_0^o$ 偶极跃迁所产生的放大自发辐射,其能级示于图 2。此外在钡蒸气池的前向还可观察到波长近 457.4 nm 的锥状辐射,将图 1 中钡池输出窗口处的透镜 L_2 及棱镜 P 移去后,可直接测得此锥状辐射的锥角为 22 mrad。此辐射可归结为泵浦激光束在 Ba 蒸气中的双光子共振增强参量四波混频过程所产生^[4,5]。

在热管炉中的 Ba 原子数密度及缓冲气体 He 气压分别固定为 $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 及 13 mbar 条件下,后向 ASE 及前向 PFWM 强度随入射光强度的变化在图 3 中给出。图 3 中的两条实线为在此对数坐标中斜率分别为 2.0 及 1.0 的两条直线。图 3 表明 PFWM 辐射与入射光强的平方成正比,符合通常的双光子过程的变化规律。而 ASE 强度随入射光强的线性增加则标志着由 $6s^2 1S_0 - 6p^2 3P_0$ 的双光子吸收所产生的 $6p^2 3P_0 - 6p^3 3P_0^o$ 的粒子数反转随泵浦光强线性增加。

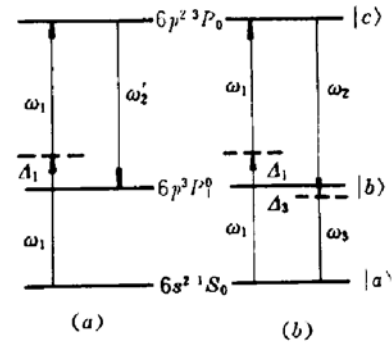


Fig. 2 Partial energy levels of barium related to the process of amplified spontaneous emission (a) and parametric four-wave mixing (b) under conditions of two-photon-resonance excitation of the barium $6p^2 3P_0$ level

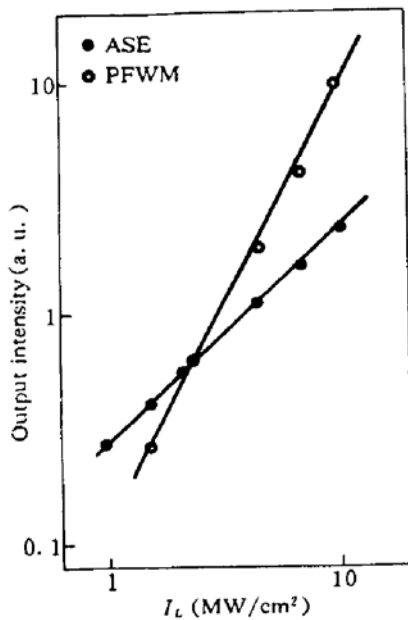


Fig. 3 Variation of the intensity of PFWM and backward ASE radiation against the incident light intensity at a barium number density of $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

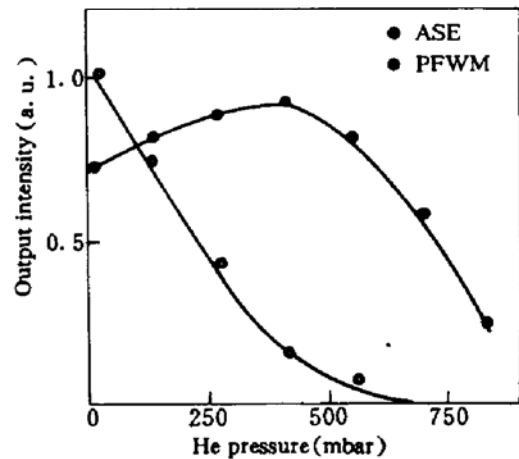


Fig. 4 PFWM and backward ASE intensity as a function of the helium buffer-gas pressure for a dye laser energy of 0.5 mJ

为进一步研究 ASE 及 PFWM 过程的特性,我们在 Ba 原子数密度及入射染料激光能量分别为 $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 及 0.5 mJ 的条件下测量了 ASE 及 PFWM 的强度随热管炉中缓冲气体 He 气压的变化。图 4 中所示的 PFWM 的强度随缓冲气体气压的增加而单调下降,这是由于当

缓冲气体的原子数密度增加时,由 He 原子的弹性碰撞所引起的 Ba 原子密度矩阵非对角矩阵元 ρ_{ca} 的退位相速率的增加将导致 PFWM 过程增益系数的下降^[4]。基于同样原因, $6s^2\ ^1S_0 - 6p^2\ ^3P_1$ 的双光子激发速率也应随 He 气压的升高而减小。但从图 4 可看到,当 He 气压从 10 mbar 左右开始增加时,后向 ASE 强度亦随之增加,并在 He 气压约 400 mbar 处达到其峰值,而后才随着 He 气压的进一步增加而下降。

对于双光子共振条件下 ASE 与 PFWM 过程之间的竞争,近年来已作过一些研究工作。R. Boyd 等人的研究结果表明^[3~5],在双光子共振条件下,Na 原子的 $3s-3d$ 跃迁的双光子吸收通道与参量四波混频通道之间的干涉相消,将导致粒子数反转区域的缩短,从而抑制了 ASE 的增长。我们认为,在我们的 Ba 蒸气双光子共振吸收实验中所观察到的后向 ASE 强度随泵浦光强度的线性增加可能也同 ASE 及 PFWM 之间的竞争直接有关。

为以实验验证上述假定,我们在 He 气压为 470 mbar 条件下测量了后向 ASE 强度随入射光强的变化。实验中的入射光强通过在光路中插入具有不同透过率的中性滤光片 F 而加以改变。由图 4 可见,对于未经衰减的入射光能量(0.5 mJ),此时的 PFWM 强度已比 He 气压为 10 mbar 时降低了 10 倍以上,而后向 ASE 强度与 He 气压 10 mbar 时大体相当。实验观察亦表明,此时前向环状输出已很微弱,因此图 5 给出了 PFWM 过程受到抑制条件下的 ASE 特性。由图 5 所示结果可以看出,在低泵浦光强区域,在实验误差范围内($\pm 7\%$),ASE 光强与入射光强的平方成正比。图 5 中 ASE 曲线的直线部分斜率为 2.1。但是在入射光强较高时,ASE 光强曲线的斜率开始有所下降,与此相应,在前向开始观察到微弱的环状辐射。图 3 及图 5 所示实验结果表明,在图 3 中所观察到的 ASE 光强随泵浦光强的线性增加是 PFWM 与 ASE 过程竞争的结果。

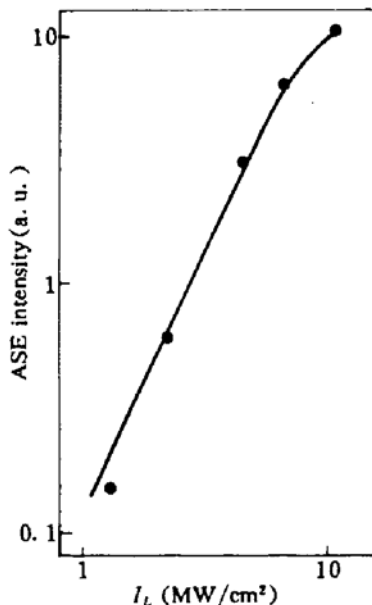


Fig. 5 Variation of the backward ASE intensity with the incident dye laser energy at a He buffer-gas pressure of 470 mbar

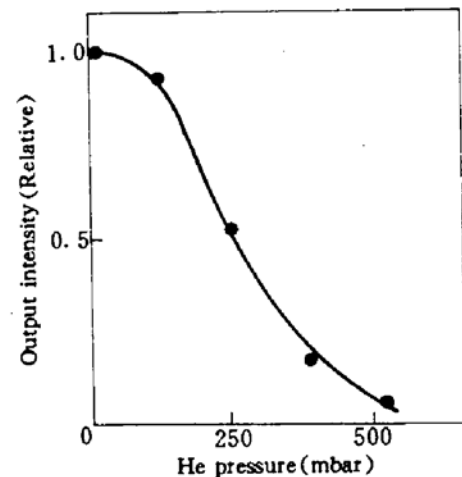


Fig. 6 Backward ASE intensity as a function of the helium buffer-gas pressure for an incident dye laser energy of 75 μJ

为了研究图 4 中 ASE 强度随 He 气压变化时峰值的出现是否与 PFWM 与 ASE 之间的竞争过程有关,我们在将入射的染料激光能量衰减至 75 μJ 的条件下,测量了 ASE 强度随 He 气压的变化。由图 3 的实验结果可知,在低缓冲气压条件下,当入射光强降低时,PFWM 强度按

平方律减小,而 ASE 强度呈线性下降,因而 PFWM 强度受到了更强的衰减。图 6 所示结果表明,在此低入射光强条件下,后向 ASE 强度随 He 气压的增加而单调下降,呈现出主要由 He 原子对 Ba 原子的双光子跃迁碰撞加宽的特性。将图 6 与图 4 比较,我们认为在图 4 中 ASE 曲线上峰值的出现可能是当 Ba 池中缓冲气体 He 气压增加时,由于与 He 原子碰撞速率的增大所引起的 Ba 原子 $6s^2\ ^1S_0 - 6p^2\ ^3P_0$ 双光子激发速率的下降以及由于 PFWM 强度的迅速下降而引起的 PFWM 对 ASE 过程抑制作用的减弱共同作用的结果。

综上所述,我们在 Ba 原子的 $6s^2\ ^1S_0 - 6p^2\ ^3P_1$ 双光子共振激发实验中,观察到 PFWM 与 ASE 过程间的竞争。由于 PFWM 对 ASE 的抑制作用导致了 ASE 光强随入射光强线性增加,偏离了通常的双光子过程的二次方规律。

至于为什么 PFWM 与 ASE 过程之间的干涉相消恰好会导致 ASE 光强对入射光强的线性依赖关系? 参照 R. Boyd 等人对于 Na 原子 $3s-3d$ 双光子跃迁相应过程的计算结果^[4],我们认为可能是由于 PFWM 对 ASE 的抑制作用导致了金属蒸气池中对放大自发辐射有重要贡献的区域的长度随入射光强的增加而近似成反比例地减小, $l \propto I_L^{-1}$ 。对于此问题的深入讨论需要进一步地进行理论研究。

参 考 文 献

- 1 J. Miller, R. Compton, M. Payne *et al.*. Resonantly enhanced multiphoton ionization and third-harmonic generation in xenon gas. *Phys. Rev. Lett.*, 1980, **45**(2): 114~116
- 2 J. Glowina, R. Sander. Experimental evidence for the competition between resonantly enhanced multiphoton ionization and third-harmonic generation in xenon. *Phys. Rev. Lett.*, 1982, **49**(1): 21~24
- 3 V. Krasnikov, M. Pshinichnikov, V. Solomatin. Parametric brightening of the medium in resonant four-wave mixing. *JEPT Lett.*, 1986, **43**(3): 148~151
- 4 R. Boyd, M. Malcuit, D. Gauthier. Competition between amplified spontaneous emission and the four-wave-mixing process. *Phys. Rev.*, 1987, **35**(4): 1648~1658
- 5 M. Malcuit, D. Gauthier, R. Boyd. Suppression of amplified spontaneous emission by the four-wave mixing process. *Phys. Rev. Lett.*, 1985, **35**(10): 1086~1089

Competition Between Amplified Spontaneous Emission and Parametric Four-wave Mixing in Barium Vapor

Huo Yunsheng Lin Yinyi Ding Aizhen Shangguan Chen Lou Qihong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract The amplified spontaneous emission (ASE) and parametric four-wave-mixing (PFWM) in barium vapor are studied under the experimental conditions of two-photon resonance. The mechanisms responsible for this competition can be attributed to the destructive interference between ASE and PFWM.

Key words two-photon resonance, destructive interference, barium vapor