

荧光法测定镧原子高激发态的超精细结构*

管国明 景春阳 贾列娟 周志尧 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 在 La 空心阴极灯中, 用荧光法测定了二级跃迁($16856\text{ cm}^{-1} \rightarrow 34272\text{ cm}^{-1}$), ($20082\text{ cm}^{-1} \rightarrow 26853\text{ cm}^{-1}$)和($20082\text{ cm}^{-1} \rightarrow 37544\text{ cm}^{-1}$)的超精细结构光谱, 得到了 34272 cm^{-1} , 36853 cm^{-1} 和 37544 cm^{-1} 能级的 A 常数, 这些镧原子高激发态超精细结构数据是首次报道.

关键词 镧空心阴极灯, 高激发态超精细结构, 二级激光荧光光谱

1 引 言

对稀土元素的研究具有多方面的实用价值, 而且进一步加深了对原子结构、天体物理的了解. 由于镧是第一号稀土元素, 它的研究倍受重视, 其中 Childs^[1,2] 等人对小于 3 eV 的能级超精细结构作了大量研究. 本文采用两台激光器, 对镧原子 4 eV 附近能级的超精细结构进行了研究, 得到了 34272 cm^{-1} 、 36853 cm^{-1} 、 37544 cm^{-1} 能级的超精细结构 A 常数.

2 实验方法和条件

实验安排如图 1 所示, 实验所用的镧空心阴极灯, 阴极是天然镧, ^{139}La 的丰度超过 99%, 灯内充有 130 Pa 的 Kr 气作为缓冲气体, 通过放电溅射产生镧原子蒸气, 采用连续放电方式, 放电电流为 10 mA. 图 1 中, 两台 Ar^+ 激光器最大输出功率为 5 W, 分别用来泵浦两台染料激光器. 两台染料激光器都采用若丹明 G 染料, 它们分别是 Spectra Physics 公司生产的 380D 型和长春光机所生产的 801B 型. 380D 型染料激光器稳频后可以连续扫描, 扫描范围达 30 GHz, 激光线宽小于 1 MHz. 801B 型染料激光器不能连续扫描, 在它腔内调谐标准具上加上控制电压, 可以选择激光器在不同的腔模振荡输出, 频率移动最小约 200 MHz, 激光线宽小于 10 MHz. Burleigh 公司生产的六位数字波长计及自由光谱区为 2 GHz 的扫描干涉仪分别用来

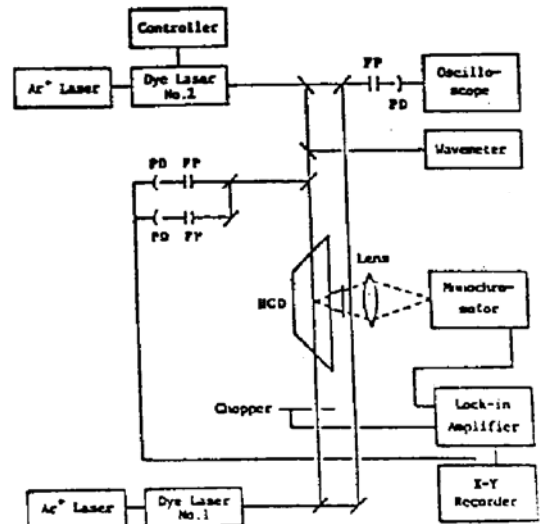


Fig. 1 Experimental setup for measurement on hyperfine structure of lanthanum by laser fluorescence spectroscopy

* 本课题得到国家自然科学基金资助.

收稿日期: 1993 年 1 月 18 日; 收到修改稿日期: 1993 年 3 月 9 日

监测两台激光器的频率. 自由光谱区分别为 300 MHz 和 2 GHz 的两个标准具用来标定 380D 激光器扫描时的频率. 空心阴极灯的荧光信号经透镜聚焦到单色仪的进光狭缝上, 单色仪接收后送入锁相放大器放大, 最后输出到 X-Y 记录仪记录下来. 斩波器用来调制激光束, 控制器同时控制 380 D 激光器的稳频扫描和 X-Y 记录仪的 X 方向移动.

3 实验结果与分析

原子的超精细结构主要是由核磁偶极矩和电四极矩与核外电子相互作用引起. 原子具有核自旋 I 和电子总角动量 J , 由于超精细作用, 它们合成总角动量 F , F 可取 $|I-J|$ 、 \dots 、 $I+J-1$ 、 $I+J$ 等值, 相应不同的 F , 具有不同的子能级, 可用 Casimir 公式表示:

$$E_f = E_j + (1/2) A_j C(F) + B_j D(F)$$

$$C(F) = F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)$$

$$D(F) = \frac{3C(F)[C(F)+1] - 4I(I+1)J(J+1)}{8I(2I-1)J(2J-1)}$$

式中 A_j 为核磁偶极超精细结构常数, B_j 为核电四极超精细结构常数, 对于 ^{139}La , 核自旋 I 为 $7/2$. 本文采用如图 2 所示的实验构思^[3](已省略了超精细结构), 一级激光将原子从基态激发至中间能级, 二级激光将原子从中间能级泵浦至上能级, 观测上能级产生的荧光信号, 可得到关于上能级的超精细结构光谱. 对于空心阴极灯, 原子具有一定的速度分布, 只有当激光频率 ω , 原子在激光传输方向的速度 V_z , 跃迁的中心频率 ω_0 满足 $\omega - \omega_0 = (V_z/c)\omega$ 时, 激光与原子才能有强的共振作用. 因此对于图 2 中固定的一级激光频率 ω_1 , 在原子速度分布范围内, 仅有几个不同频率的一级跃迁能与激光产生共振作用. 对应每一共振频率, 原子的 V_z 速度为一确定值. 由于只有几种速度的原子被激发上中间能级, 二级激光便只能与这些速度的原子产生强的共振作用, 因此得到的二级激光荧光光谱是消多普勒光谱. 如果一级激光、二级激光同时与原子共振作用, 则一级激光频率 ω_1 , 二级激光频率 ω_2 , 一级跃迁中心频率 ω_{10} , 二级跃迁中心频率 ω_{20} , 必须满足下式:

$$\omega_{10} + \omega_{20} = \omega_1 + \omega_2 - (\omega_1 \pm \omega_2) \cdot (\omega_1 - \omega_{10})/\omega_1$$

式中正负号分别对应两束激光同向传输和反向传输.

实验中, 让一级激光频率每次调谐 400 MHz, 然后固定下来, 二级激光再进行连续扫描, 这样得到一系列光谱图. 并分别选用 16856 cm^{-1} 能级和 20082 cm^{-1} 能级作为中间能级, 得到了 34272 cm^{-1} 、 36853 cm^{-1} 、 37544 cm^{-1} 能级的超精细结构光谱, 部分典型的光谱见图 3 中(a), (b), (c)各图, 它们的有关数据列于表 1 中. 对于一级跃迁($0\text{ cm}^{-1} \rightarrow 16856\text{ cm}^{-1}$ 跃迁^[1], $3010\text{ cm}^{-1} \rightarrow 20082\text{ cm}^{-1}$ 跃迁)已经比较清楚, 相应的 A, B 常数也已知道^[1,2]. 根据前人的工作知道镧的核电四极矩很小, 因而超精细结构 B 常数也很小, 这与本文的结果相符合, 由于 B 常数太小, 未能确定出来, 表 2 列出了计算得到的 A 常数.

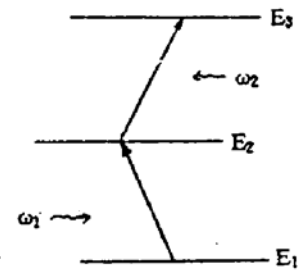


Fig. 2 Scheme of two-step transition, ω_1 is the frequency of the first dye laser; ω_2 is the frequency of the second dye laser

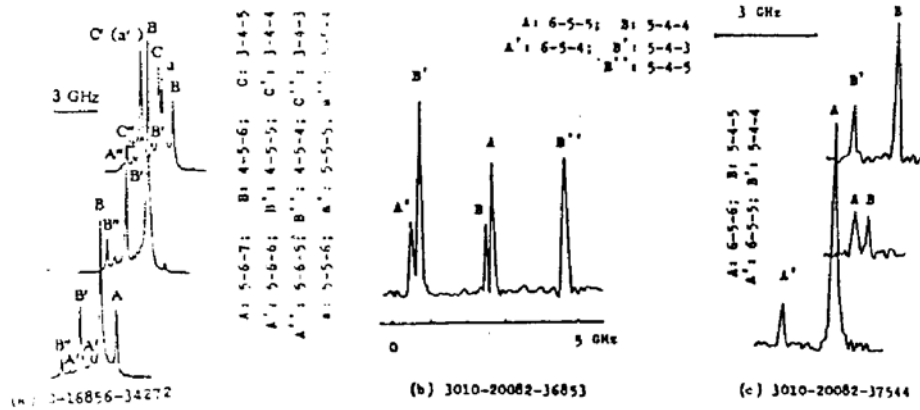


Fig. 3 Typical hyperfine structures of two-step transitions (a) 0-16856-34272; (b) 3010-20082-36853; (c) 3010-20082-37544

Table 1 Energies of the studied levels

E_1 (cm ⁻¹)	E_2 (cm ⁻¹)	E_3 (cm ⁻¹)
0 (² D _{3/2})	16856 (² F _{5/2})	34272 (J=7/2)
3010 (⁴ F _{5/2})	20082 (² F _{3/2})	36853 (J=3/2)
3010 (⁴ F _{5/2})	20082 (² F _{3/2})	37544 (J=5/2)

Table 2 Experimentally determined values of the magnetic dipole constant A

E_3 (cm ⁻¹)	A (MHz)
34272	257 ± 30
36853	399 ± 40
37544	254 ± 25

参 考 文 献

[1] W. J. Childs, L. S. Goodman, Complete resolution of hyperfine structure in the close doublet 5930.6 of ¹³⁹La by laser-atomic-beam spectroscopy. *J. O. S. A.*, 1977, **67**(9) : 1230~1234
 [2] W. J. Childs, U. Nielson, Hyperfine structure of the (5d+6s)³ configurations of ¹³⁹La I: New measurements and ab initio multiconfigurational Dirac-Fock calculation. *Phys. Rev. A*, 1988, **37**(1) : 6~15
 [3] E. Miron, L. A. Levin, S. Lavi, Continuous scanning of atomic Uranium levels. *Opt. Commun.*, 1976, **18**(4) : 536~538

Hyperfine Structure Measurements on High-Lying Levels of Lanthanum by Laser Fluorescence Spectroscopy

Guan Guoming Jing Chunyang Jia Liejuan Zhou Zhiyao Lin Fucheng
 (Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 18 January 1993; revised 9 March 1993)

Abstract By using laser fluorescence spectroscopy we measured the hyperfine structures of three second-step transitions (0 cm⁻¹→16856 cm⁻¹→34272 cm⁻¹), (3010 cm⁻¹→20082 cm⁻¹→36853 cm⁻¹), (3010 cm⁻¹→20082 cm⁻¹→37544 cm⁻¹) in a La hollow cathode discharge lamp. The a coefficients of 34272 cm⁻¹, 36853 cm⁻¹, and 37544 cm⁻¹ levels have been calculated. The results given in this paper are first reported.

Key words La-Kr hollow cathode discharge lamp, hyperfine structure of high-lying levels, laser fluorescence spectroscopy of second-step transition.