原子核¹⁴⁵Tb的多准粒子激发^{*}

郑勇^{1;1)} 周小红¹ 张玉虎¹ 柳敏良¹ 郭应祥¹ 雷相国¹ T. Hayakawa² M. Oshima² T. Toh² T. Shizuma² J. Katakura² Y. Hatsukawa² M. Matsuda² H. Kusakari³ M. Sugawara⁴

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)
(Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan)
3 (Chiba University, Inage-ku, Chiba 263-8512, Japan)
4 (Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275-0023, Japan)

摘要 利用能量为165MeV的³²S 束流,通过熔合蒸发反应¹¹⁸Sn(³²S,1p4n),布居了¹⁴⁵Tb的高自旋态.基于标准在束核谱学实验测量结果,首次建立了¹⁴⁵Tb的高自旋态能级纲图.根据邻近 N = 80 同中子素能级结构的系统性,用弱耦合模型对¹⁴⁵Tb的低位能级结构进行了解释.本工作在多粒子壳模型组态基础上对¹⁴⁵Tb的更高激发态进行了深入讨论.为了使实验能级的组态指定更为直接方便,采用了参数无关的半经验壳模型计算.其结果清楚地揭示了球形核多准粒子的激发特性.

关键词 高自旋态 能级纲图 多准粒子激发

1 引言

原子核壳模型能够很好地描述质子数和中子数 接近幻数的原子核.¹⁴⁵Tb相对于双幻核¹⁴⁵Gd有一 个价质子和一对中子空穴,预期¹⁴⁵Tb的能谱结构 将具有典型的多准粒子激发特征.本工作首次建立 了¹⁴⁵Tb的高自旋态能级纲图,相关实验细节以及初 步结果已经发表在快报上^[1],本文将着重对¹⁴⁵Tb的能 级结构进行理论分析.

2 实验结果

利用能量为165MeV的³²S 束流,通过熔合蒸发反应¹¹⁸Sn(³²S,1p4n),用12套BGO(AC)HPGe探测器进行了γ射线的激发函数,X-γ-t和γ-γ-t符合测量. 通过分析实验数据,首次建立了由50个能级,81条γ跃 迁组成的¹⁴⁵Tb的高自旋态能级纲图,如图1所示.纲 图显示¹⁴⁵Tb的能级结构具有典型的多粒子激发特性. 比较¹⁴⁵Tb周围核的结构,可以认为¹⁴⁵Tb的低位激 发态是由一个 h_{11/2} 价质子与其偶偶核芯¹⁴⁴Gd 的 2⁺, 4⁺和 3⁻态^[2]耦合而成的.这些核芯激发态具有集体 运动特性,当采取只适用于单纯组态的壳模型来计算 这些激发态能量时,往往导致计算结果偏离实验观测 值.本工作利用另外一种方法计算¹⁴⁵Tb 弱耦合态的 激发能.对于更高激发,我们仍将在壳模型组态基础上 讨论¹⁴⁵Tb 的晕态能级.

3 理论分析

3.1 粒子-核芯相互作用计算

奇质量 N = 80 同中子素的低位激发态可看作是 由一个价质子与相应偶偶核芯的 2⁺,4⁺和 3⁻激发态 耦合形成.因此,可以通过粒子-核芯相互作用能来计 算这些核态的能量.该方法最早被成功地用于计算奇 质量Bi同位素的三准粒子态能量^[3—5].利用从周围核 提取得到的粒子-芯相互作用能以及¹⁴⁴Gd的激发能 谱,计算了¹⁴⁵Tb的弱耦合能级的激发能.图 2 显示了

^{*} 国家自然科学基金(10005012)和国家重点基础研究发展规划项目(TG2000077402)资助

¹⁾ E-mail: zhengyong@impcas.ac.cn





和

计算结果与实验观测值的比较,计算结果很好地 再现了实验观测到的¹⁴⁵Tb核的低位能级. 图2还 比较了¹⁴⁵Tb与邻近奇质量同中子素¹⁴³Eu,¹⁴⁷Ho 和¹⁵¹Lu低位激发能级的系统性. 可以清楚地看 到¹⁴⁵Tb的能级与邻近同中子素的系统性符合得很 好; ($\pi h_{11/2} \otimes \nu^{-2}2^+, 4^+$)和($\pi h_{11/2} \times 3^-$)多重态的激 发能与相应核芯激发的能量相差不大,这说明价质子 与核芯的作用比较弱.



图 2 奇质量 N = 80 同中子素的低位能级能量(粗线),在¹⁴⁵Tb 能级能量的右边显示了相应的理论计算值(细线) 相同组态的能级能量用虚线相连,圆形,四方形和三角形符号代表偶偶核芯的相应激发态能量.

3.2 半经验壳模型计算

壳模型组态可以描述¹⁴⁵Tb核中激发能大

于2MeV的晕态或近晕态能级.为了使实验能级的 组态指定更为直接方便,采用半经验模型.该模型利 用邻近核中已知的一些简单组态的能量来计算一个复 杂的多粒子一空穴组态的能量^[6].该方法只能计算组 态成分单一的能级,这对于大多数晕态来说是满足的.

图3和图4分别给出了正宇称态和负宇称态激发能 的计算结果. 从这两张图可以看出:

$$(\pi h_{11/2}^3 j_0^{-2} \nu_0^{-2})_{27/2}, \ (\pi h_{11/2}^2 g_{7/2}^{-1} \nu_{0^+}^{-2})_{27/2}, \ (\pi h_{11/2}^2 d_{5/2}^{-1} \nu_0^{-2}), \ (\pi h_{11/2} \nu d_{3/2}^{-1} h_{11/2}^{-1})$$

 $(\pi h_{11/2} \mathbf{v} s_{1/2}^{-1} h_{11/2}^{-1})$

等三准粒子组态能够很好地再现实验上所观测 到的27⁺/2(27/2),25⁺/2,23⁺/2,21⁺/2(21/2) 和19⁺/2能级.



图 3 正宇称态能量的理论计算与实验观测的比较



图 4 负宇称态能量的理论计算与实验观测的比较

在 $(\pi h_{11/2}^2 g_{7/2}^{-1} \nu_0^{-2})_{27+/2}$ 和 $(\pi h_{11/2}^3 j_0^{-2} \nu_0^{-2})_{27-/2}$ 态 之上, 一对中子空穴破对可以形成类型为 $\pi^2 \pi^{-1} \nu^{-2}$ 或 $\pi^3 \nu^{-2}$ 的五准粒子激发态. 通过计算, 可以得到相

参考文献(References)

- ZHOU Xiao-Hong et al. Eur. Phys. J., 2001, A12: 253-255
- 2 Lach M et al. Z Phys., 1984, A319: 235-236

应五准粒子组态的激发能.然而在高激发能情况下,能 级密度变得很大和此时的能级缺乏明确的自旋和宇称 指定,使得我们难以把这些五准粒子组态指定给实验 观测到的能级.

4 总结

¹⁴⁵Tb激发能在2MeV以下的低位能态可看成 是由价质子轨道πh_{11/2}与偶偶核芯¹⁴⁴Gd的2⁺,4⁺ 和3⁻态耦合而成.通过粒子-核芯相互作用计算很好 地再现了这些弱耦合态.对于激发能在2MeV以上的 更高激发,为了使实验能级的组态指定更为直接方便, 采用了具有与参数无关性的半经验壳模型计算.其结 果清楚地揭示了球形核多准粒子组态的激发特性.

- 3 Piel W F et al. Phys. Rev., 1985, C31: 2087–2103
- 4 Chapuran T et al. Phys. Rev., 1986, C33: 130-142
- 5 Lonnroth T et al. Phys. Rev., 1986, C33: 1641-1648
- 6 Blomqvist J et al. Z. Phys., 1983, A312: 27-41

Multi-quasiparticle Excitations in ¹⁴⁵Tb *

ZHENG Yong^{1;1)} ZHOU Xiao-Hong¹ ZHANG Yu-Hu¹ LIU Min-Liang¹ GUO Ying-Xiang¹ LEI Xiang-Guo¹ T. Hayakawa² M. Oshima² T. Toh² T. Shizuma² J. Katakura² Y. Hatsukawa² M. Matsuda² H. Kusakari³ M. Sugawara⁴

> 1 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China) 2 (Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan) 3 (Chiba University, Inage-ku, Chiba 263-8512, Japan)

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

Abstract High-spin states in ¹⁴⁵Tb have been populated using the ¹¹⁸Sn(³²S, 1p4n) reaction at a beam energy of 165MeV. The level scheme of ¹⁴⁵Tb has been established for the first time. The level scheme shows characteristics of spherical or slightly oblate nucleus. Based on the systematic trends of the level structure in the neighboring N = 80 isotones, the level structure in ¹⁴⁵Tb below 2MeV excitation is well explained by coupling an $h_{11/2}$ valence proton to the even-even ¹⁴⁴Gd core. Above 2MeV excitation, most of the yrast levels are interpreted with multi-quasiparticle shell-model configurations.

Key words high-spin states, level scheme, multi-quasiparticle excitations

^{*} Supported by National Natural Sciences Foundation of China(10005012) and Major State Basic Research Development Program of China(TG2000077402)

¹⁾ E-mail: zhengyong@impcas.ac.cn