

文章编号: 1007-4627(2002)02-0122-03

类铍硫 $n=2$ 的某些能级寿命的实验研究*

杨治虎, 马新文, 刘惠萍, 王友德, 苏 弘, 肖国青

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 主要报导用束箔技术对天体等离子体中重要元素硫的高电离态原子 $n=2$ 的某些能级寿命的实验测量. 实验数据用 CANDY 程序分析, 并与理论计算结果和其它的实验结果作了比较.

关键词: 束-箔技术; 高电离态原子; 能级寿命

中图分类号: O562.3 **文献标识码:** A

1 引言

天体物质的主要成分是 H 和 He, 随着观测水平的提高, 对 Al, Mg, S, Fe 等含量比较丰富的元素谱线的研究越来越具有意义. 天文学上的一个非常重要的问题是确定星体(包括太阳)的化学组成及其相对丰度. 这是天体进化论、化学元素起源论、天体的年龄理论及天体能量来源理论等的基础. 随着航天技术的发展, 很多天体的光谱线资料可以从空间探测器和地面天文台得到, 但是这些谱线很难从实验室观察到. 精确地识别利用飞行器观察到的谱线, 以及确定这些谱线对应元素的相对丰度和化学元素组成, 对于天体物理学研究是非常重要的. 用传统的光谱技术无法模拟天体上的激发条件, 也就无法获得来自空间的谱线, 用束箔光源可以模拟天体(如太阳)的高温激发条件, 使得人们了解从星体上观测到的谱线. 由束箔光谱的测量, 很容易得到各激发态原子能级的寿命, 从而确定天文光谱上对应的元素的化学组成及相对丰度. 本文用束箔技术对天体等离子体中高电离态原子 $n=2$ 的某些能级寿命进行了实验测量. 这些测量结果对于深入研究天体等离子体中的物理过程, 获得天体物理学研究的准确、精细的信息, 深刻了解各类天体的性质、结构和演化过程是很有意义的.

2 实验测量方法

本实验是在中国科学院近代物理研究所兰州重

离子加速器(HIRFL)上采用束箔光谱技术完成的. 我们的实验研究装置在文献[1, 2]中已有较详细的描述, 它的主要设备是从美国进口的 Mcpherson 247 型掠入射真空紫外光栅单色仪、一台高精度实验靶室、自动控制和数据获取系统. 单色仪的入口狭缝距束流中心约为 5 mm, 这对于测量短寿命特别有利, 但也造成了一些麻烦的高本底效应, 这一问题的处理在有关文章中已讨论^[3].

实验中将电子回旋共振(ECR)离子源产生的 S^{6+} 离子送到 1.7 m 扇聚焦回旋加速器(SFC), 在 SFC 中 S^{6+} 被加速到 80 MeV, 然后引出穿过 25 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳箔. 实验中入射在靶上的流强为 200 nA. 由于离子与箔的相互作用, S^{6+} 被进一步剥离, 成为带有少电子的高电离态原子, 同时电子被激发到高能级, 在退激过程中, 大都放出具有较短波长的光子. 箔的位置不变, 在单色仪罗兰圆上改变通道电子倍增器的探测位置, 就可记录下不同波长、不同强度的激发谱线. 在能级测量中, 只要探测器对准某一波长的位置不变, 改变箔的位置, 就可记录下不同距离光子的计数, 则得到此波长对应能级的衰变曲线, 对曲线进行拟合处理, 就可得到能级的平均寿命. 实验测量由计算机程序化自动进行的, 当步进马达接收到一个触发信号以后, 自动变位, 触发信号由 Faraday 筒收集的电荷数达到一个人为的预置数后而产生, 这个预置数也作为光谱和衰变曲线测量的归一值.

收稿日期: 2002-03-22; 修改日期: 2002-04-02

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19974057, 19804012)

作者简介: 杨治虎(1954-), 男(汉族), 甘肃平凉人, 副研究员, 从事高电离态物理研究.

3 实验结果

在工作中, 我们主要研究了带有 4 个电子的类 Be 硫离子的跃迁:

$$\begin{aligned}
 &2s^2(^1S_0) - 2s2p(^1P_1^0), \\
 &2s2p(^1P_1^0) - 2p^2(^1S_0), \\
 &2s2p(^1P_1^0) - 2p^2(^1D_2), \\
 &2s2p(^3P_2^0) - 2p^2(^1P_2),
 \end{aligned}$$

$$2s2p(^3P_2^0) - 2p^2(^3P_1).$$

精确测量了 $2s2p(^1P_1^0)$, $2p^2(^1S_0)$, $2p^2(^1D_2)$, $2p^2(^1P_2)$, $2p^2(^3P_1)$ 的能级寿命, 得到了较好的实验结果. 图 1 仅给出了部分光谱测量图, 光谱分析主要采用非线性最小二乘拟合和 Cowan 程序计算, 光谱的详细分析见文献[4]. 图 2 给出了其中的 $2p^2(^1S_0)$ 能级寿命测量图.

表 1 能级寿命实验测量结果*

能级	本实验波长	文献波长	本实验寿命值	其它实验寿命值 ^[5]	理论寿命值 ^[6]
$2s2p(^1P_1^0)$	25.667	25.668	129 ± 5	130 ± 15	128
$2p^2(^1S_0)$	30.112	30.099	81.36 ± 10	81 ± 4	84
$2p^2(^1D_2)$	50.051	50.042	712 ± 20	700 ± 50	704
$2p^2(^1P_2)$	30.891	30.894	159.6 ± 7		161
$2p^2(^3P_1)$	31.679	31.685	168 ± 8		

* 波长以 nm 为单位, 寿命以 ps 为单位.

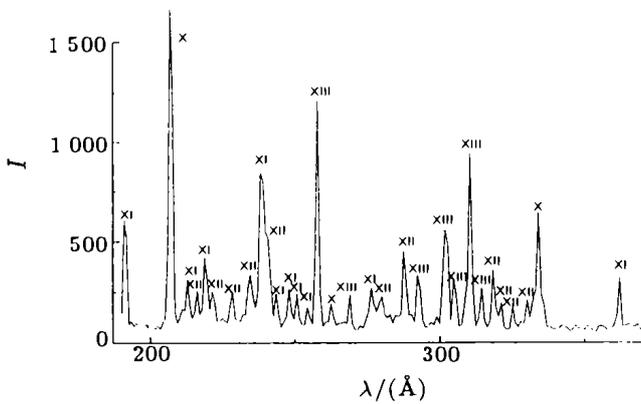


图 1 80 MeV 的硫离子束箔光谱

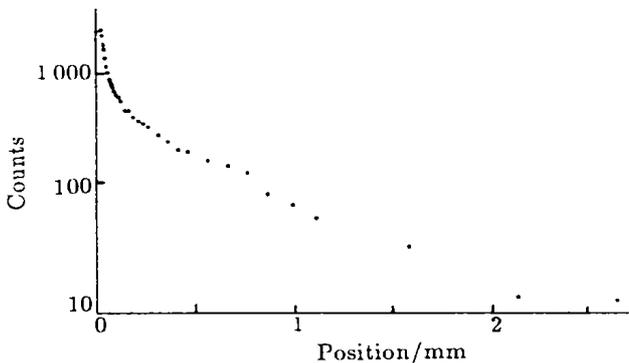


图 2 能量 80 MeV、波长 30.112 nm 的 S 的 $2s2p(^1P_1^0) - 2p^2(^1S_0)$ 的衰变曲线

表 1 中列出了本实验的寿命测量研究结果. 表

中的本实验结果是用 ANDYC-CANDY 程序对 5 条衰变曲线的实验数据分析和对级联效应修正得到的. $2p^2(^1D_2)$ 能级寿命大于文献[5, 6]中的实验和理论值. 这种差异, 可能是级联能级成分修正程度的差异造成的. $2s2p(^1P_1^0)$ 和 $2p^2(^1S_0)$ 能级寿命不仅与文献实验结果符合, 而且也与理论计算结果符合. $2p^2(^1P_2)$ 和 $2p^2(^3P_1)$ 能级寿命值, 我们还没有见到文献报道的实验结果, 但是与理论结果接近.

实验中的误差主要来源于 X 射线产生的本底, 这是由于在我们的实验中, 单色仪的入射狭缝靠近离子束, 虽然这对测量短寿命是非常必要的, 但由于电子会打在狭缝上产生 X 射线而出现高本底, 从而造成一些误差, 这一问题在以后的实验中我们将做改进, 以减少它所产生的本底, 使实验数据更加可靠.

4 结论

我们在研究高电离态硫原子光谱的基础上, 最近研究了较强谱线的能级寿命. 本文给出利用 HIRFL 提供的重离子通过束箔光谱方法测得的类 Be 硫原子的 $2s2p(^1P_1^0)$, $2p^2(^1S_0)$, $2p^2(^1D_2)$, $2p^2(^1P_2)$, $2p^2(^3P_1)$ 5 条能级寿命测量结果, 并首次利用 CANDY 程序对此高电离态原子能级寿命测量中的级联效应进行修正, 其中 $2p^2(^1P_2)$, $2p^2$

(3P_1)两能级的寿命是本次实验首次获得的. 该实验数据的可靠性对今后进一步开展高电离态原子能级寿命的实验研究奠定了基础. 几年来, 我们已在加速器上利用束箔光谱技术研究了多种元素的不同电离态原子光谱、能级寿命和振子强度, 取得了一批实验结果. 为了进一步提高测量效率获得更丰富的实验数据, 尤其是光谱测量中的束能变化测量和

亚稳态能级寿命测量数据, 在此基础上, 我们正在对实验装置进行改进和完善, 用位置灵敏探测器和 CCD 代替目前单光子计数器, 同时可测量 60\AA 范围的光谱和 10 条相关能级的寿命. 这样, 在实验测量分辨和精度不降低的情况下, 实验测量效率可提高两个数量级. 目前进行的这项工作已取得满意的测试结果.

参 考 文 献:

- [1] 王友德, 杨治虎, 徐 谦等. 原子高离化态研究装置[J]. 原子能科学技术, 1992, **26**(6): 42.
- [2] 苏 弘, 杨治虎, 王友德等. 高电离态原子实验研究装置[J]. 山东大学(自然科学版), 2000, **15**: 87.
- [3] Hutton R, Huldt S, Nystrom B, *et al.* Beam-foil Studies of Highly Ionized Nb [J]. Nucl Instr and Meth, 1995, **B98**: 48.
- [4] Yang Z H, Ma X W, Wang Y D, *et al.* Highly Ionized Spectra of the Transition Sulfur [J]. The Astrophysics of Journal, 2000, **544**: 572.
- [5] Trabert E, Heckmann P H. Beam-foil lifetime of Be-like ions of Elements from Mg to S [J]. Physica Scripta, 1980, **22**: 489.
- [6] Bhattacharya N, Bapat B, Ranngwala S A, *et al.* Lifetimes Measurements for Some $N=2$ Levels in Be-like Cl XIV and S XIII [J]. Eur Phys J, 1998, **D 2**: 125.

Lifetime Measurement for Some $n=2$ Levels in Be-like Sulfur*

YANG Zhi-hu, MA Xin-wen, LIU Hui-ping, WANG You-de, SU Hong, XIAO Guo-qing
(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Lifetime measurement has been carried out for some low lying $n=2$ levels in the four electron ions S X III by using the beam-foil technique at National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou, China. Spectra of highly ionized sulfur obtained at an energy of 2.5 MeV/nucleon have been studied in the 190—530 \AA wavelength range. Experimental decay curves are analyzed by the CANDY program, and compared with theoretical calculations and experimental measurements.

Key words: beam-foil technique; highly ionized atom; lifetime

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(19974057, 19804012)