

Ru 原子荧光及其寿命的测量

黄 雯 许祥源 赵文正 於江辰 陈颀延

清华大学现代应用物理系,北京,100084

1990 年 3 月 12 日收到

本文设计了一个荧光探测系统,采用了电热原子化激光共振激发的方法,可方便地对难熔金属的原子荧光寿命进行测量,从而确定原子能级的寿命. 实验中测得 Ru 原子 $[4d^5s(^6D)5p]^7P^{\circ}$ 能级的寿命为 $70.4\text{ns}(\pm 5\%)$.

PACC: 3250F

一、引 言

近年来,铂族元素 Ru 越来越受到人们的重视,它在海洋资源勘探、地球化学和地质学等应用科学领域有着广阔的前景^[1,2]. 在基础研究中,通过观测 Ru 原子光谱的超精细结构,可以获得有关原子核的电荷分布和角动量等信息;而在天体物理中,为了确定 Ru 原子在天体中的丰度,需要知道 Ru 原子能级的寿命^[3,4]. 在过去很长的时间内,由于 Ru 原子的熔点很高(2310°C),使得研究工作的难度很大. 近年来由于激光技术和原子化技术的发展,为 Ru 原子荧光的测量提供了有力的工具.

二、实验方法

实验装置示意图如图 1. 该装置是在电热原子化激光共振电离装置^[5]的基础上改造而成的,主要包括电热原子化、激光共振激发、原子荧光探测、数据获取几个部分.

Ru 的原子化在电热原子化炉中完成,原子化炉置于约 10^{-5} Torr 的真空中,固态 $\text{RuCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 样品放在石墨坩埚中,用 50Hz 的交流电加热,电流达 150A 以上,这时坩埚的温度约为 2500°C ,原子化后的 Ru 原子形成准直的原子束出射, Ru 原子的热运动速度约为 800m/s. 由于原子热运动的影响,可测得的荧光寿命的上限约为 $5\mu\text{s}$.

实验中所用的激光(脉宽为 28ns)由 EMG202 Excimer 激光器泵浦 FL 3002E 染料激光器产生. 被激光激发到激发态的 Ru 原子通过自发辐射退激时发出的荧光经滤光片被 R456-03 光电倍增管收集,光电倍增管所加高压为 1600V,从光电倍增管输出的信号经快放大器进入 Boxcar, Boxcar 靠外触发产生与激光同步的门信号,调整门信号的延迟时间,可测得荧光信号强度的衰变情况,由此测得荧光的寿命. 门信号的宽度设置依所测能级寿命的长短而定. 由 Boxcar 输出的荧光信号强度被记录仪直接记录.

在图 1 所示的实验装置中, 荧光光路、激光光路以及原子束三者互相正交以抑制杂散

光本底, 同时还可消除多普勒效应的影响(由原子的热运动所引起)。在光路中设置了若干光阑以降低光本底。实验中的杂散光主要由激光的散射光及激光从环境物质中感生出的杂散荧光两部分组成, 通过选择合适的滤光片, 可使本底远小于共振荧光的强度。

在实验中, 脉冲激光器会在荧光测量系统上产生很强的干扰信号, 使实验受到影响。这种干扰主要是通过空间辐射耦合进来的, 频率约为 120MHz, 它在时间上与荧光信号重叠在一起。因此, 我们对光电倍增管以及它的高压电源线、信号引出线都采取了屏蔽措施, 效果很好。在快放大器的输出中, 未采取屏蔽措施时干扰信号大小可达 120mV, 屏蔽后只有 10mV。

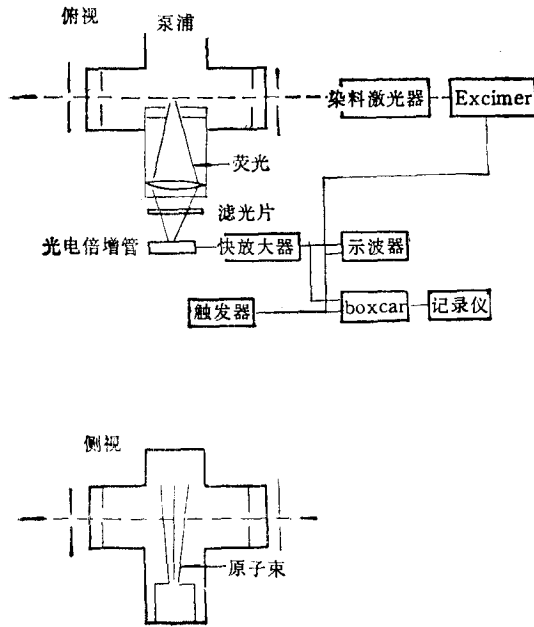
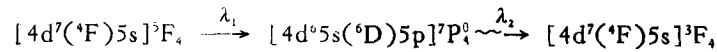


图 1 实验装置示意图

在进行寿命测量时, 我们对原子束的稳定性进行了考察。在恒定的加热温度(2500°C)以及其它实验条件下, 测得的原子荧光信号强度在实验过程中的涨落幅度小于 5%。

三、实验结果与讨论

实验中对以下通道进行荧光寿命测量^[6,7,3]:



λ_1 为激光波长, 为 3440.21 Å; λ_2 为 Ru 原子退激时产生的荧光波长, 为 4212.06 Å

Boxcar 的门宽为 40ns, 测得的荧光强度随时间的变化情形如图 2 所示。每个实验点的测量时间为 5min。

在图 2 中, $t = 0$ 和 $t = 20$ ns 两点所探测到的荧光信号包含了在激光激发过程中 Ru 原子发出的荧光, 因而不能正确地反映出荧光随时间的衰变过程, 亦即不能提供有关荧光寿命的信息。其它实验点所探测到的荧光信号反映的是激光脉冲过后 Ru 原子荧光强度的变化,

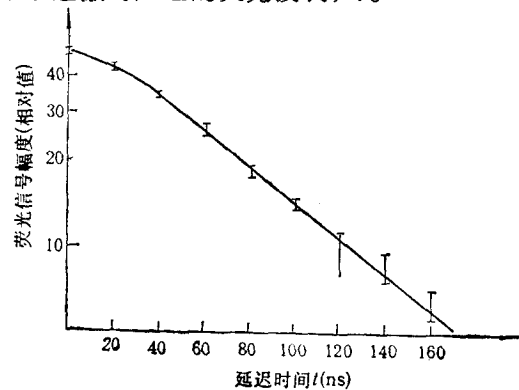


图 2 荧光信号强度随时间的变化曲线

因此我们采用这些点计算荧光寿命。在数据处理中我们采用了最小二乘法拟合。图 2 中在 $t = 120, 140, 160\text{ns}$ 三点处由于荧光信号强度相对较小, 其幅度涨落较大, 测量的时间有限, 因此其实验误差较大, 这些对实验结果会有所影响。最后我们得到 Ru 原子 $[4d^65s(^6D)5p]^7P_0^0$ 能级的寿命为 $70.4\text{ns}(\pm 5\%)$ 。

在文献[3]中, 相应能级的寿命测量值为 $99\text{ns}(\pm 5\%)$, 与我们的结果有较大差异。这个差异可能是由黑体辐射造成的, 具体地说就是在我们的实验中由于原子束出射口发出的辐射造成的部分处于激发态的 Ru 原子受激退激而使所测寿命比实际寿命小。在这种情形下, 有可能通过改变原子化炉与灵敏体积(激光与原子束交叉区域)间的距离观察到测量结果的变化。另外亦可通过改变温度进行观察。

- [1] G. I. Bekov *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 1554.
- [2] G. I. Bekov *et al.*, *Nature*, **332** (1988), 146.
- [3] S. Salih *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B2** (1985), 442.
- [4] E. Biémont *et al.*, *Astron. Astrophys.*, **131** (1984), 364.
- [5] 许祥源等, 物理学报, **38**(1989), 1665.
- [6] C. E. Moore, *Atomic Energy Levels*, NSRDS-NBS35, Vol. III (1971).
- [7] F.M.III Phelps, M.I. T. Wavelength Tables, M.I.T. Massachusetts, Vol. 2 (1982), p. 501.

FLUORESCENCE AND LIFETIME MEASUREMENT FOR RuI

HUANG WEN XU XIANG-YUAN ZHAO WEN-ZHEN YU JIANG-CHEN CHEN DIB-YAN

Department of Modern Applied Physics, Tsinghua University, Beijing, 100084

(Received 12 March 1990)

ABSTRACT

A fluorescence detection system is described in this paper. By means of thermal atomization and laser resonance excitation technique, the system can measure the lifetimes of atomic fluorescence of refractory metals and therefore the lifetimes of the atomic energy levels. The measured lifetime of RuI energy level $[4d^65s(^6D)5p]^7P_0^0$ is $70.4(\pm 5\%)\text{ns}$.

PACC: 3250F