

钠分子高位态 ($2^1\Pi_g$) 有关振转能级 动力学参数的测定*

邓宏贵 秦莉娟 林榕** 汪瑾 王祖庚

(华东师范大学物理系, 国家教委华东师范大学量子光学开放实验室, 上海 200062)

摘 要 用共振多光子电离光谱技术, 检测钠分子 $X^1\Sigma_g^+ \rightarrow 2^1\Pi_g$ 在 $16574.5 \text{ cm}^{-1} \sim 16590.5 \text{ cm}^{-1}$ 之间的共振电离信号激发谱, 根据有关分子常数和德哈姆展开式, 标识了其中三条谱线。借助于电离流时间衰减曲线, 测量得出了上述三条谱线对应的振动能级的动力学参数。

关键词 钠分子, 共振多光子电离, 动力学参数。

1 引 言

共振多光子电离光谱技术因具有极高灵敏度和很强的选择性, 在简化分子光谱、研究分子结构等方面获得了广泛应用。目前, 它正被用于研究分子的激发态、三重态和高位里德堡态, 包括研究这些态的能级结构、电离截面、寿命、弛豫及化学反应等^[1-3]。本文采用共振多光子电离光谱技术, 测得了钠分子 $2^1\Pi_g$ 态在特定波长范围内共振电离信号激发谱, 标识了其中三条谱线。进而选定激光波长输出, 分别测得各谱线的电离流时间衰减曲线, 进行拟合和计算^[4], 得到了钠分子 $2^2\Pi_g$ 态有关振转能级的电离截面、吸收截面、弛豫系数。

2 原 理

用等频双光子将钠分子从基态 ($X^1\Sigma_g^+$) 激发到高位态 ($2^1\Pi_g$), 再用激光将其电离。对探测到的离子信号的处理参见文献[5], 这里仅列出关键式子如下:

$$\frac{d}{dt}N_3(t) = C[\exp(-t/T_2) - \exp(-t/T_1)] \quad (1)$$

其中,

$$C = N_0\sigma^{(1)}\sigma^{(2)}I^3/(\sigma^{(1)}I + \gamma - \sigma^{(2)}I^2), \quad 1/T_1 = \sigma^{(1)}I + \gamma, \quad 1/T_2 = \sigma^{(2)}I^2 \quad (2)$$

式中各量的物理含义参见文献[5], 用(1)式对谱线在不同光强下的时间衰减曲线进行最小二乘拟合, 得出系列 T_1 、 T_2 值, 以(2)式对 T_1 、 T_2 进行拟合和计算, 即可求得 $\sigma^{(1)}$ 、 $\sigma^{(2)}$ 和 γ 。

* 国家自然科学基金资助项目。

** 沈阳师范学院物理系(邮编 110000)。

收稿日期: 1997-01-12; 收到修改稿日期: 1997-06-24

3 实 验

装置参见文献[5], 用 Quantel 公司生产的 Datcrom-5000 型 YAG 激光泵浦的染料激光器作激发源, 它的波长连续可调并显示, 染料选用 R640+ R610, 调谐范围是(600~ 605) nm。实验时激光分两束, 一束进入空心阴极灯和法布里-珀罗标准具(空气间距 10 mm)作频标用^[6], 另一束经透镜聚焦后进入热管炉作用区。炉内装有平行于激光束的钨杆电极, 在钨杆和热管炉的外壳之间加有 12 V 的直流偏压以收集离子信号。收集到的离子信号被送到 Boxcar 和计算机进行存储、分析和处理。

4 结 果

激光波长调谐在对应波数为(16574.5~ 16590.5) cm^{-1} 范围内, 在适当温度(437°C)下, 测量不同能量下的电离信号激发谱。然后以空心阴极灯光电流光谱的标准谱线的波数(16583.7561 cm^{-1})和法布里-珀罗标准具的透射干涉条纹作频标, 标得图 1 所示的三条谱线所对应的波数分别为 16577.08 cm^{-1} 、16578.22 cm^{-1} 和 16586.13 cm^{-1} 。由钠分子的电离阈值(36414 cm^{-1})和泵浦波长可知: 本文所测得的电离信号为双光子共振三光子电离; 谱线所对应的初始和共振中间能级分别为 $X^1\Sigma_g^+$ 和 $A^1\Sigma_g^+$, 上能级有 $^1\Pi_g$ 和 $^1\Sigma_g$ 两种系列态, 根据其各自常数^[7]及双光子跃迁选择定则和德哈姆展开式^[8]可得出三条谱线所对应的各能级的振转量子数并确认终态为 $2^1\Pi_g$, 从而得到上述谱线对应的电离通道依次为:

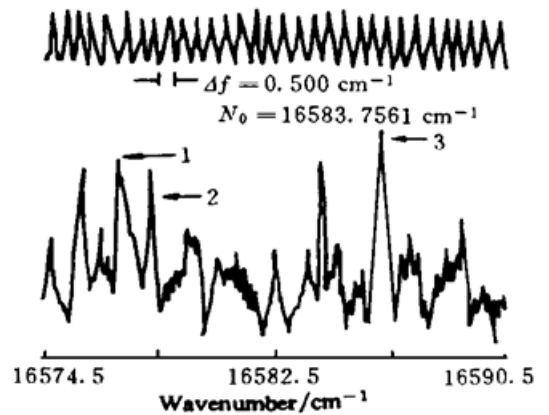
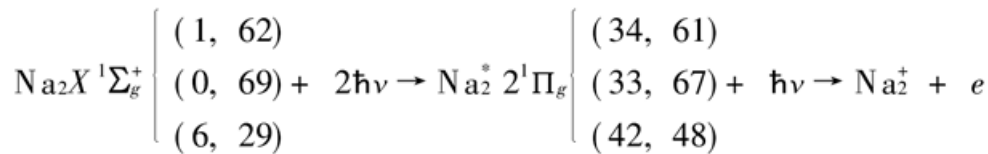


Fig. 1 Wavelength determination of resonant ionization spectrum of $X^1\Sigma_g^+ - 2^1\Pi_g$ of sodium dimer



将激光分别调谐在上述各谱线对应的波长, 在不同光强下分别测出上述三条电离通道的电离流时间衰减曲线, 用(1)式进行拟合得 T_1 和 T_2 , 进一步用(2)式拟合得出 $\sigma^{(1)}$ 、 $\sigma^{(2)}$ 和 γ 。

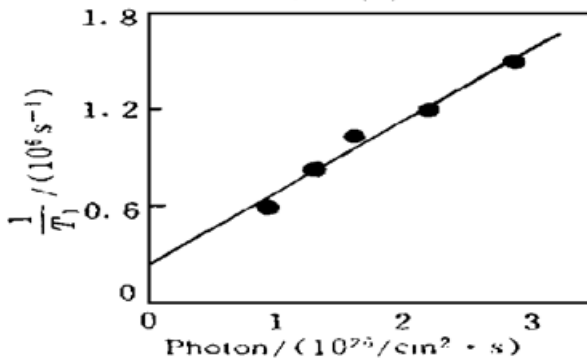


Fig. 2 Theoretical fitting ion decay curves of $2^1\Pi_g$ of sodium dimer

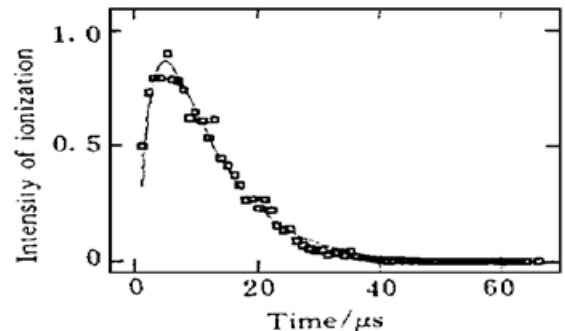


Fig. 3 Fitting result of dynamic parameter of $2^1\Pi_g$ of sodium dimer

图 2 示出了泵浦波长的波数为 16586.2 cm^{-1} 、能量为 1.5 mJ 时的测量结果, 图 3 为几个不同能量和时间常数进行拟合的结果, 总的结果如表 1。

Table 1. Dynamic parameter of the $2^1\Pi_g$ states in Na_2

wave number of spectral/ cm^{-1}	$2^1\Pi_g(v, J)$	ionization section / 10^{-21} cm^2	absorption section / $10^{-48} \text{ cm}^4 \text{ s}$	relaxation coefficient/ 10^5 s
16577.08	34, 61	2.8 ± 0.1	3.3 ± 0.1	2.9 ± 0.1
16578.22	33, 67	2.1 ± 0.1	4.1 ± 0.2	2.6 ± 0.3
16586.13	42, 28	5.5 ± 0.4	3.4 ± 0.1	1.3 ± 0.2

讨 论 本文标识了钠分子共振电离的三条特征谱线, 不仅为微量检测中鉴定钠分子的存在提供了依据, 即在实验中如发现与上述三条谱线完全一致的谱线, 则可确定样品中存在钠分子; 而且充实了钠分子动力学参数的数据库; 同时也为同行提供了切实可行的方法。

参 考 文 献

- [1] 马万云, 一种新的分析手段——RIS-TOF 技术. 光谱学光谱分析, 1993, **13**(2): 111~ 120
- [2] E. Arimondo, C. E. Burkhardt, O. F. Giammanco, Multi-photon laser of ionization of sodium in the 540~ 600 nm rang. *Opt. Commun.*, 1989, **71**(1): 52~ 58
- [3] D. J. Armstrong, R. P. Wood, V. H. Green, Photonization of the $5d6p^3D1$ state of barium. *Phys. Rev. (A)*, 1993, **43**(3): 1981~ 1985
- [4] 林美荣, 刘耀明, 张包铮, 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
- [5] 林 榕, 邓宏贵, 秦莉娟等, 钠原子 $5S$ 态共振多光子电离截面的测量. 华东师范大学学报, 1996, 70~ 73
- [6] 潘永乐, 马龙生, 丁良恩, 钠分子高位 $2^1\Pi_g$ 与 $C^1\Pi_u$ 态之间碰撞能量转移. 光谱学与光谱分析, 1992, **122**(6): 25~ 28
- [7] T. J. Whang, A. M. Lyyra, L. Li *et al.*, Optical-optical double resonance spectroscopy of the Na_2 $2^1\Pi_g$ state. *J. Mol. Spectrosc.*, 1991, **145**(1): 112~ 122
- [8] G. 赫兹堡注, 王鼎昌译, 分子光谱与分子结构(第一卷), 北京: 科学出版社, 1983

Measurement of Dynamic Parameters of the Excited States ($2^1\Pi_g$) in Na_2

Deng Honggui Qin Lijuan Lin Rong Wang Jin Wang Zugeng
(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062)

(Received 12 January 1997; revised 24 June 1997)

Abstract By means of two-photon resonant three-photon ionization spectroscopic technique, ionization spectrum of $X^1\Sigma_g^+ \rightarrow 2^1\Pi_g$ of the sodium dimer in range of $(16574.5 \sim 16590.5) \text{ cm}^{-1}$ was detected and its three resonant ionization features were identified. With the measurement of ion current decay curves of the three features, dynamic parameters of them were obtained.

Key words Na_2 , multiphoton resonance ionization, dynamic parameters.