

HI-13 串列加速器上的原子核高自旋态研究

温书贤 杨春祥 李广生 袁观俊

(中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京, 102413)

概述在 HI-13 串列加速器上进行原子核高自旋态研究的几个重要工作, 包括稀土区奇质子核带交叉反常现象研究及三轴超形变寻找、中重核区和 $A \approx 130$ 区核结构研究、原子核高自旋能级寿命测量。

关键词 高自旋态 带交叉 三轴超形变 能级寿命

中图法分类号 O 571. 22

自原子核回弯现象发现以来, 高自旋态的研究在低能核物理中一直是一个热门课题, 并且随着大型设备的不断建立、新现象的不断发现和揭示, 更加受到关注。本课题组从 1986 年开始在 HI-13 串列加速器上进行了一系列的高自旋态实验研究。这里仅介绍以下几个方面的研究工作。

1 稀土区奇质子核反常带交叉和三轴超形变研究

当稀土区奇质子核中的奇质子处于不同尼尔逊组态时, 由一对 $i_{13/2}$ 中子转动顺排导致的带交叉(中子 AB 交叉)表现出组态相关现象。其中特别引人关注的现象是在这一核区的一些奇质子核的 $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带的中子 AB 交叉显著推迟。为了澄清这一反常现象的形成机制, 本课题组在中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器上, 通过 $^{155}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 5n)^{169}\text{Ta}$ 和 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 4n)^{175}\text{Ta}$ 反应研究了 ^{169}Ta 和 ^{175}Ta 的 $1/2[541]$ 转动带的带交叉反常推迟问题。

^{169}Ta 是远离稳定线的缺中子核, 当时实验数据很少, 仅有的知识是其基态的衰变方式和衰变半衰期。第一激发态都是未知的。通过在束 γ 谱学的 $\gamma\gamma$ 符合实验和 γ 射线角分布测量, 建立了 ^{169}Ta 的高自旋能级纲图, 并首次观测到 ^{169}Ta 的 $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带的带交叉推迟。经过转动参考系的变换, 该转动带的中子 AB 交叉临界角频 $\omega_c = 0.305 \text{ MeV} / \hbar$, 比相邻偶偶核晕带的中子 AB 交叉推迟了 $42 \text{ keV} / \hbar$ [1]。

^{175}Ta 是不甚缺中子的核素, 前人已建立了部分能级纲图。通过 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 4n)^{175}\text{Ta}$ 反应的 $\gamma\gamma$ 符合实验将几个转动带推向了更高自旋态, 并首次观测到 ^{175}Ta $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带的带交叉推迟 [2]。经转动参考系变换, 该转动带的中子 AB 交叉临界角频 $\omega_c = 0.375 \text{ MeV} / \hbar$,

温书贤: 女, 60 岁, 核物理专业, 研究员

收稿日期: 1999-01-13 收到修改稿日期: 1999-03-09

比相邻偶偶核晕带中子 AB 交叉推迟了 $85 \text{ keV}/h$ 。

与德国波恩大学合作观测到 ^{167}Ta 的质子 $h_{9/2}1/2[541]$ 带的带交叉推迟^[3], 加上前人关于 ^{171}Ta 和 ^{173}Ta 的结果, 发现 5 个相邻 Ta 核($^{167, 169, 171, 173, 175}\text{Ta}$)的 $1/2[541]$ 转动带的带交叉推迟呈现“V”字形规律, 在中子数 $N = 98$ 时带交叉角频为极小。

基于推转壳模型的总转动位能面/推转壳模型(TRS/CSM)计算表明: 稀土区奇质子核 $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带的带交叉反常推迟的机制主要源于四极形变驱动效应。然而, 理论与实验存在系统分歧。本课题组对 $^{165, 167}\text{Lu}$, $^{167, 169, 171, 173, 175}\text{Ta}$ 和 $^{171, 173, 175, 177}\text{Re}$ 共 11 个核素进行了系统的 TRS/CSM 理论计算。结果表明: 即使同时考虑轴对称形变(β_2, β_4)和非轴对称形变(γ), 驱动效应也无法再现实验观测到的那么大的反常推迟^[4]。

稀土区 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 转动带与 $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 转动带相似, 都是基于侵入态的转动带。它们的差别是 $h_{9/2}$ 质子 $1/2[541]$ 带是基于 $N = 5$ 大壳的侵入态, 而 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 带是基于 $N = 6$ 大壳的侵入态。由于基于 $N = 6$ 的大壳的侵入态具有更强的四极形状驱动效应, 导致了在此核区观测到三轴超形变带^[5-7]。在 HF-13 串列加速器上通过 $^{152}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 4n)^{167}\text{Lu}$ 反应的在束 γ 谱学开展了寻找 ^{167}Lu 三轴超形变的研究^[8]。在 $\gamma\gamma$ 符合实验中使用了 6 套 HPGe-BGO 反康谱仪和 1 台平面型 HPGe 探测器, 总共累积了 120×10^6 个两重符合事件。通过对二维 $E_{\gamma_1}-E_{\gamma_2}$ 关联谱获得的 γ 跃迁级联关系的认真分析, 找到 1 个布居得较弱的新的转动带, 它分别馈入 ^{167}Lu 的 $1/2[411]$ 和 $5/2[402]$ 正宇称转动带。这个新的转动带包括能量为 551、601、653、705、753、804、854 和 904 keV 的 8 条 γ 跃迁(图 1)。按系统学规律它被确认为建立在 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 尼尔逊组态上的转动带。由相邻能级间 γ 跃迁能量差导出的动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 表明, 当 ^{167}Lu 的奇质子处于 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 这个侵入态时, 原子核具有相当大的动力学转动惯量。其数值与 ^{167}Lu 和 ^{165}Lu 的三轴超形变带的数值非常相近(图 2)。基于推转壳模型的总转动位能面计算表明: 对 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 组态, 当转动频率为 $\omega = 0.15 \text{ MeV}/h$ 时, 在 $\omega = 0.36$ 和 $\gamma = 26^\circ$ 处出现了一个区域极小。这个区域极小很可能对应于我们所观测到的布居得较弱的这个新转动带, 它不仅具有相当大的四极形变, 还具有很强的非轴对称形变。理论分析进一步表明: 这个相当大的四极形变来源于 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 侵入态的四极形变驱动效应, 而非轴对称形变主要来源于中子壳效应。

应当指出的 1 个十分有趣的现象是我们所发现的 ^{167}Lu 的三轴超形变带与前人发现的 $^{163, 165}\text{Lu}$ 两个三轴超形变带的高自旋成员相应能级间的 γ 跃迁能量十分接近。关于高自旋超形变带的全同带的物理内涵问题至今尚无定论, 这 3 个奇质子邻核的三轴超形变带呈现出如此相似的结构是一个值得研究的课题。

2 质量数 80~90 区核结构研究

质量数 80~90 区核的质子数和中子数处于满壳 28 和 50 之间, 40 是 1 个次满壳, 38 是个大形变壳。这些核的结构表现出集体运动和单粒子运动的激烈竞争。核结构很复杂而且变化非常大, 往往由于一两个核子数的改变和角动量顺排引起核结构的急剧变化。又因为该区核较软, 准粒子的驱动效应表现明显, 是组态相关形变研究的核区。所以, 该区核结构研究近年受到极大关注。

为了较系统地研究该区核结构的演变规律, 本课题组采用融合蒸发反应, 用 ^{32}S 和 ^{35}Cl 束分别打 ^{60}Ni 和 ^{58}Ni 靶, 并用多探头高纯锗 γ 探测系统分别研究了质子数大于 38, $N = 46$ 和

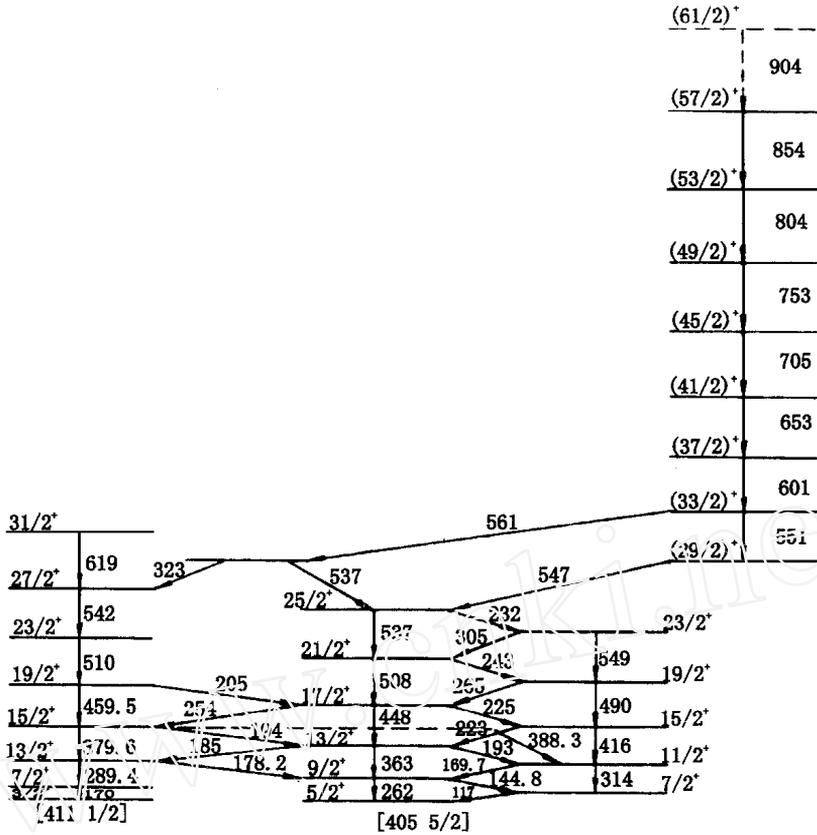


图1 ¹⁶⁷Lu 部分能级纲图
Fig 1 Partial level scheme of ¹⁶⁷Lu

$N = 47$ 的一些核, 如 ⁸⁷Nb^[9]、⁸⁸Mo、⁹⁰Tc^[10]、⁸⁹Mo、⁸⁸Nb 及 ⁸⁶Y^[11] 等的核结构。 $N = 46$ 的 ⁸⁷Nb 和 ⁸⁸Mo 两个核的正宇称带显示了明显的集体转动性, 且在 $17/2^+$ 附近出现回弯。 而 $N = 47$ 的 ⁸⁹Mo、⁹⁰Tc 和 ⁸⁸Nb 等核则表现了明显的单粒子性。 所以从实验上证实该区存在一个从变形到球形的临界中子数, 即 $N = 47$ 时为球形核, 而不是前人推出的 $N = 44$ 的结论。 同时在这些核中同中子素核结构极其相似, 而同位素核的结构随中子数变化激烈; 奇-奇核转晕带能级与质量数相同但 Z 少 1 且 N 大 1 的偶偶核结构相似。

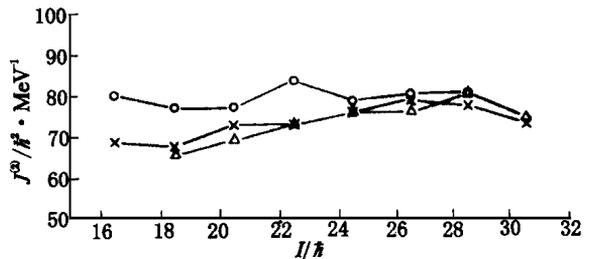


图2 ^{163, 165, 167}Lu $i_{13/2}$ 质子 [660 1/2] 转动带的动力学转动惯量 $J^{(2)}$
Fig 2 Dynamic moments of inertia $J^{(2)}$ vs spin I for the $i_{13/2}$ proton [660 1/2] band in ¹⁶³Lu and ¹⁶⁷Lu
— ¹⁶³Lu; × — ¹⁶⁵Lu; — ¹⁶⁷Lu

为了研究这些现象, 研究了 $Z = 37, N = 47$ 的 ⁸⁴Rb 核^[12]。 ⁸⁴Rb 核高自旋态通过 ⁷⁰Zn (¹⁸O, p3n) 反应布居, 采用 99.3% 同位素纯度, 厚为 $400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的 ⁷⁰Zn 滚压靶。 由 8 台高纯锗和 1 台平面型探测器在束流能量为 75 MeV 时作符合测量, 从该符合实验中同时提取 DCO 值。 共

累积了 180×10^6 个两重以上符合事件。关于 ^{84}Rb 核的低自旋和中等自旋部分 J. Döring 等已经研究过了, 但最高自旋态只观测到 10^+ 。由于 ^{84}Rb 核为奇-奇核, 在反应中又有 ^{84}Sr 强反应道干扰, 数据分析很困难。经过两次实验及反复仔细的数据分析, 最后确认 40 个新的能级, 50 多条新的 γ 跃迁, 建立了较为完整的能级纲图。与 $^{76, 78, 80, 82, 86}\text{Rb}$ 比较可以看出: 它们的结构非常相似, 尤其是 8^+ 态以上, 这可能是因为它们的组态均为 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 的缘故。在 8^+ 态以上, ^{84}Rb 的结构与 $^{80, 82}\text{Rb}$ ^[13] 的相同, 均保持转动特征, 这与质子数大于 38 一边不同, 而与理论给出的 ^{84}Rb $e = 0.0698$, ^{82}Rb $e = 0.0621$ 相符。图 3, 图 4 分别示出了上述 Rb 核的转晕带的能级及 $N = 47$ 同中子数核的 10^+ 和 8^+ 的激发能级。从图中可以看出: 随中子数增加, 激发能缓慢增加, 但当 $N = 49$ 时, 则突然增加很多。后者主要是 $N = 50$ 大壳作用增强。同中子数核 10^+ 到 8^+ 的跃迁能量在 $Z = 38$ 处两侧呈对称性减少。

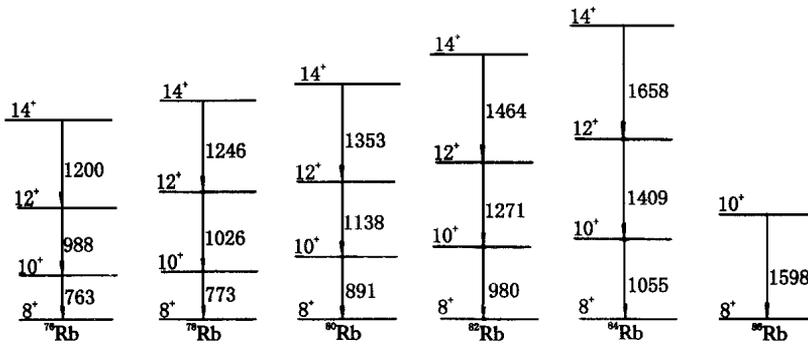


图 3 Rb 各奇-奇核同位素低激发态 γ 跃迁的比较

Fig 3 Comparison of γ transitions between low excited states in odd-odd Rb nuclei
能量单位为 keV

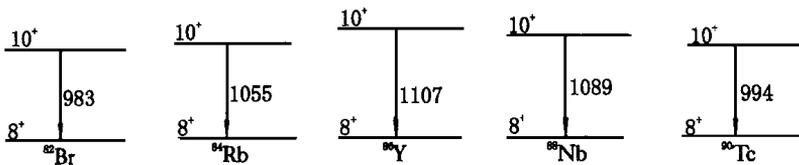


图 4 $N = 47$ 的双奇核低激发态 γ 跃迁的比较

Fig 4 Comparison of γ transitions between low excited states in $N = 47$ odd-odd N nuclei
能量单位为 keV

在 ^{84}Rb 的正宇称带中第一次观察到了旋称 (Signature) 反转。图 5~ 7 分别给出了 ^{84}Rb 及相邻 $^{80, 82}\text{Rb}$ 核的总激发能 (Routhian) 与 $-h\omega [E(I) - E(I-1)]/2I$ 与自旋及运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 与频率 $h\omega$ 的比较图。在这几个核中, 旋称反转点的自旋随中子数增加而增加。 ^{84}Rb 的反转点在自旋 $12h$ 处。从图 7 可看出: 3 个核的 $J^{(1)}$ 值在低频时非常大, 随频率增加分别减少到

0.42, 0.48 和 0.52 MeV, 然后保持为一个接近刚体的常数。根据粒子-转子模型理论, 在质量数为 80 区奇-奇核中只有在 2 个 $g_{9/2}$ 准粒子的本征运动达到最大后, 旋称反转才有可能发生。 ^{84}Rb 核的该带具有 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 组态, 这个值应为 $9\hbar$, 高于这个值是由集体运动形成的。所以 ^{84}Rb 的旋称反转可以理解成两个准粒子全顺排与集体运动相互作用形成。在 ^{84}Rb 的负宇称带中还发现了建立在 11^- 上的 $\Delta I = 1$ 的一串 M1 跃迁, 它们的能量分别为 325、444、546、655、721 和 765 keV。从能级间距及不存在 Signature 劈裂的特性, 可初步确认它们为磁转动带, 详细理论分析正在进行中。

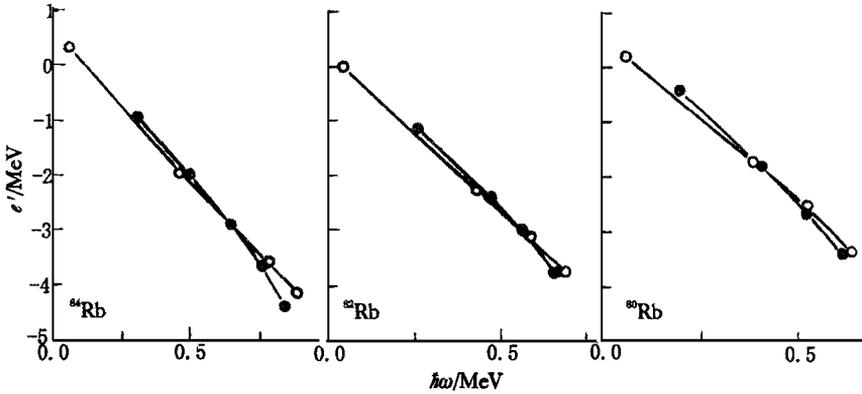


图 5 $^{84, 82, 80}\text{Rb}$ 核转晕带总激发能

Fig 5 The experimental routhians for the yrast band of $^{84, 82, 80}\text{Rb}$

— $\alpha = 0$; — $\alpha = 1$

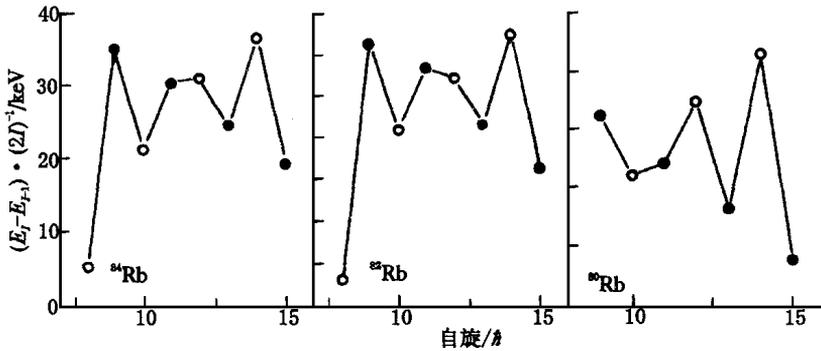


图 6 $^{84, 82, 80}\text{Rb}$ 转晕带 $(E_I - E_{I-1})/2I$ 比较图

Fig 6 Plots of the quantity $(E_I - E_{I-1})/2I$ as a function of spin for the yrast band in $^{84, 82, 80}\text{Rb}$

— $\alpha = 0$; — $\alpha = 1$

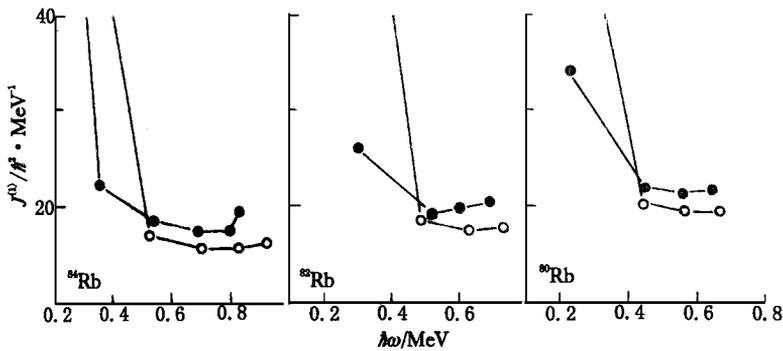


图 7 ^{84, 82, 80}Rb 转晕带运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 比较图

Fig 7 The kinematic moments of inertia $J^{(1)}$ for the yrast bands of ^{84, 82, 80}Rb
 — $\alpha=0$; — $\alpha=1$

3 能级寿命测量

处在质量数 $A \approx 130$ 过渡区的轻稀土核, 当质子数远离 $Z = 50$ 或中子数远离 $N = 82$ 闭壳时, 呈现从球形到变形的形状变化。在高自旋时, 出现集体性和粒子激发之间的强烈竞争。为了探讨这些核的形状随粒子数和角动量的变化特点, 用多普勒移动衰减法测量了 ¹²⁶Ba, ¹²⁸Ce 和 ¹²⁹Ce 核的高自旋态寿命。

利用束流能量为 73 MeV 的 ¹⁶O 束和 141 MeV 的 ³²S 分别轰击带有厚衬的同位素靶 ¹¹⁶Sn 和 ¹⁰⁰Ru, 通过 ¹¹⁶Sn (¹⁶O, 2p4n) ¹²⁶Ba, ¹¹⁶Sn (¹⁶O, 3n) ¹²⁹Ce 和 ¹⁰⁰Ru (³²S, 2p2n) ¹²⁸Ce 反应布居 ¹²⁶Ba, ¹²⁸Ce 和 ¹²⁹Ce 的高自旋态。反冲核被慢化并最终阻停在靶衬中。产物核发射的 γ 射线由 6 台康普顿高纯锗探测器进行 $\gamma\gamma$ 符合测量。只有当至少 2 台探测器被同时点燃的符合事件才被记录, 并以事件-事件方式存入磁带。与此同时, 用 1 台 BGO 晶体球进行 γ 多重性选择, 以减少来自像衰变放射性这样的低多重性本底。

离线分析时, 对探测器的增益匹配做微小调整后符合事件分类, 建成一角度相关的二维矩阵。通过设置能量窗和扣除相应的本底, 得到感兴趣的干净开门谱。利用多普勒展宽峰的形状分析法测定这些核的能级寿命。在形状分析中, 对靶的有限厚度、反冲速度的分布、探测器的有限立体角和能量分辨率以及馈入延迟等均进行了修正。具体细节已在文献[14]中详述。

根据寿命测量结果, 得到以下结论。

(1) 关于 ¹²⁶Ba [^{15, 16, 17}] $B(E2)$ 值在回弯附近明显降低; $E2$ 跃迁几率随角动量的变化与相邻偶-偶 Ce 核显示出类似趋势; $B(E2)$ 实验值小于理论值; 负宇称带表现出明显的集体性, 具有形变参量 $\beta_2 = 0.27 \pm 0.01$ 和 $\gamma = 5$ 的近轴对称的长椭圆形。

(2) 关于 ¹²⁸Ce [¹⁴] 没有观察到过去报道的理论上无法解释的 $B(E2)$ 异常高值; ¹²⁸Ce 接近于对称转子行为; 形变大小为 $\beta_2 = 0.25 \pm 0.05$, 与推转壳模型的理论值 0.257 非常一致; 偶-偶 Ce 同位素的集体性随中子数减少而增强。

(3) 关于 ¹²⁹Ce [¹⁸] ¹²⁹Ce 的集体性相对于 ¹²⁸Ce 降低, 这个降低可解释为由形状驱动效应引起的三轴形变所致; 正、负宇称带的跃迁四级矩有差异, 这与推转壳模型的预言相一致; 正、负宇称带的集体性随角动量增大而减小的变化趋势相类似; 一对 $h_{11/2}$ 质子对于核心起主导作用。

4 A 135 质量区高自旋态核结构研究

理论预期,在 $A=135$ 质量区附近的核,对 γ 形变是软的。它们的价质子和价中子的费米面都处在同一高 j 壳 $h_{11/2}$ 的不同位置,价质子在 $h_{11/2}$ 壳的中间偏下位置,准质子的驱动效应迫使核朝向 $\gamma=0$ 的长椭圆形变;而价中子处于 $h_{11/2}$ 壳的中间偏上位置,准中子驱动核朝向 $\gamma=60^\circ$ 的扁椭圆形变。由于准质子和准中子的驱动效应相反,因而该核区双奇核形状的变化决定于价准质子和价准中子驱动效应竞争的结果。对质子中子竞争效应的研究,成为国内外同行关注的核结构研究课题。

其中旋称反转(Signature inversion)现象也是该质量区双奇核所表现的结构特性之一。近期在不多的几个双奇核晕带的低自旋区,发现了优惠跃迁的激发能级相对高于非优惠跃迁的激发能级的反常现象。一些理论工作者试图用各种理论模型来解释这个现象,但是,他们所得结果不够理想。其中较好的是N. Tajima的结果^[19]。他利用p-n相互作用的三轴转子模型对该区11个双奇核进行了理论计算。在考虑 γ 形变的前提下,再现了这些核的旋称反转现象。刘运祚等^[20]利用系统学分析方法对该区一些核的晕带带头自旋值 I_0 进行修正后的结果也显示出旋称反转现象。由此可知,如何正确地设定晕带带头的自旋值是关键的问题。为获取实验证据,我们扩大了研究的质量区范围,选取不太缺中子核, $N=79$,离中子满壳82只差3个中子的 ^{138}Pr 核作为研究对象。

在HF-13串行加速器上采用在束 γ 谱学方法,利用 $^{124}\text{Sn}(^{19}\text{F}, 5n)^{138}\text{Pr}$ 反应,在入射束 ^{19}F 能量为88 MeV的条件下布居了 ^{138}Pr 的高自旋激发态。实验中使用8套HPGe-BGO反康谱仪和1台小平面高纯锗探测器进行符合测量,同时用19个单元的BGO晶体组成的多重过滤选择。获得符合事件数约 3.5×10^8 。在分析多条 γ 射线开窗谱的基础上,结合方向关联(DCO)数据,建立了 ^{138}Pr 的能级纲图。

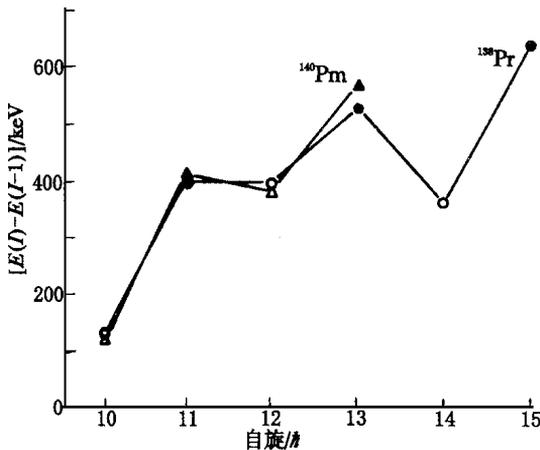


图8 ^{138}Pr 和 ^{140}Pm 核 $E(I) - E(I-1)$ 对自旋 I 的依赖关系

Fig 8 $E(I) - E(I-1)$ as function of I for ^{138}Pr and ^{140}Pm nuclei
 , — $\alpha = -1$; , — $\alpha = 0$

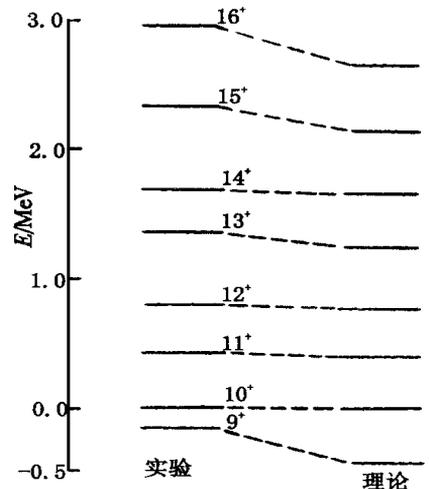


图9 ^{138}Pr 核的 $\pi h_{11/2} \nu h_{11/2}$ 晕带实验能级和理论计算结果比较

Fig 9 Comparison of experimental and theoretical levels in $\pi h_{11/2} \nu h_{11/2}$ yrast band for ^{138}Pr nuclues

实验结果是理想的, 不仅反映了 $A=135$ 质量区高自旋转动带的特点, 即具有强的 $M1$ 跃迁和弱的 $E2$ 跃迁, 而且由于 ^{138}Pr 核是不太缺中子核, 中子和质子的 $1h_{11/2}$ 负宇称轨道开始出现, 使纲图结构更复杂. 实验找到了 4 个新的转动带约 40 多条 γ 跃迁.

按该核区的系统学规律以及 Gamow-Teller 选择定则, 对基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态的晕带的带头自旋值重新进行了指定. 第一次观察到 ^{138}Pr 有明显旋称反转特征^[21](图 8). 将 ^{138}Pr 和已发表的 ^{140}Pm ^[22] 核结果比较, 它们晕带自旋值对 $[E(I) - E(I-1)]$ 的结果, 即实心的园点和三角 ($\alpha = -1$) 分别表示的 ^{138}Pr 和 ^{140}Pm 优惠跃迁高于空心的园点和三角 ($\alpha = 0$) 表示的非优惠跃迁. 出现了异常的旋称反转现象.

采用二准粒子加转子模型对该核进行理论分析^[23], 其结果与实验符合很好(图 9). 该结果进一步证明: 旋称量子数在高 j 准粒子态中扮演了重要角色, 并对核转动带结构产生重要影响. 旋称反转的出现是低 k 空间 p - n 耦合作用与科氏力竞争的结果.

参 考 文 献

- 1 Yuan Guanjun, Li Guangshen, Wen Shuxian, et al Study of the $1/2[541]$ Rotational Band in ^{169}Ta Chin J Nucl Phys, 1989, 1: 1
- 2 Shuxian W, Hua Z, Shenggang L, et al A nomalous Shift in Crossing Frequency for the Proton $1/2[541]$ Band in ^{175}Ta Z Phys, 1991, A 339: 417
- 3 Theine K, Yang CX, Byre PA, et al First Observation of High-spin States in ^{167}Ta and ^{168}Ta Nucl Phys, 1992, A 536: 418
- 4 Yang CX, Wen S, Li SG, et al A nomalous Band Crossing and Shape-driving in Rare Earth Nuclei Chin J Nucl Phys, 1994, 16: 223
- 5 Schnack-Petersen H, Bengtsson R, Bark P, et al Superdeformed Triaxial Band in ^{163}Lu and ^{165}Lu Nucl Phys, 1995, A 594: 175
- 6 Schmitz W, Yang CX, Hubel H, et al High Spin State in ^{167}La Nucl Phys, 1992, A 539: 112
- 7 Schmitz W, Hubel H, Yang CX, et al A Large Quadrupole Moment Intruder Band in ^{163}Lu Phys Lett, 1993, B 303: 230
- 8 Yang CX, Wu XG, Zheng H, et al Superdeformed Triaxial Band in ^{167}Lu Eur Phys J, 1998, A 1: 237
- 9 Wen S, Zheng H, Zhang L K, et al Quasiparticle Driving Effect on Shape of ^{87}Nb Soft Nucleus Inter J Mode Phys, 1997, E 6: 177
- 10 Zhang L K, Wen S, Zheng H, et al High Spin States in ^{90}Tc Nucleus Z Phys, 1993, A 346: 183
- 11 Wen S, Liu X A, Zheng H, et al The Level Structure of Transition Neutron Deficient Nuclei In: Li LF, Phua K K, eds Proceedings of the First International Conference of Frontiers of Physics-Looking to the 21 st Century. Singapore: World Scientific Publish Co. pte, Ltd, 1997: 667
- 12 韩广兵, 温书贤, 刘祥安, 等 ^{84}Rb 核的高自旋态研究 高能物理与核物理, 1999(待发表)
- 13 Doring J, Winter G, Funke L, et al Evidence for New Isomers and Band Structures in ^{80}Rb Phys Rev, 1992, C 46: R 2127
- 14 Li GS, Dai ZY, Wen SX, et al Lifetime Measurements of the High Spin Yrast States in ^{128}Ce Z Phys, 1996, A 356: 119
- 15 Li Guangsheng, Dai Zhengyu, Liu Xiangan, et al Collective Behavior of Negative Parity States in ^{126}Ba at High Spin Chin Phys Lett, 1998, 15: 168

- 16 Li GS, Dai ZY, Liu XA, et al Yrast Transition Strengths in ^{126}Ba European Phys J, 1998, A1: 379
- 17 李广生, 戴征宇, 刘祥安, 等 ^{126}Ba 回弯区的能级寿命测量 高能物理与核物理, 1998, 224: 299
- 18 Li Guangsheng, Dai Zhengyn, Liu Xiangan, et al Quadrupole Moment of the $h_{11/2}$ Quasineutron Band in ^{129}Ce Chin Phys Lett, 1998, 15: 564
- 19 Tajima N. Roles of Triaxiality and Residual Interaction in Signature Inversions of $A \approx 130$ Odd-odd Nuclei Nucl Phys, 1994, A 572: 365
- 20 Yunzuo Liu, Jingbin Lu, Yingjun Ma, et al Systematic Study of Spin Assignments and Signature Inversion of $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ Bands in Doubly Odd Nuclei $A \approx 130$ Phys Rev C, 1996, 54: 719
- 21 Guanjun Yuan, Yunwei Pu, Zhaohua Peng, et al First Observation of Signature Inversion of Yrast Band in Doubly Odd Nucleus ^{138}Pr Chin Phys Lett (to be published)
- 22 Angelis G, de Lunardis, Bazzacco D, et al In-beam Study of the Doubly-odd Nucleus ^{140}Pm . Z Phys, 1993, A 347: 93
- 23 普运伟 $A \approx 130$ 质量区双奇核旋称 (Signature) 反转现象研究 [硕士学位论文] 北京: 中国原子能科学研究院核物理研究所, 1998

STUDY OF HIGH SPIN STATES IN NUCLEI ON HI-13 TANDEM ACCELERATOR

Wen Shuxian Yang Chunxiang Li Guangsheng Yuan Guanjun

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-10, Beijing, 102413)

ABSTRACT

The work done in recent years on HI-13 tandem accelerator in China Institute of Atomic Energy (CIAE), including anomalous band crossing in odd proton nuclei and superdeformed triaxial band in rare earth region, nuclear structure in mass $A \approx 80$ and $A \approx 130$ nuclei and measurement of lifetime of high spin states, are briefly introduced.

Key words High spin states Band crossing Superdeformed triaxial band Lifetime