

# 用空心阴极放电管研究金属原子的光离化过程(II)——铀原子的三光子电离测量

殷立峰 杨 援 吴 励 舒海珍 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文报道利用自制的 Kr-U 空心阴极放电管研究测量铀原子的单色三光子和双色三光子共振光电离谱。给出了所测得的 12 根强的单色三光子电离谱线和 19 根强的和较强的双色三光子电离谱线。表明了这一装置的优越性。

关键词: 铀原子; 共振光电离; 空心阴极放电。

## 一、引 言

过去若干年中, 已经对铀原子的光谱和原子能级分布进行了很多研究工作。通过早期的火花光谱测量和利用空心阴极放电(HCD)灯进行的光谱测量, 已经得到了大量的光谱线和较低能级分布的数据<sup>[1]</sup>。近几年来, 通过利用激光荧光谱<sup>[2]</sup>和光致电离谱<sup>[3~5]</sup>的测量更获得了许多高能级和一些里德堡态自电离态能级的数据<sup>[6]</sup>。这些工作基本上都是在加热或电子轰击蒸发的铀原子束装置上完成的。由于铀的高蒸发温度(2300 K 左右)和放射性防护问题, 铀的原子束装置是相当复杂的。

我们过去已经发展了一种简便易用的利用空心阴极放电管研究金属原子光离化过程的实验装置并用它完成了铀原子的共振三步光电离的初步研究<sup>[7]</sup>。过去的工作已经表明, 这一方法作为激光光谱研究的工具是大有潜力的。本文报道我们利用改进了的实验装置对铀原子单色、双色和光致电离过程的进一步深入研究。

## 二、实验装置和方法

实验装置见图 1。这是过去实验装置的改进结构。采用 EG&G 公司的 4400 Boxcar 作为信号处理系统对讯号进行平均处理。同时用 Ne 的光电流光谱输入 Boxcar 作为波长定标用。用一套主脉冲控制系统保证 UHCD 灯放电脉冲与激光的时间延迟同步关系。同时脉冲控制系统给出同步的分频信号控制染料激光器的扫描速度, 保证了每一步长(0.1 Å)给出 8 个(或 16、32 个, 视需要改变)激光脉冲, 使激光的扫描速度与 Boxcar 的平均过程(8 个数据取一次平均)同步进行。最后脉冲控制系统给出 Boxcar 的触发控制脉冲。整个实验装置

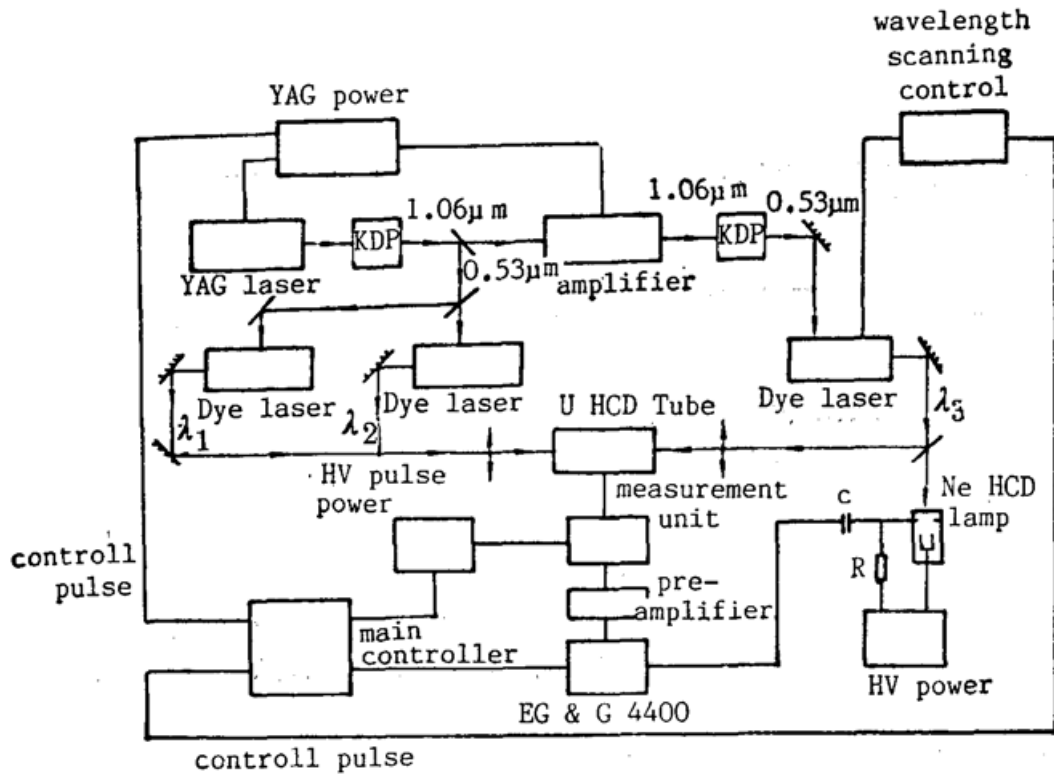


Fig. 1 Experimental set-up

的同步过程得到了很好控制。实验中采用了与过去实验基本相同的充氮槽型 HCD 铯放电灯,调 Q 振荡-放大 YAG 激光器倍频后泵浦脉冲染料激光器,激光器的输出线宽约为  $0.1 \text{ \AA}$ 。空心阴极放电灯仍采用脉冲波供电,供电脉冲宽度为  $300 \mu\text{s}$  左右。激光在放电脉冲结束后约  $500 \mu\text{s}$  输入。

在二色三光子电离实验中,用可变光学衰减适当控制波长为  $\lambda_1$  的第一级激发激光的强度,以避免铯原子在这些波长激光作用下产生多光子光致电离。

### 三、实验结果和讨论

#### 1. 铯原子单色三光子光致电离谱测量

用一台脉冲染料激光器扫描激发通过三光子光致电离过程可以获得单色三光子光致电离谱。由于单色三光子光致电离可以有许多不同的途径,因而讯号的大小可以有很大的差别。V. K. Mago 等人已经分析了各种不同电离途径的情况<sup>[3]</sup>。图 2 给出了四种基本的单色三光子光致电离途径,其中 (a),三光子吸收直接激发到电离限之上。(b),有一个能级(包括自由离态)共振或近共振的吸收。(c),有两个能级(包括自电离态)的共振或近共振吸收。(d),有三个能级(包括自电离态)的共振或近共振吸收。很显然,其中 (d) 的电离几率最大,(c) 的电离几率其次。由于存在四种情况,单色三光子电离谱线的强弱相差极大。这是在原子束装置<sup>[5]</sup> 和我们的实验中已经观察到的现象<sup>[7]</sup>。对于高激发态和自电离态的研究来说,只有 (d) 和 (c) 两种情况可能给出有用的讯息。

我们对  $5740$  到  $6060 \text{ \AA}$  两个波长范围内的单色三光子光致电离谱进行了测量。对其中的强线进行了分析。图 3 给出了其中的两张谱图。由激光的线宽及光电流光谱定标的精度,估算得到测量波长的精度为  $\pm 0.2 \text{ \AA}$ 。表 1 给出了我们在上述波长范围内测得的十二

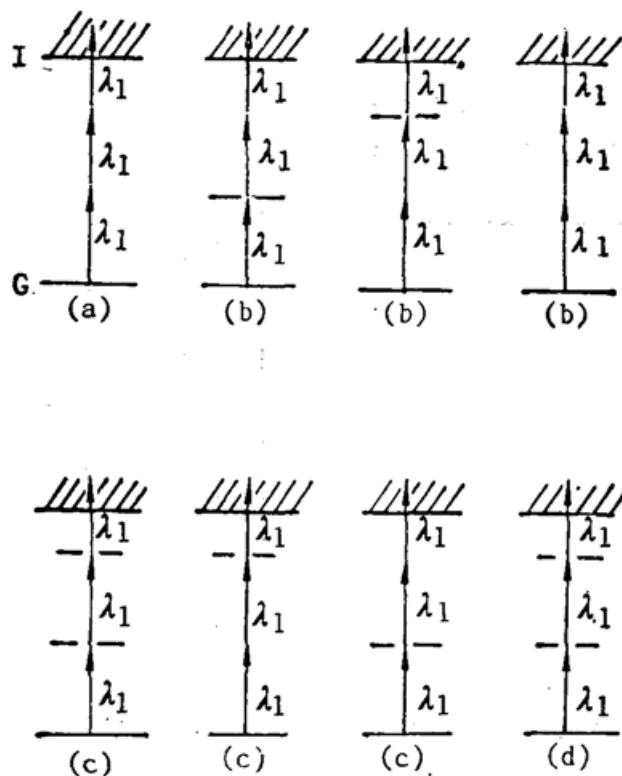


Fig. 2 Four possible pathways of single-colour photoionization.

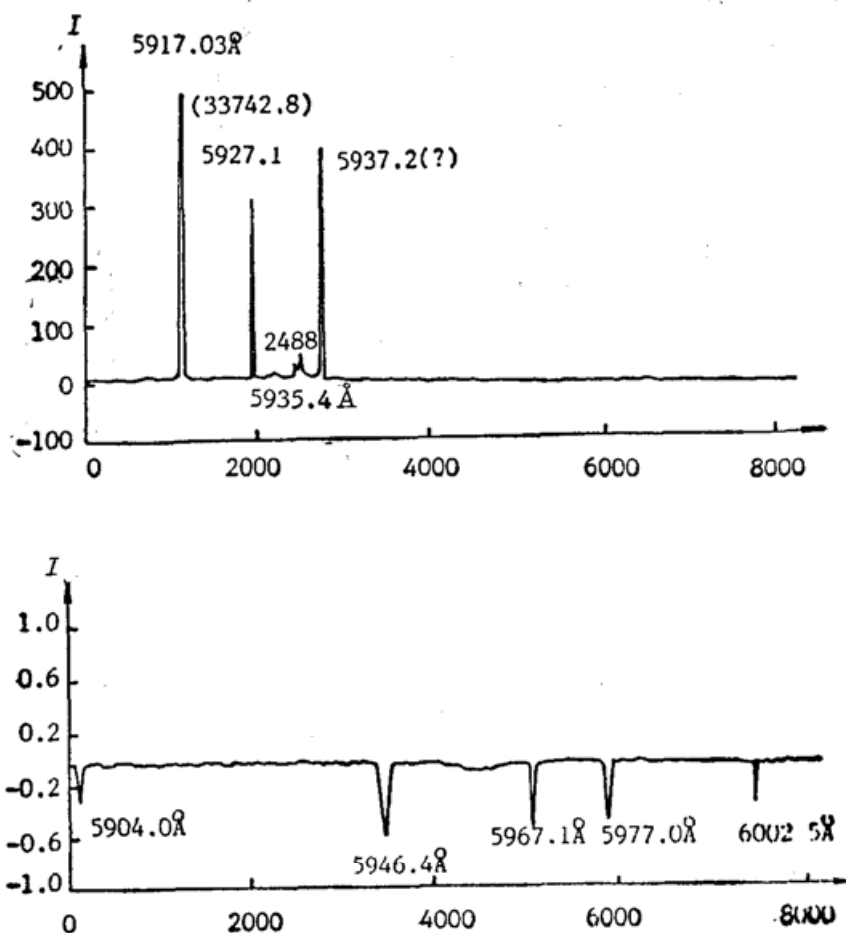


Fig. 3 Single-colour three-photon ionization spectrum of U

Table 1 Single-colour three-photon ionization spectrum

wavelength (Å)	low level (cm <sup>-1</sup> )	1st excited level(cm <sup>-1</sup> )	2nd excited level(cm <sup>-1</sup> )	possible Rydberg level or autoion- ization level(cm <sup>-1</sup> )
5753.3	0	17381.3	34764.8 <sup>2</sup>	52146
5759.7	0	17361	34725.3 <sup>2</sup>	52086
5761.0	0		34718 <sup>2</sup>	52076
5770.5	0		34656.2 <sup>2</sup>	51985
	0		34659.2 <sup>2</sup>	51988
5784.4	620	17900	35186.9 <sup>5</sup>	52475
5904.0	0		33874.5 <sup>8</sup>	50812
	620	17559		51433
5917.0	0	16900	33801 <sup>2</sup>	50701
5927.1	0		33742.8 <sup>2</sup>	50614
	5762	22634	39506 <sup>?</sup>	56378
5935.4	620	17468	34319.4 <sup>2</sup>	52407
5937.2	7005	23848	40691 <sup>?</sup>	57543
	0		33684.9 <sup>8</sup>	50528
6052.9	5762	22238	38804 <sup>?</sup>	55325
	0		33046 <sup>2</sup>	49569
6058.4	0	16505.8	33009.8 <sup>2</sup>	49516

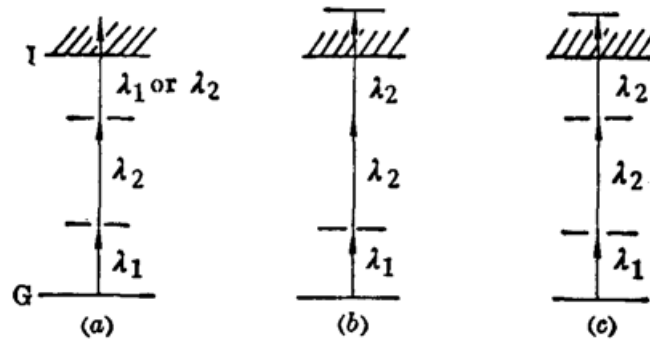


Fig. 4 Three possible pathways of two-colour photoionization

根强线及可能的跃迁。图3及表1中的波长是真空波长。表1中还给出了可能的里德堡态和自电离态的数值。这些数值仅仅是某些可能性。但可作为进一步测量研究的参考。

## 2. 铯原子双色三光子光致电离谱测量

用一台脉冲染料激光固定 $\lambda_1$ 于某一跃迁而用另一台扫描 $\lambda_1$ ,可以得到双色三光子光致电离谱。与单色三光子光致电离谱相同,双色三光子的光致电离过程也有几种可能的通道存在。图4给出了这些不同的通道。其中(c)情况下的电离率最高。因此在研究双色三光子的光致电离时,我们可以预期其中的强线是处于这种情况而得到自电离态和里德堡的讯息。

我们实际测量了 5740 Å 到 6060 Å 波长范围内的双色三光子光致电离谱。使用了两台脉冲染料激光器,一台固定在 6058.4 Å 波长 ( $0 \sim 16505.8 \text{ cm}^{-1}$ ) 上,另一台进行扫描。图 5 给出了双色和单色三光子光致电离的对应谱图。给出的结果是很好。表 2 给出了其中强的和中等的谱线,并且根据分析给出了可能的自电离态和里德堡态的数值。对表 2 的谱线,分析时假定强度是通过三能级共振电离的,而中等强度的线是二能级共振电离的。

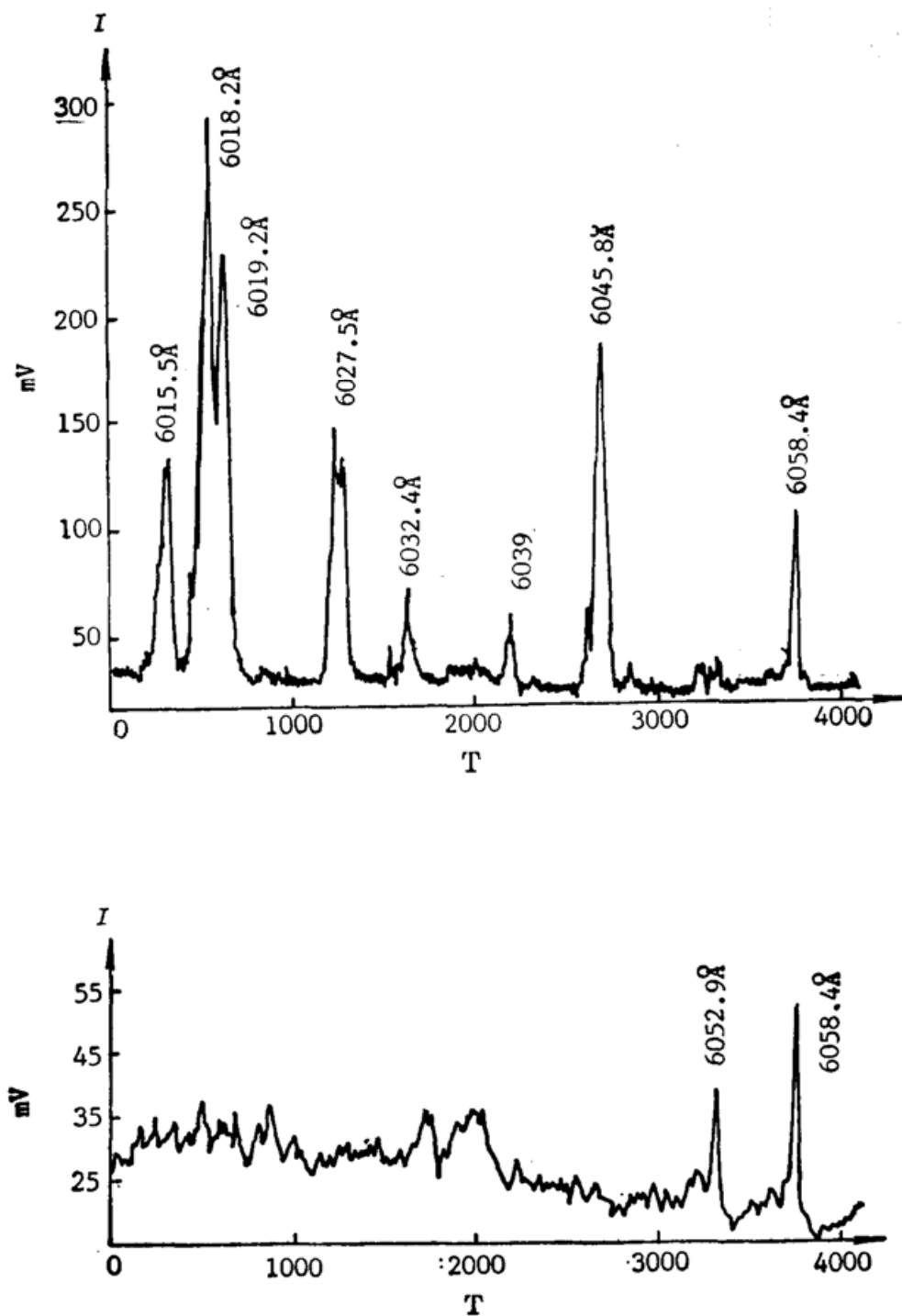


Fig. 5 Two-colour three-photon ionization spectrum of U (up) two-colour three-photon ionization spectrum of U at  $\lambda_1 = 6058.4 \text{ Å}$  (down) single-colour three-photon; ionization spectrum of U at same wavelength range

Table 2 Two-colour three-photon ionization spectrum of U  $\lambda_1=6058.4 \text{ \AA}$  ( $0 \sim 16505.8 \text{ cm}^{-1}$ )

wavelevgth ( $\text{\AA}$ )	intensity	2nd excited level ( $\text{cm}^{-1}$ )	possible Rydberg levels or autoionization levels ( $\text{cm}^{-1}$ )
5744.0	strong	33915.2 <sup>2</sup>	51325
5757.5	middle	33874.3 <sup>2</sup>	
5764.4	strong	33853.4 <sup>2</sup>	51201
5769.4	middle	33837.8 <sup>2</sup>	
5781.9	strong	33801 <sup>2</sup>	51096
5855.3	middle	33584.2 <sup>2</sup>	
5867.1	middle	33549.7 <sup>2</sup>	
5953.0	strong	33303.8 <sup>2</sup> 33303.7 <sup>2</sup>	50102
5967.0	middle	33264.3 <sup>2</sup>	
5980.5	strong	33226.8 <sup>2</sup>	49948
6010.5	middle		49781
6015.5	strong	33129.3 <sup>2</sup>	49753
6018.2	strong	33122 <sup>?</sup>	49738
6019.2	strong	33119 <sup>2</sup>	49732
6027.0	strong	33098 <sup>?</sup>	49690
6027.5	strong	33096.4 <sup>2</sup>	49687
6032.4	middle	33083 <sup>2</sup>	
6039.7	middle		49620
6045.8	strong	33045.8 <sup>2</sup> 33046 <sup>2</sup>	

#### 四、结 论

在进一步改进了过去使用过的实验系统后,我们利用自制的 Kr-U 脉冲 HCD 灯作为金属铀原子蒸汽源,并用 HCD 灯本身作为探测电离讯号的元件。进行了铀原子的单色三光子光致电离谱的测量和研究,获得了很好的结果。实验表明,在很多情况下,用这一空心阴极放电管系统,可以得到与用原子束装置相同的结果。而在放射性防护,成本的低廉及操作容易等各方面,其优点是显而易见的。

#### 参 考 文 献

- [1] C. G. Kiess *et al.*; *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, 1946, **37** (Jul), 57~72.
- [2] E. Miron *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1979, **69**, No. 2 (Feb), 256~264.
- [3] V. K. Mago *et al.*; *J. Phys. B, Ato. Mol. Phys.*, 1987, **20**, 6531~6539.
- [4] B. M. Suri; *J. Opt. Soc. Am. B.*, 1987, **4**, No. 11 (Nov), 1835~1836.
- [5] V. K. Mago *et al.*; *J. Phys. B, Ato. Mol. Phys.*, 1987, **20**, 6021~6030.
- [6] A. Coste *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*; 1982, **72**, No. 1 (Jan), 103~109.
- [7] 胡企铨, 殷立峰等;《光学学报》, 1986, **6**, No. 5 (May), 385~389.
- [8] L. R. Carlson *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**, No. 8 (Aug), 846~853.

## Single-colour and two-colour photoionization studies in U atoms using a HCD tube

YIN LIFENG, YANG YUAN, WU LI, SU HAIZHENG AND LIN FUCHENG  
(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 6 April 1990; revised 10 May 1990)

### Abstract

A home-made Kr-U HCD tube has been used to investigate and measure the single-colour and two-colour three-step photoionization spectrum of U atom. 12 strong single-colour photoionization lines and 19 strong and stronger two-colour photoionization lines are obtained.

**Key words:** Uranium atom; resonance photoionization; hollow cathode discharge.