

^{85}Zr 核的高自旋态研究*

王治民 温书贤 吴晓光 彭朝华 李广生

袁观俊 马瑞刚 贺创业 杨春祥

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

郭应祥 雷祥国 何建军

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 利用 102MeV 的 ^{28}Si 束流, 通过 $^{60}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, 2\text{pn})$ 熔合蒸发反应布居了 ^{85}Zr 核的高自旋态, 测量了 γ - γ 符合及 DCO 比值, 建立了一个有 43 条能级, 75 条 γ 跃迁的能级纲图, 新增加了 36 条 γ 跃迁, 25 条能级. 将能级自旋推高到 $(49/2^+)$, 首次观察到了转晕带的第二回弯. 并确认了一条建立在 $17/2^-$ 负宇称带上的磁转动带.

关键词 高自旋态 转晕带 第二回弯

1 引言

在质量数为 80 的核区, 原子核显示了很强的单粒子性和集体性的竞争. 核子数增加或减少一两个都会引起原子核结构很大的变化. 然而, 已有的研究成果表明, 当质子数 $Z = 40$ 附近, 质子数 Z 变化 6—8 时, 同中子素的核结构显示了惊人的相似性. 表明在该中子数范围内, 质子数变化对核的结构影响不大. 在中子数小于 44 时原子核显示了很强的集体性, 而在中子数大于 47 时则表现出了单粒子结构的特征. 当中子数为 45 和 46 时, 则既有单粒子性又有集体性. 如 $^{81}\text{Kr}^{-1}$, $^{83}\text{Sr}^{-2}$, $^{87}\text{Mo}^{31}$ 和 ^{85}Zr 是典型的过渡性核. 它们的低自旋是单粒子性的, 高自旋则呈现集体性, 或正宇称转晕带显示了集体性, 负宇称带则表现为单粒子性. ^{85}Zr 有 45 个中子, 是典型的过渡性核. A. Junclaus 等人用 $^{56}\text{Fe}(^{35}\text{Cl}, 2\text{pn})^4$ 反应研究了 ^{85}Zr 的高自旋态, 建立了一个能级纲图, 正宇称带达到 $33/2^+$, 观察到了第一回弯. 为了把现有的能级推到更高的自旋, 观察第二回弯及确认建立在 $17/2^-$ 的 M1 转动带, 我们用了与 A. Junclaus 不同的 $^{60}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, 2\text{pn})$ 交叉反应, 研究了过渡性核 ^{85}Zr 的高自旋态.

2 实验与结果

2.1 实验描述

实验是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上完成的. 用 $^{60}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, 2\text{pn})$ 反应布居了 ^{85}Zr 的高自旋态. 靶是同位素纯度为 99.6% 的 ^{60}Ni , 靶的厚度为 $2\text{mg}/\text{cm}^2$, 靶衬为 $10\text{mg}/\text{cm}^2$ 天然铅. 测量系统由 10 台 HPGe-BGO 反康谱仪和一个平面型高纯锗探测器组成. HPGe-BGO 反康谱仪分别放置在与束流入射方向大约成 $\pm 32^\circ$ 和 $\pm 90^\circ$ 的位置. 在能量从 90 到 110MeV 之间测量了激发函数. 在此基础上, 选择了束流能量为 102MeV, 束流强度为 15nA, 测量了 γ - γ 符合. 在 100h 的束流时间内共积累了 180×10^6 个两重及两重以上的符合事件. 离线建立了两个矩阵, 一个是对称型的 $E_\gamma - E_\gamma$ 矩阵; 另一个是分别以 $\pm 32^\circ$ 和 $\pm 90^\circ$ 位置的探测器为横轴和纵轴的非对称型矩阵, 由此矩阵提取 DCO 值.

2.2 能级纲图的建立

对 ^{85}Zr 用已知 γ 跃迁开窗, 共辨认出 80 多条 γ

跃迁属于⁸⁵Zr核。我们将其中的75条 γ 跃迁放进了能级纲图。基态的字称和自旋通过与相邻同中子数核比较被确认为 $7/2^+$ 。其余能级的字称和自旋通过DCO值来指定,如图1所示。在该能级纲图中,除已知的 γ 跃迁外,新增加了36条 γ 跃迁,25条能级。

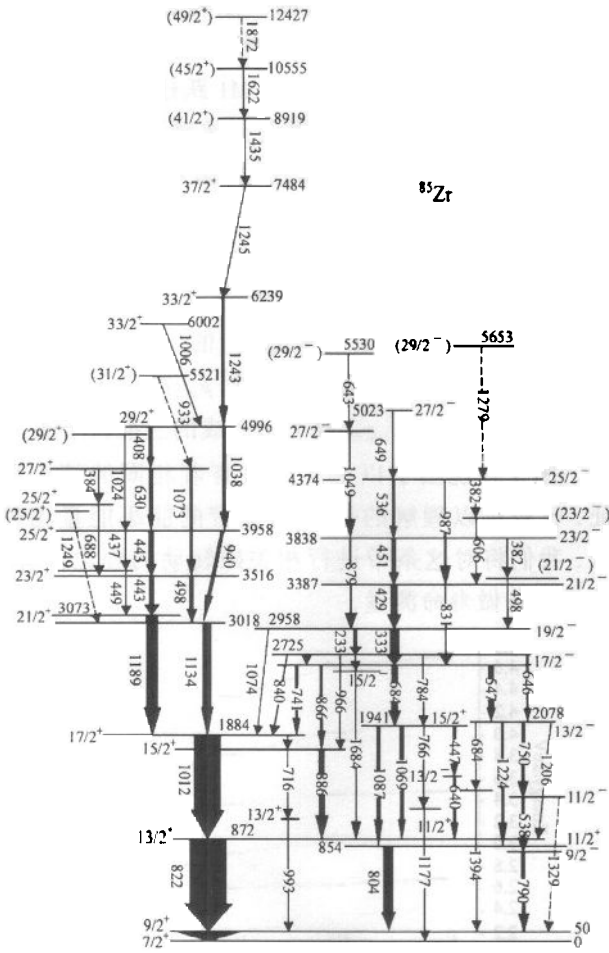


图 1 本实验所建立的⁸⁵Zr能级纲图

在数据分析中,对正宇称带的能量为 1243keV 的 γ 跃迁经反复开窗证实,它是一个能量非常接近且有级联关系的两条 γ 射线组成的重峰。通过对该带各 γ 跃迁开窗,我们还确认了能量为 1435, 1622 和 1872keV 的 3 条级联 γ 跃迁,将转晕带的自旋从原来的 $33/2^+$ 推高到 $49/2^+$ 。此外,正宇称带还观察到了能量为 449, 437 和 1024keV 等的一串级联 γ 跃迁。

在负宇称带中,当对能量为 684keV 的 γ 跃迁开窗时,可以看到它与能量为 547 和 646keV γ 射线存在明显的级联关系。同样,当对 547 和 646keV γ 射线开窗时,也都看到了能量为 684keV 级联 γ 跃迁。所以我们认为除了原纲图上^[4]的一条 684keV 能量的 γ 跃迁外,还存在另一条与能量为 547 及 646keV γ 跃迁有级

联,但与能量为 804keV 的 γ 跃迁没有级联关系的能量也是 684keV 的 γ 跃迁,并且又观察到了与其级联的能量为 1394keV 的 γ 跃迁,这也证实了第二条能量为 684keV γ 跃迁的存在。其位置如图 1 所示。根据 DCO 数据,能量 1224keV γ 跃迁的多极性为 E1,所以我们指定能量 2078keV 能级的自旋为 $13/2^-$ 。通过实验 DCO 值,还确认了一串建立在自旋 $17/2^-$, 能级能量为 2625keV $\Delta I = 1$ 的 M1 级联 γ 跃迁,它们的能量分别是 333, 429, 451, 536 和 649keV。并在负宇称带中填充了一些较低自旋的能级和跃迁。

3 讨论

在 $Z = 40$ 附近,与中子数 $N = 45$ 的相邻奇 A 核⁸³Sr 和⁸⁷Mo 正宇称转晕带能级进行比较如图 2 所示。

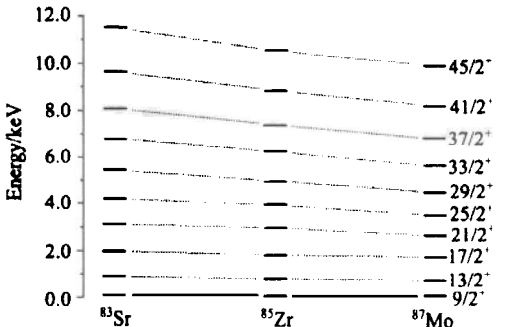


图 2 ⁸³Sr, ⁸⁵Zr 和 ⁸⁷Mo 的正宇称转晕带能级比较

可以看出⁸⁵Zr核的能级结构与⁸³Sr和⁸⁷Mo非常相似。在正宇称带中自旋 $17/2^+$ 以下各能级能量非常接近,自旋 $17/2^+$ 以上能级随着质子数目的增加能级能量略有下降。正如 A. Jungclaus 等指出的自旋在 $17/2^+$ 以下的激发基本上是 $g_{9/2}$ 中子的行为。我们计算了⁸³Sr, ⁸⁵Zr 和⁸⁷Mo 3 个核的正宇称带的角动量顺排如图 3 所示。

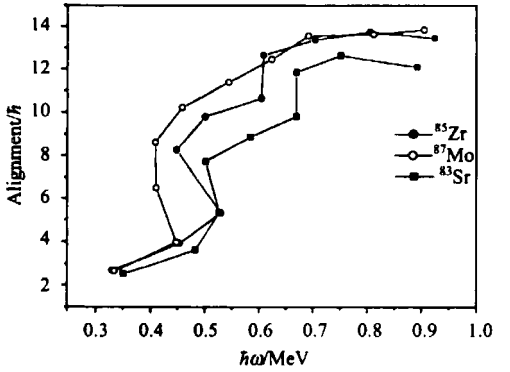


图 3 ⁸³Sr, ⁸⁵Zr 和 ⁸⁷Mo 的正宇称转晕带的角动量顺排图

可以看到,在自旋 $21/2^+$ 时发生回弯,它们的回弯频率分别为 0.52, 0.49 和 0.43 MeV. 顺排角动量增加(5—6 h)与一对 $g_{9/2}$ 质子拆对顺排角动量增加基本上是符合的. 所以自旋 $21/2^+$ 的能级可以认为是由一个 $g_{9/2}$ 中子和两个 $g_{9/2}$ 质子组成的三准粒子态. 该带在 $21/2^+$ 能级以上由于质子拆对顺排集体性增加,在自旋为 $33/2^+$ 的能级能量处又发生了角动量的突然增加,形成了第二回弯. 它们的第二回弯频率分别为 0.66, 0.63 和 0.61 MeV. 而顺排角动量仅增加了约 2 h . 该顺排角动量的增加与一对 $g_{9/2}$ 中子拆对顺排的角动量是一致的. 所以第二回弯应属一对 $g_{9/2}$ 中子拆对顺排引起的. $33^+/2$ 能态应归于两个 $g_{9/2}$ 质子和 3 个 $g_{9/2}$ 中子的五准粒子态. 很明显它们的第二回弯没有第一回弯那样陡,实际上是上弯. 此后角动量顺排值随着自旋的增加几乎维持在一个恒定值上.

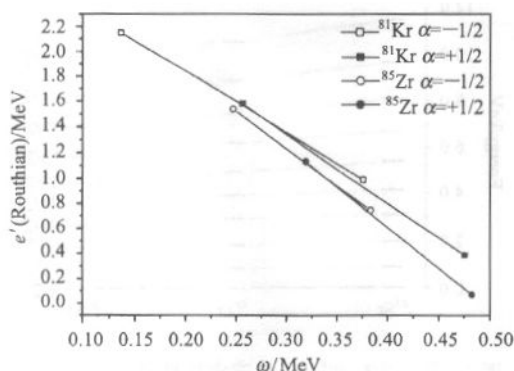


图 4 ^{85}Zr 实验的 Routhian 图

在负宇称带中自旋为 $17/2^-$ 、能量为 2625 keV 的能级,与 ^{81}Kr 和 ^{83}Sr 核的该自旋的能级能量 2699 和

2643 keV 非常接近,比 ^{87}Mo 核的该自旋能级能量 2193 keV 高得比较多. 然而从总体上看,仍然是随着质子数增加能级呈现出降低的趋势. 这可能主要是由于形变随着质子数增加略有增加引起的. 经 DCO 值分析,与 ^{83}Sr 和 ^{87}Mo 同样,观察到了建立在自旋为 $17/2^-$ 上,跃迁强度比较大的一系列 $\Delta I = 1$ 的 M1 γ 跃迁. 该带的能级能量间距规律具有转动能谱的特征. 同时,从 $23/2^-$ 到 $17/2^-$ 的 M1 跃迁强度比较大,但随着自旋的增加,跃迁强度突然减小. 我们提取了 ^{85}Zr 该带的实验 Routhian 图,如图 4.

从图 4 可以看出该带的旋称劈裂很小. 很明显,该带的 M1 跃迁强度比 E2 的跃迁强度大得多. 这些都符合磁转动带的特点^{5,6}. 正如 L. Funke 等所指出的,在能级能量高于 2 MeV 的 $\Delta I = 1$ 的 M1 带的带头 $17/2^-$ 是由不配对的一个 $g_{9/2}$ 准中子和两个高 j 的准质子 ($g_{9/2} + g_{9/2}$ 或 $f_{7/2}$) 形成的三准粒子态.

图 5 表现出了以上 4 个核有着相同的结构特征. 比较难以理解的是 ^{87}Mo , 该带的能级能量比较低. 我们将对这条带进行相关磁转动的理论计算,并且准备做寿命测量.

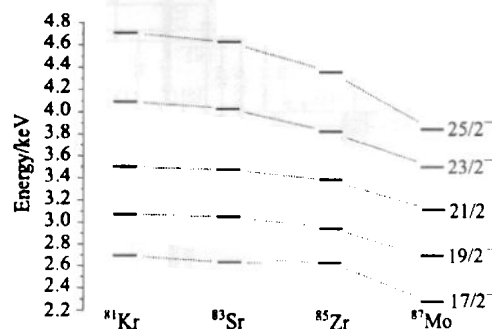


图 5 ^{81}Kr , ^{83}Sr , ^{85}Zr 和 ^{87}Mo 的负宇称 M1 带能级比较

参考文献 (References)

- 1 Funke L., Döring J., Kernitz P et al. Nucl. Phys., 1986, **A455**: 206—230
- 2 Döring J., Funke L., Winter G et al. High Spin States of ^{83}Sr . In: Johnson N ed. Proc. Int. Conf. on Nuclear Structure in the Nineties, Vol. 1. New York: Harwood Academic Publishers, 1990. 383
- 3 Winter Ch., Blumenthal D J., Chowdhury P et al. Nucl. Phys., 1991, **A535**: 137—160
- 4 Jungclauss A., Albers S., Von Brentano P et al. Z. Phys., 1995, **A352**: 3—4
- 5 Schnare H., Schwengner R., Frauendorf S et al. Phys. Rev. Lett., 1999, **82**: 4408
- 6 Döring J., Schwengner R., Funke L et al. Phys. Rev., 1994, **C50**: 1845

Study on High Spin States

WANG Zhi-Min WEN Shu-Xian WU Xiao-Guang PENG Zhao-Hua

LI Guang-Sheng YUAN Guan-Jun MA Rui-Gang HE Chuang-Ye YANG Chun-Xiang

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

GUO Ying-Xiang LEI Xiang-Guo HE Jian-Jun

(Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract The high spin states of ⁸⁵Zr were populated by using fusion evaporation ⁶⁰Ni (²⁸Si, 2pn) ⁸⁵Zr reaction. The γ - γ coincidence and *DCO* ratios were measured with 10 HPGe-BGO detectors at beam energy 102 MeV. A level scheme with 43 levels and 75 γ -transitions are proposed. About 25 levels and 36 γ -transitions are added to the previous work. The spin is up to $49/2^+$ for the yrast band. The first and second back bandings are observed with configurations $\nu g_{9/2} \otimes \pi(g_{9/2})^2$ and $(\nu g_{9/2})^3 \otimes \pi(g_{9/2})^2$. A $\Delta I = 1$ M1 band built on the $17/2^-$ is conformed. The level structure is compared with its isotones nuclei and discussed.

Key words high spin state, yrast band, second back banding

Received 23 January 2002

* Supported by Major State Basic Research Development Program (G2000077405) and National Natural Science Foundation of China (19975069)