

# 碘原子共振多光子电离光谱研究

朱 鹤 陈 尉 王培南 李富铭

(复旦大学物理系)

## 提 要

用可调谐的染料激光(4600~5000Å),共振(3+2)和(4+1)多光子电离探测了 $I(5p\ 2P_{3/2}^0)$ 和 $I^*(5p\ 2P_{1/2}^0)$ 。碘原子是由碘分子( $I_2$ )经激光解离而产生的。在上述激光波段中共观察到12个原子跃迁,其中,(4+1)多光子电离跃迁是首次观察到的。

关键词:多光子电离;碘原子。

## 一、引 言

卤族原子在众多的气相化学反应,包括化学激光和半导体制作过程中起着非常重要的作用,因此引起了人们广泛的兴趣。如, P. A. Hackett 在 1983 年研究了  $OF_3I$  经红外多光子解离产生的基态( $2P_{3/2}^0$ )I 原子的多光子电离谱<sup>[1]</sup>。O. Tai 在 1977 年研究了  $I_2$  经多光子解离产生的高激发态 I 原子的多光子电离谱<sup>[2]</sup>。通过研究在解离过程中生成的原子的多光子电离谱,可以了解原子的能级结构和原子产生的过程,以及解离通道和解离产量等问题。

用多光子激励手段来探测原子,分子和自由基,只有在高功率可调谐激光产生以后才成为可能。其中,激光诱导荧光(LIF)和多光子电离(MPI)技术是两种最主要的方法。但是,由于荧光方法中存在着很强的再辐射干扰,因而多光子电离方法就具有可靠性高这一独特的优越性。

本文用多光子电离的技术探测  $I_2$  分子经光解产生的 I 原子,解离源和电离源使用同一个 YAG 激光泵浦的染料激光。在这里,多光子电离信号是由基态( $2P_{3/2}^0$ )I 原子和第一激发态( $2P_{1/2}^0$ )I 原子共振吸收 3 个或 4 个光子跃迁于某一激发态,然后再分别吸收 2 个或 1 个光子以达到电离所产生的。

## 二、实验装置及结果

本文采用的实验装置如图 1 所示。Quantel 公司 YAG 激光(YG580)泵浦的染料激光(DATACHROM-5000)作为解离源和电离源,染料使用 C480,波长范围为 4600~5000 Å,最大输出能量为 6 mJ,激光线宽小于 0.1 Å,重复频率为 10 Hz。用  $f=60$  mm 的石英透镜将激光聚焦到样品池的平行板电极中央,平行板电极两端所加的偏压为 45V。由电极接收的离子信号经低噪声,高灵敏度的放大器(放大倍数为 50~200 倍可调)前置放大后,输入

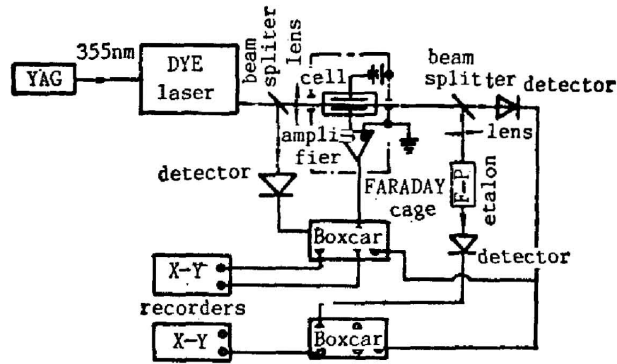


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus

PARC162/165型 Boxcar 平均放大,再用 X-Y 函数记录仪(LM-15型)记录,给出谱图。为监视激光能量和波长,还同时记录了光强信号和经 F-P 标准具后的信号,这样定出的波长绝对精度小于  $0.3 \text{ nm}^{-1}$ ,而激光能量的绝对测量是用(Scientech 36-0001)能量计进行的。

$\text{I}_2$  分子解离产物 I 原子的多光子电离谱见图 2。其中  $\text{I}_2$  分子样品气压为 0.3 Torr, 波长扫描速度为  $0.2 \text{ \AA}/\text{sec}$ 。经分析,将每个峰的波长以及所对应的上、下能级列表如下(表 1)。

电离信号与激光光强的依赖关系可以参见图 3。图中为  $5p^2P_{3/2}^0 \rightarrow 6s^2P_{1/2}$  跃迁的电离

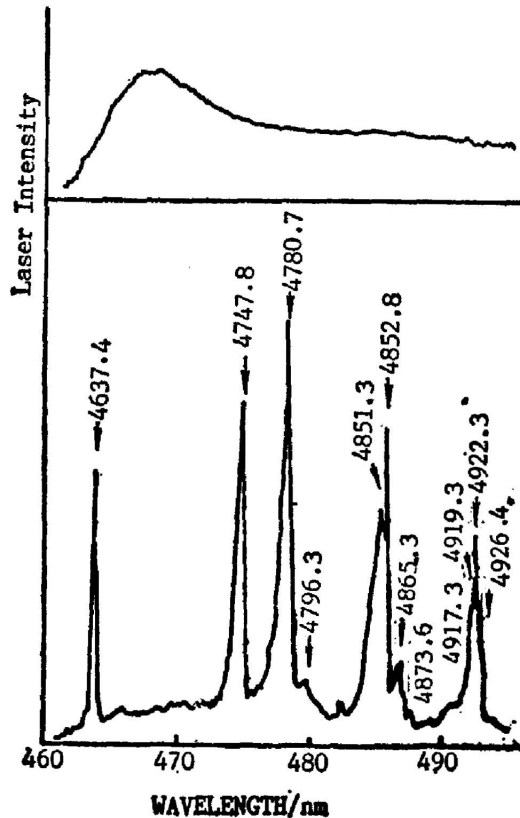


Fig. 2 MPI spectra of iodine atoms formed in the photolysis of iodine molecules

Table 1

Wavelength ( $\text{\AA}$ )	Lower state <sup>(a)</sup>	Upper State	Process Remarks
4637.4	I*	7s $^2P_{3/2}$	3+2
4747.8	I	6s $^2P_{1/2}$	3+2
4780.7 <sup>(b)</sup>	I*	6s' $^2S_{1/2}$	3+2
4796.3	I*	$n\bar{d}$ $5_{2(1/2)}$	3+2 very weak
4851.3	I	$n\bar{d}$ $3_{2(1/2)}$	4+1 weak
4852.8 <sup>(b)</sup>	I	6s $^4P_{3/2}$	3+2
4865.3	I	$np$ $6_{21/2}^0$	4+1 very weak
4873.6	I	11s $^4P_{5/2}$	4+1 very weak
4917.3	I*	$n\bar{d}$ $4_{1(1/2)}$	3+2
4919.3	I*	$n\bar{d}$ $3_{2(1/2)}$	3+2
4922.3	I*	$n\bar{d}$ $2_{2(1/2)}$	3+2
4926.4	I	6s $^4P_{1/2}$	3+2

(a) I and I\* refer to the  $5p \ ^2P_{3/2}^0$  and  $5p \ ^2P_{1/2}^0$ .

(b) Used to calibrate the wavelengths of successive line.

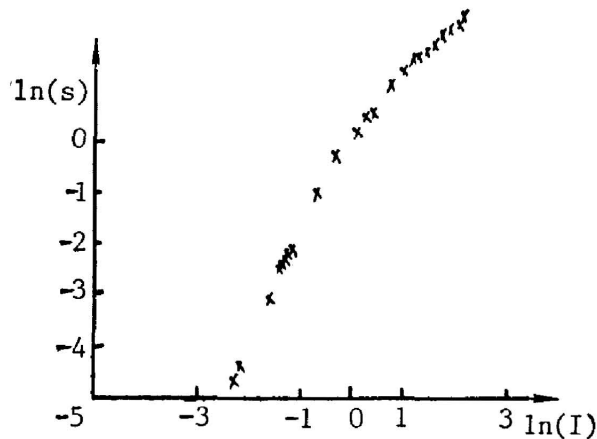


Fig. 3 Variation of ionization current with probe laser energy.

Probe laser wavelength tuned to the I [ $5p \ (^2P_{3/2}^0) - 6s \ (^2P_{1/2}^0)$ ] resonance at 4747.8 $\text{\AA}$

信号与光强的双对数曲线。从曲线的斜率可以知道,在能量较小时,指数  $n=2.6$ ,而在能量较大时,指数  $n=0.93$ ,这就说明在我们的实验条件下,即使能量较小时,(3+2)过程中的第二步 2 光子吸收也是饱和小,在能量较大时,饱和现象就更为严重了。

### 三、讨 论

根据 I 原子的能级图<sup>[3]</sup>,在此波长范围内可以观察到从基态( $5p \ ^2P_{1/2}^0$ )产生 3 个(3+2)的多光子电离信号和从第一激发态( $5p \ ^2P_{3/2}^0$ )产生的 5 个(3+2)的多光子电离信号以及从

基态( $5p^2P_{3/2}^0$ )产生的4个(4+1)多光子电离信号,这些除了其中一个( $5p^2P_{3/2}^0 \rightarrow np7I_{1(1/2)}^0$ )的(4+1)多光子电离信号在图2中不明显外,其它均已观察到,这说明我们的实验与预期的是完全一致的。

本文首次观察到I的(4+1)多光子电离信号,而在文献[1]中,P. A. Hackett用红外多光子解离 $CF_3I$ 产生基态( $5p^2P_{3/2}^0$ )的I原子,并且观察到3个(3+2)的跃迁,除了( $5p^2P_{3/2}^0 \rightarrow nd32_{2(1/2)}$ )的一个(4+1)跃迁(在谱中可以看出,但未标识)外,没有观察到其他的(4+1)信号。这是因为我们所用的激光能量约为6mJ,远远大于P. A. Hackett等人所用的激光能量(最大为2mJ)。而我们知道,电离信号的强度正比于光强的 $n$ 次方,对于(4+1)多光子电离, $n \sim 4$ ,可见只有在光强很强时,才能观察到(4+1)的多光子电离信号。

根据上述分析,可以得到结论:

(1) 在波长为(4600~5000Å)的激光作用下, $I_2$ 解离成基态( $5p^2P_{3/2}^0$ )的I原子和第一激发态( $5p^2P_{1/2}^0$ )的I原子。

(2) (4+1)的多光子电离信号远弱于(3+2)的多光子电离信号。

在本论文的工作中,本实验室的伍长征同志为真空系统的建立给予了很大的帮助,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] P. A. Hackett *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1983, **96**, No. 2 (Apr), 139.
- [2] C. Tai and F. W. Dalby; *Can. J. Phys.*, 1978, **56**, No. 2 (Feb), 183.
- [3] Charlotte E. Moore; "Atomic Energy Levels", NSRDS-NBS-35, Vol. 3, (US Govt, Printing Office, Washington, 1971).

## Study on resonant multiphoton ionization spectrum of atomic iodine

ZHU LING, CHEN WEI, WANG PEINAN AND LI FUMING

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

(Received 19 March 1987; revised 4 December 1988)

### Abstract

$I(5p^2P_{3/2}^0)$  and  $I^*(5p^2P_{1/2}^0)$  atoms have been detected by resonant(3+2) and (4+1) multiphoton ionization using tunable dye laser (4600~5000Å). The iodine atoms are generated by laser dissociation of  $I_2$  molecules. 12 atomic transitions are observed in the laser wavelength region, among which the (4+1) multiphoton transitions are observed for the first time.

**Key words:** multiphoton ionization; iodine atom.