

钾原子的双光子共振三光子电离*

李昌勇 肖连团 李 倩 贾锁堂 周国生
(山西大学电子信息技术系, 太原 030006)

摘 要 在钾蒸气中用双光子共振三光子电离法测出了钾原子 6S 态的电离流随时间的衰减曲线。由电离流和多光子动力学参数的关系计算了 6S 态的光电离截面。当用 766.4 nm 和 769.8 nm 单光子激发时, 通过能量积聚效应也可诱导钾原子得以电离。

关键词 双光子共振三光子电离, 光电离截面, 能量积聚效应。

1 引 言

激发态的电离截面是原子分子结构的一个很重要的动力学参数。近年来已经有不少关于原子和分子激发态电离截面的报道。例如, Armstrong 等^[1]对钡原子激发态的电离截面进行了研究, Bouchiat 等^[2]报道了铯原子分子某一激发态电离截面的测定; 林美荣等^[3]对苯分子高激发态的电离截面进行了测定; 钱祖良等^[4]测出了钠原子和钠分子高激发态的电离截面等。就作者所知, 关于钾原子的电离谱还没有人研究过, 本文报道了钾原子的 6S 激发态光电离截面的测定。当用 766.4 nm 和 769.8 nm 单光子激发钾原子时, 通过原子的能量积聚效应^[5, 6], 也可诱导高位态的钾原子得以电离。

2 原 理

图 1 是钾原子的相关能级图。将染料激光的波长调谐到 4S → 6S 双光子共振位置, 则第三个光子将使钾原子电离, 这即双光子共振三光子电离。将染料激光的波长调谐到 4S → 4P (766.4 nm, 769.8 nm) 共振位置, 则会产生大量的 4P 态粒子, 粒子之间的热碰撞通过能量积聚效应会产生 nS、nL 等更高能级的粒子, 这些粒子再吸收一个光子也使原子电离。

对于原子的双光子共振三光子电离, 用 |0> 表示钾原子的基态, |1> 表示 6S 态, |2> 表示电离连续态。可写出如下的速率方程:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_0(t)}{dt} &= -N_0(t)\sigma^{(2)}I^2 \\ \frac{dN_1(t)}{dt} &= N_0(t)\sigma^{(2)}I^2 - N_1(t)(\sigma^{(1)}I + \gamma) \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= N_1(t)\sigma^{(1)}I \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

* 国家自然科学基金和山西省自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1998-12-21; 收到修改稿日期: 1999-03-22

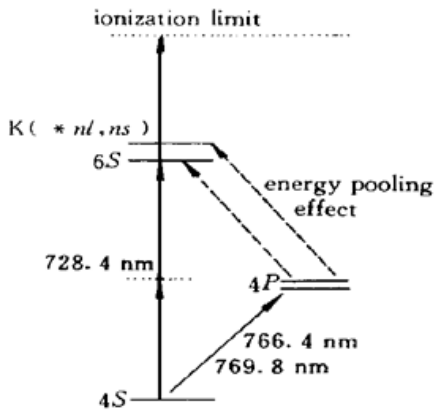


Fig. 1 The relative energy level scheme of atomic potassium

式中, $\sigma^{(1)}$ 为 $|1\rangle$ 态的电离截面, $\sigma^{(2)}$ 为 $|0\rangle$ 态的吸收截面, γ 为 $|1\rangle$ 态的辐射和无辐射弛豫速率总和, N_0 、 N_1 、 N_2 分别为 $|0\rangle$ 态、 $|1\rangle$ 态、 $|2\rangle$ 态的粒子数, I 为激光光强。

假设初始条件为: $N_0(t = 0) = N_0$, $N_1(t = 0) = 0$, $N_2(t = 0) = 0$, 则可得到电离流与时间 t 、激光光强 I 以及各个参数 $\sigma^{(1)}$ 、 $\sigma^{(2)}$ 、 γ 的关系:

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = \frac{N_0\sigma^{(2)}\sigma^{(1)}I^3}{\sigma^{(1)}I + \gamma - \sigma^{(2)}I^2} \{ \exp[-\sigma^{(2)}I^2t] - \exp[-(\sigma^{(1)}I + \gamma)t] \} \quad (2)$$

令

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{N_0\sigma^{(2)}\sigma^{(1)}I^3}{\sigma^{(1)}I + \gamma - \sigma^{(2)}I^2}, \\ \frac{1}{T_1} &= \sigma^{(1)}I + \gamma, \\ \frac{1}{T_2} &= \sigma^{(2)}I^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则(2)式变为:

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = C[\exp(-\frac{t}{T_2}) - \exp(-\frac{t}{T_1})] \quad (4)$$

实验测出不同光强下的双光子共振三光子电离流衰减曲线, 由(4)式对实验数据进行最小二乘拟合, 即可求出 T_1 , 而后由(3)式中的 T_1 表达式, 可求得电离截面 $\sigma^{(1)}$ 。

3 实验装置

实验装置如图2所示。激发源为Spectra-Physics公司生产的DCR-3型YAG激光器泵浦的PDL-2染料激光器。实验中采用LD751染料, 激光可在720~780 nm波段内连续可调。脉宽约8 ns, 线宽 0.3 cm^{-1} , 重复率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一导线型电极, 在电极和热管炉的外壳通过一电阻后加上18 V的直流电压, 以收集离子。实验使用了SRS型Boxcar, HP 54111D型数字示波器, 收集到的信号经Boxcar送到微机进行处理。

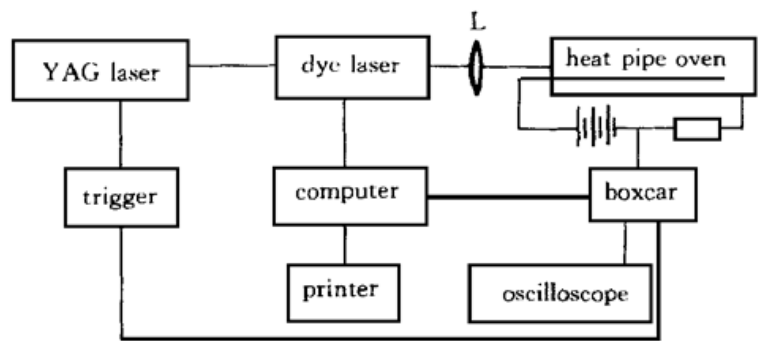


Fig. 2 Experimental setup

4 结果及其处理

当激光器调谐到728.4 nm(对应于4S → 6S双光子共振跃迁)波长时, 测得了如图3(a)所示的双光子共振三光子电离信号的激发光谱, 而当激光波长调谐到766.4 nm, 769.8 nm(对

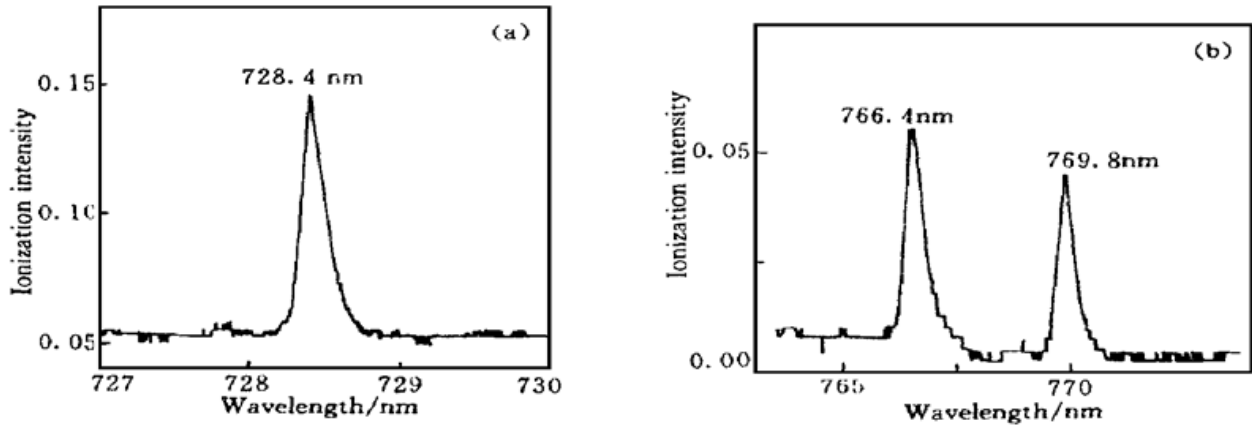


Fig.3 The ion current intensity vs. excitation wavelength. (a) Two photon resonant three photon ionization, (b) Energy pooling effect

应于 $4S \rightarrow 4P$ 共振跃迁) 时, 测得了如图 3(b) 所示的通过能量积聚效应产生的电离信号的激发光谱。图 4 示出了激发波长为 728.4 nm 时的电离信号时间谱。根据(4) 式用最小二乘法拟合实验曲线, 可得到一组不同光强对应的 T_1 。由激光能量、重复频率和光斑面积求出抽运激光的光子通量。实验中改变五个不同的光强, 在求出相应的光子通量和 T_1 后, 以光子通量为横坐标, 以 $1/T_1$ 为纵坐标对五点进行直线拟合, 然后与(3) 式进行比较, 斜率即为光电离截面, 截距为弛豫系数 γ 。图 4 和图 5 分别示出了激发波长为 728.4 nm 时所测得的实验值和拟合结果。由此求出相应的光电离截面和弛豫系数分别是 $\sigma^{(1)}$ 。

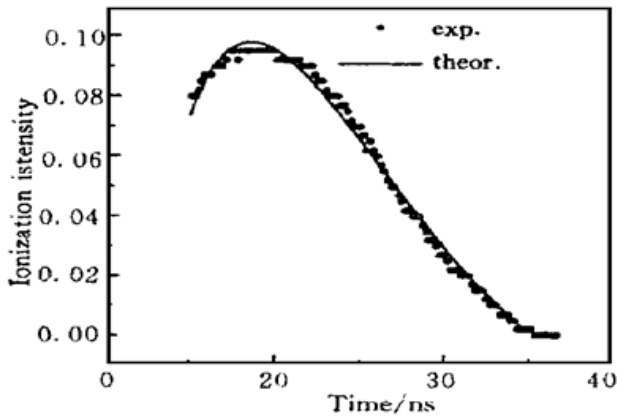


Fig.4 The least-square fitting curve and experimental ion current decay curve with excitation wavelength of 728.4 nm

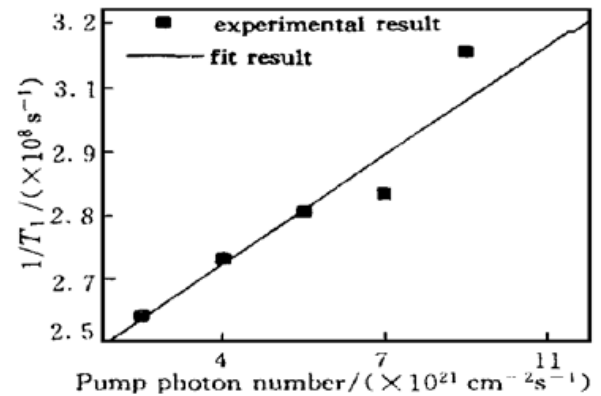


Fig.5 The plot of $1/T_1$ at various photon current densities

参 考 文 献

- [1] Armstrong D J, Wood R P, Greene C H. Photoionization of the $5d6p^3 D_1$ state of barium. *Phys. Rev. (A)*, 1993, **47**(3) : 1981~ 1988
- [2] Bouchiat M A, Guan J, Jacquier Ph. *et al.*. Absolute measurements of the photoionization cross section of the $5D_{3/2}$ Cs excited state and the photodissociation cross section of Cs_2 between 540 and 550 nm. *Chem. Phys. Lett.*, 1992, **199**(1/2) : 85~ 92
- [3] 林美荣, 刘耀明, 张包铮等. 用共振多光子技术测量分子动力学参数. *光学学报*, 1993, **13**(11) : 971~ 974

- [4] 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
- [5] Vadla C, Niemax K, Brust J. Energy pooling in cesium vapor. *Z. Phys. D*, 1996, **37**(3): 241~ 247
- [6] Xiao Liantuan, Li Changyong, Guo Shuqin *et al.*. Diffused band radiation of molecular potassium generated by energy-pooling effect. *Appl. Phys. (B)*, 1999, **68**(4): 727~ 729

Two-Photon Resonant Three-Photon Ionization of Atomic Potassium

Li Changyong Xiao Liantuan Li qian Jia Suotang Zhou Guosheng
(Department of Electronics & Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006)
(Received 21 December 1998; revised 22 March 1999)

Abstract By two-photon resonant three-photon ionization in atomic potassium, the ion current decay curve was measured. From the relation between ion current and multi-photon dynamic parameter, photo-ionization cross-section of 6S state in atomic potassium was determined. When excited with one-photon at 766.4 nm and 769.8 nm, the atomic potassium was ionized by energy pooling effect.

Key words two-photon resonant three-photon ionization, photon-ionization cross-section, energy pooling effect.

第八届全国光学测试学术讨论会在合肥举行

由中国光学学会光学测试专业委员会主办、中国科学院安徽光学精密机械研究所承办的第八届全国光学测试学术讨论会于 1999 年 10 月 27 日至 10 月 31 日在安徽省合肥市举行。会议共收录了论文 122 篇,来自全国各地共 123 名代表出席了此次会议。

会议开幕式由中国光学学会光学测试专业委员会副主任苏大图教授主持,中国光学学会理事、光学测试专业委员会主任陈进榜教授致开幕词。会议安排了 6 个特邀报告:李景镇教授作了题为我国发展光学技术、光子产业研究的报告;郑小兵博士介绍了国内首次建立的 488~ 786 nm 波段的低温绝对光辐射定标系统;苏大图教授作了纳米技术在计量测试中的应用的报告;卓永模教授作了题为从光学干涉表面轮廓术到扫描探针表面轮廓术的报告;陈进榜教授作了题为表面轮廓功率密度(PSD)及其干涉计量测试作的报告;徐德衍研究员介绍了台湾的光学与光电子学的概况。报告分三个分会场进行,共宣读论文 75 篇,内容覆盖了光学测试仪器及装置研制,光度、色度、光辐射计量测试,激光参数和计量测试,光电探测器性能参数计量测试,非光学量的光学测试等光学测试众多领域,反映了国内外光学技术领域的新技术、新成就及前沿动态。

会后,代表们还参观了中科院安徽光机所的高精度低温辐射实验室、大气光学实验室、激光光谱学开放实验室和 MZ 脉冲 YAG 激光治疗仪装置,在光学仪器的设计、制造、测试、应用方面进行了交流。代表们反映,这次学术会议开得很成功,学术水平也较高。

会议期间还召开了与会专业委员会会议,对专业委员会开展的工作进行了总结,讨论了新委员的增加标准和下届的学术活动。

(张 洁)