

Eu 原子 $4f^7 6s(^7S)np$ 系列自电离谱的观察和测定

胡素芬 张 森 陈 星

浙江大学物理系, 杭州, 310027

1989 年 12 月 5 日收到

用激光三步共振激发方法观察了 Eu 原子的自电离谱. 测定了 Eu 原子偶宇称, 能量在 $45740.3-47341.0\text{cm}^{-1}$ 范围的 75 个能级位置, 识别了收敛于 $\text{EuII } 4f^7 6s^2 S_3$ 的 $4f^7 6s(^7S)np$ ($n = 12-46$) 的自电离里德伯系列. 报道了这一系列在此能量范围的能级位置及量子亏损数据.

PACC: 3280D; 3280K

一、引 言

稀土元素在解决新技术和材料的特殊结构问题中具有日益重要的应用^[1]. 对稀土元素高激发态的研究, 在激光分离同位素, 等离子体物理, 天体物理及原子物理等学科中有着重要的意义. 在稀土元素中, Eu 元素引起人们相当的兴趣, 这是由于: (1) 它们有可能在自电离激光技术中得到应用^[2]; (2) EuI 的基态组态为 $4f^7 6s^2$, 它们具有半填满的 $4f$ 壳层, 因此 Eu 原子具有由于外层 $6s^2$ 电子激发而产生的相对简单的能谱, 由内层 $4f$ 电子激发而产生的复杂谱线的强度相对较弱^[3]; (3) Eu 是稀土元素中最容易被加热而蒸发的元素之一.

对 Eu 原子的能级位置^[4-9], 电离势^[6,10,11], 同位素的能级位移^[12], 激发能级的辐射寿命^[13,14], 光电离截面^[15]等已有一些系统的研究. 随着可调谐激光器和激光分步激发技术的发展, 使人们有可能更准确地研究 Eu 原子自电离态的能级结构.

本文报道用三步激光激发方法对 Eu 原子自电离能谱的研究. 实验观察并记录了 Eu 从 $4f^7 6s 7s^6 S_{3/2}$ 态激发至偶宇称的自电离态能谱, 测定了 Eu 在 $45740.3-47341.0\text{cm}^{-1}$ 能量范围的 75 个能级位置, 识别了收敛于 $\text{EuII } 4f^7 6s^2 S_3$ 电离限的 $4f^7 6s(^7s)np^6 P_{3/2}$ ($n = 12-46$) 的自电离里德伯系列, 并计算了这一系列的量子亏损.

二、实验方法与条件

实验装置类似于文献[16], 实验方法类似于文献[17]. 用同一台 Nd:YAG 的倍频光经分束后分别泵浦三台染料激光器. 第一台用 DCM 染料, 调谐 $\lambda_1 = 6293.1 \text{ \AA}$ (真空

中波长), 实现 Eu 原子从基态 $4f^7 6s^2 \ ^8S_{7/2}$ 共振激发到 $4f^7 6s 6p(^3P)^8P_{5/2}$ (能量为 15890.53 cm^{-1} [11]) 态; 第二台染料激光器以 LDS 695 为染料, 调谐 $\lambda_2 = 6789.3 \text{ \AA}$ (真空中波长), 实现 Eu 原子由 $4f^7 6s 6p \ ^8P_{5/2}$ 共振激发到 $4f^7 6s 7s \ ^6S_{5/2}$ (能量为 30619.5 cm^{-1} [11]) 态; 第三台用 DCM 染料, 若丹明 640 和若丹明 610 为染料, 通过驱动装置使 λ_3 在 $6620\text{--}5950 \text{ \AA}$ 范围扫描, 以实现 Eu 原子由 $4f^7 6s 7s \ ^6S_{5/2}$ 共振激发到偶宇称 $J = 3/2, 5/2, 7/2$ 的自电离态。图 1 给出各步跃迁和有关的能级。

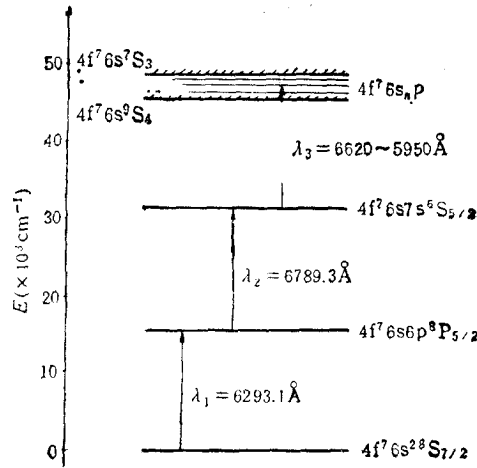


图 1 分步激发步骤和有关能级

纯度为 99.95% 的 Eu 样品放在 Mo 制的原子炉中, 炉温 720°C 左右, Eu 原子的蒸气压约 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 。在相互作用区内原子密度约为 10^{16} cm^{-3} 。离子收集装置及 λ_3 波长定标同文献[16]。Eu 原子的自电离激发谱, 波长定标用的 Ne 原子的光电流谱及 F-P 标准具的干涉谱分别由 X-Y 记录仪的 Y_1, Y_2, Y_3 笔记录。

三、结果与讨论

1. 对自电离谱的识别

图 2—图 4 分别为 λ_3 在 $6620\text{--}5950 \text{ \AA}$ 范围扫描时记录的 Eu 原子从 $4f^7 6s 7s \ ^6S_{5/2}$ 态激发到 $J = 3/2, 5/2, 9/2$, 偶宇称的不同能量范围的自电离谱。图 2 中最上面一条记录的是 F-P 标准具的干涉谱; 中间一条记录的是 Ne 原子的光电流谱, 每一光电流峰均注出对应的波长值(真空中波长); 最下面一条记录的是 Eu 原子的自电离谱。图 2 中的短波端与图 3 的长波端, 图 3 中的短波端与图 4 的长波端的自电离谱有重叠, 这些重叠部分的

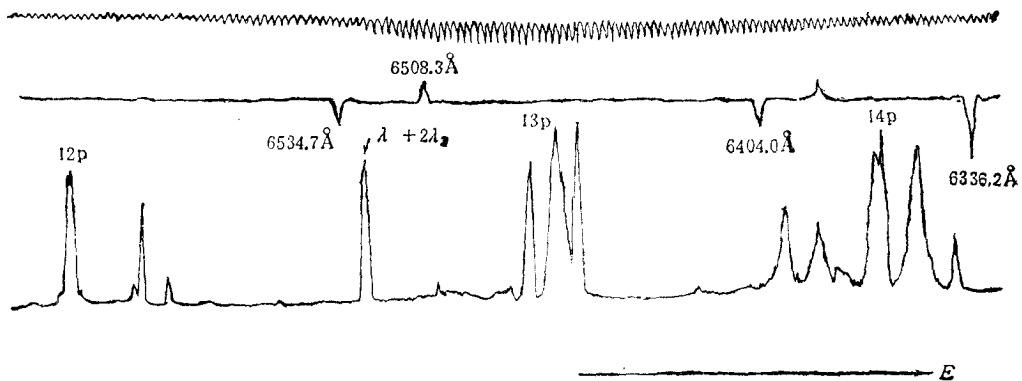


图 2 Eu 原子的部分自电离谱
(λ_3 从 $6620\text{--}6335 \text{ \AA}$ 扫描时)

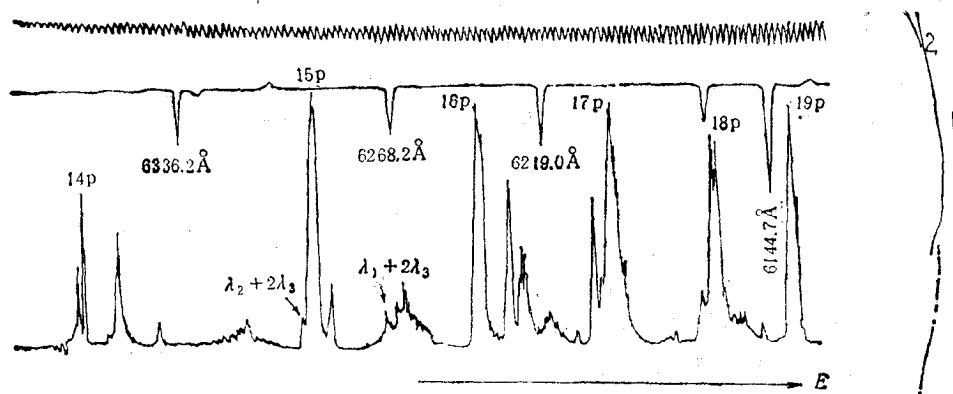


图3 Eu 原子的部分自电离谱
(λ_3 从 6365—6130 Å 扫描时)

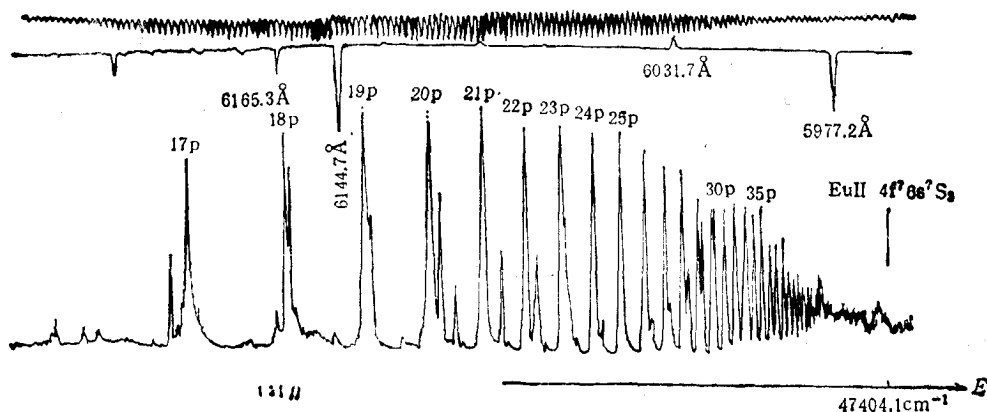


图4 Eu 原子的部分自电离谱
(λ_3 从 6240—5950 Å 扫描时)

自电离峰的强度和宽度有明显的差异。这是由于图2短波端的 λ_3 光比图3的长波端的 λ_3 光强，图3的短波端的 λ_3 光比图4的长波端的 λ_3 光强，而引起的自电离峰明显地增高和展宽^[19,20]。由于图3中在 $\lambda_3 > 6363 \text{ \AA}$ （即14p峰左边）范围的激光强度十分微弱甚至不出激光，因此图3中未激发出如图2 14p峰左边附近的另外3个自电离峰。

由图2—图4可看出：

1) 随着 λ_3 光波长减小，自电离谱明显地收敛于一确定的电离限。由图4中标出的Eu原子第二电离限位置^[18]及自电离谱的收敛情况，可以肯定此自电离系列收敛于第二电离限Eu $4f^76s^7S_3$ ($E = 47404.1 \text{ cm}^{-1}$)^[18]；由于此自电离系列是从EuI $4f^76s7s^6S_{5/2}$ 态激发而得到的，所以可认为所得到的的是 $4f^76s(^7S)np$, $J = 3/2, 5/2, 7/2$ 系列的自电离谱。

2) 在短波端，特别是接近电离限附近，自电离谱呈单重系列且谱线较窄，而长波端的自电离谱结构较复杂，谱线也较宽。这复杂的结构，部分可由L-S耦合的图象说明：如前所述，实验得到的 $4f^76s(^7S)np$ 系列的自电离谱是从 $4f^76s7s^6S_{5/2}$ 态激发的，其原子态可以是 $^6P_{3/2, 5/2, 7/2}$ 和 $^8P_{3/2, 7/2}$ 。在长波端，这5个能级彼此分裂，所以谱图呈多重结构；随着波长减小，这些谱线可能部分重合而使自电离峰变宽；当 λ_3 减小至接近电离限时，这5个谱

表 1 Eu 原子自电离态的 λ_1 , E 和 n^* 测量值 ($J = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}$)

能级号	$\lambda_1(\text{\AA})$	$E(\text{cm}^{-1})$	n^*
1	6613.4±0.1	45740.3±0.3	8.121
2	6594.6±0.1	45783.4±0.3	8.229
3	6592.1±0.2	45789.1±0.6	8.243
4	6584.0±0.3	45807.9±0.7	8.292
5	6550.9±0.1	45884.6±0.3	8.498
6	6473.8±0.3	46066.5±0.7	9.058
7	6465.0±0.4	46086.3±0.8	9.125
8	6458.1±0.2	46104.0±0.5	9.187
9	6393.9±0.3	46259.3±0.7	9.791
10	6383.4±0.2	46285.2±0.5	9.903
11	6364.2±0.2	46332.5±0.5	10.119
12	6362.3±0.2	46337.1±0.5	10.141
13	6351.5±0.2	46363.7±0.5	10.270
14	6338.9±0.2	46395.2±0.5	10.429
15	6309.9±0.4	46467.7±0.9	10.825
16	6290.5±0.2	46516.5±0.6	11.119
17	6289.6±0.3	46518.9±0.6	11.134
18	6284.1±0.3	46532.9±0.6	11.223
19	6260.6±0.2	46592.6±0.5	11.629
20	6236.5±0.2	46654.2±0.5	12.097
21	6235.0±0.2	46658.0±0.6	12.128
22	6226.1±0.2	46680.7±0.4	12.316
23	6221.4±0.4	46693.0±1.1	12.422
24	6212.5±0.2	46716.1±0.6	12.629
25	6203.2±0.2	46740.2±0.5	12.857
26	6197.4±0.2	46755.3±0.6	13.005
27	6192.0±0.1	46769.4±0.3	13.149
28	6173.1±0.3	46818.8±0.6	13.693
29	6171.3±0.2	46823.6±0.5	13.749
30	6162.5±0.2	46846.6±0.5	14.030
31	6158.9±0.2	46856.1±0.5	14.151
32	6157.6±0.2	46859.6±0.5	14.196
33	6142.8±0.2	46898.8±0.5	14.737
34	6132.8±0.2	46925.2±0.5	15.137
35	6130.7±0.2	46930.8±0.5	15.227
36	6118.8±0.3	46959.9±0.6	15.718
37	6111.1±0.3	46983.0±0.7	16.143
38	6107.2±0.3	46993.5±0.8	16.348
39	6102.0±0.2	47007.7±0.5	16.638
40	6093.5±0.2	47030.4±0.6	17.136
41	6087.2±0.3	47047.4±0.7	17.540
42	6078.8±0.2	47070.1±0.5	18.126
43	6075.1±0.2	47080.2±0.5	18.406
44	6066.5±0.4	47103.7±1.1	19.113
45	6064.9±0.2	47107.7±0.5	19.241
46	6055.5±0.4	47133.4±1.2	20.134

续表 1

能级号	$\lambda_1(\text{\AA})$	$E(\text{cm}^{-1})$	n^*
47	6053.0±0.2	47140.1±0.5	20.388
48	6046.3±0.3	47158.5±0.7	21.138
49	6043.7±0.3	47165.7±0.7	21.455
50	6038.4±0.3	47179.9±0.8	22.124
51	6036.5±0.2	47185.5±0.5	22.405
52	6031.5±0.2	47199.2±0.6	23.142
53	6030.0±0.3	47203.4±0.8	23.383
54	6025.5±0.2	47215.5±0.5	24.121
55	6023.9±0.1	47220.1±0.4	24.421
56	6020.2±0.2	47230.0±0.5	25.106
57	6019.2±0.3	47233.2±0.7	25.340
58	6015.3±0.2	47243.4±0.6	26.132
59	6014.7±0.2	47245.4±0.6	26.296
60	6011.0±0.2	47255.7±0.6	27.193
61	6007.3±0.3	47266.0±0.7	28.189
62	6003.9±0.1	47275.3±0.4	29.189
63	6000.9±0.2	47283.8±0.4	30.203
64	5998.1±0.2	47291.5±0.5	31.218
65	5995.9±0.3	47297.6±0.7	32.100
66	5994.0±0.4	47303.3±0.9	32.995
67	5992.0±0.1	47308.3±0.4	33.845
68	5990.0±0.3	47314.0±0.8	34.899
69	5988.3±0.3	47319.0±0.7	35.910
70	5986.6±0.3	47323.4±0.8	36.876
71	5985.0±0.3	47328.0±0.7	37.974
72	5983.6±0.2	47331.9±0.6	38.986
73	5982.5±0.4	47335.0±0.9	39.851
74	5981.1±0.3	47338.7±0.8	40.963
75	5980.4±0.1	47341.0±0.3	41.702

表 2 由文献[18]识别的 $4f^7(^8S)6s(^8S)np^8P_1$ 系列的数据

$4f^7(^8S)6s(^8S)np^8P_1$				
n	J	$E(\text{cm}^{-1})$	n^*	δ
8	9/2	40455.51	3.974	4.026
9	9/2	43330.23	5.190	3.810
10	9/2	44529.04	6.178	3.821
8	7/2	40609.3	4.019	3.981
9	7/2	—	—	—
10	7/2	44576.83	6.230	3.770
8	5/2	40629.82	4.025	3.975
9	5/2	43301.51	5.172	3.828
10	5/2	44590.66	6.245	3.754

续表 2

$4f^7(^8S)6s(^7S)n p^4 P_J$				
n	J	$E(\text{cm}^{-1})$	n^*	δ
8	7/2	40862.41	4.096	3.904
9	7/2	43168.06	5.090	3.910
10	7/2	44450.86	6.096	3.904
8	5/2	40939.36	4.120	3.879
9	5/2	43228.62	5.127	3.873
10	5/2	44489.91	6.136	3.863

表 3 Eu 原子 $4f^7(^8S)6s(^7S)n p^6 P_{5/2}$ 系列的 E, n^*, δ 的测量值

n	$E(\text{cm}^{-1})$	n^*	δ
12	45740.3±0.3	8.121	3.879
13	46086.3±0.8	9.125	3.875
14	46337.1±0.5	10.141	3.859
15	46518.9±0.6	11.134	3.866
16	46658.0±0.6	12.128	3.872
17	46769.4±0.3	13.149	3.851
18	46856.1±0.4	14.151	3.849
19	46925.2±0.5	15.137	3.863
20	46983.0±0.7	16.143	3.857
21	47030.4±0.7	17.136	3.864
22	47070.1±0.5	18.126	3.874
23	47103.7±1.1	19.113	3.887
24	47133.4±1.2	20.134	3.866
25	47158.5±0.7	21.138	3.862
26	47179.9±0.8	22.124	3.876
27	47199.2±0.6	23.142	3.858
28	47215.5±0.5	24.121	3.879
29	47230.0±0.5	25.106	3.894
30	47243.4±0.6	26.132	3.868
31	47255.7±0.6	27.193	3.807
32	47266.0±0.7	28.189	3.811
33	47275.3±0.4	29.189	3.811
34	47283.8±0.4	30.203	3.797
35	47291.5±0.5	31.318	3.782
36	47297.6±0.7	32.100	3.900
37	47303.3±0.9	32.995	4.005
38	47308.3±0.4	33.845	4.155
39	47314.0±0.8	34.899	4.101
40	47319.0±0.7	35.910	4.090
41	47323.4±0.8	36.876	4.124
42	47328.0±0.7	37.974	4.026
43	47331.9±0.6	38.986	4.014
44	47335.0±0.9	39.851	4.149
45	47338.7±0.8	40.963	4.037
46	47341.0±0.3	41.702	4.298

线在实验的分辨率条件下完全重合,因而使自电离峰呈单重结构.另外,谱线的复杂性还可能由于有诸如 $4f^75d(^9D)7p$ 等组态的谱线存在^[5,6].

表 1 列出实验测得的由 $4f^76s7s^6S_{5/2}$ 态激发而得到的自电离态的能级位置 E , 第三束激光波长 λ_3 值(真空中波长)和按 Ritz Rydberg 公式

$$E = I_p - \frac{R}{n^{*2}} \quad (1)$$

计算得到的各态的有效量子数 n^* (式中 I_p 为电离限能量, R 为里德伯常数). 所测自电离态的能量范围从 EuII $4f^76s^9S_4$ 第一电离限 ($E = 45734.9\text{cm}^{-1}$ ^[18]) 以上 5.4cm^{-1} 开始至 EuII $4f^76s^7S_3$ 第二电离限以下 63.1cm^{-1} 为止.

表 2 列出由文献[18]识别的 $4f^76s(^7S)np$ ($n = 8-10$) 系列的能级 E , 谱项 6P_J , 6P_J 及由 Ritz-Rydberg 公式计算的各态的有效量子数 n^* 量子亏损 δ . 由表 2 可见, Eu 原子的 $4f^76s(^7S)np^6P_{5/2}(n = 8-10)$ 系列的量子亏损近乎恒量 $\delta = 3.87$.

表 3 是从图 2, 图 3 和图 4 中, 将较有规律的一组高峰的能量 E , n^* 值列在一起. 将表 2 与表 3 比较可看出, 表 3 中 n^* 的尾数(特别是开头的十余个数据)与表 2 中 $4f^76s(^7S)np^6P_J$, $J = 5/2$ 的 n^* 的尾数很相近. 由于表 2 中 $4f^76s(^7S)10p^6P_{5/2}$ 的 n^* 为 6.136, 而表 3 的第一组数据的 n^* 为 8.121, 所以可以肯定还有一个 $n = 11$ 的态未被测到; 由比较确定了我们实验得到的态的主量子数 n 是从 12 到 46; 由 $\delta = n - n^*$, 计算了表 3 中各态的量子亏损. 计算结果表明, $n = 12-30$ 的 δ 值接近为恒量, $\delta = 3.87$, 数据与表 2 中 $4f^76s(^7S)np^6P$, $J = 5/2$ 的 δ 相同, 从而识别了表 3 的各态是属于 $4f^76s(^7S)np^6P_{5/2}$ 的自电离里德伯系列; 由 $n = 8-30$ 的 δ 值近乎恒量, 说明这些态受其它系列干扰较少; 由 $\delta = 3.87$, 还预言了 $4f^76s(^7S)11p^6P_{5/2}$ 的能量 E 为 45245.5cm^{-1} ; 在 $n \geq 31$ 时, δ 值与 $\bar{\delta}$ 有偏移, 这是由于 n 大时不同 J 的自电离态混合的结果.

2. 与其他文献数据的比较

在文献[6]中, Smith 和 Tomkins 用吸收光谱方法, 测定了 EuI 从基态 $4f^76s^2^8S$ 跃迁到 $4f^76s(^7S)np$ 系列 ($n = 44-67$) 的波长和能量. 本文表 1 中最后二组能量数据在误差范围内与文献[6]中表 1 的头二组数据(即 $4f^76s(^7S)44p$, $E = 47337.2\text{cm}^{-1}$; $4f^76s(^7S)45p$, $E = 47340.3\text{cm}^{-1}$) 相符. 文献[6]得到的原子态为 $^6P_{5/2,7/2}$, $^8P_{5/2,7/2,9/2}$, 而本文得到的为 $^6P_{3/2,5/2,7/2}$, $^8P_{5/2,7/2}$, 两者虽有区别, 但考虑到 n 大时, 同一电子组态的各原子态能量重合, 这样按文献[6]的识别, 本实验得到的表 1 中最后二组数据的组态应为 $4f^76s(^7S)44p$ 和 $4f^76s(^7S)45p$ 态, 这与表 3 按文献[18]中已有的数据, 分别识别为主量子数 $n = 45$ 和 46 有 1 之差. 考虑到原子的各低能级 n 较易确定, 可以认为由文献[18]的已有数据而推出确定的表 3 各态的主量子数较为合理.

在文献[9]中, Zyuzikov 等人用激光三步激发方法, 观察和测量了 Eu 原子从能量 $30619-36045\text{cm}^{-1}$ 范围的不同中间态激发到 $45738-53270\text{cm}^{-1}$ 能量范围的 56 个自电离能级位置. 但在文献[9]中, 由与本实验相同的中间能级(即 $4f^76s7s^6S_{5/2}$, $E = 30619\text{cm}^{-1}$) 共振激发到自电离态, 只给出 8 个能级. 这 8 个能级位置的数据已列在表 4 中. 表 1 和表 4 比较可见, 本实验得到的列在表 1 中的能级号 1 (即 $4f^76s(^7S)12p$), 能级号 7 (即

表 4 文献[9]得到的由 Eu $4f^76s7s^6S_{7/2}$ 激发到自电离态的能级数据

能级号	$E(\text{cm}^{-1})$	能级号	$E(\text{cm}^{-1})$
1	45738.3	5	46103.5
2	45740.2	6	46515.8
3	46086.1	7	46518.6
4	46088.9	8	46769.0

$4f^76s(^7S)13p$), 能级号 8, 16, 17 (即 $4f^76s(^7S)15p$), 能级号 27 (即 $4f^76s(^7S)17p$) 的能级数据分别与表 4 中能级号 2, 3, 5, 6, 7, 8 符合得很好。而表 4 中的能级号 1 和 4 对应于本文图 2 中 12p 和 13p 两峰附近小的凸起, 本文未将它们定为自电离峰。

3. 其它多光子过程的识别与剔除

为了剔除在 λ_3 光扫描时, 由 $\lambda_1 + 2\lambda_3$, $\lambda_2 + 2\lambda_3$ 等多光子过程产生的光电离背景信号, 实验中分别将 λ_1 光或 λ_2 光挡住, 重复扫描 λ_3 光, 记录光电离讯号^[11]。实验中共检测到 3 个背景峰。已在图 2 和图 3 中用箭头指出这 3 个背景峰。通过波长测定和与已知能级对照, 识别了图 2 中背景峰由下列过程产生:

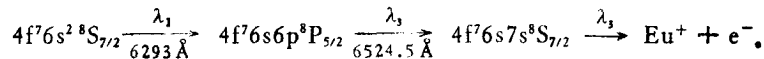


图 3 中 15p 峰左边一个背景峰由下列过程产生:

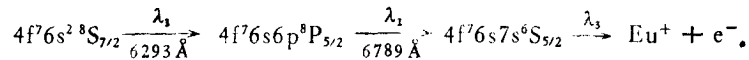
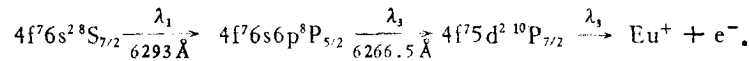


图 3 中 15p 峰右边一个背景峰由下列过程产生:



本实验得到由 Eu $4f^76s7s\ ^6S_{7/2}$ 态共振激发到自电离态的 75 个能级数据中, 除表 1 中能级号 1, 7, 8, 16, 17, 27 共 6 个能级位置已由 Zyuzikov 等人^[9]报道, 能级号 74, 75 已由 Smith 和 Tomkins^[6]报道外, 其余 67 个能级位置尚未见报道。

- [1] N. V. Golevchak, I. I. Garga and L. L. Shimon, *Opt. Spectrosc.*, **44**(1978), 13.
- [2] M. J. Ford, L. F. Forrest *et al.*, *J. Phys. B*, **20**(1987), 4241.
- [3] T. Andersen, O. Poulsen *et al.*, *Sol. Phys.*, **44**(1975), 257.
- [4] A. King, *Astrophys. J.*, **89**(1939), 377.
- [5] A. C. Parr, *J. Chem. Phys.*, **54**(1971), 3161.
- [6] G. Smith and F. S. Tomkins, *Proc. R. Soc. Lond. A*, **342**(1975), 149.
- [7] M. G. Kozlov and S. A. Kotochigova, *Opt. Spectrosc.*, **46**(1979), 10.
- [8] G. Smith and F. S. Tomkins, *Proc. R. Soc. Lond.*, **A387**(1983), 389.
- [9] A. D. Zyuzikov *et al.*, *Opt. Spectrosc.*, **63**(1987), 572.
- [10] J. Reader and J. Sugar, *J. Optic. Soc. Amer.*, **56**(1966), 1189.
- [11] E. F. Worden, R. W. Solarz *et al.*, *J. Optic. Soc. Amer.*, **68**(1978), 52.
- [12] N. V. Karlov, B. B. Krynetskii *et al.*, *Applied Opt.*, **17**(1978), 856.
- [13] N. P. Penkin, V. N. Gorshkov *et al.*, *Opt. Spectrosc.*, **57**(1984), 488.
- [14] M. Gustavsson, H. Lundberg *et al.*, *J. Optic. Soc. Amer.*, **69**(1979), 984.
- [15] C. Pan, S. L. Carter *et al.*, *J. Phys. B*, **20**(1987), L335.

- [16] 胡素芬、张森、邱济真等, 光学学报, 8(1988), 980.
[17] Hu Sufen, Mei Shimin, Zhang Sen *et al.*, *Chinese Phys. Lett.*, 6(1989), 64.
[18] W. C. Martin, R. Zalubas and L. Hagan, 'Atomic Energy Levels-The Rare-Earth Elements', NSRDS-NBS 60, Washington DC, (1978), p. 185.
[19] 胡素芬、张森、陆杰等, 光学学报, 6(1986), 902.
[20] W. E. Cooke *et al.*, *Opt. Lett.*, 7(1982), 69.

OBSERVATION AND MEASUREMENT OF THE AUTOIONIZATION SPECTRA FOR $4f^76s(^7S)np$ SERIES OF Eu

HU SU-FEN ZHANG SEN CHEN XING

Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

(Received 5 December 1989)

ABSTRACT

The autoionization spectra of Eu have been observed by using three-step laser excitation method. Seventy five energy levels of Eu which are located in the $45740.3\text{--}47341.0\text{ cm}^{-1}$ energy interval with even parity have been measured. The $4f^76s(^7S)np$ ($n=12\text{--}46$) 6P_1 autoionization Rydberg series converging to the 7S_2 level of the configuration $4f^76s$ in Eu II have been identified. The energy levels and quantum defects for this series in above energy interval are reported.

PACC: 3280D; 3280K