

# 偶极-偶极和偶极-四极混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 时的碰撞能量转移受激辐射\*

陈 德 郭芳侠\*\* 李永放\*\* 李重石\*\*\* 王祖庚

(华东师范大学物理系,中国科学院上海光机所和华东师范大学量子光学联合开放实验室,上海 200062)

**摘要** 本文报道了分别以偶极-偶极和偶极-四极混合激发  $\text{Na}_2 (A^1\Sigma_g^+) - \text{Na} (4D)$  和  $\text{Na}_2 (A^1\Sigma_g^+) - \text{Na} (4F)$  时基于碰撞能量转移产生红外受激辐射的一些新结果。

**关键词** 四极,偶极,碰撞能量转移,受激辐射

## Stimulated radiation based on dipole-dipole or dipole-quadrupole hybrid excitation and collision energy-transfer

*Chen De, Guo Fangxia, Li Yongfang, Li Chongshi, Wang Zugeng*

(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai,

Joint Laboratory for Quantum Optics, Shanghai Institute of

Optics and Fine Mechanics and East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract** The paper reports some new results on the generation of infrared stimulated radiation based on dipole-dipole or dipole-quadrupole hybrid excitation of  $\text{Na}_2\text{-Na}$  system and collision energy-transfer.

**Key words** quadrupole, dipole, collision energy-transfer, stimulated radiation

## 1 引言

实验和理论均已充分表明,在双原子分子-原子混合样品中,通过碰撞,处于激发态的分子与基态原子可有效地进行能量转移<sup>[1~3]</sup>。而后,基于等频二步混合激发分子-原子的受激辐射和激光<sup>[4,5]</sup>,基于不等频二步混合激发分子-原子的受激辐射<sup>[6,7]</sup>,离共振混合激发产生可调谐红外受激辐射<sup>[8]</sup>以及基于混合激发的四波混频<sup>[9]</sup>均获实现。在这些过程中,第一个光子共振激发分子,通过激发态分子与基态原子的碰撞,使原子的特定激发态获得布居,然后第二个光子共振或离共振激发处于特定激发态的原子,从而观察到一系列新的效应和受激辐射。

本文报道了基于偶极-四极(或偶极-偶极)混合激发  $\text{Na}_2\text{-Na}$  的碰撞能量转移受激辐射。在这种过程中,处于基态的钠分子被第一个光子激发而偶极跃迁到  $A^1\Sigma_g^+$  态,它与基态钠原子

收稿日期:1992年10月19日。

\* 国家自然科学基金资助课题; \*\* 陕西师范大学物理系; \*\*\* 新疆伊犁师范学院物理系。

碰撞而使钠原子处于  $3P$  态,第二个光子使处于  $3P$  态的钠原子通过四极(或偶极)跃迁到  $4F$ (或  $4D$ ) 态,再通过  $4F$ - $4D$  态之间的近共振碰撞能量转移过程,使  $4D$ (或  $4F$ ) 态获得布居,从而产生了对应于  $4D$ - $4P$ (或  $4F$ - $3D$ ) 跃迁的波长位于  $2.338 \mu\text{m}$ (或  $1.846 \mu\text{m}$ ) 的受激辐射。

## 2 实验及其结果

以  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  脉冲激光器泵浦的 R590 染料激光器作为激发光源,其输出波长可在  $530 \sim 590 \text{ nm}$  范围内连续调谐,输出脉宽为  $10 \text{ ns}$ ,线宽约  $0.5 \text{ cm}^{-1}$ ,输出能量约  $12 \text{ mJ}$ 。热管炉(长  $80 \text{ cm}$ ,加热区长  $22 \text{ cm}$ )内装约  $10 \text{ g}$  纯钠样品,并充入  $6.65 \times 10^3 \text{ Pa}$  氦气作为缓冲气体。通常将热管加热到  $700 \text{ K}$ ,加热温度由热电偶测定并由温控仪控制。用透镜将激发光会聚到热管炉中心。从热管炉出射的光信号被滤去剩余的激发光后,由光学系统引入单色仪,光电信号经 Boxcar 处理后由记录仪记录。经测定,由热管炉前向出射的定向辐射信号的发散角约为  $10 \text{ mrad}$ 。详细实验装置见文献[9]。

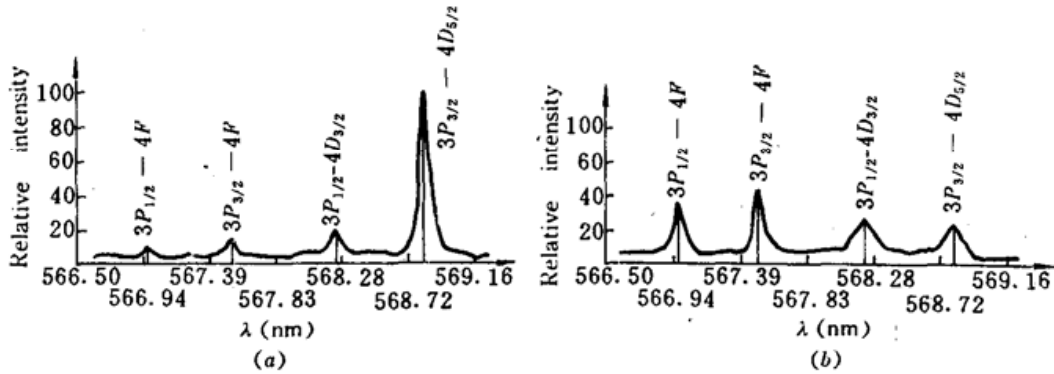


Fig. 1

(a) The excitation spectrum of  $2.338 \mu\text{m}$  ( $4D$ - $4P_{3/2}$ ) signal;

(b) The excitation spectrum of  $1.846 \mu\text{m}$  ( $4F$ - $4D$ ) signal

将染料激光分别调谐到  $568.25$  和  $568.81 \text{ nm}$  处,它们分别对应于钠原子  $3P_{1/2}$ - $4D$  和  $3P_{3/2}$ - $4D$  的偶极共振跃迁波长。这时,除了观察到来自  $4D$ - $4P$  跃迁的  $2.338 \mu\text{m}$  的辐射信号外,还同时观察到来自  $4F$ - $3D$  跃迁的  $1.846 \mu\text{m}$  辐射信号。我们发现,虽然  $3P$ - $4F$  是偶极禁戒跃迁,但当染料激光分别调谐到  $566.97$  和  $567.52 \text{ nm}$ ,也即钠原子实现  $3P_{1/2,3/2}$ - $4F$  的四极共振跃迁时,除了观察到来自  $4F$ - $3D$  跃迁的  $1.846 \mu\text{m}$  受激辐射信号外,还同时观察到来自  $4D$ - $4P$  跃迁的  $2.338 \mu\text{m}$  辐射信号。以上实验说明,当激光器调谐到上述四个波长中的任何一个时,钠原子的  $4D$  和  $4F$  能态都会同时获得布居。图 1(a) 和 (b) 分别是实验中记录到的产生  $2.338 \mu\text{m}$  ( $4D$ - $4P$ ) 和  $1.846 \mu\text{m}$  ( $4F$ - $3D$ ) 辐射的激发谱(由于单色仪狭缝开得较大,使记录到的谱线较宽。图中位于短波端的二个峰分别对应于钠原子  $3P_{1/2}$ - $4F$  和  $3P_{3/2}$ - $4F$  的四极跃迁波长位置,而位于长波端的二个峰分别对应于钠原子  $3P_{1/2}$ - $4D$  和  $3P_{3/2}$ - $4D$  的偶极跃迁

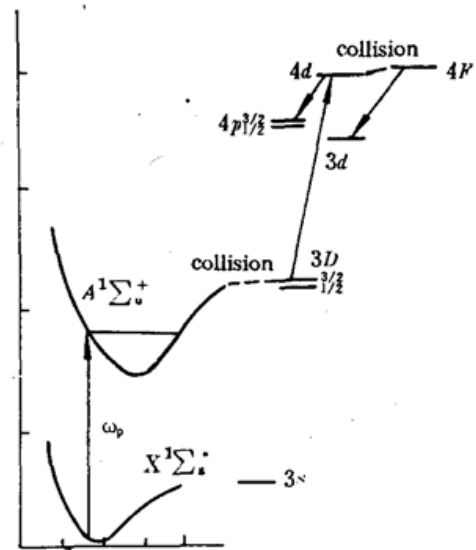
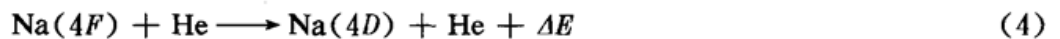
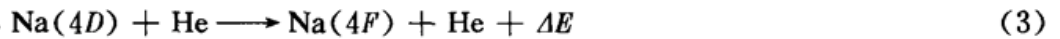
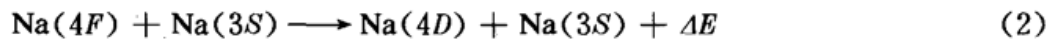
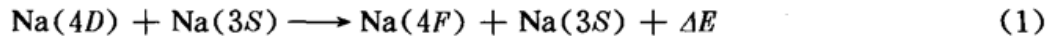


Fig. 2 Schematic diagram of excitation and emission

的偶极跃迁波长位置,而位于长波端的二个峰分别对应于钠原子  $3P_{1/2}$ - $4D$  和  $3P_{3/2}$ - $4D$  的偶极跃迁

波长位置。这清楚地表明：1)  $4D$  和  $4F$  态的布居是由如图 2 所示的对钠分子-原子系统的混合激发过程而实现的。上述四个激发波长处于钠分子基态  $X^1\Sigma_g^+$  到激发态  $A^1\Sigma_g^+$  的吸收波长区,从而首先使钠分子由基态跃迁到  $A^1\Sigma_g^+$  态,而后通过  $\text{Na}_2(A^1\Sigma_g^+) - \text{Na}(3S)$  碰撞,将能量转换给钠原子,并使钠原子的  $2P_{1/2,3/2}$  能态获得布居。这种能量转移过程是相当有效的。然后,上述四个激发波长的激光束分别使钠原子实现共振偶极跃迁( $3P_{1/2,3/2} - 4D$ ) 和共振四极跃迁( $3P_{1/2,3/2} - 4F$ ); 2) 钠原子  $4D$  和  $4F$  能态之间存在着较为有效的碰撞能量转移过程,并由此产生相应的受激辐射。起始于  $4F$  态的受激辐射( $4F - 3D$ ,  $1.846 \mu\text{m}$ ), 不仅当实现  $3P_{1/2,3/2} - 4F$  四极跃迁时可以产生,而且在  $3P_{1/2,3/2} - 4D$  偶极激发时也可产生。特别引人注目的是,即使是在  $3P_{1/2,3/2} - 4F$  四极跃迁时, $4D$  态也可获得布居,并可探测到起始于  $4D$  态的受激辐射( $4D - 4P_{3/2}$ ,  $2.338 \mu\text{m}$ )。我们注意到,图 1 中的四个峰间隔清楚,这就排除了在共振激发  $4D$  态的同时离共振激发  $4F$  态(或共振激发  $4F$  态的同时离共振激发  $4D$  态)的可能性。由于钠原子  $4D$  与  $4F$  态之间的能量间隔仅为  $39.8 \text{ cm}^{-1}$ ,在较高样品温度的实验条件下,这种近共振碰撞能量转移过程应是很有效的<sup>[10,11]</sup>,可将这种过程表达为



在实验中,缓冲气体 He 的气压变化范围为  $1.33 \sim 6.55 \text{ kPa}$ 。实验表明,在该气压变化范围内,He 气对所测谱线的强度没有明显的影响。因此,由式(1)和(2)所表示的碰撞过程起重要作用。

### 参 考 文 献

- 1 E. K. Kopeikina, M. L. Jason, *Opt. Spec.*, **39**, 442(1975)
- 2 E. K. Kraulinya, E. L. Kopeikina *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **39**, 565(1976)
- 3 S. Lemont, R. Giniger *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **66**, 4509(1977)
- 4 王祖庚, 秦莉娟 *et al.*, *Opt. Commun.*, **51**, 155(1984)
- 5 D. Krokkel, M. Hube *et al.*, *Appl. Phys. B*, **37**, 137(1985)
- 6 王祖庚, 秦莉娟 *et al.*, *Appl. Phys. B*, **41**, 125(1986)
- 7 秦莉娟, 王祖庚 *et al.*, *Chinese Phys. Laser*, **6**, 986(1986)
- 8 唐小玲, 王祖庚 *et al.*, *物理学报*, **37**, 1227(1988)
- 9 王祖庚, 唐小玲 *et al.*, *中国科学(A辑)*, **15**, 1045(1987)
- 10 V. M. Klinkin, *Sov. J. Quant. Electr.*, **5**, 326(1975)
- 11 王祖庚, 夏慧荣, *Molecular and Laser Spectroscopy*, Springer, Berlin, Heidelberg 1991, 161