

用共振多光子电离法研究 Gd 原子的高激发态*

瞿佳男 周志尧 朱利洲 林福成

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 以 Gd 原子 999 cm^{-1} 亚稳态为初始能级, 用共振多光子电离 (RMPI) 方法研究了 Gd 原子在 $34463\sim 35628\text{ cm}^{-1}$ 范围内的高激发态。实验共测得 19 个高激发能级。

关键词: 共振, 电离, 激发态

Measurements of high-lying levels of atom Gd by resonant multiphoton ionization

Qu Jianan, Zhou Zhiyao, Zhu Lishou, Lin Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia

Sinica, Shanghai 201800)

Abstract: High-lying levels of atomic Gd in the range of $34463\text{ cm}^{-1}\sim 35628\text{ cm}^{-1}$ have been measured from the initial energy level 999 cm^{-1} by resonant multi-photon ionization (RMPI). 19 high-lying levels have been detected and 11 levels of them are reported for the first time.

Key words: resonance, ionization, excited state

传统的光谱都是用空心阴极或无极放电发射源作为光源来研究有关元素的光谱特性。但这两种发射源都很难获得高激发态原子布居。由于可调谐激光器的发展, Fox 和 Ambartzumian 等人分别实现了 Cs 和 Ru 原子的 RMPI^[1,2]。利用这一技术, 人们在探测原子高激发态及其能级位置方面做了大量的工作^[3~5]。

本文报道了利用 RMPI 技术探测 Gd 原子从 34463 cm^{-1} 到 35628 cm^{-1} 能级区域的高激发态。这些高激发态都具有奇宇称, 角量子数 J 从 4 到 7。实验记录了两种不同激发路径的 Gd 原子的 RMPI 谱。

一、实 验

实验装置见图 1。Gd 原子蒸气是由电子枪加热块状金属 Gd 获得的。金属 Gd 放在石墨

收稿日期: 1989年8月17日。

* 本课题由国家自然科学基金资助。

坩锅中。在其上方 6 cm 处有一 3.5×9 mm 的长方形狭缝。Gd 蒸气通过此狭缝喷出形成原子束。在狭缝上方 2 cm 处有一与原子束同轴的内径 3 mm、长 4 cm 的金属管，以消除部分由于电子枪轰击样品所产生的带电粒子并准直原子束。在金属管上方还有一对电极同样用于消除带电粒子。采取以上措施获得的原子束基本是电中性的。激光与原子束相互作用区在距离坩锅 14 cm 处。实验中所用的激发光源是由一台 Nd:YAG 二倍频激光器泵浦的两台可调谐染料激光器。所用染料为 Rh6G 及 Rh6G 与 Rh640 混合染料。两台激光器调谐范围均可达到 570 nm~610 nm。激光线宽约为 0.01 nm，若加腔内标准具线宽可下降到 0.002 nm。激光脉冲宽度约 10 ns(FWHM)

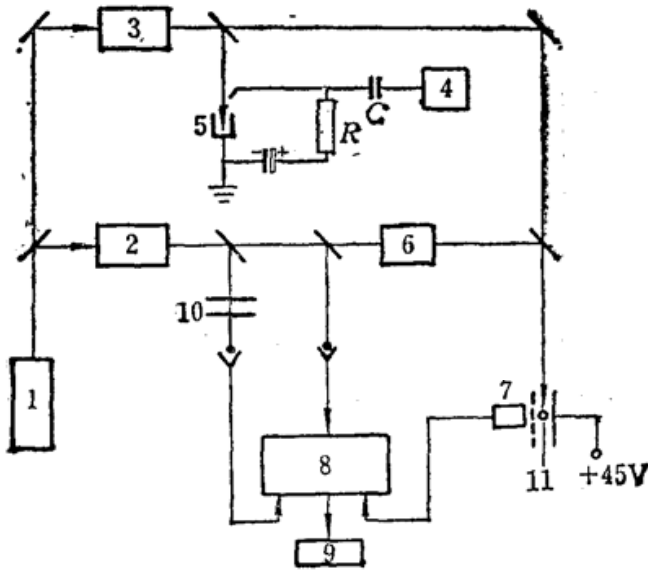


Fig. 1 Experimental sketch

1—frequency double YAG laser; 2, 3—dye laser; 4—oscilloscope; 5—Gd hollow cathode lamp; 6—optical delay; 7—electron multiplier; 8—Boxcar; 9—printer; 10—F-P etalon; 11—atomic beam

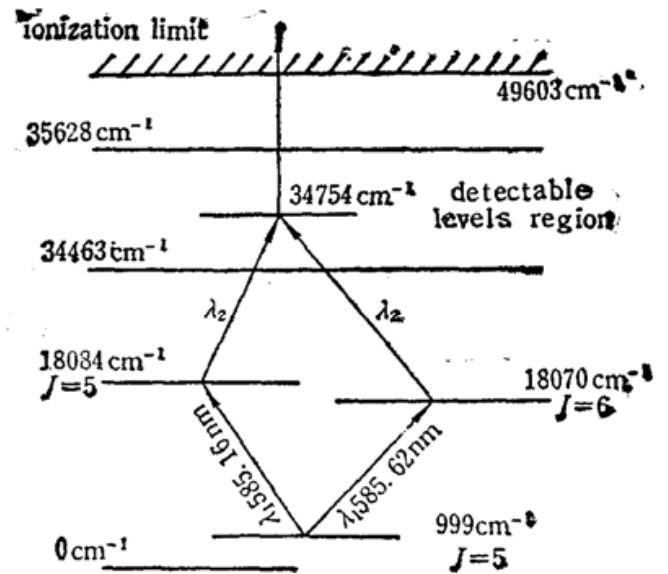


Fig. 2 Gd atom excitation diagram for RMPI experiment

在我们进行的双色 RMPI 实验中，选择初始能级为 999 cm^{-1} 亚稳态。由于电子枪加热和轰击，能量在 1719 cm^{-1} 以下的亚稳能级都有大量布居。将第一台激光器(波长 λ_1)分别固定在 $999 \sim 18084 \text{ cm}^{-1}$ 和 $999 \sim 18070 \text{ cm}^{-1}$ 这两个跃迁的共振波长，第二台激光器(波长 λ_2) 在调谐范围内扫描，从而实现双色 RMPI。激发过程见图 2。由于 999 cm^{-1} 、 18084 cm^{-1} 、 18070 cm^{-1} 三个能级的 J 量子数分别为 5, 5, 6, 999 cm^{-1} 能级具有奇宇称，所以探测到的高激发态能级都具有奇宇称， J 量子数从 4~7。

实验中，两束激光在空间同向重迭后引入作用区。第一级 λ_1 共振情况用 Gd 空心阴极灯产生的光电流信号监测。 λ_1 调至共振后，第二级激光 λ_2 开始扫描。 λ_2 波长标定分绝对和相对两种。 λ_2 绝对标准可以通过 RMPI 谱本身完成。实验获得的部分 RMPI 谱是激光与已知能级相互作用产生的。而与这些能级共振的激发波长较均匀地分布在整个调谐范围内。因此，选用 RMPI 谱作为 λ_2 的绝对波长定标比其它方法更方便可靠。 λ_2 相对定标是用一 2 mm 的 F-P 标准具透过信号实现的。该标准具自由光谱区约为 0.062 nm。为减小 λ_1 的电离背景，将第一级激光大大衰减。第二级激光 λ_2 通过光学延迟与 λ_1 的延迟时间为 15 ns。所测到的

RMPI 信号都应是 λ_2 光子直接电离高激发态产生的。RMPI 信号是用电子倍增器检测光电离离子获得的。信号经过 Boxcar (EGdG Model 4400 型) 处理后送入打印机输出或送入 JBM-PC 型微机处理后再由绘图仪输出。

二、实验结果与讨论

图 3 给出了部分测量的 Gd 原子 999 cm^{-1} 亚稳态典型的 RMPI 谱。对于每个第一级波长 λ_1 , 都重复记录过三次 RMPI 谱。从不同 λ_1 测得的 RPMI 谱推算出的高激发态能级分别列入表 1 和表 2 中。在波长绝对标定过程中还用了记录到的单色双光子电离谱, 如图 3(a),

Table 1 $\lambda_1 = 585.16\text{ nm}$ ($999 \sim 18084\text{ cm}^{-1}$)

Present work			Reference*	
$\lambda_2(\text{nm})$	levels(cm^{-1})	J	levels(cm^{-1})	J
585.10	35174.7	4, 5, 6		
589.30	25052.9	4, 5, 6		
594.26	34911.3 ⁺	5, 6	34911.443	5
597.79	34811.9 ⁺	5, 6	34811.786	6
599.83	34755.3 ⁺	5, 6	34754.990	6
601.13	34718.9	4, 5, 6	34719.128	4
601.88	34698.2	4, 5, 6	34698.222	4
602.27	34687.4	4, 5, 6		
603.08	34665.1 ⁺	5, 6		
604.58	34624.0	4, 5, 6	34623.935	6
607.12	34554.8	4, 5, 6	34554.985	4

Table 2 $\lambda_1 = 585.62\text{ nm}$ ($999 \sim 18070\text{ cm}^{-1}$)

Present work			Reference*	
$\lambda_2(\text{nm})$	levels(cm^{-1})	J	levels(cm^{-1})	J
581.66	35262.5	5, 6, 7		
583.87	35197.4	5, 6, 7		
593.78	34911.6 ⁺	5, 6	34911.443	5
597.32	34811.7 ⁺	5, 6	34811.786	6
599.35	34755.0 ⁺	5, 6	34754.99	6
602.11	34678.6	5, 6, 7		
602.59	34665.3 ⁺	5, 6		
603.83	34631.3	5, 6, 7		
604.09	34624.1	5, 6, 7	34623.925	6
604.89	34602.2	5, 6, 7		
606.24	34565.4	5, 6, 7		
606.53	34557.5	5, 6, 7		

* W. C. Martin et al. Atomic energy levels—The rare earth element Natl. Stand. Ref. Data Ser., Natl. Bur. Stand. 1978(U. S.)

⁺ The levels appeared in RMPI spectra at both diferent excitation ways

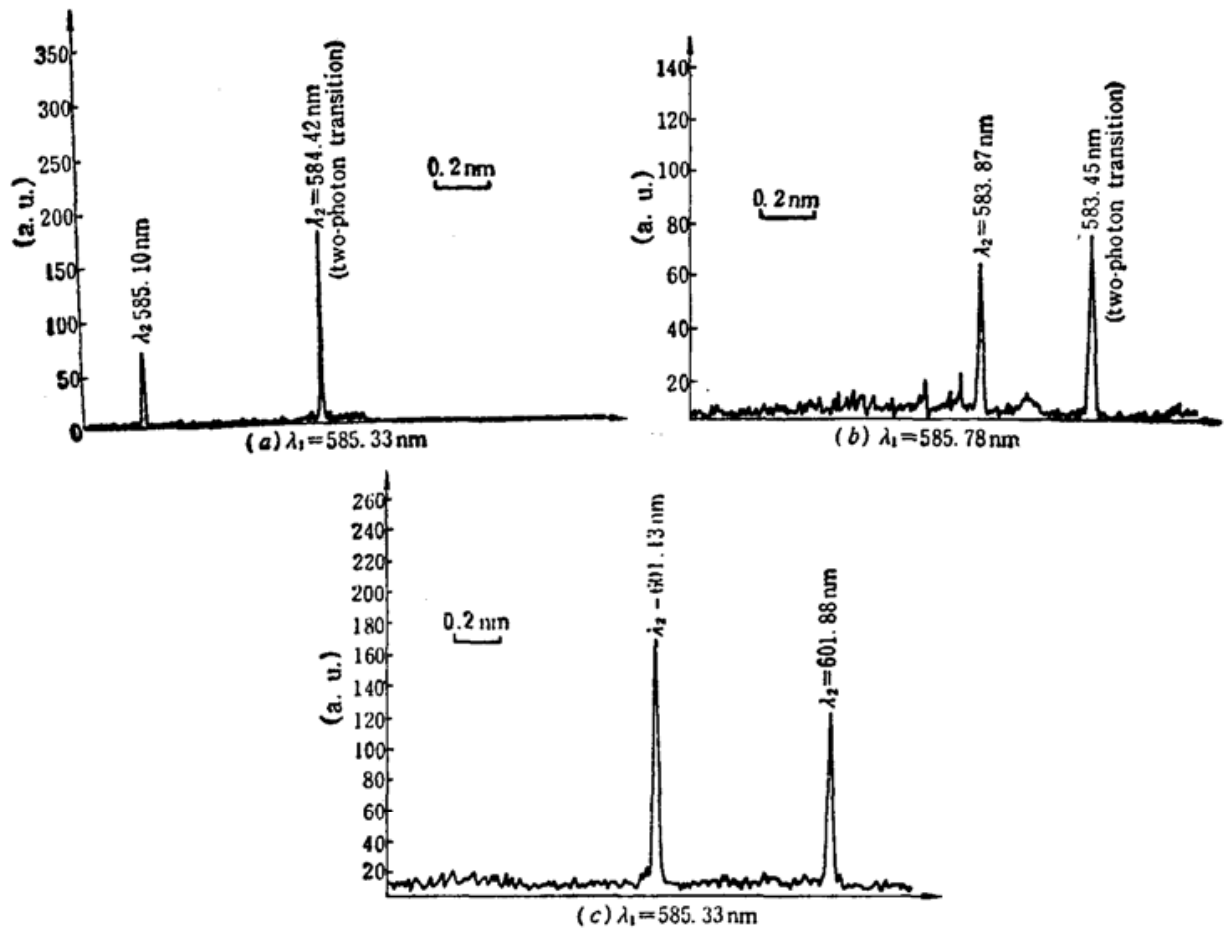


Fig. 3 A part of recorded RMPI spectra of Gd atom. The scanning direction of wavelength in (c) is opposite to (a), (b)

(b)所示。表1和表2表明四个高激发态能级同时适于两种不同的电离路径,因此它们的 J 量子数为5,6。

参 考 文 献

- 1 R. A. Fox *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **26**, 1416(1971)
- 2 R. V. Ambartzumian *et al.*, *JETP Lett.*, **12**, 217(1971)
- 3 R. W. Solerz *et al.*, *Phys. Rev.*, **A14**, 1129(1976)
- 4 V. K. Mshgo *et al.*, *J. Phys. B: at Mol. Phys.*, **20**, 6021(1987)
- 5 P. N. Bajaj *et al.*, *Appl. Phys.*, **B47**, 35(1988)

1991 年国际激光和激光应用讨论会即将召开

由联合国原子能机构、教科文组织所属国际理论物理中心、中国科学院、国家自然科学基金委员会、中国光学学会支持,由中国科学院上海光机所主办的1991年国际激光和激光应用讨论会定于1991年11月4日~16日在上海华夏宾馆举行。中心议题为:激光物理基本理论、激光技术、非线性光学、激光光谱、量子光学、激光化学、激光生物和医学、激光工业应用等。讨论会期间同时举办激光产品展示会。欢迎从事激光研究和应用的科学家、企业家参加。联系人:上海800-211信箱计划处程逸殿(邮编:201800)。