

激光诱导水银多光子跃迁

陈耀华 冯士煜

(香港中文大学物理系)

郑顺旋 郭斯淦 梁振斌 马莹莹

(广州中山大学物理系)

提 要

用红宝石的 6943 \AA 激光照射水银, 在远紫外波长范围观察到一条新的水银谱线, 波长为 2882.2 \AA 。该跃迁是由六光子吸收引起的。

一、前 言

近年, 很多作者发现水银是一种非线性光学材料。M. Kroll 等发现水银的 5461 \AA 谱线有共振退化四波混频作用^[1]; M. O. Rodgers 等发现水银的双光子诱导荧光效应^[2]; 以及 J. Bokor 等以水银作为真空紫外高亮度相干辐射源^[3]; R. M. Jopson 用水银等离子体产生极紫外辐射^[4], 因此引起人们对水银的极大关注。

本文报道利用红宝石激光诱导水银, 激发光的光量子能量不同于上述文章中所采用的, 以得到水银原子结构中更多的信息, 便于深入探索其非线性的机理。

二、实验装置及结果

我们采用了如图 1 的实验装置。实验时是用红宝石激光激发点燃着的水银灯, 用摄谱仪记录谱线。图中 A 为 He-Ne 激光器, 输出功率约 2 mW , 作准直用; B 为红宝石激光器的

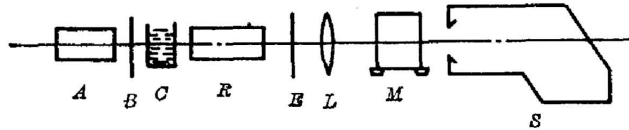


图 1

的全反射介质膜; C 为激光器调 Q 用的染料池, 内盛以染料溶液, 染料溶液采用隐花菁乙醇, 它对 6943 \AA 红光的透过率为 36% ; R 为 $\phi 12 \times 200 \text{ mm}$ 的红宝石棒, E 为激光器的半透介质

膜, 透过率为 50% ; L 为凸透镜, 焦距为 38 mm , L 的作用是把红宝石激光聚焦于水银蒸气的中央, 目的是增加激光的功率密度; 透过水银蒸气的红宝石激光及水银灯光照明摄谱仪狭缝; M 是高压水银灯, 灯内有几个大气压的水银蒸气, 工作时点燃; S 是摄谱仪, 用天津紫外 III 型底片摄谱, 该底片短波灵敏限可达 2000 \AA 。红宝石激光输出波长为 6943 \AA , 工作时输出能量为 1 J , 脉冲宽度 30 ns , 单脉冲工作, 聚焦后激光功率密度约 $1.15 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ 。

收稿日期: 1983年12月27日; 收到修改稿日期: 1984年4月4日

摄谱时,在狭缝前放置哈特曼光阑,在每一底片上拍摄三条谱带。第一带是水银灯光谱,其曝光时间是第二带五次曝光时间的总和。第二带是这样拍摄的,首先点燃水银灯,然后打开快门,马上用单脉冲红宝石激光诱导,曝光后马上关掉快门,如此方法重复共五次,五次激光脉冲重叠拍摄在第二带上,所以第二带是激光诱导的水银光谱。第三带则是铁弧光谱,它作测量波长的标准。因为采用了哈特曼光阑,保证了波长测量的严格,用高精度的比长仪测定波长。

图 2 是实验所得的光谱照片。 A 带是纯水银光谱; B 带是激光诱导水银光谱; C 带是铁弧光谱。把照片的 A 带与 B 带相比较,可以清楚地看到, B 带箭头所示处有一新线。经过反复地精密测量和数据处理,测得该新线的波长为 2882.2 \AA ,误差 $\pm 0.3 \text{ \AA}$ 。

经查阅文献资料及《十万谱线表》,该光谱区域在 $+10 \text{ \AA}$ 范围内不存在水银线,那怕是最弱的也不存在,因而此线应是水银的新跃迁。

在实验中,我们在同样条件下,拍摄曝光时间长达 20 分钟的没有激光激发的水银光谱,则不存在该线。仅当用激光诱导水银灯时才发现此线。显然,此线应为红宝石激光所激发。图 3 是用测微光度计对该谱线及邻近谱线扫描结果,其强度仅作近似比较。

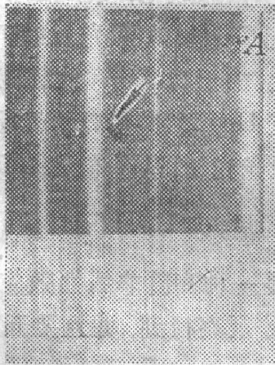


图 2

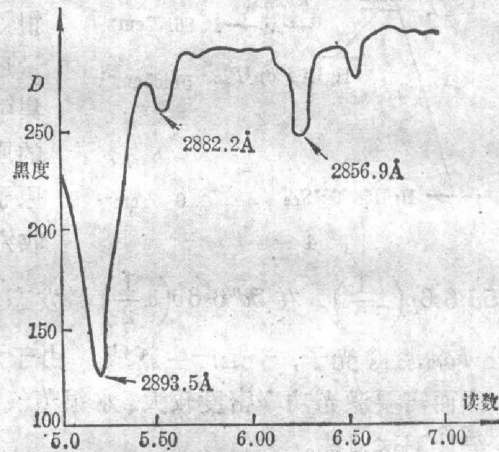


图 3

三、跃迁的动力学

作者作过二种试验,在同样的实验条件下,激光不聚焦时,观察不到此新的水银线,说明只有达到一定的激光功率密度时,才能诱发水银的新跃迁。另外,在同样的工作条件下,不点燃水银灯,让水银处于冷的状态,虽经更多次激光脉冲激发、拍谱,仍然观察不到此线。由此分析,此跃迁的动力学过程如下:

1. 水银的 2882.2 \AA (34696 cm^{-1}) 属于 $5d^9 6s 6p \left(1\frac{1}{2}\right)$ 向 $5d 6p^2 P_{1/2}^0$ 跃迁时产生的辐射。在正常状态下 $5d^9 6s 6p \left(1\frac{1}{2}\right)$ 能级上粒子数很少,普通点燃水银灯的激发不足以使它有足够的集居数,因而正常状态下观察不到它的跃迁,只有用足够强的激光激发才能使其上能级 $5d^9 6s 6p \left(1\frac{1}{2}\right)$ 有足够多的集居数。

2. 众所周知,在低压水银灯中,大量发射原子谱线,离子线极少。而在高压水银灯中,由于电子碰撞,激发能大大增加,因此离子状态的水银有所增加,离子跃迁几率亦增加。

3. 水银离子吸收了红宝石激光光子(14403 cm^{-1})才能从另一能级向上跃迁到 2882.2 \AA 的上能级 $5d^96s6p(1\frac{1}{2})$,因此它可能存在单光子或多光子吸收过程。

4. 我们实验的红宝石激光脉冲功率密度近似为 $1.15 \times 10^9\text{ W/cm}^2$,按苏联 H. Г. Басов 的分析,这功率密度在离化限以上,因此可设想其脉冲前沿使高压水银中的原子 HgI 离化成 HgII,离子反过来对激光后沿吸收。

经过计算和分析,我们认为 2882.2 \AA 新线是由于水银离子六光子吸收引起的,其跃迁过程如下:

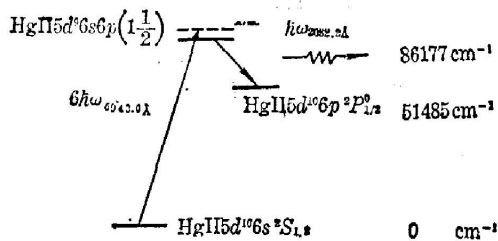
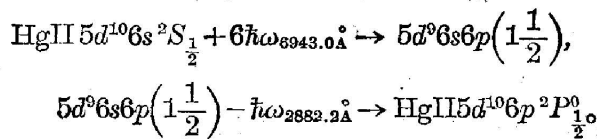


图 4

图 4 为 HgII 能级跃迁示意图。当点燃水银灯时,高压水银灯具有一定量的水银离子,大量还是原子,但水银弧放电,使水银原子及离子集中于放电通道。 6943 \AA 激光入射于这密集原子及离子上,由于功率密度大,脉冲前沿使原子一次离化成 HgII。这些离子云反过来吸收六个红宝石激光光子,从基态 HgII $5d^{10}6s^2S_{\frac{1}{2}}$

跃迁至 $5d^96s6p(1\frac{1}{2})$ 。在 $5d^96s6p(1\frac{1}{2})$ 激发态停留短暂时间后,向 $5d^{10}6p^2P_{\frac{1}{2}}^0$ 跃迁,同时放出 $\hbar\omega_{2882.2\text{ \AA}}$ 光子,于是产生新线。由于六光子吸收是一种高阶非线性效应,跃迁几率较低,因而需要激光功率密度较大、水银蒸气密度较大时才观察得到,并且要五次脉冲重迭,才能记录下这谱线。

四、讨 论

经过反复计算,在水银的 HgI、HgII、HgIII 各自的能态中,与低于六光子的吸收过程相匹配的能级跃迁几乎不存在,而对六光子吸收的跃迁能级却较吻合,存在于 HgII 离子态中。六光子的能量亏损合共 241 cm^{-1} ,因而我们设想其跃迁属于“近共振”型(见图 4),其吸收跃迁的上能级稍高于 $5d^96s6p(1\frac{1}{2})$,间隔为 241 cm^{-1} 。这种“近共振”型机构在多光子跃迁中是存在的, S. Yatsiv^[5] 和 D. Cotter^[6] 早已论述过,并在实验上多次证认这种机构,其调谐宽度也是从几十波数至二、三百波数,因而我们的设想是可能的。

早在六十年代初已观察到三光子吸收^[7],近年多光子离化文章大大增加^[8,9],甚至已达十五光子^[10]。我们实验使用的激光功率密度亦超出 H. Г. Басов 所计算的多光子离化限度一至二个量级,因而六光子吸收过程是完全可能的。

李月友参加本实验,并提供大量数据。

参 考 文 献

- [1] M. Kroll; *Optics Letters*, 1982, **7**, No. 4 (Apr), 151.
- [2] M. O. Rodgers; *Optics Letters*, 1982, **7**, No. 8 (Aug), 359.
- [3] J. Bokor *et al.*; *Optics Letters*, 1981, **6**, No. 4 (Apr), 182.
- [4] R. M. Jopson; *Optics Letters*, 1983, **8**, No. 5 (May), 265.
- [5] S. Yatsiv; *IEEE, J. Q. E.*, 1968, **QE-4**, No. 11 (Nov), 900.
- [6] D. Cotter *et al.*; *Optics Communication*, 1977, **22**, No. 2 (Aug), 190.
- [7] S. Singh *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1964, **12**, No. 22 (Jan), 612.
- [8] M. Stuke; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 8~9, 484.
- [9] 徐帼英; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 8~9, 528.
- [10] A. T'Huillier; *Phy Rev A*, 1983, **27**, No. 5 (May), 2503.

Multiple photon transition from laser-induced mercury

CHEN YAOHUA FENG SHIYU

(The Chinese University of Hong Kong)

ZHENG SHUNXUAN GUO SIGAN LIANG ZHENBIN AND MA YINGYING

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou)

(Received 27 December 1983; revised 4 April 1984)

Abstract

Mercury is irradiated by ruby laser at 6943.0 Å. A new spectral line of 2882.2 Å is observed at far UV wave length range. The transition is caused by six photon absorption.