

双色三光子共振电离测量钐原子高 激发态 $4f^66s7S$ 新能级

金昌泰 王成飞 梁秀清 李玉福 周大凡

(中国科学院长春应用化学研究所, 130022)

安玉贤 王继少

(东北师范大学物理系, 长春)

提要: 本文报道用双色三光子共振电离法测量钐原子高激发态 78 个新能级。这些新测定的偶宇称能级属于 $4f^66s7S$ 电子构型, 位于 $33477 \sim 37758 \text{ cm}^{-1}$ 能量范围。

关键词: 共振电离, 钐原子, 高激发态

Measurement of new high-lying levels of $4f^66s7S$ in samarium atom by two color three-photon resonant ionization

Jin Changtai, Wang Chengfei, Liang Xiuqing, Li Yufu, Zhou Dafan

(Changchun Institute of Applied Chemistry, Academia Sinica)

An Yuxian, Wang Jishao

(Department of Physics, Northeast Normal University, Changchun, Changchun)

Abstract: The paper reports the measurement of 78 high-lying levels in samarium atoms by two-colour three-photon resonant ionization. These newly measured levels of even parity belong to $4f^66s7S$ configuration and located in the energy range between 33477 and 37758 cm^{-1} .

Key words: resonant ionization, samarium atom, high lying levels

关于钐原子光谱, 自 Albertson 开始研究以来^[1], 经过许多光谱学家的努力, 对于低于 32000 cm^{-1} 的能级结构已研究得颇为详细, 所得数据已收集成册^[2]。虽然 Parr 等人以及 Dobryshin 等人对钐原子自电离态光谱仅作过一些研究^[3,4], 但有关钐原子高激发态光谱, 人们却所知甚少, 特别是从 32000 cm^{-1} 至电离限 ($45518 \pm 8 \text{ cm}^{-1}$) 的能量区间还无人研究过。

本工作在原子束装置内, 采用了可调谐染料激光多步激发、电离、记录钐原子共振电离谱的方法, 测定了钐原子高激发态能级, 并将它们归属于 $4f^66s7S$ 电子构型。

一、实验部分

本文采用的总体实验装置如图 1 所示。本工作中，我们采用的激光染料为若丹明 B。染料激光的线宽为 0.5 cm^{-1} ，脉冲宽度为 $6 \sim 7 \text{ ns}$ ，重复频率为 10 pps ，脉冲能量为 $0.1 \sim 10 \text{ mJ}$ ，垂直偏振方向。DL-1 和 DL-2 两束激光经过透镜 L_1 ($f=25 \text{ cm}$) 聚焦并在空间相互重叠，与钐原子蒸气垂直交叉作用，两束染料激光的偏振方向保持平行。为使 DL-1 与 DL-2 之间相互延迟 $10 \sim 20 \text{ ns}$ ，在 DL-2 光束中引入光学延迟线 OD。为了标定扫描激光 DL-2 的波长，将透射原子束装置的部分 DL-2 光经透镜 L_2 ($f=18 \text{ cm}$) 聚焦于 Ne 空心阴极灯 HCL 的阴极上。得到的光电流信号送入 Boxcar/示波器接收系统，并由双笔 x - y 记录仪的一个通道记录。

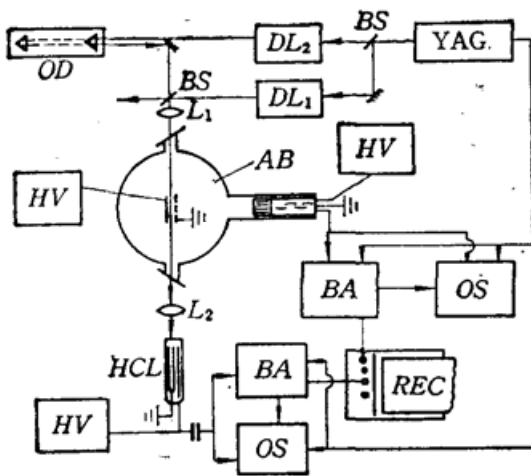


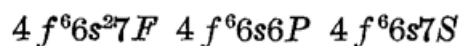
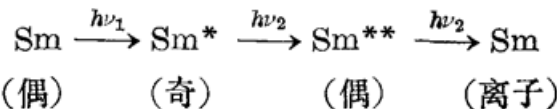
Fig. 1. Experimental setup for two colour three-photon resonant ionization of samarium

YAG—Frequency doubled YAG laser;
DL₁, DL₂—Pulsed dye laser; OD—
Optical delay line; BS—Beam splitters;
L₁, L₂—Lenses; AB—Atomic beam
apparatus; HV—High voltage dc power
supply; HCL—Neon hollow cathode
lamp; BA—Boxcar integrator; OS—
Oscilloscope; REC—Two pen recorder

本工作中采用的原子束装置与我们以前用的大致相同^[5]，只是加装了离子偏转和探测系统。在原子束装置 AB 的中心位置安装了金属板和金属网，在金属板上加 2000V 电压，金属网处于零电位，两者之间是钐原子与激光作用区。我们把金属钐置于钼坩埚中，用钼丝线圈进行电加热。在激光作用区内，钐原子蒸气的密度为 $10^8 \sim 10^9$ 原子/cm³。由于钐原子的第一电离能为 $45518 \pm 8 \text{ cm}^{-1}$ ，只有连续吸收三个可见波长的光子才能够电离。当一束可见激光与之作用时，钐原子可连续吸收三个光子而电离，但在通常条件下，非共振电离截面不大；只有当激光波长与钐原子能级产生共振时，由于吸收截面的显著增大，光电离信号突然增加，因此随着染料激光 (DL-1) 波长连续扫描，可以记录到与钐原子跃迁波长相对应的共振电离峰，从而得到单色三光子共振电离光谱。在双色三光子共振电离时，首先将第一束激光调到某一钐原子跃迁波长上，并用中性衰减片(光学玻璃上镀铝)减光，直至示波器上几乎观察不到单色三光子电离信号为止，此时 DL-1 的能量约为 0.1 mJ 或更低。然后 DL-2 激光

进行扫描，当 DL-2 的波长 λ_2 与待测高激发态能级发生共振时，可记录到双色三光子共振电离峰。双色三光子共振电离峰强度与电离截面有关，电离截面大者相对强。DL-2 的能量大约 $1 \sim 3 \text{ mJ}$ 。如果跃迁的起始态已知，根据跃迁波长可计算出上能级的位置。

钐原子双色三光子共振电离过程为



处于基态 $4f^6s^27F$ 的钐原子首先吸收 DL-1 激光的光子 $h\nu_1$ ，达到“第一激发态” Sm^* ，当第二束扫描激光 DL-2 的波长正好与激发态钐原子共振时， Sm^* 跃迁至 Sm^{**} ；显然 Sm^{**} 仍可

以从扫描激光中再吸收第二个光子 $h\nu_2$ 而达到电离。为了保证这一过程, 第二束激光脉冲相对第一束激光脉冲延迟 $10\sim 20\text{ns}$, 到达作用区。

本实验中, 钐坩埚的温度保持在 710°C 左右, 在此温度下, 钐原子的热布居主要是在较低的七个能级 F_7-F_6 , 我们选择了这些能级作为第一步跃迁的起始态。跃迁波长 λ_1 在 580.284 nm 至 600.418 nm 之间。从每一个激发态 Sm 得到数量不同的双色三光子共振电离峰和对应的新能级。所有这些双色三光子共振电离实验的跃迁路线均列于表 1 中。

Table 1 Transition routes for two colour three-photon resonant ionization of samarium.

Experimental transition route code	First step transition wavelength (nm)	Initial levels		First excited level		Number of two colour three-photon ionization peaks	Energy range of measured high excited levels (cm^{-1})
		Energy (cm^{-1})	J	Energy (cm^{-1})	J		
A	580.284	2273.09	4	19501.27	3	27	35757~36417
B	582.261	292.58	1	17462.37	2	10	33718~34378
	600.418	811.92	2		2		
	586.861	4020.66	6		6		
D	587.106	3125.46	5	20153.47	5	2	36380~36964
E	587.421	811.92	2	17830.80	3	16	34086~34746
F	588.368	2273.09	4	19264.63	5	5	35520~36180
G	590.605	1489.55	3	18416.62	2	2	34643~35227
H	591.636	292.58	1	17190.20	2	14	33445~34106
I	598.970	0.00	0	16690.76	1	2	32946~33606

二、结果与讨论

在记录钐原子双色三光子共振电离谱之前, 我们首先记录了钐原子单色三光子共振电离谱。即将 DL-1 激光遮挡, 不使其进入原子束装置, 仅扫描激光与钐原子作用, 图 2 为我们记录的钐原子单色三光子共振电离谱。由于跃迁机理比较复杂, 加之钐原子基态的热布居(起始态不确定), 使单色三光子共振电离峰的归属难以确定。此处我们记录单色三光子共振电离峰的目的在于分析双色三光子共振电离谱图, 因为在后者中有时会记录到前者(单色三光子电离峰)。图 3 为本工作记录到的 10 个钐原子双色三光子共振电离谱图之一。其第一步跃迁波长 λ_1 为 587.42 nm , 第二步扫描激光的波长范围为 $591\sim 615\text{ nm}$ 。与图 2 相同, 上半部为 Ne 空心阴极灯的光电流谱图, 下半部为钐原子双色三光子共振电离谱图, 谱线强度均为相对值。由于是用一个双笔 $x-y$ 记录仪记录上下两个谱图, 在横坐标方向必然存在一个位移(两个记录笔的间隔), 因此在记录共振电离峰的波长时, 必须引入与此位移对应的校正值。图中打 \times 记号的为钐原子单色三光子共振电离峰, 在计算能级时必须除掉这些峰, 但是它们可方便地作为波长自定标使用。在双色三光子电离谱中首先除掉单色三光子峰(根据单色三光子谱), 余下的双色三光子共振电离峰还需经过逐个检验。由于双色峰的出现必须有两束激光同时存在, 我们分别遮挡任一束激光同时观察电离信号是否消失(当遮挡任一束光时消失者为双色共振电离

Table 2. New measured high-lying even levels of $4f^6s^7S$ in samarium

Energy (cm ⁻¹)	Transition route	<i>J</i>	Energy (cm ⁻¹)	Transition route	<i>J</i>
33477.80	I	0.1.2	35046.50	G	1.2.3
33503.20	I	0.1.2	35087.16	G	1.2.3
33585.75	H	1.2.3	35705.94	F	4.5.6
33588.52	H	1.2.3	35716.66	F	4.5.6
33608.45	H	1.2.3	35747.45	A	2.3.2
33628.24	H	1.2.3	35763.50	A	2.3.4
33646.20	H	1.2.3	35774.72	F	4.5.6
33739.60	H	1.2.3	35839.42	A	2.3.4
33833.65	H	1.2.3	35847.30	A	2.3.4
33850.90	H	1.2.3	35873.70	A	2.3.4
33893.52	H	1.2.3	35878.95	F	4.5.6
33954.08	B	1.2.3	35880.50	A	2.3.4
33956.94	H	1.2.3	35905.42	F	4.5.6
33997.64	B	1.2.3	35922.90	A	2.3.4
33998.20	H	1.2.3	35933.18	A	2.3.4
34041.18	B	1.2.3	35956.30	A	2.3.4
34042.52	H	1.2.3	36004.11	A	2.3.4
34068.99	B	1.2.3	36008.03	A	2.3.4
34105.70	B.H	1.2.3	36047.46	A	2.3.4
34137.57	H	1.2.3	36059.10	A	2.3.4
34150.50	B.E	2.3	36091.70	A	2.3.4
34162.17	B	1.2.3	36133.20	A	2.3.4
34185.36	B.E	1.2.3	36136.02	A	2.3.4
34211.10	E	2.3.4	36161.03	A	2.3.4
34223.71	B	1.2.3	36201.40	A	2.3.4
34273.94	B	1.2.3	36239.80	A	2.3.4
34283.20	E	2.3.4	36249.02	A	2.3.4
34311.20	E	2.3.4	36258.46	A	2.3.4
34340.29	E	2.3.4	36270.43	A	2.3.4
34345.30	E	2.3.4	36290.09	A	2.3.4
34420.26	E	2.3.4	36303.63	A	2.3.4
34438.32	E	2.3.4	36324.60	A	2.3.4
34532.10	E	2.3.4	36391.80	A	2.3.4
34557.27	E	2.3.4	36409.70	A	2.3.4
34573.50	E	2.3.4	36575.34	D	4.5.6
34592.00	E	2.3.4	36664.82	D	4.5.6
34644.32	E	2.3.4	37668.01	C	5.6.7
34662.55	E	2.3.4	37713.43	C	5.6.7
34671.76	E	2.3.4	37758.07	C	5.6.7

信号), 进一步检查了对应于每一共振波长的双色共振电离峰及其相应的能级。本实验中, 对于每一条跃迁路线, 至少经过三次以上的重复, 这样测得的能级精度为 $\pm 0.05 \text{ cm}^{-1}$ 。根据这些共振电离谱图得到了钐原子 $4f^6s7S$ 构型的 78 个偶宇称能级, 结果列于表 2 中。

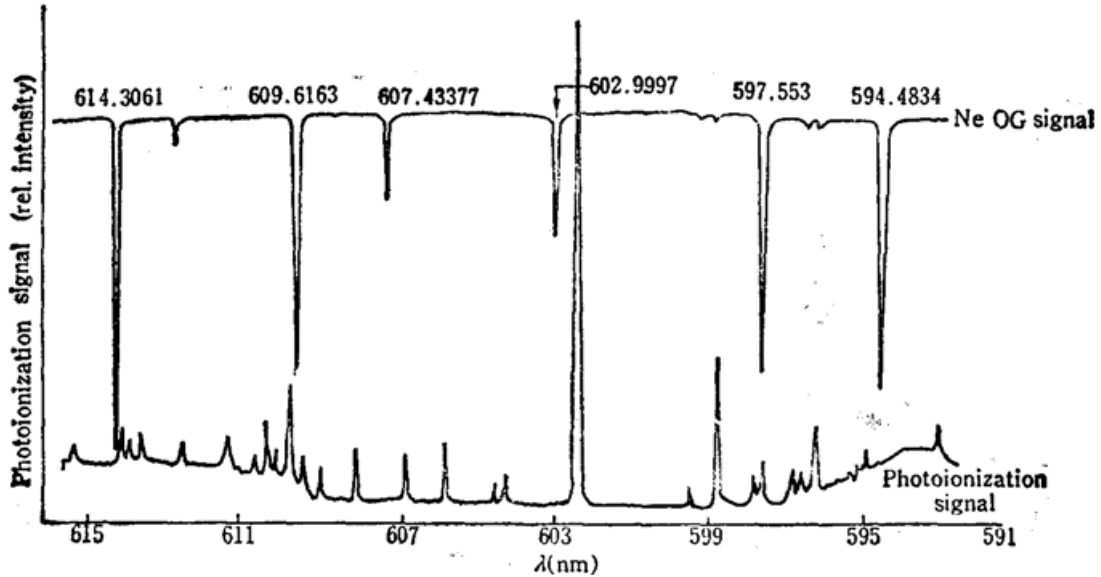


Fig. 2 Single colour three-photon resonant ionization spectrum of samarium
Scanning range of dye laser (DL_2): $\lambda = 591 \sim 615 \text{ nm}$

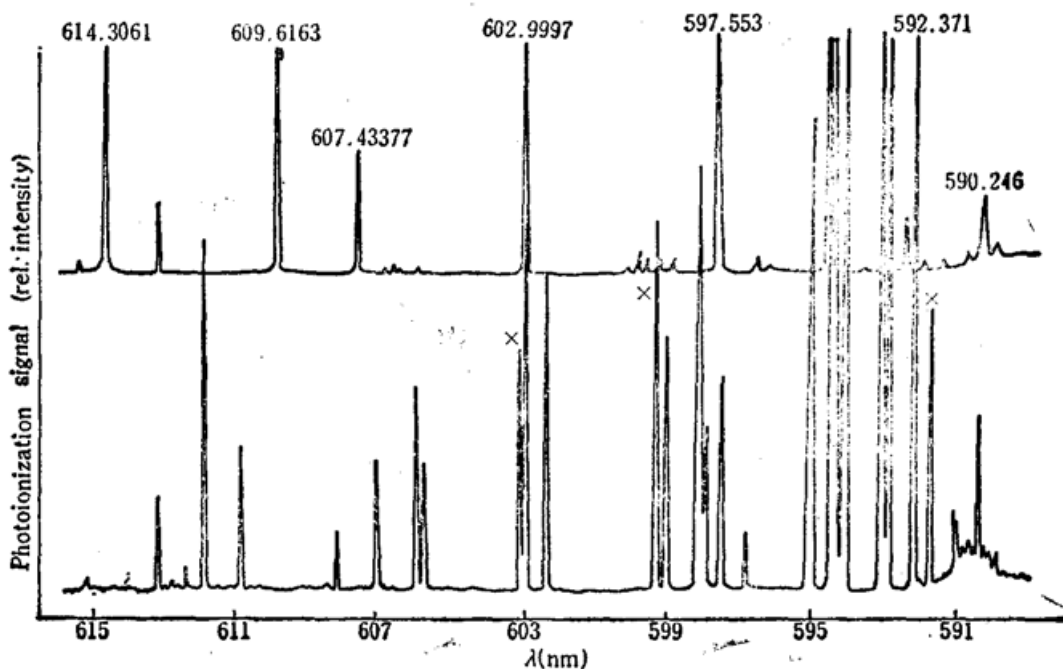


Fig. 3 Two colour three-photon resonant ionization spectrum of samarium
Transition wavelength for the first step: $\lambda_1 = 587.42 \text{ nm}$. Scanning range for the second step: $\lambda_2 = 591 \sim 615 \text{ nm}$. x—Single colour three-photon resonant ionization peaks

参 考 文 献

- 1 W. Albertson, *Phys. Rev.*, **47**, 370 (1935)
- 2 W. L. Martin, R. Zalubas *et al.*, Atomic Energy Levels. The Rare-Earth Elements, NSRDS-NBS 60 (1978)
- 3 A. C. Parr, M. G. Ingharam, *J. Opt. Soc. Am.*, **65**, 613 (1975)
- 4 V. E. Dobryshin *et al.*, *Opt. Spectrosc.*, **54** (3), 244 (1983)
- 5 周大凡 *et al.*, 科学通报, **33** (9), 667 (1988)