

# Sm 原子在电离限附近的光电离谱

胡素芬 张 森 邱济真 梁 宜 王 刚 陈 星  
(浙江大学物理系)

## 提 要

用两脉冲激光两步激发和光电离的方法, 观察了 Sm 原子在电离限附近的光电离谱, 测定了在  $45321.8 \sim 45802.9 \text{ cm}^{-1}$  能量区间的 70 余个能级位置。

关键词: 二步激发, 光电离。

## 一、引 言

稀土金属具有许多优异性能, 在科技和生产的众多领域中发挥着独特的作用。稀土元素的高激发态研究, 已成为人们感兴趣的课题, 它在激光分离同位素技术的研究中有重要意义。对 Sm 原子的能级位置<sup>[1~6]</sup>、电离势<sup>[7, 8]</sup>、激发能级的辐射寿命<sup>[9, 10]</sup>及同位素的能级位移<sup>[11]</sup>等已有一些研究。但由于 Sm 原子的电子结构较复杂, 光谱由来自二个 6s 外层电子及 4f 内层电子的跃迁产生, 其基态  $4f^6 6s^2 F J=0-6$  是七重态, 在对样品进行加热时, 很容易使这些低能级得到热布居。这给用传统光谱方法辨别能级带来困难, 特别是高激发态。目前收集在文献 [12] 中的 SmI 能级只限于  $35176.51 \text{ cm}^{-1}$  以下。

本文采用激光分步激发和光电离的方法, 观察了 Sm 在电离限附近的光电离能谱。这种方法与传统的光谱技术比较有许多优点: 它使得有可能从基态或任何热布居的亚稳低能级, 通过单步、二步或三步选择性激发到高能级, 因此, 比普通吸收光谱和电离光谱方法得到的能级更易确定, 并且采用离子的探测, 具有更高的灵敏度, 实验中测定了 Sm 原子在  $45321.8 \sim 45802.9 \text{ cm}^{-1}$  范围的 70 余个能级位置。

## 二、实 验

实验装置如图 1。Nd:YAG 输出的脉冲激光经倍频和分束后, 分别泵浦两台染料激光器, 第一台用 DLS696 染料, 调谐  $\lambda_1 = 6807.5 \text{ \AA}$  (真空中波长)。第二台用 DCM 染料, 利用驱动装置使  $\lambda_2$  在  $6610 \sim 6400 \text{ \AA}$  范围扫描。 $\lambda_1, \lambda_2$  线宽均约为  $0.2 \text{ \AA}$ , 脉宽  $< 10 \text{ ns}$ 。 $\lambda_1$  光经透镜 L 聚焦送入真空室, 并与真空中的 Sm 原子束垂直相互作用。它实现 Sm 原子从热布居的  $4f^6 6s^2 {}^7F_2$  (能量为  $811.92 \text{ cm}^{-1}$ <sup>[12]</sup>) 能级双光子激发跃迁至  $4f^6 6s 7s {}^9F_4$  (能量为  $30191.24 \text{ cm}^{-1}$ <sup>[12]</sup>)。 $\lambda_2$  光扫描时使 Sm 原子从  $4f^6 6s 7s {}^9F_4$  共振激发到  $J=3, 4, 5$  的高激发态。然后由  $\lambda_2$  光子使 Sm 原子光电离或直接自电离。实验中  $\lambda_2$  光子比  $\lambda_1$  光延迟  $10 \text{ ns}$  到达作用

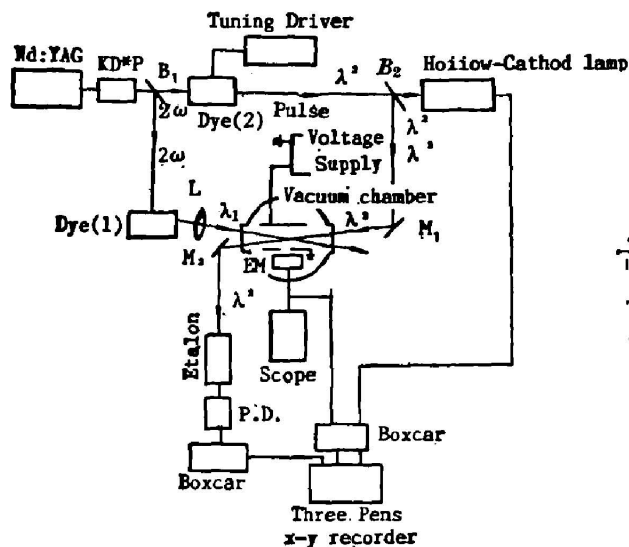


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

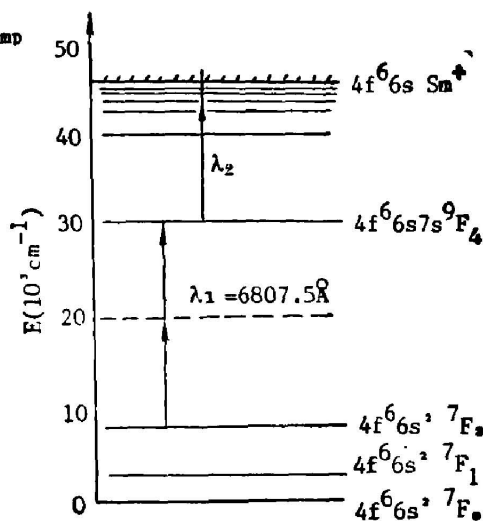


Fig. 2 Relevant levels of Sm

区,使得 $\lambda_2$ 光到达作用区时, $\lambda_1$ 光已结束。图2给出了各步跃迁和有关的能级。

真空室内原子炉作用区和离子收集装置类似于文献[13],纯度为99.99%的Sm样品放在陶瓷制的原子炉中,炉温900°C左右。在相互作用区内原子密度为 $\sim 10^{10}/\text{cm}^3$ 。为了避免离子收集电场引起的Stark位移,两平行板电极之间的电压由一脉冲电压源提供,电压脉冲由Nd:YAG激光器输出的同步信号触发,在光脉冲结束后延迟1 $\mu\text{s}$ ,产生一脉宽40ms幅度70V的脉冲电压使离子进入电子倍增器,电子倍增器的输出信号用示波器监视,同时输入Boxcar平均器的A通道,在 $\lambda_2$ 波长扫描时,由X-Y记录仪 $y_1$ 笔描绘出Sm原子的光电离谱。

为了对 $\lambda_2$ 波长定标,实验采用Ne原子的光电流谱和标准具的干涉谱进行联合标定。具体是将 $\lambda_2$ 光经过一分束镜,利用其透射光照射一充Ne的空心阴极灯,并将空心阴极灯输出信号馈送到Boxcar平均器的B通道,在 $\lambda_2$ 波长扫描时,由X-Y记录仪的 $y_2$ 笔描绘出Ne原子的光电流谱;另外利用 $\lambda_2$ 通过作用区以后的光,照射F-P标准具,经光电二极管和另一Boxcar平均器,在 $\lambda_2$ 波长扫描时,由X-Y记录仪的 $y_3$ 笔记录下标准具的干涉谱,这样,由已知Ne的光电流谱可确定标准具的自由光谱范围和作为波长的绝对定标。

### 三、结果和讨论

图3是由X-Y记录仪记录的Sm原子在电离限附近的光电离谱图。图中最上面I.记录的是标准具的干涉谱;中间II.记录的是Ne原子的光电流谱,图中注出了光电流峰的波长值。III.是Sm原子的光电离谱,图中箭头指出Sm原子的电离限 $45519\text{ cm}^{-1}$ [14]。实验经多次测量,光电离谱重复性很好。

表1列出了实验测得的Sm原子在电离限附近的能级位置 $E$ 及由Sm $4f^6 6s^2 7s^2 7p^1$ 激发到高能级的激光波长 $\lambda_2$ 。表中给出的是多次测量的平均值。表1中峰号打“\*”的表示该

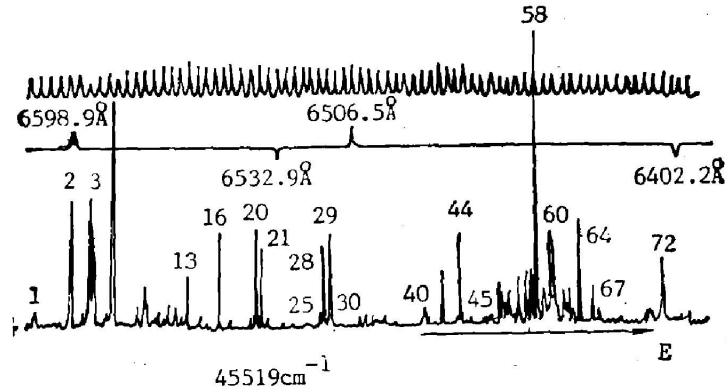


Fig. 3 Recording of the Photoionization spectra of Sm.

I) the Interference Spectra of F-P; II) the signal of the Optogalvanic Spectra of Ne atom;  
III. the photoionization Spectra of Sm.

Table 1 Measured values of  $E$ ,  $\nu_2$  of Sm near the ionization limit

Peak number	$\lambda_2(\text{Å})$	$E(\text{cm}^{-1})$	Peak number	$\lambda_2(\text{Å})$	$E(\text{cm}^{-1})$
1	6609.1±0.2	45321.8±0.4	37	6492.1±0.2	45594.6±0.3
2*	6598.2±0.1	45346.8±0.3	38	6481.3±0.3	45620.2±0.6
3*	6592.8±0.2	45359.2±0.4	39	6480.8±0.3	45621.5±0.6
4 <sup>c</sup>	6591.4±0.2	45362.5±0.5	40 <sup>a</sup>	6479.9±0.3	45623.4±0.7
5*	6585.7±0.1	45375.5±0.3	41	6474.7±0.2	45636.0±0.5
6	6577.6±0.2	45394.2±0.5	42	6469.6±0.2	45648.1±0.5
7	6574.9±0.3	45400.6±0.6	43	6469.0±0.2	45649.5±0.4
8	6571.0±0.3	45409.5±0.6	44*	6468.3±0.2	45651.1±0.5
9	6568.9±0.3	45414.4±0.6	45 <sup>a</sup>	6465.3±0.2	45658.4±0.5
10	6567.2±0.3	45418.4±0.7	46	6461.4±0.2	45667.6±0.4
11	6564.9±0.2	45423.6±0.3	47	6460.2±0.2	45670.6±0.4
12	6562.5±0.3	45429.3±0.6	48	6460.2±0.2	45670.6±0.4
13	6561.2±0.2	45432.3±0.4	49	6459.2±0.2	45673.0±0.5
14	6557.0±0.3	45442.0±0.5	50	6456.4±0.2	45679.6±0.5
15 <sup>a</sup>	6554.3±0.3	45448.3±0.7	51	6455.6±0.2	45681.6±0.4
16*	6550.2±0.3	45457.9±0.6	52	6454.3±0.2	45684.6±0.4
17 <sup>a</sup>	6547.4±0.3	45464.3±0.6	53	6452.9±0.2	45688.1±0.5
18	6546.5±0.3	45466.5±0.6	54	6451.0±0.2	45692.7±0.4
19	6540.2±0.2	45481.3±0.4	55	6449.9±0.2	45695.3±0.4
20*	6538.4±0.3	45485.5±0.6	56	6449.3±0.1	45696.8±0.3
21*	6536.4±0.2	45490.0±0.4	57	6447.6±0.3	45700.8±0.6
22	6534.6±0.3	$\lambda_2$ background peak	58*	6446.0±0.2	45704.6±0.3
23	6529.3±0.3	45506.7±0.5	59	6444.3±0.2	45708.8±0.5
24 <sup>a</sup>	6526.2±0.2	45514.0±0.4	60*	6441.5±0.2	45715.5±0.4
25	6520.5±0.3	45527.4±0.6	61	6439.5±0.2	45720.4±0.5
26	6516.8±0.3	45536.2±0.6	62	6437.9±0.2	45724.1±0.5
27	6515.7±0.3	45538.7±0.7	63	6435.1±0.3	45730.9±0.6
28*	6515.0±0.3	45540.3±0.6	64*	6433.4±0.3	$\lambda_2$ background peak
29*	6512.6±0.2	45546.0±0.5	65	6430.8±0.3	45741.3±0.6
30 <sup>a</sup>	6510.8±0.3	45550.2±0.6	66	6426.6±0.2	45751.5±0.5
31	6503.6±0.3	45567.3±0.6	67 <sup>a</sup>	6424.2±0.2	45757.2±0.5
32	6502.1±0.3	45570.8±0.6	68 <sup>a</sup>	6422.9±0.2	45760.5±0.4
33	6498.5±0.3	45579.3±0.6	69	6418.9±0.2	45770.2±0.4
34	6496.7±0.3	45583.7±0.6	70	6410.1±0.2	45791.5±0.4
35	6495.3±0.3	45587.0±0.6	71	6409.5±0.2	45793.1±0.5
36	6494.4±0.3	45589.0±0.6	72	6408.7±0.2	45795.0±0.5
				6405.5±0.2	45802.9±0.4

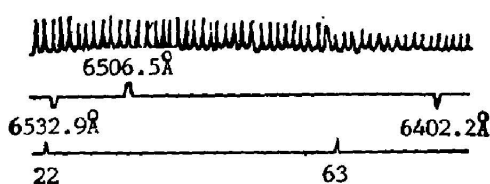


Fig. 4 Photoionization Spectra when blocking and scan

峰光电离信号较强, 反映这些能级的光激发或电离截面较大; 表中峰号处打“v”的表示该峰的光电离信号较弱, 这些能级上的光激发或电离截面较小。表中峰号  $\geq 25$  的为自由电离能级,  $< 25$  的为里德堡态能级。

由于  $\lambda_2$  波长扫描时, 可能由基态或热布居的低能级通过  $\lambda_2 + 2\lambda_2$ 、 $2\lambda_2 + \lambda_2$ 、 $2\lambda_2 + 2\lambda_2$ 、 $3\lambda_2$  等多光子过程产生电离信号, 实验中必须予以排除。为此, 除去  $\lambda_1$ , 单独使  $\lambda_1$  扫描, 得出图 4 光电离谱。由图 4 可定出表 1 中峰 22 和峰 64 是单独由  $\lambda_2$  光产生的谱线。由于 Sm 有多个价电子, 要确切地定出实验中测定的能级的电子组态和谱项, 还有待于进一步做实验和理论方面的工作。

### 参 考 文 献

- [1] W. Albertson; *Phys. Rev.*, 1935, **47**, No. 5 (Mar), 370~376.
- [2] W. Albertson; *Phys. Rev.*, 1937, **52**, No. 15 (Spe), 644~647.
- [3] G. Racah, V. Ganiel; *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, **56**, No. 7 (Jul), 893~895.
- [4] J. Blaise, C. Morillon *et al.*; *Spectrochim. Acta. Part B*, 1969, **24**, No. 8 (Aug), 405~445.
- [5] A. C. Parr, M. G. Inghram; *J. Opt. Soc. Am.*, 1975, **65**, No. 5 (Mag), 613~614.
- [6] V. E. Dobryshin, N. A. Karpov *et al.*; *Opt. Spectrosc. (USSR)*, 1983, **54**, No. 3 (Mar.), 244~247.
- [7] J. Reader, J. Sugar; *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, **56**, No. 9 (Sep), 1189~1194.
- [8] E. F. Worden, R. W. Solarz *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1978, **68**, No. 1 (Jan), 52~61.
- [9] P. Hannaford, R. M. Lowe; *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 1985, **18**, No. 12 (Jun), 2365~2370.
- [10] V. N. Gorshkov, V. A. Komarovskii *et al.*; *Opt. Spectrosc. (USSR)*, **59**, No. 2 (Aug), 268~269.
- [11] N. V. Karlov, B. B. Krynetskii *et al.*; *Applied Optics*, 1987, **17**, No. 6 (Mar), 856~862.
- [12] W. C. Martin, Romuald Zalubas *et al.*; *Atomic Energy Levels of the Rare-Earth Elements*, (N. B. S., Washington, 1978), 162~179.
- [13] 陆杰, 胡素芬等; *物理学报*, 1985, **34**, No. 12 (Dec), 1567~1572.

## Photoionization spectra of samarium near the ionization limit

HU SUFEN, ZHANG SEN, QIU JIZHEN, LIANG YI, WANG GANG AND CHEN XING  
(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou)

(Received 17 August 1987; revised 30 November 1987)

### Abstract

Photoionization spectra of the Sm atom near the ionization limit have been studied using stepwise laser excitation and ionization methods with two pulsed tunable dye lasers. More than seventy energy levels of Sm have been measured which were located in the  $45321.8 \sim 45802.9 \text{ cm}^{-1}$  energy interval.

Key words: samarium; two steps exatation; photoionization