

Sm 原子的偶宇称高激发态的光谱研究*

赵艳红 戴长建[†] 野仕伟

(显示材料与光电器件教育部重点实验室, 天津 300384)

(天津理工大学理学院, 天津 300384)

(2011 年 1 月 8 日收到; 2011 年 3 月 31 日收到修改稿)

采用双色三步激发和光电离过程, 对 Sm 原子的偶宇称高激发态的光谱进行了研究. 先采用两条激发路线分别将 Sm 原子两步共振激发至待测的高激发态, 然后利用光电离技术对其进行探测. 分别将第一束激光的波长固定在 627.50 nm 和 624.41 nm 上, 以便将 Sm 原子从亚稳态共振激发到由 $4f^6 6s 6p$ 电子组态所构成的两个原子状态上. 第二束激光在 440—700 nm 的波段范围内扫描, 不仅使 Sm 原子在 $30040—38065 \text{ cm}^{-1}$ 能域内的偶宇称高激发态上布居, 也将其进一步光电离, 测量了其光谱. 通过光谱定标和选择定则等分析手段, 不仅精确获得了 136 个态的能级位置, 而且也唯一确定了其总角动量, 并且给出了相关跃迁的相对谱线强度.

关键词: Sm 原子光谱, 偶宇称高激发态, 两步共振激发, 光电离探测

PACS: 32.80.Fb, 32.30.Jc, 32.70.Fw

1 引言

原子高激发态的研究不仅对天体物理学, 等离子体物理, 原子物理学的发展具有重要意义, 而且在许多领域都有重要应用价值, 如: 新型激光机理的探索, 激光分离同位素等^[1,2]. 近年来, 随着激光光谱技术的进步, 对原子高激发态的光谱研究已取得很大进展^[3-6]. 激光分步激发和共振电离技术^[7]克服了传统光谱技术的困难, 不但可以将处于基态或亚稳态的原子按设定的激发路线共振激发到具有确定宇称的高激发态上, 而且可采用直接光电离、自电离或场电离等技术探测这些原子. 由于采用高增益、快响应的 MCP 粒子探测器收集电离产物, 从而避免了对原子的吸收、发射和荧光光谱等传统探测技术的困难. 上述优势显著推动了原子高激发态的研究, 并已在碱土原子的高激发态研究领域取得了许多成果^[8-13].

由于稀土元素的优异性能和广泛用途, 其原子高激发态的光谱研究已逐渐成为热点. 比如: 对结构类似于碱土原子的 Yb 原子的研究已经

较多^[14,15]. 这主要因为其基态为 $4f^{14} 6s^2 \ ^1S_0$, 具有填满的 4f 子壳层, 因而其光谱相对简单. 相比之下, Sm 原子的光谱非常复杂. 首先, 在其基态 $4f^6 6s^2 \ ^7F_0$ 上方存在着由精细结构所产生的 6 个亚稳态 $4f^6 6s^2 \ ^7F_J$, 其中 $J = 1-6$. 当制备 Sm 原子样品时, 高温将使原子在上述亚稳态上产生热布居. 原子布居数的分散将使对应某一给定跃迁初态的信号大幅减弱. 其次, 除了外层的 $6s^2$ 电子, 未填满的 4f 子壳层上的电子也相当活泼^[16], 从而导致 Sm 原子的光谱非常复杂^[17].

迄今为止, 对 Sm 原子偶宇称高激发态的研究主要集中在高于 36000 cm^{-1} 的能域^[18-22], 而对低于该能域的研究只有少量报道^[23-26]. 针对上述研究现状并考虑到 Sm 原子的光谱异常复杂性, 本文采用了与前人不同的激发路线, 利用双色三步激发和光电离探测技术, 测定了 $30040—38065 \text{ cm}^{-1}$ 能域内的 Sm 原子的偶宇称高激发态. 通过精密的光谱定标和偶极跃迁的选择定则等分析手段, 不仅精确地获得了这些态的能级位置和相对谱线强度, 而且也提供了其总角动量等方面的信息. 本文不但

* 国家自然科学基金 (批准号: 10574098, 10674102) 和天津市自然科学基金 (批准号: 05YFJMJC05200) 资助的课题.

[†] E-mail: daicj@126.com

验证了一批采用不同实验方法所获得的能级位置,而且还报道了一些未见报道的实验光谱数据,进一步丰富了 Sm 原子的光谱信息.

2 实验原理与装置

2.1 实验原理

本实验采用两台染料激光器,共振激发 Sm 原子使其处于高激发态,然后利用光电离技术获得其光谱和相关实验数据.利用一台 Nd:YAG 固体脉冲激光器的二倍频光(波长为 532 nm)或三倍频光(波长为 355 nm)同时抽运两台染料激光器.其中,将一台染料激光器的输出波长分别固定在不同的 λ_1 值,以便使 Sm 原子从给定亚稳态跃迁到中间态,而扫描另一台染料激光器的波长 λ_2 使 Sm 原子在不同的偶宇称高激发态上布居.随后, λ_2 又将处于这些态上的原子进一步激发至连续态.通过第三步跃迁的光电离过程,便可实现对上述高激发态的原子的探测.在激光脉冲之后约 500 ns 施加脉冲电场,以使用微通道板(MCP)粒子探测器对其进行收集和放大,其输出信号分别传给数字示波器进行监控和 BOXCAR 进行积分平均,信号经过模数转换后传输给计算机进行储存和分析.为了减小 Doppler 展宽效应,我们先通过控温加热系统制备 Sm 金属的蒸气,再通过准直形成原子束,然后让两束激光共线射入真空室,并与原子束正交.为了

确保激发过程按照既定的跃迁顺序进行,并消除意外的跃迁过程,必须对上述两束激光的脉冲进行时间延迟.因为所用的激光的脉冲宽度为 5—8 ns,所以在本实验中该延迟时间控制为 8 ns.

关于激发路径的设计和选择,需要考虑三方面的因素:1)通过 2—3 光子将原子有效地光电离,并在给定能域内探测到许多给定宇称的原子态;2)通过每一步跃迁的选择定则,筛选出对应的可能跃迁终态;3)对比用不同激发路径所探测到的光电离光谱,不仅得到所测原子态的能级位置,而且唯一确定其总角动量 J .据此,本实验设计了两种不同的激发路径,即路径 I 和 II.如上节所述,由于热布居效应,Sm 原子不仅可以在其基态上,而且还有较大的比例处于各亚稳态上.因此,本实验选择了两个不同的亚稳态作为跃迁初态,利用不同的波长 λ_1 分别将处于上述初态上的原子激发到两种不同的中间态,再通过扫描 λ_2 值激发并探测具有不同 J 值的偶宇称高激发态.总之,本实验所用的激发路径为

$$\begin{aligned} \text{I. } & 4f^6 6s^2 {}^7F_2 \xrightarrow{\lambda_1=627.50\text{nm}} 4f^6 6s 6p^7 G_3 \xrightarrow{\lambda_2} E_J \\ & (J = 2, 3, 4) \xrightarrow{\lambda_2} \text{Sm}^+, \\ \text{II. } & 4f^6 6s^2 {}^7F_3 \xrightarrow{\lambda_1=624.41\text{nm}} 4f^6 6s 6p^7 G_4 \xrightarrow{\lambda_2} E_J \\ & (J = 3, 4, 5) \xrightarrow{\lambda_2} \text{Sm}^+. \end{aligned}$$

其中,激发路径 I 如图 1(a) 所示.由于激发路径 II 与其类似,只是其跃迁初态和中间态都不同,所以图 1 并未展示其原理图.

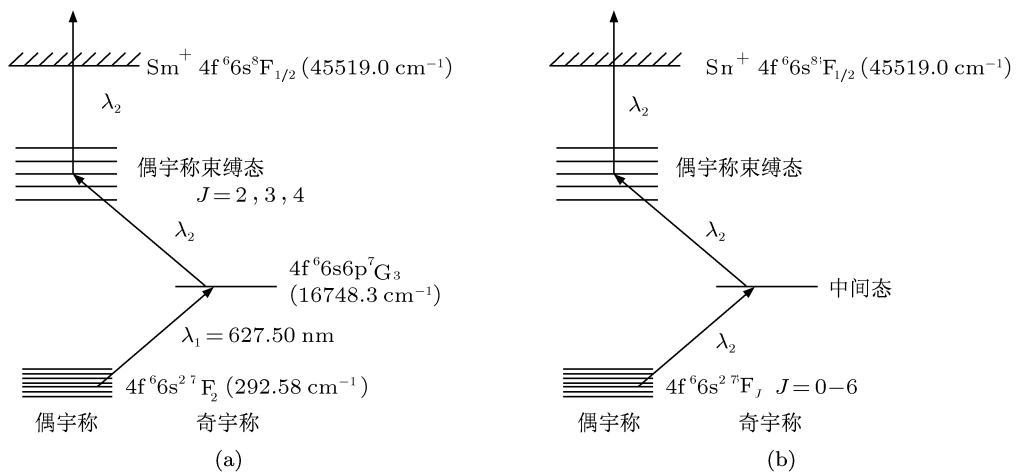


图 1 Sm 原子的激发路径和探测原理的示意图 (a) 表示用三步双色共振激发和探测的原理图; (b) 表示 Sm 原子可接连吸收三个 λ_2 光子实现光电离

值得注意的是, 由于 Sm 原子分散在七个初态上, 而且在第一电离阈之下的能态密度很高, 所以当单独扫描 λ_2 时, 也会产生由三步单色激发过程所导致的光电离信号 [26]. 图 1(b) 展示了通过三步单色激发过程 (即: 接连吸收三个 λ_2 光子) 使 Sm 原子光电离的原理图.

考虑到在光电离光谱中不但会出现按照上述两个激发路径的光电离信号, 同时也会出现一些上述并不依赖于 λ_1 的意外光电离信号, 所以, 实验中需要将这些意外的信号从光电离光谱中甄别并排除. 具体措施是: 在两个激发路径 I 和 II 中, 分别挡住 λ_1 , 只让 λ_2 单独扫描, 按照如图 1(b) 所示的激发路径, 获得原子通过 $\lambda_2 + \lambda_2 + \lambda_2$ 激发过程所产生的光谱. 然后, 将其与如图 1(a) 所示的由 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_2$ 过程所获得的光谱进行对比, 便可甄别并剔除这些意外的跃迁信号.

由图 1(a) 可见, 先将 λ_1 固定在 627.50 nm, 使 Sm 原子从亚稳态 $4f^6 6s^2 \ ^7F_2$ 共振跃迁到中间态 $4f^6 6s 6p \ ^7G_3$, 再扫描 λ_2 使其在偶宇称高激发态 ($J = 2, 3, 4$) 上布居. 随后, 处于这些态上的原子又吸收一个 λ_2 光子到达连续态从而实现光电离. 可见, 第三步跃迁实现了对处于偶宇称高激

发态的原子的探测. 若以 E 代表其能级位置, 则应有 $E = \sum E_i$, 其中 $E_i (i = 0, 1, 2)$ 别表示跃迁初态的能量和二台激光的光子能量. 当采用激发路径 I 时, 其跃迁初态为亚稳态 $4f^6 6s^2 \ ^7F_2$, 所以 $E_0 = 292.58 \text{ cm}^{-1}$, 而 $E_i = 1/\lambda_i (\text{cm}^{-1})$, 其中, $i = 1, 2$. 此时, $\lambda_1 = 627.50 \text{ nm}$, 而 λ_2 则在指定的波段内扫描.

同理, 若采用激发路径 II, 则 E_0 为 1489.6 cm^{-1} , 选择 $\lambda_1 = 624.41 \text{ nm}$, 则可将原子激发到 $4f^6 6s 6p \ ^7G_4 (17504.6 \text{ cm}^{-1})$ 的中间态. 随后, 在指定的波段内扫描 λ_2 , 便可激发并探测到对应的偶宇称高激发态.

2.2 实验装置

本实验装置由三部分组成: 激光系统、原子束制备系统、信号采集与分析系统, 如图 2 所示. 激光系统包括一台 Quanta System 公司生产的 Nd:YAG 固体激光器和两台波长可调谐的染料激光器. 该固体激光器的激光脉冲宽度为 5—8 ns, 重复频率为 20 Hz. 将其基频光倍频、和频后便可产生波长为 532 nm 的绿光和 355 nm 的紫外光, 分别用于泵浦两台染料激光器, 其激光线宽约为 0.1 cm^{-1} .

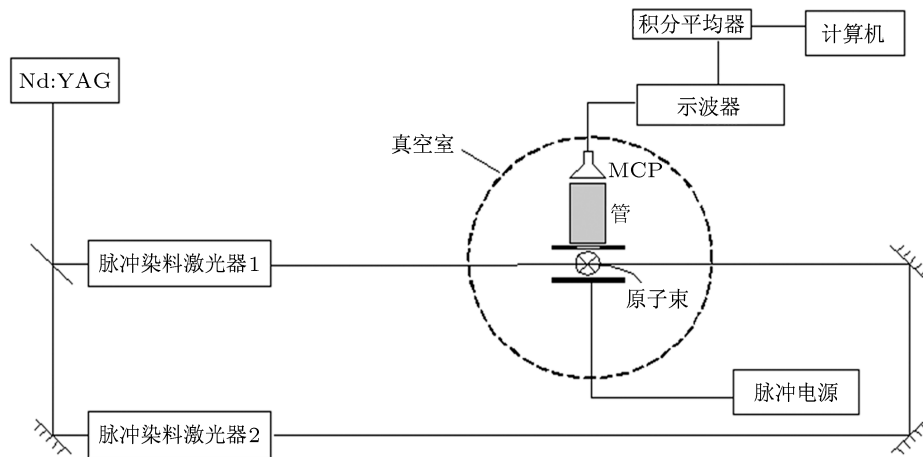


图 2 实验装置的示意图. 装置由激光系统、原子束制备系统和信号采集系统三部分组成

在图 2 中, 虚线内的部分都处于 10^{-4} Pa 的真空环境中. 利用直流电源加热装有高纯度的 Sm 金属的原子炉, 并利用铂 - 铑热电偶与温度控制仪监控其温度, 典型的实验温度为 800 K. 此时, 光子与原子作用区内的 Sm 原子数密度为 10^8 原子/cm^3 , 基态和亚稳态上热布居的比例为 21.03% ($\ ^7F_0$),

37.83% ($\ ^7F_1$), 25.45% ($\ ^7F_2$), 10.98% ($\ ^7F_3$), 5.55% ($\ ^7F_4$), 0.99% ($\ ^7F_5$), 0.25% ($\ ^7F_6$). 利用准直系统产生 Sm 原子束, 并使其在作用区与激光束方向正交, 从而减少谱线的 Doppler 展宽效应. 在光脉冲之后的 500 ns 时, 在作用区的极板上施加一个强度为 50 V/cm 的脉冲电场收集 Sm 离子, 以避免 Stark

效应. 脉冲电离信号由高增益(可达 10^8)、快响应的 MCP 粒子探测器放大后接入示波器进行同步监测. 信号经过 Boxcar 门积分器的取样平均和积分而转化为直流信号, 再经模/数转换后传输给计算机储存. 利用 Acquire 数据采集和分析系统即可对所获得的光谱信息进行实时显示, 也可采集和存储以便后续的分析 and 处理.

在实验中, 先利用多个空心阴极灯的光电流光谱对染料激光的各个波段进行了绝对定标, 然后再采用确定参数的 F-P 标准具对染料激光的扫描系统进行了相对定标, 以便消除其扫描过程中的非线性影响, 进而减少了测量过程中的系统误差. 同时, 为了减小测量过程中的随机误差, 我们对每一光谱都进行了多次测量, 然后取其平均值作为最终的实验结果. 经过对所有实验结果的误差分析和估算, 本实验的能量不确定度约为 0.2 cm^{-1} .

3 结果与分析

本实验采用上述两条激发路径系统地研究了 Sm 原子的偶宇称高激发态. 它们可分为两类: 1) 其能级位置与文献结果相一致, 但本文增加了一

些光谱信息, 如不仅唯一确定了其 J 值还确定了其跃迁的相对谱线强度等; 2) 不仅其能级数据未见报道, 本文还给出了一些附加光谱信息. 所以, 在本节中我们不但将展示本工作的实验结果, 而且还将其物理特性展开讨论.

当采用激发路径 I 时, 在 $30040\text{--}38065 \text{ cm}^{-1}$ 能域内共探测到了 156 个原子态. 若采用激发路径 II, 则能探测到 138 个原子态. 利用前节所介绍的方法, 便可得到这些态的能级位置.

本文不但测量了所探测态的能级位置, 而且还唯一地确定了其总角动量 J . 因为采用两种不同激发路径对同一能域进行探测时所得到的光谱是不同的, 所以通过对比两幅光谱便可确定给定跃迁的终态 J 值. 具体而言, 由偶极跃迁的选择定则可知: 通过路径 I 所探测到的态, 其 $J = 2, 3$, 或 4 , 通过路径 II 所探测到的态, 其 $J = 3, 4$, 或 5 . 当对比采用路径 I 和路径 II 所测的光谱时, 若某个跃迁只在前者有, 而在后者中消失, 则其终态总角动量为 $J = 2$; 若情况相反, 则其终态总角动量为 $J = 5$. 图 3 给出了采用上述两种激发路径所获得的光谱. 通过对比, 便可唯一地确定了给定跃迁的终态的总角动量, 即分别为 $J = 2$ 和 $J = 5$.

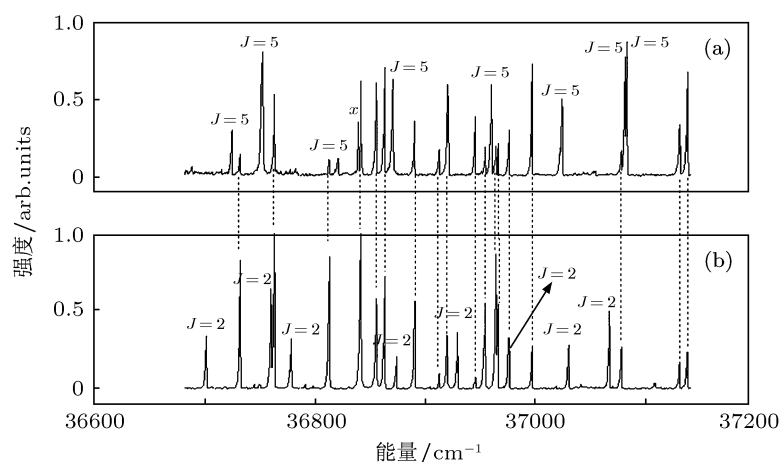


图 3 采用两种激发路径所获得的光谱 (a) 采用激发路径 I; (b) 采用激发路径 II. 通过对比两个光谱, 可唯一确定所测态的总角动量

图 3 展示了在同一能域内分别采用两条激发路径进行精细扫描的结果. 在 $36600\text{--}37200 \text{ cm}^{-1}$ 能域内分别探测到了许多偶宇称高激发态, 对应的跃迁谱线用任意单位表示, 并对其相对强度进行了归一化处理. 通过对比上述两个光谱, 便可唯一确定给定原子态的 J 值. 例如: 图 3 中最左端的跃迁

谱线, 当采用路径 I 时可探测到, 而采用路径 II 时便消失. 所以, 可唯一确定该跃迁的终态总角动量为 $J = 2$. 图中标有“x”的跃迁谱线是由三步单色共振激发所产生的意外跃迁所致, 即处于基态或亚稳态上的原子接连吸收了三个 $\lambda_2 = 547.75 \text{ nm}$ 光子所产生的光电离信号. 本实验共发现了 9 类

似的跃迁, 分别对应于 $\lambda_2 = 509.98, 517.69, 520.27, 547.75, 556.31, 559.28, 556.36, 576.51$ 和 520.27 nm . 由于它们来自于 $\lambda_2 + \lambda_2 + \lambda_2$ 过程, 而非所期望的 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_2$ 过程, 并且混杂于所测量的光电离光谱中, 所以会干扰我们的视线和判断. 因此, 本文采取了上节所述的甄别方法, 排除了这些态的干扰.

需要说明的是, 由于热布居使 Sm 原子分散在七个初态上 (包括基态和亚稳态), 所以要确定某个 $\lambda_2 + \lambda_2 + \lambda_2$ 过程的初态并非易事. 为解决这一问题, 通常先假定所有初态上的 Sm 原子都可被 λ_2 共振激发, 然后按照 $E = E_0 + E_2$ 计算出光电离信号所对应的中间态的能级位置, 然后将七个能量值与文献 [25] 进行对比, 若其中之一与文献中的某个能级相一致, 则可反推出其对应的跃迁初态. 例如, 当 $\lambda_2 = 559.28$ 和 517.69 nm 时, 对应的 $\lambda_2 + \lambda_2 + \lambda_2$ 过程的跃迁初态分别为 $4f^6 6s^2 \ ^7F_4$ 和 $4f^6 6s^2 \ ^7F_6$.

通过对所有测量的光谱进行了系统分析, 本文不仅确定了 136 个偶宇称高激发态的能级位置 and 对应跃迁的相对谱线强度, 而且还唯一确定了其总角动量 J 值. 关于不同跃迁的相对谱线强度, 先对所有谱线的强度进行归一化处理, 再按照其强弱划分为三个档次: 即用 W, M 和 S 分别代表强度为 $0-0.3, 0.3-0.6$ 和 $0.6-1.0$ 这三个强度范围.

表 1 给出了对 71 个具有偶宇称的 Sm 原子的原子态的研究结果, 其能级位置证实了文献 [18—24] 中采用不同方法的测量值. 但是, 本文又增加了一些新的光谱信息. 例如: 文献中并未唯一确定这些态的 J 值, 也未给出其相对的谱线强度.

由表 1 的结果可见: 属于已知能级位置的偶宇称高激发态多数都是 $J = 2$, 只有一个是 $J = 5$. 其原因是: Sm 原子在 $4f^6 6s^2 \ ^7F_J$ ($J = 0, 1, 2$) 上的热布居较大, 文献都选择它们为跃迁初态, 因而导致 $J = 5$ 偶宇称态的研究很少.

如前所述, 本文不但验证一批已发表的态的能级位置并增加了一些相关的光谱信息, 而且还探测到 65 个未见报道的原子态. 其光谱信息, 如: 能级位置和跃迁的相对谱线强度, 将按照 J 值分类, 如表 2 和表 3 所示.

表 2 展示了 19 个未见报道的 Sm 原子的 $J = 2$ 的偶宇称高激发态. 本文不仅确定了其能级位置 and 对应跃迁的相对谱线强度, 而且通过图 3 所示的方法唯一确定了其 J 值.

表 1 已知能级位置的 Sm 原子的 $J = 2$ 的偶宇称高激发态, 本实验不仅验证了这些态的能级位置并确定了其跃迁的相对谱线强度, 而且还唯一确定了其 J 值

序号	能级/cm ⁻¹	相对强度	序号	能级/cm ⁻¹	相对强度
1	37970.7	W	37	35242.7	M
2	37576.3	W	38	35221.9	M
3	37449.4	W	39	34921.4	W
4	37213.9	M	40	34865.5	M
5	37164.6	S	41	34796.0	M
6	37029.6	M	42	34723.2	M
7	36976.1	M	43	34699.0	S
8	36929.2	M	44	34642.6	M
9	36873.3	M	45	34590.2	M
10	36760.2	S	46	34531.1	M
11	36701.7	M	47	34438.1	S
12	36644.4	M	48	34420.6	W
13	36592.5	M	49	34298.6	M
14	36515.2	M	50	34212.2	S
15	36474.4	M	51	34206.1	M
16	36391.2	M	52	34150.2	W
17	36362.3	M	53	34104.4	M
18	36302.4	S	54	33998.4	M
19	36257.7	M	55	33957.4	S
20	36248.0	M	56	33956.2	M
21	36201.0	M	57	33893.8	W
22	36188.5	S	58	33849.7	M
23	36084.6	M	59	33833.7	W
24	36057.7	M	60	33747.4	S
25	35931.8	M	61	33733.9	W
26	35838.6	M	62	33585.3	S
27	35821.3	S	63	33377.7	S
28	35768.7	M	64	33306.1	M
29	35747.0	M	65	33278.5	M
30	35730.4	M	66	33035.8	S
31	35594.0	M	67	31246.2	M
32	35569.3	M	68	30755.2	S
33	35547.6	M	69	30148.4	M
34	35487.6	S	70	30040.9	S
35	35460.9	S	*71	32333.0	M
36	35258.9	M			

* 此态的能级位置为已知, 但其 $J = 5$.

正如表 3 所示, 本工作首次报道了 Sm 原子的 46 个具有 $J = 5$ 的偶宇称高激发态, 明显多于表 2 所示的 $J = 2$ 的态的数目.

针对上述图和表以及它们所提供的光谱信息, 我们对其进行了比较和分析, 并得到了一些初

表2 未见报道的 Sm 原子的 $J = 2$ 的偶宇称高激发态, 本文不仅首次给出了这些态的能级位置并确定了其跃迁的相对谱线强度, 而且还唯一确定了其 J 值

序号	能级/cm ⁻¹	相对强度	序号	能级/cm ⁻¹	相对强度
1	36501.6	M	11	32118.0	W
2	34561.7	M	12	31894.6	M
3	33541.4	W	13	31819.4	S
4	33170.9	M	14	31782.4	M
5	33022.0	W	15	31690.2	M
6	32736.6	M	16	31409.4	S
7	32652.2	S	17	31334.3	S
8	32583.0	M	18	30896.3	S
9	32163.3	M	19	30864.2	W
10	32146.1	W			

表3 未见报道的 Sm 原子的 $J = 5$ 的偶宇称高激发态, 本文不仅首次给出了这些态的能级位置并确定了其跃迁的相对谱线强度, 而且还唯一确定了其 J 值

序号	能级/cm ⁻¹	相对强度	序号	能级/cm ⁻¹	相对强度
1	37258.3	S	24	35300.0	M
2	37237.3	M	25	35238.0	W
3	37206.4	S	26	34868.0	W
4	37082.6	S	27	34839.4	W
5	37080.7	M	28	34514.9	M
6	37039.0	M	29	34454.3	W
7	37024.0	M	30	34377.8	M
8	36959.8	M	31	34324.5	W
9	36870.5	M	32	34230.3	W
10	36752.5	M	33	34173.0	W
11	36666.4	W	34	33795.2	W
12	36622.0	W	35	33770.3	W
13	36575.7	W	36	33634.7	W
14	36490.3	M	37	33489.4	S
15	36468.9	M	38	33481.1	M
16	36454.5	W	39	33444.7	W
17	36437.4	W	40	33403.9	S
18	36271.2	W	41	33063.0	W
19	36060.7	M	42	32891.9	S
20	35706.4	S	43	32695.2	W
21	35626.7	S	44	32669.2	W
22	35438.1	S	45	32121.8	W
23	35408.2	S	46	32085.2	M

步结论. 比如: 针对所探测到的各个原子态的对应跃迁的相对谱线强度, 我们可以观察到一些规律: 具有 $J = 5$ 的态, 其谱线强度普遍比具有 $J = 2$ 的态的强度低, 即其相对强度属于 W 范围的态所占比例明显要高一些. 对此, 我们的解释是: 具有 $J = 2$ 的态是由激发路径 I 所探测到的, 其跃迁初态为 $4f^6 6s^2 \ ^7F_2$; 而具有 $J = 5$ 的态则是由激发路径 II 所得到的, 其跃迁初态为 $4f^6 6s^2 \ ^7F_3$. 因为原子在 $\ ^7F_2$ 态上的热布居显著高于其在 $\ ^7F_3$ 态上的热布居, 所以在后续的两步激发过程中, 若两种激发路径的跃迁几率基本相同, 则具有 $J = 2$ 的态应该比具有 $J = 5$ 的态的谱线强度要大一些.

需要指出的是, 由于本文采取了与前人不同的激发路径, 所以才能在不同能域, 甚至在相同的能域内探测到前人未发现的原子态. 正因为对应于不同的激发路径, 其选择定则也不完全相同. 所以经过两步激发之后, 原子可能在不同的激发态上布居, 从而使得探测结果也不相同. 显然, 在给定的激发路线下, 对于那些文献中报道而我们并未能探测到的能级, 可认为有两方面的原因: 1) Sm 原子由中间态向待测偶宇称高激发态的跃迁是禁戒的 2) Sm 原子由中间态向待测偶宇称高激发态的跃迁虽然符合选择定则, 但是待测原子态上的原子数密度太小, 这导致光电离谱线的强度太弱并被噪声所淹没.

4 结论

本文采用双色三步激发和光电离探测技术, 对 Sm 原子在 $30040\text{--}38065\text{ cm}^{-1}$ 能域内的 136 个偶宇称高激发态的光谱进行了系统研究. 通过对所获得的 Sm 原子光谱进行详细的分析, 本文不仅确定了这些态的能级位置和相对谱线强度, 而且也提供了其总角动量等方面的信息. 除了对文献中的 71 个态的能级位置进行了确认之外, 其他信息均为本文首次报道, 从而进一步丰富了 Sm 原子的光谱信息.

由于 Sm 原子的光谱结构十分复杂, 要完全确定出实验所测定的原子态还有待进一步的实验和理论方面的研究.

- [1] Boker J, Freeman R R, Cooke W E 1982 *Phys. Rev. Lett.* **48** 1242
- [2] Li J M 1983 *Acta Phys. Sin.* **32** 84 (in Chinese) [李家明 1983 物理学报 **32** 84]
- [3] Xiao Y, Dai C J, Qin W J 2010 *Chin. Phys. B* **19** 063202
- [4] Dou W D, Dai C J, Li S B 2004 *J. Quantat. Spectro. Radia. Trans.* **85** 145
- [5] Li S B, Dai C J 2003 *J. Quantat. Spectro. Radia. Trans.* **77** 345
- [6] Li M, Dai C J, Xie J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 3154 (in Chinese) [李明, 戴长建, 谢军 2010 物理学报 **59** 3154]
- [7] Jayasekharan T, Razvi M A N, Bhale G L 2000 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **33** 3123
- [8] Li C Q, Dai C J, Lu J 2000 *Chin. Phys. B* **9** 500
- [9] Yaseen M, Ali R, Nadeem A, Bhatti S A, Baig M A 2002 *Eur. Phys. J. D* **20** 177
- [10] Lindsay M D, Dai C J, Lyons B J, Mahon C R, Gallagher T F 1994 *Phys. Rev. A* **50** 5058
- [11] Lindsay M D, Cai L T, Schinn G W, Dai C J, Gallagher T F 1992 *Phys. Rev. A* **45** 231
- [12] Li S B, Dai C J, Sun W, Xue P 2002 *J. Elec. Spectro. Rela. Phen.* **127** 183
- [13] Jones R R, Dai C J, Gallagher T F 1990 *Phys. Rev. A* **41** 316
- [14] Ali R, Yaseen M, Nadeem A, Bhatti S A, Baig M A 1999 *J. Phys. B* **32** 953
- [15] Yi J, Park H, Lee J 2001 *J. Kore. Phys. Soci.* **39** 916
- [16] Zhao H Y, Dai C J, Guan F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 215 (in Chinese) [赵洪英, 戴长建, 关锋 2009 物理学报 **58** 215]
- [17] Hu S F, Zhang S, Mei S M, Qiu J Z, Chen X 1990 *J. Quantat. Spectro. Radia. Trans.* **43** 75
- [18] Qin W J, Dai C J, Xiao Y, Zhao H Y 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3384
- [19] Jia L J, Jing C Y, Zhou Z Y, Lin F C 1993 *J. Opt. Soc. Am. B* **10** 1317
- [20] Zhao H Y, Dai C J, Guan F 2009 *J. Phys. B* **42** 065001
- [21] Jayasekharan T, Razvi M A N, Bhale G L 2000 *J. Opt. Soc. Am. B* **17** 1607
- [22] Jayasekharan T, Razvi M A N, Bhale G L 1996 *J. Opt. Soc. Am. B* **13** 641
- [23] Gomonai A I, Plekan O I 2003 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **36** 4155
- [24] Pulhani A K, Shah M L, Vas Dev, Suri B M 2004 *J. Opt. Soc. Am. B* **21** 1117
- [25] Martin W C, Zalubas R, Hagan L 1978 *Atomic Energy Levels—The Rare-Earth Elements* (Washington: National Bureau of Standards) p162
- [26] Guan F, Dai C J, Zhao H Y 2008 *Chin. Phys. B* **17** 3655

Study of spectra of even-parity highly excited states of Sm atom*

Zhao Yan-Hong Dai Chang-Jian[†] Ye Shi-Wei

(Key Laboratory of Display Materials and Photoelectric Devices, Ministry of Education, Tianjin 300384, China)

(School of Science, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

(Received 8 January 2011; revised manuscript received 31 March 2011)

Abstract

Spectra of even-parity highly excited states of the Sm atom have been systematically studied with two color three-step excitation and photoionization detection method. With two different excitation paths, the atom is resonantly excited to the given bound states where it is detected by photoionization. The wavelength of the first laser is fixed at 627.50 nm or 624.41 nm so that the Sm atom can be excited to the two different intermediate states with the $4f^6 6s6p$ configuration. Then the wavelength of the second laser is scanned from 440 to 700 nm to further excite the atom, so that the highly excited states in the $30040\text{--}38065\text{ cm}^{-1}$ energy range can be populated. Based on the accurate calibration of wavelength and the selection rule, the level energies of 136 even-parity states and their relative line intensities are determined with a unique assignment of the momentum. Except for the level energies of 71 even-parity states that are confirmed by the present work, all information provided in this work has not been reported previously.

Keywords: spectrum of Sm atom, even-parity highly excited state, two-step resonant excitation, photoionization detection

PACS: 32.80.Fb, 32.30.Jc, 32.70.FW

* Project supported by the Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10574098, 10674102) and the National Science Foundation of Tianjin, China (Grant No. 05YFJMJC05200).

[†] E-mail: daicj@126.com