

文章编号: 1007-4627(2004)04-0339-04

奇奇核 ^{90}Nb 的高自旋态研究*

崔兴柱^{1,2}, 竺礼华^{1,#}, 吴晓光¹, 李广生¹, 温书贤¹, 王治民¹, 贺创业¹,
张振龙^{1,2}, 孟锐^{1,2}, 马瑞刚¹, 骆鹏³, 郑勇³,
霍俊德², M. M. Ndontchueng⁴

(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 Université de Douala, Faculté de Sciences, B. P. 8580 Cameroun)

摘要: 用能量为 80 MeV 的 ^{19}F 束通过反应 $^{76}\text{Ge}(^{19}\text{F}, 5n)^{90}\text{Nb}$ 布居了 ^{90}Nb 的高自旋态. 通过在束 γ 测量分析 ^{90}Nb 退激 γ 射线的符合级联关系, 发现了 19 条新的属于 ^{90}Nb 的 γ 跃迁, 建立了 ^{90}Nb 的高自旋态能级纲图. 通过经验壳模型计算指定了部分能级的组态, 并结合实验 DCO 比值和与相邻 $N=49$ 核素的系统比较, 确认了新能级的自旋和宇称.

关键词: 高自旋态; 在束 γ ; 能级纲图; 原子核壳模型; 组态

中图分类号: O571.21

文献标识码: A

1 引言

在幻数核附近, 核子间的相互作用比较容易研究. 中子数 $N \approx 50$ 区的大量研究^[1-4]表明, 该核区的核素大多具有球形核结构, 一些以 ^{88}Sr 作为核心的壳模型计算^[5-10]与实验数据符合得很好. ^{90}Nb 的质子数和中子数分别为 41 和 49, 分别临近 L - S 耦合和 j - j 耦合的闭壳, 接近球形核, 具有明显的壳层结构, 高自旋态呈现较强的粒子性.

在本工作中观察到两条新的跃迁带, 并把原有的负宇称带上推到 $I=19^-$ 以上, 一共发现了 19 条新的 γ 跃迁. 用经验壳模型计算方法, 根据邻近核的低能部分提取两体相互作用, 计算出部分能级的能量, 通过与实验能级能量的比较, 确定了部分能级的组态.

2 实验和数据分析

本实验采用 $^{76}\text{Ge}(^{19}\text{F}, 5n)^{90}\text{Nb}$ 反应来布居 ^{90}Nb 的高自旋态. ^{19}F 束流是由中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器提供的, 束流能量为 80

MeV. 靶由厚度为 2.2 mg/cm²的 ^{76}Ge 和 10 mg/cm²厚的铅衬组成. 退激 γ 射线由 15 台 HPGe-BGO 反康谱仪测量(其中 5 台放置于与束流线为 90°的位置, 4 台放置于 44.6°, 4 台放置于 135.4°, 其余 2 台分别放置于 54.7°和 125.3°)共记录了 68×10^6 个二重 γ - γ 符合事件. 通过离线反演生成对称化的 E_γ - E_γ 二维矩阵. 采用 Radware 软件对该二维矩阵进行 γ 射线开窗分析, 得到各 γ 射线之间的级联关系, 根据与已知的属于 ^{90}Nb 的 γ 射线^[11]的符合关系, 确认了 19 条新的属于 ^{90}Nb 的 γ 射线, 得到的 ^{90}Nb 的能级部分纲图如图 1 所示. 由于本次实验采用了重离子束和较高的能量, 所以 Firds^[11]实验中 ^{90}Nb 低能部分的 γ 射线未在本实验中观测到.

为了确定新观测到的能级的自旋及宇称, 还对实验数据进行了 DCO(方向角关联)比值分析. 首先建立了一个 DCO 二维 E_γ - E_γ 矩阵, 即以位于与束流方向成 90°的探测器探测到的 γ 射线能量作为二维 E_γ - E_γ 矩阵的 x 轴, 将其他角度探测器探测到的 γ

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: 崔兴柱(1977-), 男(汉族), 黑龙江鹤岗人, 博士研究生, 从事核结构研究; E-mail: cuixingzhu@iris.ciae.ac.cn

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

射线能量作为二维 E_γ - E_γ 矩阵的 y 轴. 根据得到的 DCO 矩阵就可以提取各 γ 射线的 DCO 比值, 经过与已知多极性的 γ 射线的 DCO 比值的比较, 从而得到各条 γ 射线的多极性^[7]. DCO 比值的定义为

$$R_{\text{DCO}} = \frac{I_{\gamma_1}(\theta)/\epsilon_{\gamma_1}(\theta)\epsilon_{\gamma_2}(90^\circ)}{I_{\gamma_1}(90^\circ)/\epsilon_{\gamma_1}(90^\circ)\epsilon_{\gamma_2}(\theta)},$$

其中, $I_{\gamma_1}(\theta)$ 为在二维 E_γ - E_γ 矩阵的 y 轴上用 γ_2 射线开窗得到的 γ_1 的计数, $I_{\gamma_1}(90^\circ)$ 为在 x 轴上用 γ_2 射线开窗得到的 γ_1 的计数, θ 为除 90° 外的角度, $\epsilon_\gamma(\theta)$ 为 θ 角度上所有探测器对 γ 射线的探测效率.

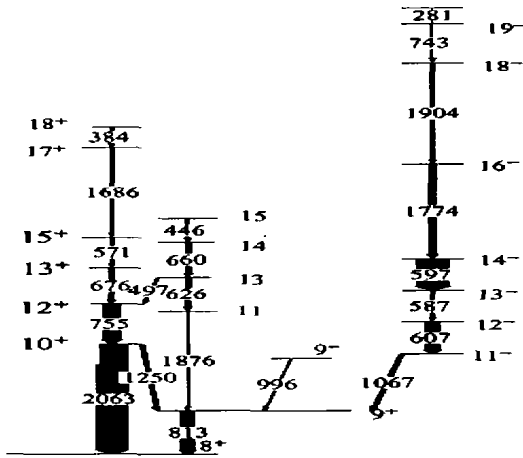


图 1 本次实验得到的 ^{90}Nb 的部分能级纲图

图 2 是这次实验中观测到的部分 γ 射线的 DCO 比值, 其中实心圆点和空心圆点是本次实验反应产物 ^{90}Nb 和 ^{91}Nb 已知多极性的 γ 射线的 DCO 比值, 而实心矩形则是属 ^{90}Nb 新观测到的 γ 射线的 DCO 比值. 通过与已知多极性 γ 射线的比较即可以定出新得到 γ 射线的多极性. 从图中可以看出, γ 射线的 DCO 比值明显地分为两组. DCO 比值接近 1.5 的 γ 射线对应于 $\Delta I=2$ 的跃迁, 而 DCO 比值接近 0.5 的 γ 射线则对应于 $\Delta I=1$ 的跃迁.

由于 DCO 数据只能确定 γ 射线的跃迁多极性, 不能指定跃迁是磁跃迁还是电跃迁. 通过对邻近的 $N=49$ 核 ^{92}Tc 和 ^{94}Rh 的能级纲图进行分析, 并做系统性比较, 推定 ^{90}Nb 中部分能级的自旋和宇称. ^{92}Tc 和 ^{94}Rh 的中子数与 ^{90}Nb 相同, 只是质子数分别比 ^{90}Nb 多了 2 和 4 个, 而在 Nilsson 单粒子能级图中, 可以看到这 3 个核的基态价核子都是位于 $g_{9/2}$ 轨道的一个质子和一个中子空穴, 因此这 3 个核的能级结构非常相似(如图 3 所示). 当然, 这 3 个核的能级结构存在一些差别, 这主要是由于它们

的价核子所处的平均场和价核子的激发状态不完全相同.

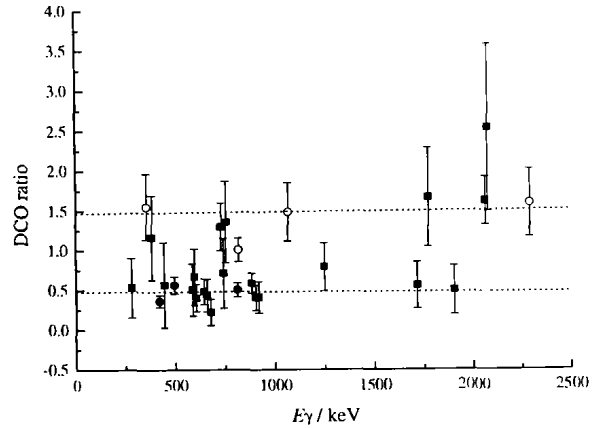


图 2 本实验部分 γ 射线的 DCO 比值

○对应 $\Delta I=2$ 的 γ 射线, ●对应 $\Delta I=1$ 的 γ 射线, ■对应 ^{90}Nb 未知多极性的 γ 射线. 图中为了直观, 引入了两条参考直线.

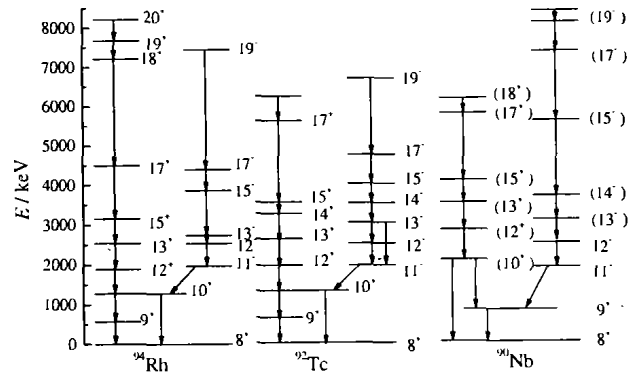


图 3 ^{90}Nb 与 ^{92}Tc 和 ^{94}Rh 的纲图比较

3 经验壳模型计算

由于 ^{90}Nb 的中子数为 49, 接近 $N=50$ 的满壳结构, 所以可以用近球形的壳模型的经验公式来描述. 选择 ^{90}Zr 作为核芯, 通过研究核外价核子的组态, 由附近核的低激发态提取的价核子间的相互作用以及价核子和声子间的相互作用, 来研究 ^{90}Nb 的能级结构^[12, 14]. 不选 ^{88}Sr 作为我们计算的核芯, 是因为选 ^{90}Zr 计算比较简单, 而计算表明其结果和实验数据符合很好. 对 ^{90}Nb 的 10^+ 态能级, 其能量可描述为

$$E_{\left[\left(\pi g_{9/2} \right) \otimes \left(\nu g_{9/2}^{-1} \right) \right] 8^+ \otimes 2^+}_{10^+} = E_{\left[\left(\pi g_{9/2} \right) \otimes 2^+ \right] 11/2^+}_{91\text{Nb}} + E_{\left[\left(\nu g_{9/2}^{-1} \right) \otimes 2^+ \right] 13/2^+}_{89\text{Zr}} - E_{2^+}_{90\text{Zr}} + \Delta \left(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1} \right) 8^+ + S,$$

其中, $\Delta(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}) 8^+$ 为位于 $g_{9/2}$ 轨道的质子和中子空穴耦合为角动量为 8^+ 时的剩余相互作用项:

$$\Delta(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}) 8^+ = E_{[\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}] 8^+} - (E_{\pi g_{9/2}}^{91\text{Nb}} + E_{\nu g_{9/2}}^{89\text{Zr}}) - S,$$

$S = B(^{90}\text{Nb}) + B(^{90}\text{Zr}) - B(^{89}\text{Zr}) - B(^{91}\text{Nb})$ 为质量过剩项。

各能态的计算结果和试验结果的比较如图 4 所示, 其中除了 17^+ 和 18^+ 能态是以六准粒子态计算的以外, 其余的计算都是基于四准粒子态。

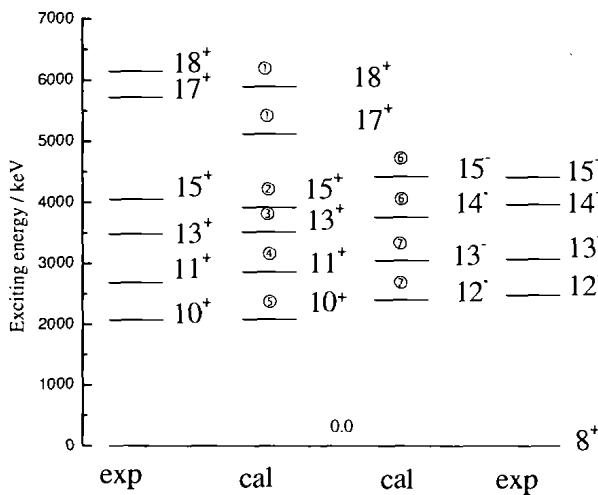


图 4 经验壳模型计算结果和实验数据的比较

- ① $\pi f_{5/2}^{-1} p_{1/2}^{-1} g_{9/2}^3 \otimes \nu g_{9/2}^{-1}$, ② $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^2 s_{1/2}$, ③ $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^2 d_{5/2}$, ④ $[\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}] 9^+ \otimes 2^+$, ⑤ $[\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}] 8^+ \otimes 2^+$, ⑥ $\pi f_{5/2}^{-1} g_{9/2}^2 \otimes \nu g_{9/2}^{-1}$, ⑦ $\pi p_{1/2}^{-1} g_{9/2}^3 \otimes \nu g_{9/2}^{-1}$.

在经验计算中, 17^+ 和 18^+ 的组态暂时指定为 $(\pi f_{5/2}^{-1} p_{1/2}^{-1} g_{9/2}^3 \otimes \nu g_{9/2}^{-1})$, 15^- 和 14^- 的组态指定为

$(\pi f_{5/2}^{-1} g_{9/2}^2 \otimes \nu g_{9/2}^{-1})$, 13^- 和 12^- 的组态指定为 $(\pi p_{1/2}^{-1} g_{9/2}^2 \otimes \nu g_{9/2}^{-1})$, 13^+ 和 15^+ 的组态分别指定为 $(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^2 d_{5/2})$ 和 $(\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^2 s_{1/2})$, 10^+ 的组态指定见上面的计算公式, 11^+ 指定的组态与 10^+ 相同, 不过质子和中子空穴耦合的角动量为 9^+ . 上面所提及的组态, 除了 13^+ 和 15^+ 指定为价中子的激发外, 其他能态都指定为价质子激发形成的。

从图 4 可以看出, 四准粒子态的计算与实验得到的能级数据基本相符, 但是基于六准粒子态计算的 17^+ 和 18^+ 两个能态已经偏离了实验数据很多, 不过还是可以描述大致的规律. 这可能是由于组态混杂引起的, 也有可能是组态指定不正确所致. 通过上述计算, 我们可以进一步地确定各能级的自旋及宇称指定的正确性。

4 结论

本次实验布居了⁹⁰Nb 的高自旋态, 得到了新的能级结构, 实验结果和经验壳模型的计算符合得很好. 表明了⁹⁰Nb 具有较好的壳层结构, 是一个近球形核. 通过经验壳模型计算与实验能级的比较确定了一些⁹⁰Nb 高自旋态的价核子组态。

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, 加速器运行组为实验提供了稳定高品质的束流, 许国基研究员提供了实验靶, 在此表示感谢, 作者同时还要感谢中科院近代物理研究所的张玉虎、柳敏良等人在经验壳模型计算方面给予的指导和帮助。

参 考 文 献:

[1] Warburton E K, Olness J W, Lister C J, et al. J Phys (London), 1985, G12: 1 017.
 [2] Tulapurkar A A, Das Pragya, Mishra S N, et al. Phys Rev, 1996, C54: 2 904.
 [3] Schubart R, Jungclaus A, Harder A, et al. Nucl Phys, 1995, A591: 517.
 [4] Ghugre S S, Patel S B, Bhowmik R K. Phys Rev, 1995, C51: 1 136.
 [5] Xiangdong Ji, Wildenthal B H. Phys Rev, 1988, C37: 1 256.
 [6] Lomqvist J, Rydström L. Phys Scr, 1985, 31: 31.
 [7] Muto K, Shimano T, Horie H. Phys Lett, 1984, 135B: 349.
 [8] Stefanova E A, Danchev M, Schwenger R, et al. Phys Rev, 2002, C65: 034323.
 [9] Johnstone I P, Skouras D. Phys Rev, 1997, C55: 1 227.
 [10] Arnell S E, Foltescu D, Roth H A, et al. Phys Rev, 1994, C49: 51.
 [11] Firds C A, De Bore F W N, Kraushaar J J, et al. Nucl Phys, 1981, A363: 311.
 [12] Piiparinen M, Atac A, Blomqvist J, et al. Nucl Phys, 1996, A604: 191.
 [13] Li Guangsheng. Chin Phys Lett, 1999, 16(11): 796.
 [14] Bayer S, Byrne A P, Dracoulis G D, et al. Nucl Phys, 2001, A694: 3.

Study of High Spin States in Odd-odd Nucleus $^{90}\text{Nb}^*$

CUI Xing-zhu^{1,2}, ZHU Li-hua¹, WU Xiao-guang¹, LI Guang-sheng¹, WEN Shu-xian¹, WANG Zhi-min¹,

HE Chuang-ye¹, ZHANG Zhen-long^{1,2}, MENG Rui^{1,2}, MA Rui-gang¹, LUO Peng³,

ZHENG Yong³, HUO Jun-de², M. M. Ndontchueng⁴

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;*

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

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

4 *Université de Douala, Faculté de Sciences, B. P. 8580 Cameroun)*

Abstract: The high spin states of ^{90}Nb have been populated via reaction $^{76}\text{Ge}(^{19}\text{F}, 5n)^{90}\text{Nb}$ at beam energy of 80 MeV. The de-exciting γ -rays have been measured with in-beam γ -ray spectroscopy method. After γ - γ coincidence analysis, 19 new γ transitions were identified and assigned to ^{90}Nb . The new level scheme of ^{90}Nb was established. Based on the semi-empirical shell model calculations, the configurations of the levels have been suggested. In addition, the spins and parities of the new levels have been assigned according to the experimental DCO values and to the systematic comparison with the $N=49$ neighboring nuclei.

Key words: high spin state; in-beam γ -ray spectroscopy; nuclear shell model; configuration

(上接第 299 页)

Nonperturbative Renormalization of Relativistic Eigen Equation for Meson Mass Spectra**

WANG Shun-jin^{1,4}, ZHOU Shan-gui^{2,4}, Hans-Christian Pauli³

(1 *Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064, China;*

2 *Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy Sciences, Beijing 100080, China;*

3 *Max-Planck-Institut für Nuclear Physics, D-69029 Heidelberg, Germany;*

4 *Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China)*

Abstract: Nonperturbative T -matrix renormalization of the relativistic eigen equation for meson mass spectra is described and the expressions for eigen mass spectra and eigen wave functions are given.

Key words: relativistic eigen equation for meson mass spectra; nonperturbative T -matrix renormalization; eigen wave function

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

** **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10375039, 10175029). Major State Basic Research Development Program of China (G20000774); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX2-SW-No2); Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou