

钾蒸气中的偶极禁戒双光子共振四波混频和混合激发能量转移受激辐射*

秦莉娟 金海燕 李永放** 陈 德 王祖赓

(华东师范大学物理系, 上海 200062)

(中国科学院上海光机所、华东师大量子光学联合实验室, 上海 201800)

提 要

本文首次报道了由钾分子-原子系统的混合激发和碰撞能量转移过程产生 $4F \rightarrow 3D$ 受激辐射以及由钾原子的 $4S \rightarrow 4F$ 偶极禁戒双光子共振产生 $4F \rightarrow 3D$ 受激辐射和四波混频的研究结果。

关键词: 四波混频, 偶极禁戒。

一、引 言

自从1984年报道了由混合激发分子-原子系统产生受激辐射的实验结果以来^[1], 已获得了多种由该机制产生的在紫外、可见和红外区的受激或相干辐射^[2~6]。近来又发现对分子高位三重态的布居混合激发也有明显的增强作用^[7]。因此, 这种激发机制对研究原子、分子激光光谱以及产生受激和相干辐射来说是很重要的。本文利用脉冲 YAG 泵浦的染料(LD 700)激光器的输出波长位于 691.1 nm, 693.6 nm, 693.9 nm 及 696.5 nm 的激光束混合激发钾分子-原子系统, 使 $6S$ 和 $4D$ 态获得布居, 并通过能量转移过程使原子布居到 $4F$ 态, 从而获得 $1.517 \mu\text{m}$ ($4F \rightarrow 3D$) 的受激辐射。

此外, 双光子跃迁一般只能满足在 $\Delta L = 0, \pm 2, \dots$ 的选择定则下产生, 并可由此在金属蒸气中产生双光子共振四波混频^[8~10]。近来在 Na 原子中由 $3S \rightarrow 4P$ 和 $3S \rightarrow 4F$ 的偶极禁戒的双光子激发过程 ($\Delta L = 1, 3$) 产生红外受激辐射的实验结果已见报道^[11, 12]。本文由钾原子中 $4S \rightarrow 4F$ 这一偶极禁戒双光子激发过程产生了 $1.517 \mu\text{m}$ ($4F \rightarrow 3D$) 的受激辐射, 而且首次观察到了由该偶极禁戒双光子共振四波混频过程而产生的波长位于 464.2 nm 的相干辐射。

二、实验结果及其分析

1. $1.517 \mu\text{m}$ 受激辐射

当用 YAG 激光器泵浦 LD 700 染料激光器(输出能量最大为 3.9 mJ)激发装在十字形

热管炉内的钾蒸汽时*，在热管炉的前向可以探测到红外辐射信号，图 1 为 $1.517 \mu\text{m}$ 的激发谱。

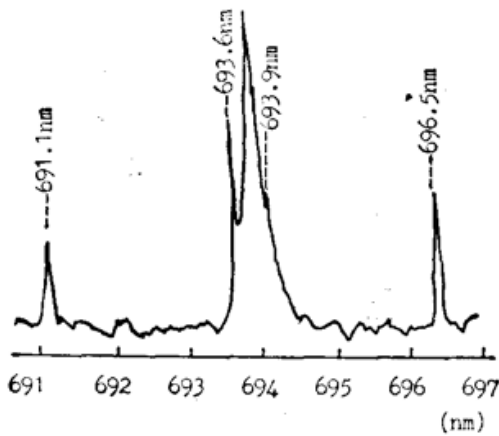


Fig. 1 The excitation function for generating $1.517 \mu\text{m}$ radiation. ($T = 540^\circ\text{C}$, $P_{\text{He}} = 4 \text{ Torr}$)

由图可见，当激发波长调谐到 691.1 nm ， 693.6 nm ， 693.9 nm 和 696.5 nm 时，可以测量到方向性很好(发射度略小于染料激光束)的波长位于 $1.517 \mu\text{m}$ 的红外定向辐射，它对应于钾原子中 $4F \rightarrow 3D$ 的受激跃迁，而上述四个激发波长正好分别对应于钾原子中 $4P_{1/2, 3/2} \rightarrow 6S$ 和 $4P_{1/2, 3/2} \rightarrow 4D$ 的共振跃迁。因此整个激发过程(见图 2)应为：钾分子吸收了泵浦光子使分子从基态 $X^1\Sigma_g^+$ 跃迁到 $A^1\Sigma_u^+$ 或 $B^1\Pi_u$ 态；处于激发态的分子与基态原子碰撞，使原子布居到 $4P_{1/2, 3/2}$ 态；处于激发态的原子又可吸收另一个等频光子而跃迁到 $6S$ 或 $4D$ 态，这就是所谓等频混合激发过程。由于 $6S$ 和 $4D$ 能级离开 $4F$ 能级不远，只差 kT 数量级(实验温度为 540°C)，因而 $6S$ ， $4D$ 上的粒子很容易向 $4F$ 态转移，从而可产生 $4F \rightarrow 3D$ ($1.517 \mu\text{m}$) 的受激跃迁。

级离开 $4F$ 能级不远，只差 kT 数量级(实验温度为 540°C)，因而 $6S$ ， $4D$ 上的粒子很容易向 $4F$ 态转移，从而可产生 $4F \rightarrow 3D$ ($1.517 \mu\text{m}$) 的受激跃迁。

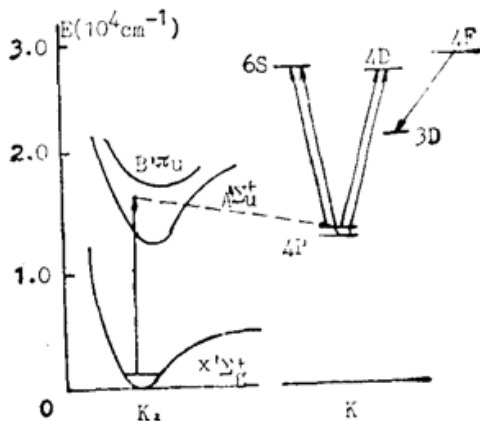


Fig. 2 The mechanism of generating $4F-3D$ stimulated transition

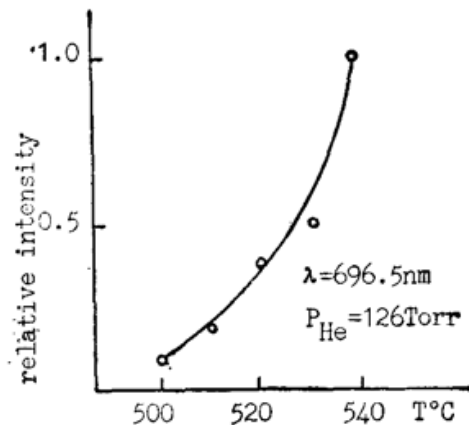


Fig. 3 The dependences of 696.5 nm signal on vapor temperature

图 3 为泵浦波长在 696.5 nm 时红外受激辐射强度随热管炉温度变化的情况。由图可见，信号随温度的升高而急剧地增大，这正是分子-原子混合激发的一个特点。温度升高时，分子浓度增加，有更多的分子被激发，从而使信号增大。而在其它单纯原子系统的双光子激发过程中，往往具有较低的最佳温度^[10]。

2. $4F \rightarrow 3D$ 受激辐射及相联属的四波混频

在与上述相同的实验装置里，当染料激光器波长调谐到 710.8 nm 时，在装有钾蒸汽的热管炉前向，能测得波长为 $1.517 \mu\text{m}$ 和 464.2 nm 的辐射信号，信号方向性很好，发散度略小于泵浦光束。但在四端热管炉的侧向却测量不到这样波长的信号。由于 710.8 nm 对应于钾原子的 $4S \rightarrow 4F$ 的双光子共振波长，而 $1.517 \mu\text{m}$ 是 $4F \rightarrow 3D$ 的跃迁波长，因此，波长为 464.2 nm 的相干辐射是由 $\omega_3 = 2\omega_1(4S \rightarrow 4F) - \omega_2(4F \rightarrow 3D)$ 四波混频过程而产生的。

* 本文所涉及的实验装置细节可参见文章[2]。

$4S \rightarrow 4F$ 是一个电偶-电四极双光子共振跃迁^[11,12], 而由混频所产生的 ω_3 则对应于电四极跃迁 $3D \rightarrow 4S$ 的频率(见图 4)。

图 5 为 464.2 nm 信号的温度特性。可见, 在本文的实验条件下, 信号随温度升高而增大, 在 540°C 以下未见饱和趋势。这是由于电偶-电四极跃迁的非线性极化系数比较小, 因而要有比较多的原子参与这过程, 才能得到可以观察的信号。

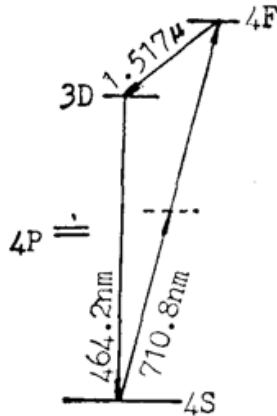


Fig. 4 The mechanism of generating 464.2 nm signal

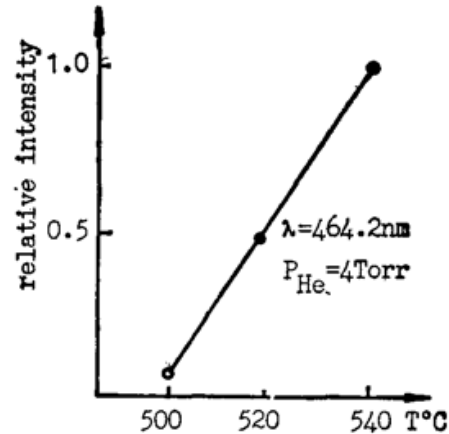


Fig. 5 The dependence of 464.2 nm signal on vapor temperature

三、结 论

本文观察到的钾蒸气中由等频混合激发及能量转移过程而产生的 $1.517 \mu\text{m}$ 受激辐射, 以及由电偶-电四极双光子共振四波混频过程所产生的 464.2 nm 相干辐射。这二种机制可以启发人们进一步研究自由原子、分子中原子-分子碰撞的动力学过程及包含原子偶极禁戒跃迁的非线性过程。

参 考 文 献

- [1] Z. G. Wang *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, **51**, No. 3 (Sep), 151.
- [2] Z. G. Wang *et al.*; *Appl. Phys.*, 1986, **B41**, No. 2 (Oct), 125.
- [3] L. J. Qin *et al.*; *Laser Spectroscopy VII*, (Springer-Verlag, New York, 1985), 225.
- [4] 秦莉娟等;《光学学报》, 1986, **6**, No. 1 (Jan), 12.
- [5] D. Krokkel *et al.*; *Appl. Phys.*, 1985, **B37**, No. 3 (Jul), 137.
- [6] 王祖赓等;《中国科学 A》, 1987, **1**, 44.
- [7] 金海燕等;待发表。
- [8] W. Harting; *Appl. Phys.*, 1978, **15**, 427.
- [9] P. L. Thang *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1988, **B1**, No. 1 (Mar), 9.
- [10] 张毓英等;《物理学报》, 1989, **38**, No. 12 (Dec), 1945.
- [11] 马龙生等;私人通讯。
- [12] 王祖赓;《中国激光》, 1991, **18**, No. 3 (Mar), 203.

**The stimulated radiations based on FWMF by dipole forbidden
two-photon resonance and hybrid excitation-energy
transfer in potassium vapor**

QIN LIJUAN, JIN HAIYAN, LI YONGFANG*, CHEN DE AND WANG ZUGENG

(Dept. of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062)

(Joint Laboratory for Quantum Optics Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics)
Academia Sinica and East China Normal University, Shanghai 201800

(Received 4 February 1991; revised 1 April 1991)

Abstract

In this paper we report the experimental results of generating stimulated radiation $4F-3D$ based on Hybrid exciting-energy transfer in K_2-K system and four wave mixing frequency (FWMF) by dipole forbidden two-photon resonance in K atomic vapor.

Key words: four wave mixing frequency; dipole forbidden.

* (Dept. of Physics, Shanxi Normal University)