

分子光解产生原子激发态集居 光谱方法的实验研究

顾思洪 王嘉珉 刘炳模 翁祖琪 龚顺生

(中国科学院武汉物理研究所, 武汉 430071)

提要 提出一种用 Ar^+ 激光光解 Cs_2 分子, 从而得到 Cs 原子 5^2D , 6^2P 态集居的光谱实验方法, 并讨论了各种实验参数对原子集居数的影响。

关键词 光解, 集居, 激发态

分子的激光光解由于其在光化学动力学、激光的产生及激光同位素分离等领域的重要学术价值和背景, 早已受到重视并得到深入研究。作为另一方面的应用, 分子光解还可为原子光谱的研究提供实用的激发手段。通过适当的光解过程可有选择地实现某些原子态的集居, 为实现原子高激发态的制备开阔了途径。

事实上, 激光光解作为实现原子高激发态的途径已有应用实例。例如 Gay 等人利用产生 Cs 原子 $5^2D \rightarrow nF$ 态跃迁的激光(波长 600 nm 左右), 同时光解 Cs_2 分子实现 Cs 原子 5^2D 态集居(称为 Hybrid 方法^[1])。由于激发波长往往不是产生光解的最佳波长, 使这种方法实现高激发态集居的效率很低。为了提高光谱激发效率, 我们实验研究了以 Ar^+ 激光为光解光源, 在稳态条件下产生 Cs 原子 5^2D , 6^2P 态集居的效果, 为有效地利用这一方法提供了实验依据。

实验所用装置如图 1 所示, 装有 Cs 样品的屏蔽式热离子二极管^[2]采用分区控温(作用区 230°C , 样品区 200°C), 使作用区除具有密度约为 10^{16}cm^{-3} 的 Cs 原子外还产生密度约为 10^{13}cm^{-3} 的 Cs_2 分子。多线 Ar^+ 激光经棱镜色散后作为光解光 (λ_1) 射入作用区, 为检测 Cs 原子在 6^2P , 5^2D 等态的集居, 将 Ar^+ 激光泵浦环形染料激光器(美国相干公司 899-21 型)产生波长连续可调激光作为激发光射入作用区, 使处于 6^2P , 5^2D 态的 Cs 原子分别按如下途径进一步激发: $6^2P_{1/2} \rightarrow 10^2S$, $6^2P_{3/2} \rightarrow 11^2S$, $5^2D_{3/2} \rightarrow 20$

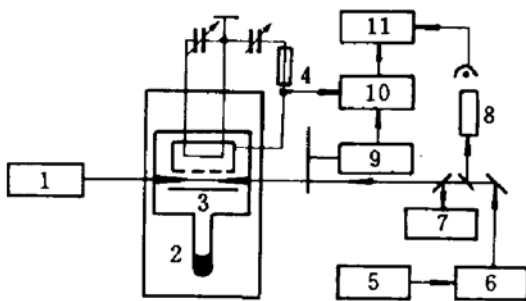


Fig. 1 The experimental arrangement

- 1: photodissociation laser (λ_1); 2: oven; 3: detector;
- 4: resisiter; 5: Ar^+ laser; 6: dye laser; 7: wavemeter;
- 8: F-P etalon; 9: chopper; 10: lock-in amplifier;
- 11: two-pen recorder

为 10^{16}cm^{-3} 的 Cs 原子外还产生密度约为 10^{13}cm^{-3} 的 Cs_2 分子。多线 Ar^+ 激光经棱镜色散后作为光解光 (λ_1) 射入作用区, 为检测 Cs 原子在 6^2P , 5^2D 等态的集居, 将 Ar^+ 激光泵浦环形染料激光器(美国相干公司 899-21 型)产生波长连续可调激光作为激发光射入作用区, 使处于 6^2P , 5^2D 态的 Cs 原子分别按如下途径进一步激发: $6^2P_{1/2} \rightarrow 10^2S$, $6^2P_{3/2} \rightarrow 11^2S$, $5^2D_{3/2} \rightarrow 20$

2F , $5^2D_{5/2} \rightarrow 25^2F$; 激发过程示于图 2。处于高激发态的 Cs 原子经碰撞电离, 正离子在二极管中产生放大的电信号经锁相放大器处理后由 $x-y$ 记录仪记录。

对于每种激发过程, 实验中均保持光解光功率为 20 mW, 激发光功率为 5 mW。对光解光的每一波长, 均记录下有光解光与无光解光条件下的信号强度。这样, 由两者之差可得到由光解光所产生的净集居数, 从两者之比可求出光解光所产生的集居数增益。前者反映了各态集居数与光解光波长的关系, 后者反映了加光解光和仅用 Hybrid 方法相比, 各态集居数增加的倍数。

光解光波长与各态集居数依赖关系的实验数据列于表 1 (已扣除 Hybrid 成分及向不同高激发态跃迁其跃迁几率对信号强度的影响)。对于 5^2D 态, 净集居数随波长变短而迅速增加, 且 $5^2D_{3/2}$ 的集居数增加快于 $5^2D_{5/2}$, 这一结果与理论及其他实验研究结果相一致。对于 6^2P 态, 一般研究结果是其集居数远小于 5^2D , 且 $6^2P_{3/2}$ 集居数大于 $6^2P_{1/2}$ ^[4], 而我们的实验结果却与此不同。造成差别的原因是我们所研究的是稳态工作条件, 所观察的结果为光解的初始集居和其他各种弛豫过程的平衡效应。这种弛豫过程包括各激发态间的集居数碰撞转移和辐射转移等。

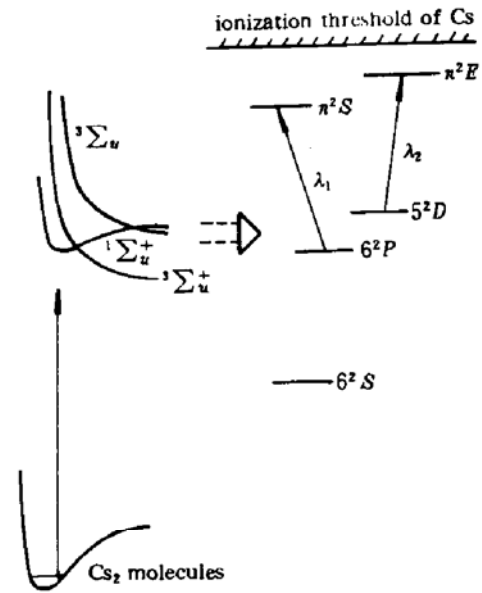


Fig. 2 Diagram of photodissociation and excitation processes

Table 1 The relative populations of states

States	Gain	λ_1 (nm)				
		476.5	488.0	496.5	501.7	514.4
$5^2D_{3/2}$		133	48	16	14	6
$5^2D_{5/2}$		74	41	15	14	4
$6^2P_{1/2}$		66	37	20	20	11
$6^2P_{3/2}$		42	30	19	14	6

Table 2 The multiplication of states population

States	Gain	λ_1 (nm)				
		476.5	488.0	496.5	501.7	514.4
$5^2D_{3/2}$		258	107	28	22	9
$5^2D_{5/2}$		51	38	15	14	5
$6^2P_{1/2}$		8.1	5.7	2.4	2.5	1.3
$6^2P_{3/2}$		2.2	2.0	1.5	1.5	1.1

加光解光与仅用 Hybrid 方法所得原子各态的集居数增益之比见表 2。从表 2 可见, 运用 Ar^+ 激光为光解光源, 可使 Cs 原子各激发态的集居数大大增加, 且 5^2D 态的集居数增加的倍数远高于 6^2P 态。这是因为红、黄光对光解产生 6^2P 态有较高效率, 而对 5^2D 态则较低。这说明已有的 Hybrid 方法在产生 Cs 原子激发态, 尤其是 5^2D 态集居方面比本实验所提出的方法效率

要低得多。例如,在我们的实验条件下, $5^2D_{3/2}$ 集居的产生较用 Hybrid 方法要高近 300 倍。借助于这种方法,我们实验测量了 Cs 原子 n 量子数高于 100 的光谱,以及在数千高斯的外磁场中 n 大于 40 态的抗磁能谱^[5]。

从表 2 可以看出,本方法对于相应原子的更高激发态(如 Cs 原子 7^2S 态等)的光解集居将有更好的集居效果。类似的方法还可以推广到其他易于产生 dimmer 的元素如 Rb, K, In 和 Yb 等。

致谢 作者感谢莫宇翔博士参与本文的有益讨论。

参 考 文 献

- 1 D. Delande, J. C. Gay. Early building up of the quasilandau spectrum in the diamagnetic Coulomb region. *Phys. Lett. A*, 1981, **82**: 399
- 2 S. Gu, Z. Liu, T. Lei. The measurement of n^2D levels and fine structure intervals of Cesium. *Z. Phys. D*, 1993, **25**: 131
- 3 C. B. Collins, J. A. Anderson, D. Popescu *et al.*. Photolytic spectroscopy of simple molecules. I. The production of 5^2D atoms from Cs_2 . *J. Chem. Phys.*, 1981, **74**: 1053
- 4 C. B. Collins, F. W. Lee, J. A. Anderson *et al.*. Photolytic spectroscopy of simple molecules. I. production of $6D$ atoms from the $X^1\Sigma_g$ states of Cs_2 . *J. Chem. Phys.*, 1981, **74**: 1067
- 5 龚顺生, 刘文瑜, 顾思洪等. 铯原子里德伯态抗磁特性研究. 待发表

Experimental Presentation of a Spectroscopic Method for Populations of Excited States of Atoms Produced by Photodissociation of Molecules

Gu Sihong Wang Jiaming Liu Bingmo Weng Zuqi Gong Shunsheng

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica, Wuhan 430071)

Abstract An experimental spectroscopic method of populations of the 5^2D and 6^2P states of Cs atoms produced by photodissociation of Cs_2 molecules through the use of a Ar^+ Laser radiation is presented, and the experimental parameters which influence the state populations are discussed.

Key words photodissociation, population, excited states