

文章编号 : 0253-2239(2002)07-0819-03

用电离光谱技术测量钾分子激发态的振动常数^{*}

李昌勇 肖连团 张临杰 尹王保 马维光 贾锁堂

(山西大学电子信息技术系,量子光学和光量子器件国家重点实验室,太原 030006)

摘要: 用染料激光激发钾蒸气,观察到了与钾分子电子态 $5^3\Pi_u$ 振动能级相关的电离谱,根据电离谱峰对应的激光波长值计算出了钾分子 $5^3\Pi_u$ 态的振动结构常数,在实验误差范围内与 Magnier 和 Millié 的理论计算结果一致。

关键词: 钾分子激发态;振动常数;电离光谱

中图分类号: O561.3 文献标识码: A

1 引 言

探测分子跃迁后所产生的离子或电子来监测分子吸收的方法,称为电离光谱技术。分子分离为离子和电子的途径各有所异,而一旦电离发生,微弱的外加电场可使正负离子作定向运动,因而有很高的灵敏度,甚至可达到单离子探测极限^[1]。

在过去的十几年中,人们已经对碱金属原子和分子的激光光谱进行了大量的理论与实验研究。Magnier 和 Millié^[2]对钾分子基态和大量高激发态进行了理论与实验研究,并给出了钾分子许多电子态的结构常数。本文用 YAG 激光抽运的染料激光激发钾蒸气,观察到了反映钾原子振动能级的电离谱,根据电离谱算出了钾分子 $5^3\Pi_u$ 态的振动结构常数,在实验误差范围内与 Magnier 和 Millié 的理论计算结果相吻合。

2 原 理

钾原子和分子的相关能级如图 1 所示。 $1^3\Sigma_u$ 态钾分子通过双光子共振吸收被抽运到较高激发态 $5^3\Pi_u$, 激发态的分子通过碰撞离解产生一个 $4D$ 态钾原子和一个基态 $4S$ 原子, $4D$ 态钾原子再吸收一个光子电离。此过程可表示如下:

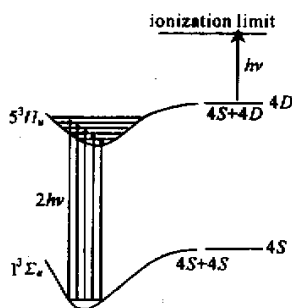
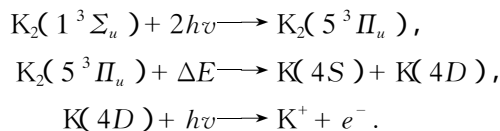


Fig. 1 The diagram of relative energy-levels of atomic and molecular potassium

双原子分子振动能量表达式为:

$$G(v) = E_v/(hc) = \omega_e(v + 1/2) - x_e\omega_e(v + 1/2)^2 + y_e\omega_e(v + 1/2)^3 + \dots, \quad (1)$$

这里 ω_e 代表平衡点的振动频率除以光速 c , x_e 和 y_e 是考虑到振动的非谐性效应而引入的非谐性系数, v 为振动量子数。上式中每相邻两项的后一项要比前一项小许多, 故这里只取前三项。

$$\begin{aligned} \Delta G(v) = G(v + 1) - G(v) = & \omega_e + (13/4)y_e\omega_e - 2x_e\omega_e + \\ & (-2x_e\omega_e + 6y_e\omega_e)v + 3y_e\omega_e v^2. \end{aligned} \quad (2)$$

令

$$\omega_e + (13/4)y_e\omega_e - 2x_e\omega_e = a, \quad (3)$$

$$-2x_e\omega_e + 6y_e\omega_e = b, \quad (4)$$

$$3y_e\omega_e = c, \quad (5)$$

则

$$\Delta G(v) = a + bv + cv^2, \quad (6)$$

根据反映激发态振动能级的一系列电离峰对应的激光波长, 可以获得 $\Delta G(v)$ 的实验数据及其对应的

^{*} 国家自然科学基金(60078009、10174047)和山西省青年科学基金资助课题。

E-mail: lichyong@mail.sxu.edu.cn

收稿日期: 2001-07-02; 收到修改稿日期: 2001-08-13

ν 用(6)式拟合实验数据能够算出 a 、 b 、 c 的值,由(3)式、(4)式、(5)式联立方程组可以求出分子的振动常数 ω_e 、 x_e 、 y_e 。

3 实验仪器与装置

实验装置如图 2 所示。激发源为 Spectra-Physics 公司生产的 DCR-3 型 YAG 激光器抽运的 PDL-2 型染料激光器。实验中采用 LDS751 染料,激光可在 720 nm~780 nm 波段内连续可调。脉宽近似为 7 ns 线宽为 0.3 cm^{-1} , 重复率为 10 Hz, 单

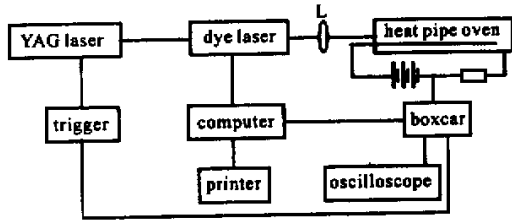


Fig. 2 Experimental setup

个脉冲的最大能量为 6 mJ, 聚焦光斑的实测直径为 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形电极, 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 500MHz 数字示波器, 收集到的信号经 boxcar 送到微机进行处理。

4 实验结果与讨论

图 3 所示为实验测得的电离谱。当激光波长在 720 nm~780 nm 范围内扫描时, 观察到许多电离信号谱峰。其中 728.4 nm 为钾原子 4S-6S 双光子共振三光子电离信号^[3], 766.6 nm 和 769.8 nm 为钾原子的能量积聚效应诱导的电离信号^[3]。在 729.4 nm~763.7 nm 范围内有 13 条较小的谱峰, 这是与钾分子有关的电离信号, 其峰值波长值见表 1。根据峰值波长可以算出表 1 中的 ΔG 。用 ΔG 作为振动量子数 ν 的函数作曲线, 如图 4 所示。

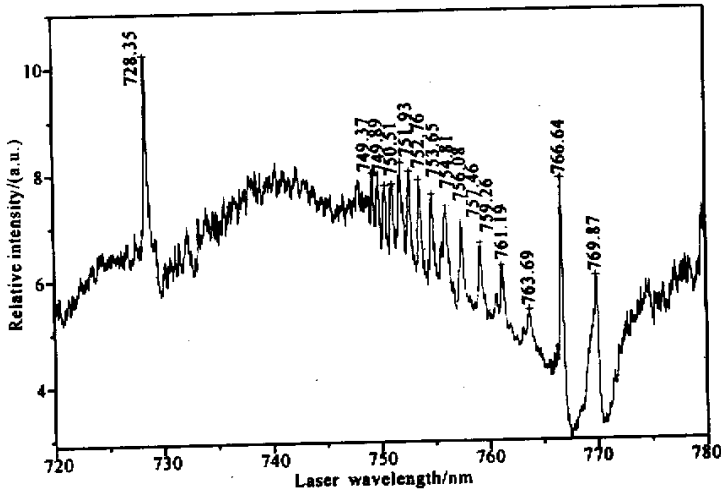


Fig. 3 Ionization spectra of potassium vapor

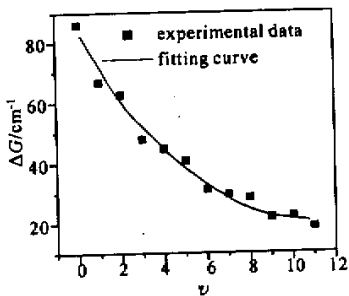


Fig. 4 Experimental data and nonlinear fitting

根据(6)式, 用非线性曲线拟合方法可以求出 a 、 b 、 c 的值及其拟合误差分别为 81.70 ± 2.28 、 -11.25 ± 0.96 和 0.52 ± 0.08 , 从而可解出振动常数 ω_e 、 x_e 、 y_e 的值分别为 93.42 ± 3.18 、 $(6.58 \pm 0.41) \times 10^{-2}$ 、 $(1.85 \pm 0.25) \times 10^{-3}$ 。

本实验误差主要来源于激光激发脉冲能量的不规则波动, 经过多次测量, 测得这种波动引起的峰值波长的最大测量误差为 $\pm 0.1 \text{ nm}$ 。通过(1)式算出由此引起的 ω_e 的最大误差为 $\pm 7.0 \text{ cm}^{-1}$ 。因此在实验误差范围内, 我们的结果与 Magnier 和 Millié

的理论结果($\omega_e = 88.94 \text{ cm}^{-1}$)^[2]一致。

Table 1. Ionization spectra data about state $5^3\Pi_u$ of molecular potassium

| laser wavelength /nm | wave number /cm ⁻¹ | ΔG /cm ⁻¹ | v | laser wavelength /nm | wave number /cm ⁻¹ | ΔG /cm ⁻¹ | v |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|
| 749.37 | 13344.5 | 18.4 | 11 | 754.81 | 13248.4 | 44.6 | 4 |
| 749.89 | 13335.3 | 22.0 | 10 | 756.08 | 13226.1 | 48.2 | 3 |
| 750.51 | 13324.3 | 22.0 | 9 | 757.46 | 13202.0 | 62.6 | 2 |
| 751.13 | 13313.3 | 28.4 | 8 | 759.26 | 13170.7 | 66.8 | 1 |
| 751.93 | 13299.1 | 29.4 | 7 | 761.19 | 13137.3 | 86.0 | 0 |
| 752.76 | 13284.4 | 31.2 | 6 | 763.69 | 13094.3 | | |
| 753.65 | 13268.8 | 40.8 | 5 | | | | |

参 考 文 献

- [1] Xia Huirong, Wang Zugeng. *Introduction of Molecular Spectroscopy and Laser Spectroscopy* (分子光谱学与激光光谱学导论), Shanghai: Press of East China Normal University, 1989. 418~421 (in chinese)
- [2] Magnier S, Millié P. Potential curves for the ground and

- numerous highly excited electronic states of K_2 and NaK . *Phys. Rev. (A)*, 1996, **52**(1) 204~218
- [3] Li Changyong, Xiao Liantuan, Li Qian *et al.*. Two-photon resonant three-photon ionization in potassium vapor. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(12): 1604~1607 (in chinese)

Vibration Constants Measurement of Molecular Potassium Excited State by Ionization Spectrum Technique

Li Changyong Xiao Liantuan Zhang Linjie Yin Wangbao Ma weiguang Jia Suotang
(Department of Electronics and Information Technology, State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Shanxi University, Taiyuan 030006)

(Received 2 July 2001; revised 13 August 2001)

Abstracts: The ionization spectra associated with the vibration energy-level of $5^3\Pi_u$ state of molecular potassium were observed when the potassium vapor was excited by a dye laser. The vibration constants were calculated according to the laser wavelengths. It is consistent with the theoretic result calculated by Magnier and Millié within the experimental error.

Key words: excited state of molecular potassium; vibration constant; ionization spectrum