

^{145}Tb 的高自旋态能级纲图*

郑勇 周小红 张玉虎 刘忠 潘强岩 甘再国

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

T. Hayakawa M. Oshima T. Toh T. Shizuma J. Katakura Y. Hatsukawa M. Matsuda

(Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319 - 1195, Japan)

H. Kusakari

(Chiba University, Inage-ku, Chiba 263 - 8512, Japan)

M. Sugawara

(Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275 - 0023, Japan)

摘要 利用能量为 161—175 MeV 的 ^{32}S 束流, 通过反应 $^{118}\text{Sn}(^{32}\text{S}, 1\text{p}4\text{n})$ 产生了 ^{145}Tb 的高自旋态. 进行了 γ 射线的激发函数、 γ - γ - t 符合测量. 首先建议了由 24 条能级和 42 条 γ 跃迁组成的 ^{145}Tb 核的能级纲图, 并指定了各条能级的自旋值及部分低位能级的宇称. 用一个 $\pi h_{11/2}$ 价质子与 ^{144}Gd 核芯激发态的耦合定性解释了 ^{145}Tb 的一些低位激发态.

关键词 在束 γ 谱学 高自旋态 能级纲图

1 引言

对于奇 A 的 Tb 原子核, 中子数 $N = 82$ 的 ^{147}Tb 的能谱结构呈现典型的单粒子激发特征^[1], 而 $N = 78$ 的 ^{143}Tb 的基态具有稳定的形变^[2]. 因此, $N = 80$ 的 ^{145}Tb 处于该同位素链形状变化的转折点上. 它的低位能态主要是由价核子轨道角动量的顺排形成的, 而随着角动量和激发能的升高其能谱结构中会呈现一定的集体运动的特点. 在本工作之前, ^{145}Tb 的低位能级结构的信息主要来源于 ^{145}Dy 的衰变研究^[3-5]. L. Goettig 等人利用 $^{92}\text{Mo}(^{56}\text{Fe}, 3\text{p})$ 反应, 通过粒子- γ 符合鉴别了一批 ^{145}Tb 的 γ 射线, 但未能建立 ^{145}Tb 的能级纲图^[6]. 另外, 文献[7]报道了 ^{145}Tb 存在超形变带. 本工作利用 $^{118}\text{Sn}(^{32}\text{S}, 1\text{p}4\text{n})^{145}\text{Tb}$ 反应, 首次建立了 ^{145}Tb 的高自旋态能级纲图.

2001 - 06 - 27 收稿

* 国家自然科学基金(10005012, 10025525, 10075062), 中国科学院百人计划和国家重点基础研究发展规划(G2000077400)资助

2 实验

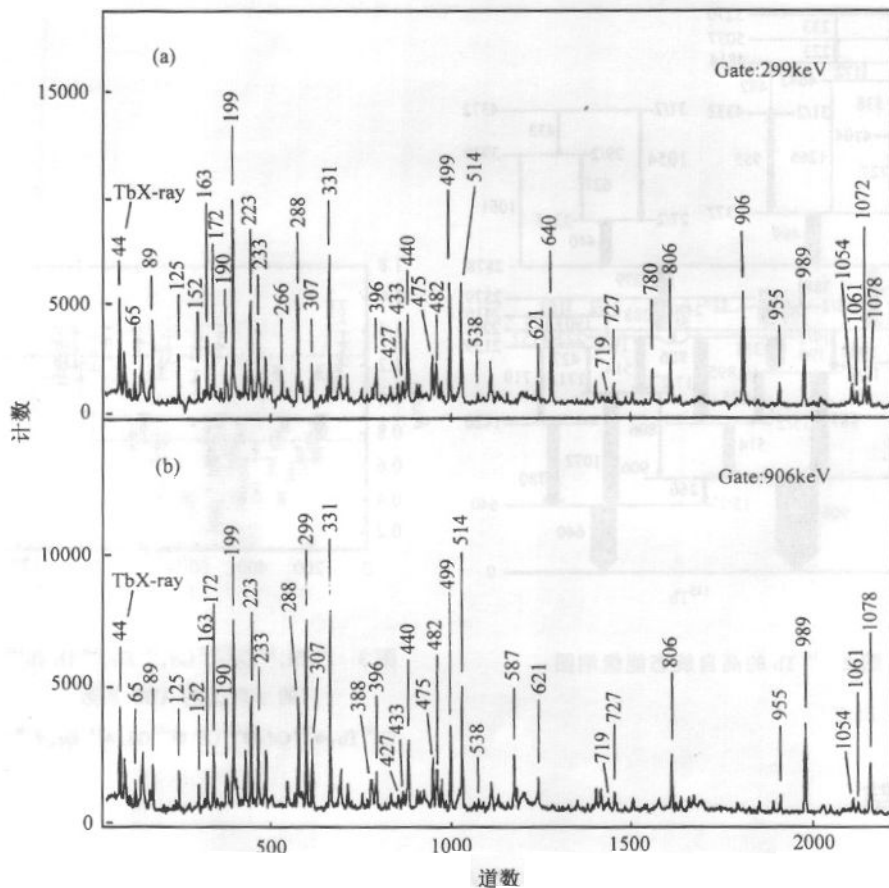
利用日本原子力研究所提供的 ^{32}S 束流,通过 $^{118}\text{Sn}(^{32}\text{S},1\text{p}4\text{n})$ 反应产生了 ^{145}Tb 的高自旋激发态。 ^{118}Sn 靶的厚度约为 $1.8\text{mg}/\text{cm}^2$,靶的后面蒸上了 $3.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 厚的铅衬。为了确定布居 ^{145}Tb 激发态的最佳束流能量,实验首先进行了 γ 射线的激发函数测量。参考激发函数理论计算的结果,实验中选取了175,168,161MeV 3个束流能量点。测量结果显示布居 ^{145}Tb 的激发态的最佳束流能量为165MeV。然后在此束流能量下进行了长时间的 γ - γ - t 符合测量,这里, t 是符合的两条 γ 射线到达探测器的相对时间差,符合窗为200ns。在 γ - γ 符合测量时,使用了12台BGO(AC)HPGe探测器,它们分别放置于与束流方向成 90° , $\pm 58^\circ$, $\pm 32^\circ$ 的位置上,各HPGe探测器对 ^{60}Co 标准放射源1332keV峰的能量分辨在2.0—2.8keV之间。 γ - γ 符合数据以事件方式记录到数据文件中,共获取了约 350×10^6 个符合事件。在离线数据处理时,对各个探测器进行增益匹配,然后将 γ - γ 符合数据分类反演建成带有不同时间条件的符合矩阵。在实验开始前和结束后,利用 ^{152}Eu 和 ^{133}Ba 标准放射源对各探测器做了能量和相对探测效率刻度。

为了确定 γ 射线的跃迁多极性,进而指定相关能级的自旋值,本工作测量了在符合模式下的 γ 射线的各向异性度,即ADO系数。具体方法如下:在数据处理时,把位于 32° 和 90° 位置处探测器记录到的 γ 射线的能量值分别放到两个矩阵的 y 轴上,与之符合的其他 γ 射线,不论被哪个角度的探测器所记录,都把相应的能量值放到相应矩阵的 x 轴,从而建立了两个不对称矩阵。用较强的 γ 射线对这两个矩阵进行 y 方向投影,定义ADO系数为 32° 和 90° 方向上投影谱中 γ 射线的强度比:即 $R_{\text{ADO}} = I_{\gamma_{32^\circ}}/I_{\gamma_{90^\circ}}$ 。在提取 γ 射线强度时,对这两个 y 方向的投影谱进行了相对探测效率修正。根据偶极和四极跃迁的角分布特性,对应于这两种跃迁极性的 γ 射线,它们的ADO系数应明显不同。C. T. Zhang等人基于 γ 射线的ADO系数成功地指定了 γ 跃迁的多极性^[8]。

在文献[6]中,利用粒子与 γ 射线的符合测量指定了 ^{145}Tb 的 γ 射线。这些结果与本工作基于 γ 射线的激发函数测量结合KX- γ 符合测量的指定结果是一致的。

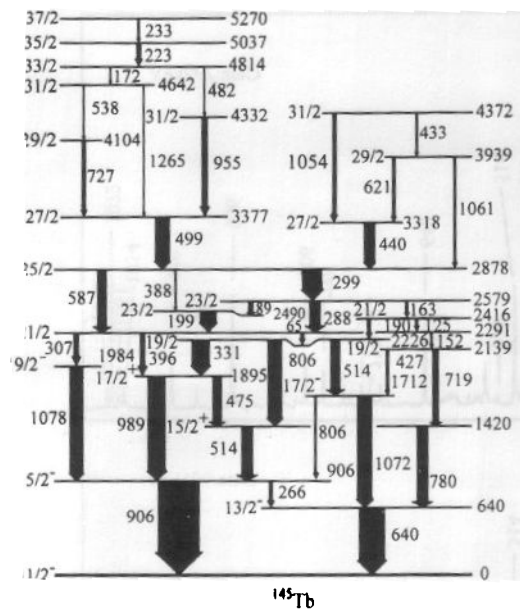
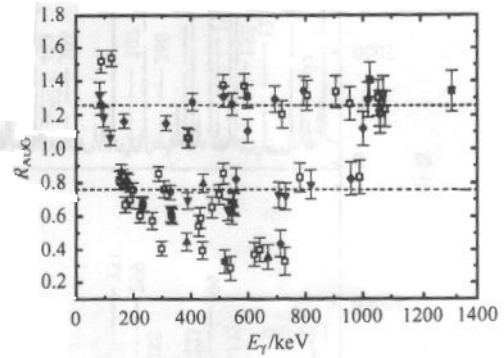
3 结果与讨论

对 ^{145}Tb 的每一条 γ 射线均做了拉门谱,图1给出了两个典型的拉门谱,以显示本工作得到的数据统计量。仔细地比较和分析每条 γ 射线的拉门谱,结合 γ 跃迁的强度平衡和交叉跃迁等信息,本工作首次建议了 ^{145}Tb 的高自旋态能级纲图(见图2)。 ^{145}Tb 能级纲图由24个能级、42条 γ 跃迁组成。纲图标明了各个能级和相应各条 γ 跃迁的能量值, γ 跃迁线的粗细代表了其相对强度的大小。基于 ^{145}Tb 的 γ 跃迁的ADO系数,指定了 ^{145}Tb 的能级自旋值。图3给出了 ^{145}Tb 的 γ 跃迁的ADO系数,可见ADO系数比较明显地分成两组。本工作提取了 ^{143}Gd , ^{142}Gd , ^{143}Eu , ^{146}Tb 和 ^{144}Gd 已知跃迁多极性的 γ 射线的ADO系数(见图3),由这些ADO系数得到四极跃迁的取值为1.25左右,而偶极跃迁的取值为0.76左右,M1和E2的混合跃迁则介于这两组之间。

图1 经本底修正的 γ - γ 符合谱

(a) 门 299keV 跃迁的符合谱;(b) 门 906keV 跃迁的符合谱.

本工作所建议的¹⁴⁵Tb能级纲图中不规则的能级间隔以及众多的平行跃迁清楚地说明了¹⁴⁵Tb核具有典型的单粒子运动特性. 在¹⁴⁵Dy的衰变研究中指出^[4], ¹⁴⁵Tb的基态可能是 $\pi d_{3/2}$ 或 $\pi h_{11/2}$. 比较同中子素核¹⁴³Eu^[9-13]和¹⁴⁵Tb低位能级结构, 本工作假定¹⁴⁵Tb的高自旋能级纲图应基于 $\pi h_{11/2}$ 质子轨道. 在¹⁴⁵Dy的衰变研究中观测到了连接¹⁴⁵Tb的 $13/2^-$ 和 $11/2^-$ 的640keV跃迁^[5], 这一实验结果支持我们的假设. ¹⁴⁵Tb的低位能级结构与¹⁴³Eu的基于 $\pi h_{11/2}$ 轨道的能级结构十分相似, 借鉴对¹⁴³Eu低位能级结构的讨论^[12,13], 我们认为¹⁴⁵Tb的自旋值为 $13/2$ 和 $15/2$ 的晕态是由 $\pi h_{11/2}$ 价质子与¹⁴⁴Gd核芯的 2^+ 态耦合形成的, 位于1712keV($17/2^-$)和1984keV($19/2^-$)的两条能级是由 $\pi h_{11/2}$ 价质子与¹⁴⁴Gd核芯的 4^+ 态耦合形成的. 核芯¹⁴⁴Gd的 2^+ 和 4^+ 态主要是由中子空穴激发形成的^[14,15]. 在¹⁴⁴Gd中观测到了位于1702keV的八极振动态 3^- . 预期 $\pi h_{11/2}$ 价质子与此 3^- 态耦合应形成能量为1.7MeV左右的正宇称态. 本工作所提取的ADO系数表明989和780keV为偶极跃迁, 由这两条跃迁分别退激的1420和1895keV能级很可能是 $\pi h_{11/2} \times 3^-$ 多重态角动量最高的两个分态. 基于以上讨论, 本工作指定了¹⁴⁵Tb低位激发态的字称.

图 2 ^{145}Tb 的高自旋态能级纲图图 3 ^{145}Tb , ^{143}Gd , ^{142}Gd , ^{143}Eu , ^{146}Tb 和 ^{144}Gd 的 γ 射线的 ADO 系数

□ ^{145}Tb , ◆ ^{144}Gd , ■ ^{143}Gd , ● ^{142}Gd , ▲ ^{143}Eu , ▼ ^{146}Tb .

4 总结

本工作利用 $^{118}\text{Sn}(^{32}\text{S}, 1p4n)$ 反应, 通过 γ 射线的激发函数以及 γ - γ - t 符合测量首次建议了 ^{145}Tb 的高自旋态能级纲图. 基于 ^{145}Tb 的 γ 跃迁的 ADO 系数, 指定了 ^{145}Tb 的能级自旋值及部分低位能级宇称. 用一个 $\pi h_{11/2}$ 价质子与 ^{144}Gd 核芯激发态的耦合定性解释了 ^{145}Tb 的低位能级结构. 下一步将要利用弱耦合模型和壳模型的计算对 ^{145}Tb 的能级结构进行更完善的解释.

参考文献 (References)

- Schumacher C, Brentano P V, Dewald A et al. Z. Phys., 1995, A351:39
- Espinoza-Quinones F R, Rizzutto I A, Cybulska E W et al. Phys. Rev., 1999, C60:054304
- Alkhazov G D, Mezilev K A, Novikov Yu N et al. Z. Phys., 1982, A305:185
- Toth K S, Sousa D C, Nitschke J M et al. Phys. Rev., 1993, C48:436
- Firestone R B et al. Table of Isotopes, Eighth Edition, Vol. 1:1406
- Goettig L, Gelletly W, Lister C J et al. Nucl. Phys., 1987, A475:569
- Mullins S M, Schmeing N C, Flibotte S et al. Phys. Rev., 1994, C50:2261
- ZHANG C T, Bhattacharyya P, Daly P J et al. Nucl. Phys., 1998, A628:386
- Wisshak K, Hanser A, Klewe-Nebenius H et al. Z. Phys., 1976, A277:129
- Firestone R B, Warner R A, McHarris W C et al. Phys. Rev., 1978, C17:718
- Aryaeinejad R, Firestone R B, Bentley W H et al. Phys. Rev., 1981, C23:194
- Müller-Veggian M, Zuber K, Güvenc H et al. Z. Phys., 1988, A330:343

- 13 Piiparinen M, Atac A, DeAngelis G et al. *Z. Phys.*, 1992, **A343**:367
14 Mariscotti M A J, Beuscher H, Davidson W F et al. *Nucl. Phys.*, 1978, **A311**:395
15 Rzaca-Urban T, Utzelmann S, Strähle K et al. *Nucl. Phys.*, 1994, **A579**:319

Level Scheme of High-Spin States in ¹⁴⁵Tb *

ZHENG Yong ZHOU Xiao-Hong ZHANG Yu-Hu LIU Zhong
PAN Qiang-Yan GAN Zai-Guo

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

T. Hayakawa M. Oshima T. Toh T. Shizuma J. Katakura Y. Hatsukawa M. Matsuda

(Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan)

H. Kusakari

(Chiba University, Inage-ku, Chiba 263-8512, Japan)

M. Sugawara

(Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275-0023, Japan)

Abstract High-spin states of ¹⁴⁵Tb have been studied via the ¹¹⁸Sn(³²S, 1p4n) ¹⁴⁵Tb reaction by means of in-beam γ -ray spectroscopy. Measurements of γ -ray excitation functions and γ - γ - t coincidences were performed with 12 BGO(AC)HPGe detectors. A level scheme for ¹⁴⁵Tb including 41 γ -rays which come from the deexcitations of the 24 levels, has been established for the first time based on an analysis of the γ -ray excitation functions, γ - γ coincidence relationships, intensity balances and cross-over transitions. The spins for most of the levels in the scheme are assigned according to the results of the measured γ -ray anisotropies. Considering the structure similarity between ¹⁴³Eu and ¹⁴⁵Tb, the low-lying levels in ¹⁴⁵Tb are interpreted by coupling a $h_{9/2}$ proton to the excited states in ¹⁴⁴Gd core.

Key words in-beam γ spectroscopy, high spin state, level scheme

Received 27 June 2001

* Supported by NSFC (10009012, 10025525, 10075062), 100 Talent programme of CAS and Major State Basic Research Development Program (G2000077400)