

文章编号 : 0253-2239(2001)09-1044-03

# 钾原子 4S-6S 双光子共振的实验研究\*

张临杰 李昌勇 肖连团 贾锁堂 周国生

(山西大学电子技术系教育部量子光学重点实验室,太原 030006)

摘要: 利用 YAG 激光抽运的染料激光器将钾原子由基态 4S 双光子共振激发到 6S 态,研究了钾原子 4S-6S 双光子共振三光子电离的电离谱与温度、激光强度的关系,发现电离流的强度随着温度的升高而增强,当温度在 370 °C 附近时达到最大值,此时温度继续升高电离流强度减弱。在温度不变的情况下,电离流强度随着激光能量的增强而增强,当激光强度为  $4.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$  时到达最大值,继续增加激光强度,电离流强度趋于饱和。实验中观测到对应于 6S-4P 的自发辐射。

关键词: 钾原子,双光子共振三光子电离;电离谱

中图分类号: O562.4 文献标识码: A

自激光出现以来,用激光激发原子和分子,进而使之电离的技术已成为研究原子和分子结构及其相互作用过程的重要方法和手段<sup>[1-7]</sup>。本文用 YAG 激光抽运的染料激光器将钾原子由基态 4S 双光子共振激发到 6S 态,研究了钾原子 4S-6S 双光子共振三光子电离<sup>[4]</sup>的电离谱与温度、激光能量的关系,以及对应于 6S<sub>1/2</sub>-4P<sub>1/2,3/2</sub> 的自发辐射。

## 1 实验装置

实验装置如图 1 所示。

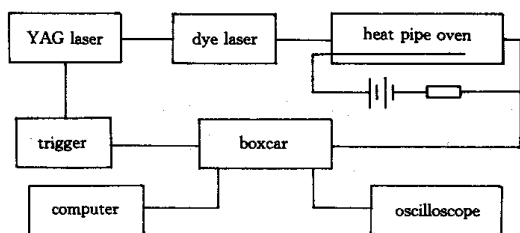


Fig. 1 Experiment setup

激发源为 Spectra-Physics 公司生产的 DCR-3 型 YAG 激光器抽运的 PDL-2 染料激光器。实验中采用 LD751 染料,激光在 720 nm ~ 780 nm 波段内连续可调。脉宽约为 8 ns,线宽为  $0.3 \text{ cm}^{-1}$ ,重复率为 10 Hz,单个脉冲的最大能量为 6 mJ,聚焦光斑的实测半径为 1 mm。热管炉长为 70 cm,管内装有适

量钾样品,两端用有机玻璃密封。在热管炉内装有平行于激光束的钨丝电极,在电极和热管炉的外壳通过取样电阻后加 18 V 的直流电压,以收集离子。实验使用了 SRS 型 Boxcar,HP 54111D 500MHz 数字示波器,收集到的信号经 Boxcar 送到微机进行处理。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 钾原子 4S-6S 双光子共振三光子电离

图 2 是钾原子的能级图。将染料激光的波长调到 4S→6S (728.4 nm) 双光子共振位置,基态钾原子(4S)吸收两个光子跃迁到激发态(6S),第三个光子将使钾原子电离。

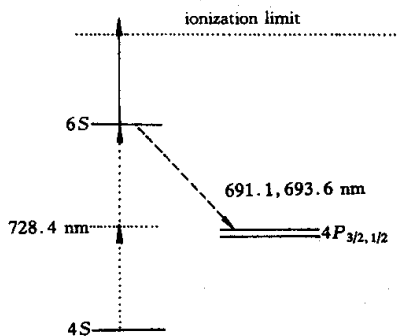


Fig. 2 The relative energy level diagram of atomic potassium

图 3 所示为当染料激光波长 728.4 nm (即实现 4S-6S 双光子共振)时,在不同温度下所测出的电离流的变化情况。

从图中可以看出电离强度随着温度变化的情况。在低温区,随着温度的增加,电离信号会逐渐增

\* 国家自然科学基金(19774039、60078009)和山西省自然科学基金(991015)资助课题。

收稿日期: 2000-10-18; 收到修改稿日期: 2000-12-18

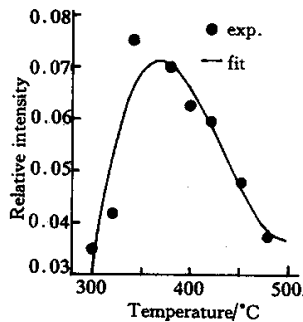


Fig.3 The curve of ion intensity vs temperature

强。当温度上升到 370 °C 附近时,电离信号达到最大。然后随着温度升高,电离信号逐渐变弱。理论上我们可以作如下的解释:在较低温度区,随着温度升高,钾蒸汽中钾原子密度增高,参与双光子共振的粒子数增多,导致电离粒子数增加。在温度继续升高时,钾原子密度更高,通过双光子共振布居到 6S 态的粒子数增加,但 6S 态粒子通过碰撞能量转移到更高激发态或较低激发态的几率增加,以至于能够形成受激辐射<sup>[8-11]</sup>,从而参加电离的粒子数减少,且在高温下,还有利于激发态分子的形成<sup>[12]</sup>,从而导致电离信号的减弱。

## 2.2 4S-6S 双光子共振三光子电离强度与激光激发强度的关系

图 4 所示各条曲线是当温度为 420 °C 时,激光强度分别为  $1.1 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ 、 $1.8 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ 、 $2.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ 、 $3.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ 、 $4.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ 、 $4.8 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$  时的 728.4 nm 激光激发的钾原子电离流时间谱。从图可以看出,随着激光强度的增强,电离流逐渐增加,当激光强度上升到  $4.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$  时,电离流增加到最大值,再增加激光强度,则电离流的强度趋于饱和。电离流随着激光强度的增加而增强是容易理解的,因为随着激光强度增加,会有更多的粒子参与双光子共振而到达 6S 态,更多的 6S 态原子能够再吸收一个光子而被电离。但当激光强度继续增加,以至于能够最大比率地将饱和蒸气压强度下的基态粒子通过双光子共振抽运到 6S 态,则电离流达到最大值进而趋于饱和。同时在热蒸气中,6S 态的原子通过碰撞能量转移过程到达其他能态,各态粒子数的大量布居,能够形成受激辐射。Tsai 等人<sup>[13]</sup>已经报道了在钾原子热蒸气中用激光双光子共振法(对应于跃迁  $4^2 S_{1/2} - 3^3 D_{3/2}$ ),观察到了 50 条谱线,其中有许多是受激辐射。这些受激辐射的产生,也导致了 6S 态的粒子再吸收一个光子而被电离的几率减小。

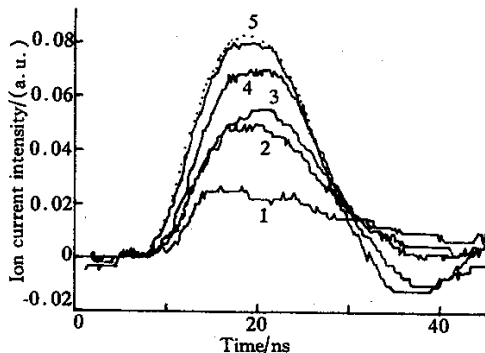


Fig.4 The time curves of ion current intensity at various laser intensity. Corresponding to laser intensity :1 :  $1.1 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ , 2 :  $1.8 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ , 3 :  $2.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ , 4 :  $3.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ , 5 :  $4.5 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$ , 6 :  $4.8 \times 10^5 \text{ W/mm}^2$

## 2.3 钾原子的 6S-4P 自发辐射

在样品温度为 267 °C,激光波长为 728.4 nm 时,探测到 691.1 nm 和 693.9 nm 的侧向荧光,如图 5 所示。

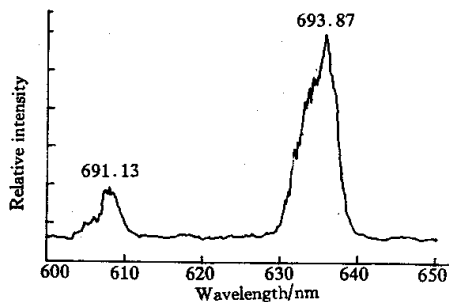
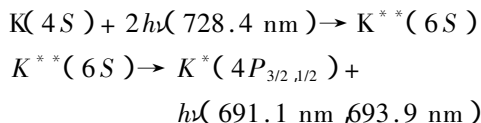


Fig.5 The curve of spontaneous radiation spectrum of 6S-4P potassium atoms

由于双光子共振过程,钾原子在 6S 态上获得了布居,于是产生了由 6S 到 4P 的自发辐射。这一过程可表示为:



结论 本文实验研究了钾原子 4S-6S 的双光子共振三光子电离的电离谱与温度、激光强度的关系。电离流强度随温度升高而增强,当温度在 370 °C 附近时达到最大值,又随温度升高而减弱。在温度不变的情况下,电离流强度随激光强度的增强而增加,到达最大值后,电离流的强度达到饱和。同时观测到了 6S-4P 的波长为 691.1 nm 和 693.9 nm 的自发辐射。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Armstrong D J , Wood R P , Greene C H . Photoionization of the  $5d6p\ ^3D_1$  state of barium. *Phys. Rev. ( A )* , 1993 , **47** ( 3 ) :1981 ~ 1988
- [ 2 ] Bouchiat M A , Guan J , Jacquier P *et al.* . Absolute measurements of the photoionization cross section of the  $5D_{3/2}$  Cs excited state and of the photodissociation cross of  $Cs_2$  between 540 and 550 nm. *Chem. Phys. Lett.* , 1992 , **199** ( 2 ) 85 ~ 92
- [ 3 ] 钱祖良 , 贾锁堂 , 秦莉娟 等 . 钠蒸气中的双光子共振三光子电离和双光子混合共振三光子电离. *光学学报* , 1995 , **15** ( 10 ) :1333 ~ 1336
- [ 4 ] 李昌勇 , 肖连团 , 李 倩 等 . 钾蒸气中的双光子共振三光子电离. *光学学报* , 1999 , **19** ( 12 ) :1604 ~ 1607
- [ 5 ] Held B , Mainfray G , Manus C *et al.* . Multiphoton ionization of cesium and potassium atoms at 1.06  $\mu\text{m}$  and 0.53  $\mu\text{m}$ . *Phys. Lett. ( A )* , 1971 , **37** ( 4 ) 257 ~ 258
- [ 6 ] Lu Wenyun , Hu Yihua , Yang Shihe . Resonant two-photon ionization and fluorescence excitation studies of o , m-difluorobenzene... Ar. Spectral shifts and intermolecular vibrations. *J. Chem. Phys.* , 1998 , **108** ( 1 ) :12 ~ 19
- [ 7 ] Doverstal M , Karlsson L , Lindgren B *et al.* . Resonant two-photon ionization spectroscopy studies of jet-cooled  $Zr_2$ . *J. Phys. ( B )* , 1998 , **31** ( 4 ) :795 ~ 803
- [ 8 ] 王 勇 , 贾锁堂 , 秦莉娟 等 . 钾原子中多种受激辐射参与的混频过程. *光学学报* , 1994 , **14** ( 9 ) 936 ~ 939
- [ 9 ] 贾锁堂 , 王 勇 , 秦莉娟 等 . 钾蒸气中双光子激发产生  $2\ ^3\Pi_g-a\ ^3\Sigma_u$  扩散带受激辐射. *光学学报* , 1993 , **13** ( 10 ) 865 ~ 868
- [ 10 ] 贾锁堂 , 秦莉娟 , 钱祖良 等 . 钾分子-原子系统中多种激发机制产生分子扩散带受激辐射研究. *中国科学( A 辑)* , 1996 , **26** ( 4 ) 328 ~ 335
- [ 11 ] 贾锁堂 , 邓仕兰 , 秦莉娟 等 . 钾原子中由四波、六波混频过程产生的相干辐射. *光谱学与光谱分析* , 1995 , **15** ( 3 ) 27 ~ 30
- [ 12 ] Atutov SN , Biancalana V , Brandt S *et al.* . Observation of sodium molecular formation induced by resonant laser atomic excitation and three-body collisions. *Opt. Commun.* , 1999 , **168** ( 5 ) 355 ~ 362
- [ 13 ] Tsai J H , Lu M H . A rich spectrum from potassium vapor on the  $4\ ^2S_{1/2}-3\ ^2D_{5/2}$  two-photon resonance. *Appl. Phys. ( B )* , 1990 , **51** ( 6 ) 386 ~ 394

## Experimental Research on The $4S-6S$ Two-Photon Resonance of Atomic Potassium

Zhang Linjie Li Changyong Xiao Liantuan Jia Suotang Zhou Guosheng  
 ( Department of Electronics and Information Technology , Shanxi University ;  
 The Key Laboratory of Quantum Optics , Ministry of Education , Taiyuan 030006 )  
 ( Received 18 October 2000 ; revised 18 December 2000 )

**Abstract :** The ionization spectrum of potassium atom is investigated by  $4\ ^2S_{1/2}-6\ ^2S_{1/2}$  two-photon resonant excitation. The resonant exciting laser wavelength is 728.4 nm. The ionization spectrum as a function of temperature and laser intensity are discussed. When the temperature of potassium vapor comes to 643 K , the ionization intensities reach the maximum. And the ionization intensities are saturated while laser intensity increased to  $4.5 \times 10^5\ \text{W}/\text{mm}^2$ . The spontaneous spectrum of the  $6\ ^2S_{1/2}-4\ ^2P_{1/2,3/2}$  is also observed.

**Key words :** potassium atom ; two-photon resonant excitation ; ionization spectrum