

# 通过钠分子 $A^1\Sigma_u^+$ 或 $B^1\Pi_u$ 态的 两步混合共振受激辐射\*

秦莉娟 王祖赓 张开昌 郑一善  
(华东师范大学物理系)

## 提 要

本文报道了使用由同一氮分子激光器泵浦的一台宽带染料激光器和一台窄带染料激光器, 在钠蒸气中通过不等频两步混合共振机理, 获得一系列受激辐射的新成果。文中对上述机理也进行了讨论。

作者曾使用一台由氮分子泵浦的窄带染料激光器, 在钾蒸气中通过等频双光子混合共振效应, 获得了一些受激辐射<sup>[1]</sup>。本文报道通过不等频两步混合共振效应, 在钠蒸气中获得了一系列受激辐射和串级受激辐射。两步跃迁中的第一步是使用一台宽带( $\sim 200 \text{ \AA}$ )染料激光器将钠分子由基态  $X^1\Sigma_g^+$  激发到  $A^1\Sigma_u^+$  态或  $B^1\Pi_u$  态。受激发的钠分子  $\text{Na}_2^*$  通过与基态钠原子  $\text{Na}$  的碰撞, 将能量转移给钠原子, 从而使钠原子处于激发态  $3P_{1/2}$  和  $3P_{3/2}$ 。第二步是使用另一台窄带( $\sim 0.1 \text{ \AA}$ )染料激光器将钠原子从  $3P$  能级抽运到  $4D$ 、 $5D$ 、 $5S$  或  $6S$  能级。这样就探测到了分别以  $4D$ 、 $5D$ 、 $5S$  或  $6S$  为上能级的受激辐射, 以及伴随产生的串级受激辐射。

## 一、实验和结果

实验装置示于图1。染料激光器2和3由同一台氮分子激光器所泵浦。激光器2是一台宽带输出的激光器, 其带宽约为  $200 \text{ \AA}$ , 输出能量为  $3\sim 30 \mu\text{J}$ , 变换使用十余种染料, 可获

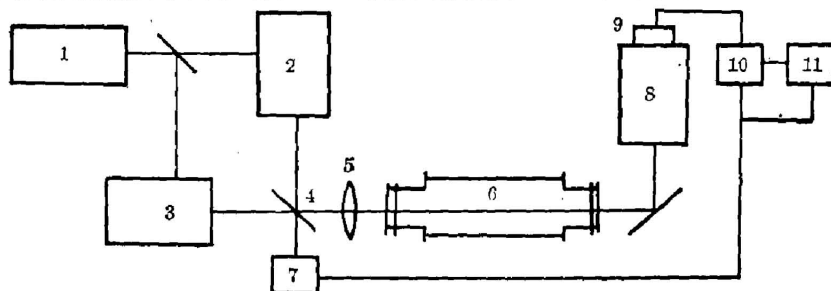


Fig. 1 Experimental setup

1— $\text{N}_2$  laser; 2—broadband dye laser; 3—narrowband dye laser; 4—splitter; 5—lens; 6—heat-pipe oven; 7—triggering detector; 8—grating monochrometer; 9—infrared detector; 10—signal processing system; 11—oscilloscope or chart recorder

收稿日期: 1985年6月10日

\* 中国科学院基金资助课题。曾在“40th Symposium on Molecular Spectroscopy”会上宣读。

得从  $4470\sim 6800\text{ \AA}$  的激光输出复盖区。激光器 3 的输出带宽约为  $0.1\text{ \AA}$ ，其输出能量约为  $3\text{ }\mu\text{J}$ 。来自激光器 3 的输出光束经分束器 4 与激光器 2 的输出光束相重合，并由透镜 5 共线聚焦于热管炉 6 的中心。不锈钢热管炉总长为  $70\text{ cm}$ ，加热区长为  $22\text{ cm}$ ，其入射和出射窗分别装有石英和 KRS-5 晶片。热管炉内装有约  $10\text{ g}$  纯钠，并充有数 Torr 氩气作为缓冲气体。样品加热温度由温控仪控制在  $480^\circ\text{C}$  左右，在该温度下，热管炉内钠分子和钠原子的浓度分别为  $1.1\times 10^{15}/\text{cm}^3$  和  $4\times 10^{16}/\text{cm}^3$ 。由热管炉前向出射的定向红外辐射，经过(或经过)光栅单色仪分光，由 PbS 或高莱池接收，再经采样积分仪处理后由示波器显示，或由记录仪记录。经测定，定向红外辐射的发散角约为  $10\text{ mrad}$ ，与在该实验装置下所测得的

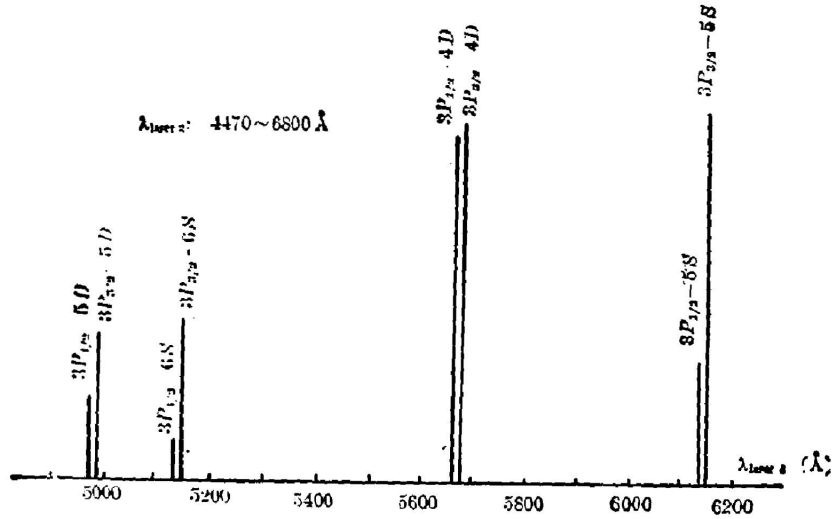


Fig. 2 Excitation spectrum for generating stimulated radiation

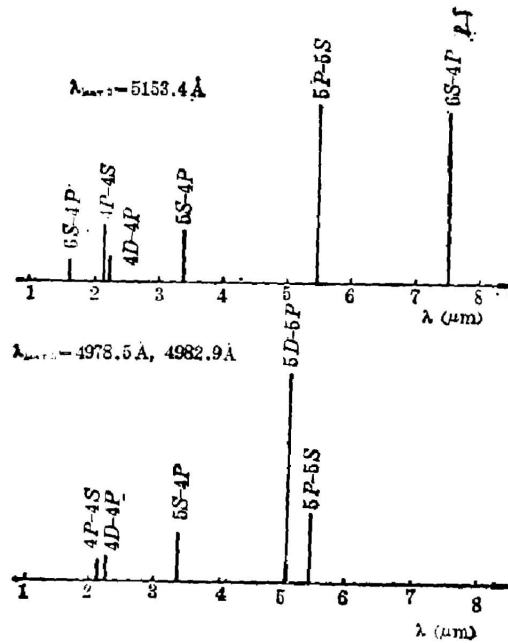


Fig. 3 Stimulated emission spectrum (wavelength of laser 2:  $4470\sim 6800\text{ \AA}$ )

泵浦光束的发散角大约相等。

只要把宽带染料激光器 2 的输出波长调节在  $4470\sim 6800\text{ \AA}$  区域的任何一个波段上,那么当窄带染料激光器 3 分别调谐到  $4798.5\text{ \AA}$ 、 $4982.9\text{ \AA}$ 、 $5148.1\text{ \AA}$ 、 $5153.4\text{ \AA}$ 、 $5682.7\text{ \AA}$ 、 $5688.0\text{ \AA}$ 、 $6154.2\text{ \AA}$  和  $6160.7\text{ \AA}$  这八个波长时,我们可在热管前向测量到定向红外辐射信号。图 2 为固定激光器 2 的输出波长,在扫描激光器 3 的输出波长时产生红外受激辐射的激发光谱。经红外单色仪分析,这些红外受激辐射的波长分别为  $2.34\text{ }\mu\text{m}$  ( $4D\rightarrow 4P$ )、 $5.02\text{ }\mu\text{m}$  ( $5D\rightarrow 5P$ )、 $3.42\text{ }\mu\text{m}$  ( $5S\rightarrow 4P$ ) 和  $7.52\text{ }\mu\text{m}$  ( $6S\rightarrow 5P$ ), 相伴随产生的串级红外受激辐射波长为  $2.20\text{ }\mu\text{m}$  ( $4P\rightarrow 4S$ ) 和  $5.43\text{ }\mu\text{m}$  ( $5P\rightarrow 5S$ ) 等。图 3 分别为激光器 3 的输出波长为  $5153.4\text{ \AA}$  ( $3P_{3/2}\rightarrow 6S$ ) 和  $4978.5\text{ \AA}$ 、 $4982.9\text{ \AA}$  ( $3P_{1/2,3/2}\rightarrow 5D$ ) 时所探测到的部分红外受激辐射和串级受激辐射的光谱。

## 二、两步混合共振受激辐射机理

图 4 表示由本实验所揭示的不等频两步混合共振受激辐射机理。它由下列实验结果和分析所证实。

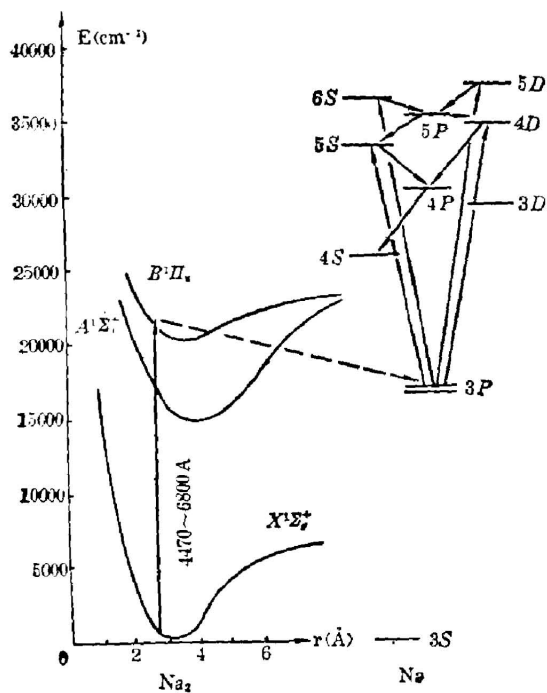


Fig. 4 Mechanism of the two-step hybrid resonance

(1) 如果切断激光 2 或者切断激光 3, 或者使两束光不重合, 也即只用激光 2 或激光 3 单独激发样品, 那么红外受激辐射信号几乎消失。这一实验事实清楚地表明, 文中所述红外受激辐射的产生是两束激光与样品共同相互作用的结果。

(2) 只要激光器 2 的输出位于  $4470\sim 6800\text{ \AA}$  宽广 ( $>2000\text{ \AA}$ ) 波长区域内的任一波段, 同时将激光器 3 的输出波长调谐到上述八个波长之一, 那么就能测得红外受激辐射。我们注意到,  $4470\sim 6800\text{ \AA}$  区域, 正好对应于钠分子基态  $X^1\Sigma_g^+$  到激发态  $A^1\Sigma_g^+$  和基态  $X^1\Sigma_g^+$  到激发态  $B^1\Pi_u$  的吸收波段<sup>[37]</sup>。实验中, 还测量了在上述两千多  $\text{\AA}$  范围内, 输出波段不同、但输出能量相同的泵浦光束

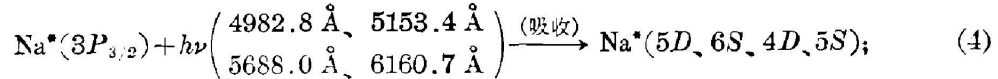
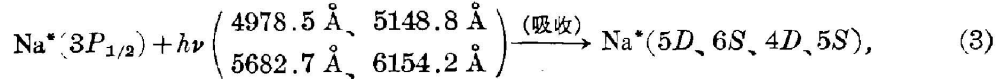
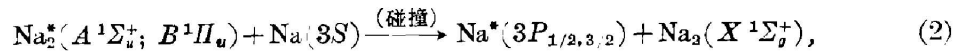
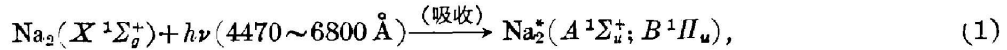
2 对红外受激辐射强度的依赖关系。由图 5 可看出, 当激光 2 的输出波段处在  $4500\sim 4950\text{ \AA}$  和  $6100\sim 6650\text{ \AA}$  这两个范围内时, 红外受激辐射的能量呈现两个峰值, 而这两个波段范围正好分别对应于  $X^1\Sigma_g^+\rightarrow B^1\Pi_u$  和  $X^1\Sigma_g^+\rightarrow A^1\Sigma_g^+$  的强吸收区。曲线 a 对应于激光器 2 的输出能量为  $30\text{ }\mu\text{J}$  时的情况, 曲线 b 对应于激光器 2 的输出能量为  $3\text{ }\mu\text{J}$  时的情况。所以, 可以认为, 钠分子是参与了产生红外受激辐射的这一过程。

(3) 可以测量到红外受激辐射时的激光器 3 的八个输出波长, 分别对应于钠原子  $3P_{1,2}$

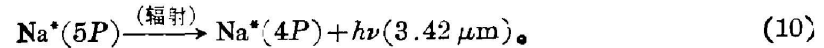
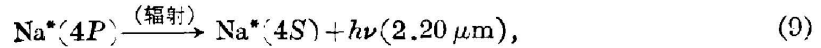
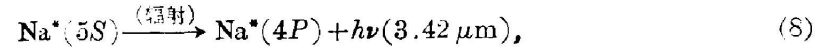
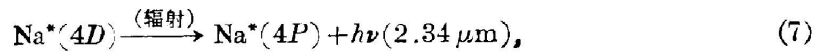
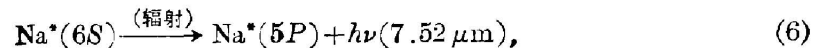
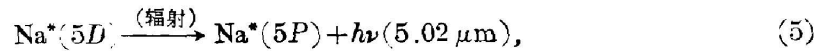
$\rightarrow 5S$ 、 $3P_{3/2} \rightarrow 5S$ 、 $3P_{1/2} \rightarrow 6S$ 、 $3P_{3/2} \rightarrow 6S$ 、 $3P_{1/2} \rightarrow 4D$ 、 $3P_{3/2} \rightarrow 4D$ 、 $3P_{1/2} \rightarrow 5D$  和  $3P_{3/2} \rightarrow 5D$  跃迁<sup>[4]</sup>。所测得的红外受激辐射的波长也分别对应于  $5S \rightarrow 4P$ 、 $6S \rightarrow 5P$ 、 $4D \rightarrow 4P$  和  $5D \rightarrow 5P$ 。串级受激辐射的波长则对应于  $4P \rightarrow 4S$  和  $5P \rightarrow 5S$  等。这样,不但表明钠原子参与了不等频两步混合共振过程,而且可以认为钠原子是从  $3P$  能级起始、由激光  $3$  激发到  $5S$ 、 $6S$ 、 $4D$  和  $5D$  高位能级的,而这只有首先使钠原子的  $3P$  能级获得一定的布居后才能实现。

(4) 钠分子由激光  $3$  激发到  $A^1\Sigma_u^+$  态或  $B^1\Pi_u$  态,受激发的钠分子与基态钠原子碰撞,并将能量转移给钠原子,从而使钠原子布居到  $3P$  能级,而分子返回到基态  $X^1\Sigma_g^+$ 。在这过程中,分子所剩余的能量可以认为以振-转能量形式存留在分子的基态中。由于钠分子基态的振动能级间隔约为  $150\text{ cm}^{-1}$  左右,而在每一振动能级中又有许多转动能级,因而整个过程中的能量差值小于  $kT$  量级。所以这一能量转移过程是非常有效的。

现在,将本工作中的不等频两步混合共振抽运机理表达为如下:



而受激辐射和串级受激辐射过程表达为



### 三、结 束 语

综上所述表明,即使用输出能量很小的激光作为泵浦源,通过不等频两步混合共振机

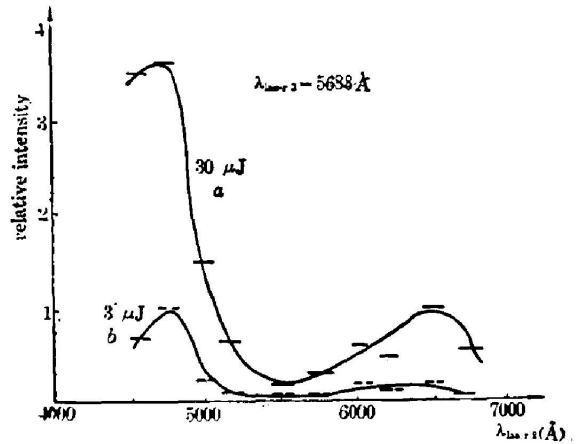


Fig. 5 Dependence of stimulated emission intensity on the pumping wavelength of laser 2

理, 在钠蒸气中可获得许多红外受激辐射和串级受激辐射, 并提供分子和原子的有关信息。与作者早先提出的等频双光子混合共振受激辐射<sup>[1]</sup>一样, 它对受激辐射的获得和分子、原子相互作用的研究都是很有意义的。深信这一机理同样能适用于其它有关的金属蒸气。

### 参 考 文 献

- [1] Z.-G. Wang, L.-J. Qin *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, **51**, No. 1 (Oct), 155.
- [2] A. N. Nesmeyanov; *Vapor Pressure of Chemical Elements*, (Akad. Nauk SSSR, Moscow, 1961).
- [3] K. P. Huber, G. Herzberg; *Constants of Diatomic Molecules*, (Van Nostrand Reinhold Company, 1979).
- [4] Bashkin, J. O. Stoner Jr.; *Atomic Energy-level and Grotrian Diagrams*, Vol. II (North-Holland, Amsterdam, 1978).

## Stimulated emission based on two-step hybrid resonance via $A^1\Sigma_u$ or $B^1\Pi_u$ state of $\text{Na}_2^*$

QIN LIJUAN, WANG ZUGENG, ZHANG KECHANG AND ZHONG YISHAN  
(Department of Physics, East, China Normal University, Shanghai)

(Received 10 June 1985)

### Abstract

Stimulated emission based on two-step hybrid resonance via  $A^1\Sigma_u$  or  $B^1\Pi_u$  state of  $\text{Na}_2$  has been observed by using a broad-band and a narrow-band dye laser as pumping sources. The mechanism is discussed.

---

\* Projects Supported by Science Fund of the Chinese Academy Sciences.