

文章编号: 1007-4627(2004)04-0336-03

^{171}Ta 高自旋态能级寿命测量*

张振龙^{1,2}, 竺礼华^{1,*}, 吴晓光¹, 王治民¹, 贺创业¹, 王月^{1,2},
孟锐^{1,2}, 马瑞刚¹, 崔兴柱^{1,2}, 李广生¹, 温书贤¹, 郑勇³,
A. A. Pastretnak⁴, 周宏余⁵, 刘运祚², 杨春祥^{1,2,5}

(1 中国原子能科学研究院, 北京 102413;

2 吉林大学物理学院, 吉林 长春 130023;

3 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

4 Cyclotron Lab., A. F. Ioffe Phy. Tech. Inst., St. Petersburg, Russia;

5 北京师范大学低能核物理研究所, 北京 100875)

摘要: 在中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器上通过 $^{157}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 5n)^{171}\text{Ta}$ 重离子熔合蒸发反应布居了 ^{171}Ta 的高自旋态, 以多普勒移动衰减法的峰形分析法分析了 ^{171}Ta $h_{9/2}$ 质子 1/2[541] 转动带的 6 条能级的寿命, 得到了这 6 条能级的平均寿命值.

关键词: 高自旋态; 多普勒移动衰减法; 能级寿命

中图分类号: O571.21 **文献标识码:** A

1 引言

大量的实验及理论研究结果显示, 稀土奇质子核第一带交叉是由一对 $i_{13/2}$ 中子拆对顺排引起的. 在这一核区由于价中子和价质子填充不同的主壳层, 奇质子核第一带交叉频率与相邻偶偶核晕带第一带交叉频率非常相近. 然而, 实验上也观测到了一些反常事例, 例如: $^{165, 167}\text{Lu}$, $^{167, 169, 171, 173, 175}\text{Ta}$ 和 $^{171, 173, 175}\text{Re}$ 基于 $h_{9/2}$ 质子 1/2[541] Nilsson 组态转动带的带交叉反常推迟^[1, 2]. 理论计算表明, 在这一核区随着原子核四极形变增大, $i_{13/2}$ 中子拆对顺排的带交叉频率亦增大. 因此, 一般认为四极形变的增加与上述带交叉频率反常推迟密切相关. 然而, 基于推转壳模型的理论计算无法再现实验观测到的那么大的推迟. 核能级寿命的测量能提供原子核四极形变的信息. 为了澄清稀土奇质子核 $h_{9/2}$ 质子 1/2[541] 转动带的带交叉反常推迟与四极形变驱动效应的关系, 我们利用多普勒移动衰减法 (DSAM) 对 ^{171}Ta 的 1/2[541] 转动带的能级寿命进行了测量.

2 实验简介

^{171}Ta 的高自旋态是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上通过 $^{157}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 5n)^{171}\text{Ta}$ 反应布居的. ^{19}F 束流能量为 105 MeV, ^{157}Gd 同位素靶的纯度为 97.3%, 靶厚为 2.5 mg/cm², 并带有厚度为 15.1 mg/cm² 的 ^{208}Pb 底衬用以阻停反冲核. 蒸发剩余核 ^{171}Ta 在慢化过程中退激发射的 γ 射线由分布于靶室周围的 11 个 HPGe-BGO 反康谱仪组成的探测器阵列进行了 γ - γ 符合测量. 探测器阵列中各 HPGe 探测器的位置和效率见表 1. γ - γ 符合实验共获取了 144×10^6 个符合事件. 在离线分析时按前角和后角建立了两个 E_γ - E_γ 两维矩阵, 一个是由位于 48° 角的 10# 和 11# 探测器与其他所有探测器之间符合关系建立的矩阵, 另一个是由位于 132° 角的 8# 和 14# 探测器与其他所有探测器之间符合关系建立的矩阵. 这样, 通过对这两个矩阵进行开窗投影就可以分别得到前角和后角的 ^{171}Ta 1/2[541] 转动带的 γ 谱, 再通过对比前角和后角 γ 谱的多普勒展宽峰形分析便可提取能级寿命.

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(TG2000077405); 国家自然科学基金资助项目(10175090, 10105015, 10375092)

作者简介: 张振龙(1976-), 男(汉族), 辽宁营口人, 初级, 从事空间辐射效应研究.

联系人: 竺礼华, E-mail: zhulh@iris.ciae.ac.cn

表 1 探测器阵列中各 HPGe 探测器的位置和效率

探测器	1#	2#	3#	4#	5#	8#	9#	10#	11#	13#	14#
位置(角度)/(°)	138.5	90	40	41	109.5	132	90	48	48	90	132
效率/(%)	20	20	20	30	40	35	30	30	30	30	30

3 实验数据 DSAM 寿命分析

数据分析中使用了 DSAM 峰形分析方法. DSAM 峰形模拟时使用了 Pasternak 教授^[3]编写的一套峰形分析软件, 程序基于核反应统计模型, 模拟了复合核的熔合蒸发(其中还考虑了裂变竞争)过程, 对每一事件模拟出复合核在靶中的生成位置和反冲速度矢量, 其中考虑了束流在靶中的减速, 并计算出蒸发粒子(n, p, α)之后剩余核的反冲速度矢量变化. 用蒙特卡罗方法模拟反冲核在阻停材料中移动时的减速和多次散射过程, 并模拟从入口态的 γ 级联发射以及 γ 射线在探测器中的吸收. 在 DSAM 的峰形分析法中, 边馈所造成的系统误差是影响分析精确性的主要因素之一. 这套程序采用的办法是用理论模型来模拟边馈的影响.

实验分析了 ^{171}Ta 的 $1/2[541]$ 转动带中自旋值从 $33/2$ 至 $53/2$ 共 6 条能级的寿命. 作为一个典型的例子, 图 1 给出了 $I^\pi=41/2^-$, $E_\gamma=650$ keV 的 γ

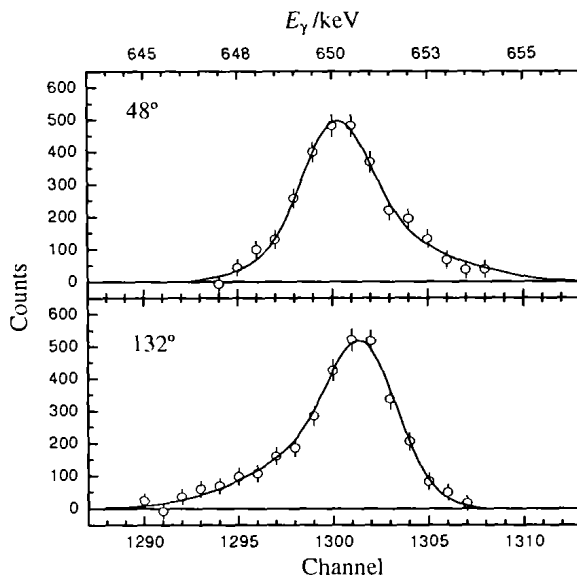


图 1 $I^\pi=41/2^-$, $E_\gamma=650$ keV 的 γ 跃迁在前角(上)和后角(下)的实验峰形(空心点)和模拟计算谱(实线)

跃迁在前角和后角的实验谱和模拟计算谱, 模拟给出的平均寿命值是 $0.58(7)$ ps. 图 2 给出了 ^{171}Ta

的 $1/2[541]$ 转动带的能级纲图, 右侧列出了相应能级的寿命. 给出的误差包括 χ^2 拟合的统计误差、阻止本领误差和与边馈以及级联馈入不确定因素相联系的误差. 其中从 $33/2$ 能级跃迁到 $29/2$ 能级的 570 keV 的 γ 射线, 由于多普勒效应不明显且本底状况较差, 仅给出了寿命的下限值. 从图 2 中可以看到, 随着角动量的增加, 能级寿命缓慢变短, 亦即 $B(E2)$ 变小, 显示其四极形变缓慢减小.

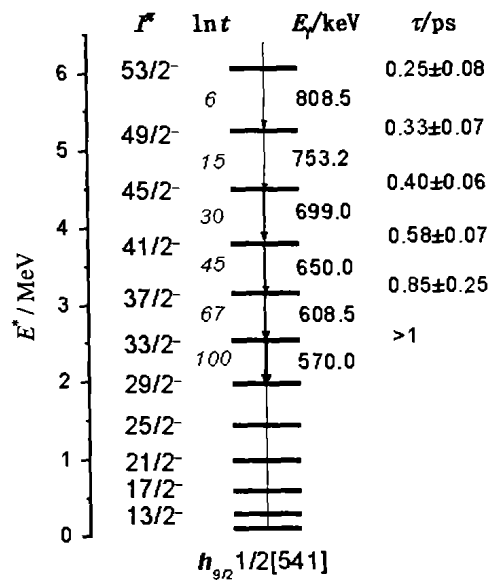


图 2 ^{171}Ta 的 $1/2[541]$ 转动带的部分能级纲图和能级寿命结果

4 结论

通过 $^{157}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 5n)^{171}\text{Ta}$ 重离子熔合蒸发反应布居了 ^{171}Ta 的高自旋态, 用 DSAM 的峰形分析法分析了 ^{171}Ta $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带的 6 条能级的寿命, 得到这 6 条能级的平均寿命值. 结果显示, 随着角动量的增加, 能级寿命缓慢变短, 说明其四极形变随着角动量的增加有缓慢减小的趋势.

致谢 本工作是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上完成的, 在此感谢加速器运行组成员为实验的顺利完成提供稳定的束流, 同时还要感谢加

速器制靶组的许国基研究员为本实验制作实验靶。

参 考 文 献:

- [1] Yang C X, Wen S, Li S G, *et al.* Chin J Nucl Phys, 1994, **16** (3): 217.
 (3): 223. [3] Pastrernak A A, Sasaki Y, Efimov A D, *et al.* Euro Phys J, 2000, **A9**: 293.
- [2] Yang C X, Li S G, Liu X A. Chin J Nucl Phys, 1994, **16**

Lifetime Measurement of High Spin States in ^{171}Ta *

ZHANG Zhen-long^{1,2}, ZHU Li-hua¹, WU Xiao-guang¹, WANG Zhi-min¹, HE Chuang-ye¹, WANG Yue^{1,2},
 MENG Rui^{1,2}, MA Rui-gang¹, CUI Xing-zhu^{1,2}, LI Guang-sheng¹, WEN Shu-xian¹, ZHENG Yong³,
 A. A. Pastrernak⁴, ZHOU Hong-yu⁵, LIU Yun-zuo², YANG Chun-xiang^{1,2,5}

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102314, China;*

2 *College of Physics, Jilin University, Changchun 130023, China;*

3 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

4 *Cyclotron Lab, A. F. Ioffe Phy. Tech. Inst., St. Petersburg, Russia;*

5 *Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)*

Abstract: The high spin states of ^{171}Ta have been populated via heavy ion fusion evaporation reaction ^{157}Gd (^{19}F , $5n$) ^{171}Ta at the HI-13 tandem accelerator in China Institute of Atomic Energy. The lifetimes of the high spin states in ^{171}Ta have been measured by using the Doppler Shift Attenuation Method (DSAM). Six levels of its $h_{9/2}$ proton $1/2[541]$ band have been analyzed and their lifetimes have been deduced from the experimental data.

Key words: high spin states; Doppler shift attenuation method; lifetime

* **Foundation item:** Major State Basic Research Development Program (TG2000077405); National Natural Science Foundation of China (1017509), 10105015, 10375092)