

^{79}Kr 高自旋超形变的观测*

潘强岩

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

M. De Poli G. De Angelis C. Fahlander D. Bazzacco

E. Farnea A. Gadea D. R. Napoli P. Spolaore

(意大利国家核物理研究院 LEGNARO 国家实验室)

摘要 通过 $^{55}\text{Mn}(^{30}\text{Si}, \alpha\text{pn})$ 反应布居了 ^{79}Kr 的高自旋态. 用 GASP 阵列配以由 40 个 $\Delta E \times E\text{Si}(\text{Au})$ 望远镜所组成的带电粒子球实现 $\gamma\gamma\gamma$ -带电粒子符合测量. 观测到由相对强度为 $(2.7 \pm 0.3)\%$ 的 8 条级联 γ 跃迁所组成的 ^{79}Kr 高自旋超形变转动带. 除了在转动频率 $\hbar\omega > 0.95\text{MeV}$ 处急剧下降外, 该带的动力学转动惯量近乎常数 ($22\text{h}^2/\text{MeV}$) 并被解释为具有四极形变参数 $\beta_2 = 0.51$ 以及本征侵入组态为 $\pi 5^{\circ} 5^{\circ} 1^{\circ}$.

关键词 $\gamma\gamma\gamma$ -带电粒子符合 高自旋超形变 高 N 侵入组态

分类号 O571.22

1 引言

以发现 ^{152}Dy 的高自旋超形变^[1]为开端, 十多年来, 高自旋超形变谱学的研究成为核结构领域的主要研究内容之一. 在核素图上, 位于质量数 $A \approx 130, 150$ 和 190 的核区, 实验已积累了相当丰富的高自旋超形变谱学数据^[2~4]. ^{83}Sr 的高自旋超形变转动带^[5]的发现, 使理论预言的位于 $A \approx 80$ 缺中子核区的高自旋超形变岛^[6]得以初步证实. 金浩强等人^[7]通过对跃迁四极矩的测定, 给出了 ^{84}Zr 超形变的直接实验证据. 两年来, 美国和西欧等各有关实验室利用 EUROGAM, Gamma-sphere 和 GASP 等大型反康 Ge 阵列, 在 $A \approx 80$ 核区中观测到在 $^{80\sim 83}\text{Sr}$ 、 $^{82, 83}\text{Y}$ 、 $^{83, 84}\text{Zr}$ 和 ^{87}Nb 等原子核中近 20 条高自旋超形变转动带. 所有这些结果, 使位于 $A \approx 80$ 核区新的高自旋超形变岛得以确立.

2 实验描述和数据分析

实验是在意大利国家核物理研究院 Leg-naro 国家实验室完成. 利用 $^{55}\text{Mn}(^{30}\text{Si}$,

$\alpha\text{pn})$ 反应布居了 ^{79}Kr 的高自旋态. $130\text{MeV}^{30}\text{Si}^{8+}$ 束流是由该实验室 XTU 串列加速器提供, 流强为 $3 \sim 4\text{pnA}$. ^{55}Mn 靶是由厚度均为 $400\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 二片自衬薄膜构成, 中间夹着厚度为 1mm 的空靶架. 用 GASP 阵列进行 $\gamma\gamma\gamma$ -带电粒子符合测量. 该阵列由 40 个反康 Ge 探测器和 80 块 BGO 晶体组成的内球构成. BGO 晶体球装在由 40 台反康 Ge 探测器构成的壳内, 球腔的内表面距靶约为 210mm . 对于能量为 1MeV 的 30 条级联 γ 跃迁, 该球的绝对效率达到 75% , 能量分辨为 30% . 其熔合反应中所蒸发的 p 和 α 粒子的鉴别及其多重性的指定, 是由 40 个 $\Delta E \times E\text{Si}(\text{Au})$ 望远镜组成的带电粒子球来完成. 事件的点火条件为: 至少有 3 个反康 Ge 探测器同至少有一个 $\Delta E \times E\text{Si}(\text{Au})$ 望远镜或在 BGO 内球中至少有 4 块 BGO 单元同时点火. 五天实验中, 共收集到 $\sim 1.4 \times 10^9$ 个事件.

根据带电粒子在 ΔE 和 $E\text{Si}(\text{Au})$ 探测器中沉积的能量, 用 $\Delta E \times E$ 技术来实现 p 和 α 的鉴别及其多重性的指定. 将所收集到的每个事件根据其 p 与 α 的出射道和 p 与 α 的多

重性进行分类并建立相应的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵. 从而实现了 $\gamma\gamma\gamma$ -带电粒子的符合测量. 由于布居⁷⁹Kr 的高自旋态是通过 αpn 反应道实现的, 因此, 将带电粒子球上仅探测到一个质子和一个 α 粒子的事件挑选出来, 建立 αp 门的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵, 用于寻找⁷⁹Kr 的超形变转动带. 在所收集到的 1.4×10^9 个事件中, 属于 αp 事件数为 1.9×10^7 . 其中⁷⁹Kr + αpn 和⁷⁸Kr + $\alpha p2n$ 反应道占据事件数分别为 25% 和 63%.

在束实验中, 多普勒能移将严重影响 Ge 探测器的能量分辨. 由于实验时, 带电粒子球测量了 p 和 α 的能量及其出射方向, 使得在建立带电粒子门的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵时, 可作多普勒能移的校正. 在实验所利用的 αp 出射道中, 经多普勒能移校正后, γ 射线 ($E_\gamma \sim 1.3 \text{ MeV}$) 的能量分辨 (FWHM) 从 11.4 keV 提高到 6.8 keV.

3 实验结果及其讨论

在分析 αp 门的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵时, 观测到 8 条级联的 γ 跃迁同已知的⁷⁹Kr 正常 (正、负宇称) 带上的 γ 跃迁相符合. 它们的能量分别为 986、1173、1354、1537、1716、1899、2060、2282 keV, 能量误差为 1.5 keV. 为了获得更好的统计, 进一步分析了 α 门的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵和 p 门的 $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵. 图 1 给出了由三个矩阵

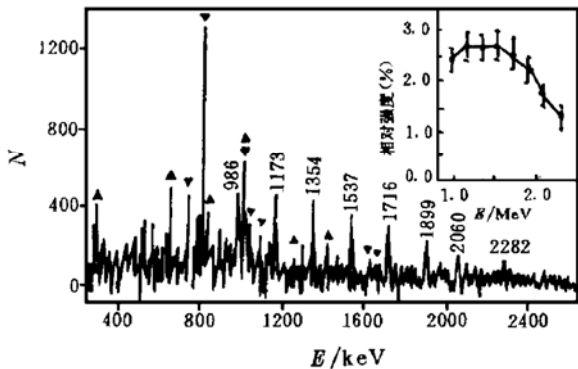


图 1 从 p -、 α -和 αp - $\gamma\gamma\gamma$ 矩阵中得到的双重门投影累加能谱. 其中双重门为组成⁷⁹Kr 超形变带的 8 条级联 γ 跃迁 (图中标明能量者) 所有可能的组合. 图中右上角插图为此 8 条 γ 跃迁的相对强度. \blacktriangledown 和 \blacktriangle 分别为⁷⁹Kr 的正、负宇称正常形变带上的 γ 跃迁

之和中得到的上述 8 条级联 γ 跃迁所有可能组合的双重门投影累加能谱. 指定由这 8 条 γ 跃迁所构成的转动带为⁷⁹Kr 的高自旋超形变带, 是基于下述实验事实: 首先是符合关系, 它们与⁷⁹Kr 的正常 (正、负宇称) 带上的 γ 跃迁相符合; 其次是 γ 跃迁的相对强度 (相对于⁷⁹Kr 的晕带中 $13^+/2 \rightarrow 9^+/2$ 的 γ 跃迁, 如图 1 中的右上角插图所示) 是典型的高自旋超形变转动带的强度布居. 核反应布居了超形变带顶部 3~4 能级, 在带的底部 1~2 个能态上完全馈出, 中间不发生布居或馈出的过程; 最后是除了在转动频率 $\hbar\omega > 0.95 \text{ MeV}$ 处急剧下降外, 该带的动力学转动惯量近乎常数 ($22\hbar^2/\text{MeV}$). 这类似于^{82,83}Sr 和⁸²Y 的结果并同具有四极形变参数 $\beta_2 = 0.51$ 的超形变刚体转动相一致.

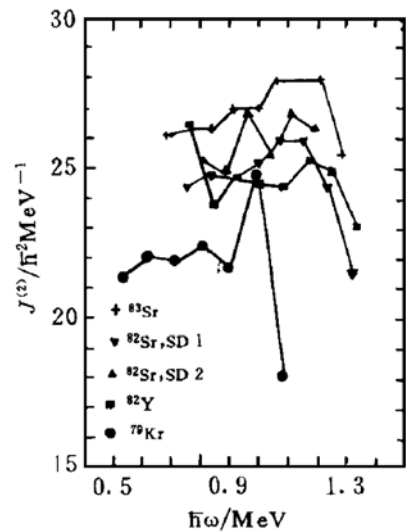


图 2 ^{83,82}Sr [5,8]、⁸²Y [9] 和⁷⁹Kr 的高自旋超形变转动带的动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 $\hbar\omega$ 的变化

如果测到从超形变带到正常带的连接 γ 跃迁, 就可以确定超形变带上能态的自旋. 由于实验没有观测到这类跃迁, 只能根据从超形变带馈送到正常带上的最高自旋态来估计其自旋值. 观测到从⁷⁹Kr 的超形变带馈送到正常带上的最高自旋态为 $(35^+/2) 7904 \text{ keV}$ 和 $(35^-/2) 7860 \text{ keV}$. 再考虑到超形变带和正常带的连接 γ 跃迁所带走的角动量 ($\sim 2.5\hbar$), 就可以推出实验所观测到⁷⁹Kr 的

超形变带的最低态所具有的自旋为 $\sim 18\hbar$.

图 2 给出了 $^{83,82}\text{Sr}$ 、 ^{82}Y 和 ^{79}Kr 的高自旋超形变转动带的动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 $\hbar\omega$ 的变化. 它们均显示了一个共同的特征, 即除了在带的顶部处急剧下降外, $J^{(2)}$ 几乎是常数. 这种变化趋势为 $A \approx 80$ 核区的高自旋超形变转动带所特有, 也出乎了理论预料. 另外, 随着 A 值的下降, $J^{(2)}$ 的平均值也逐渐变小. 这可能是由于高 N 侵入轨道数目减少的结果.

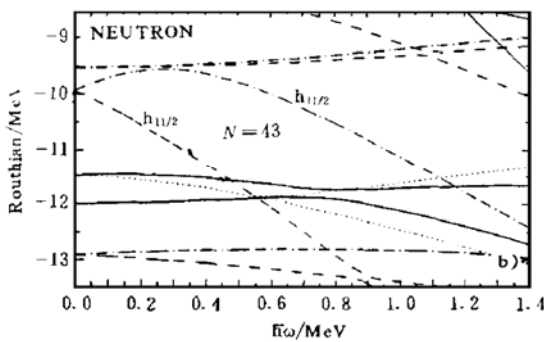
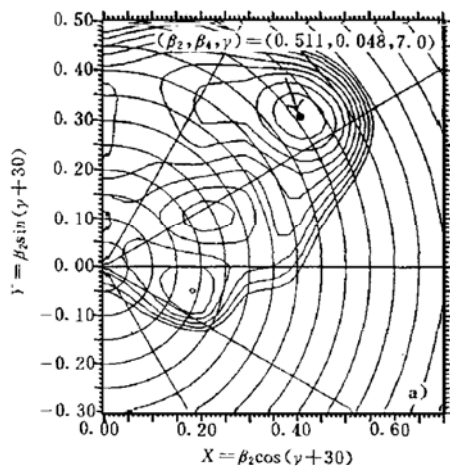


图 3 a) 具有 $(+, -1/2)$ 组态和当转动频率 $\hbar\omega = 1.18\text{MeV}$ 时, ^{79}Kr 的 TRS 等高图. 图中标明了超形变的形变参数. b) 处于 $(\beta_2, \beta_4, \gamma) = (0.511, 0.048, 7.0^\circ)$ 形变时的单粒子(中子)Routhians 轨道. 轨道的 (π, α) 为: 实线 $(+, +1/2)$, 点线 $(+, -1/2)$, 虚点线 $(-, +1/2)$, 虚线 $(-, -1/2)$

用推转壳模型^[6,10]对 ^{79}Kr 的超形变转动带结构作了理论计算. 从 TRS 的计算结果可知, 当转动频率 $\hbar\omega \geq 0.85\text{MeV}$ 时, 位于 $(\beta_2, \beta_4, \gamma) = (0.511, 0.048, 7.0^\circ)$ 的超形变的极

小值开始形成, 随着转动频率 $\hbar\omega$ 的增加, 该形变变得稳定. 图 3a 给出了 TRS 计算的一个范例. 另外, 根据推转壳模型得到, 在该形变参数下, ^{79}Kr 的单粒子 Routhians, 如图 3b 所示. 从图上所显示的中子 Routhians 不难看出, 当转动频率 $\hbar\omega \geq 0.45\text{MeV}$ 时, 一条 $N = 5$ 的 $h_{11/2}$ 中子侵入轨道被占据, ^{79}Kr 的超形变具有的中子侵入组态应是 $\nu 5^1$. 根据计算所得到的质子 Routhians, 没有发现 $N = 5$ 的 $h_{11/2}$ 质子侵入轨道. 因此, 此项工作所观测到的 ^{79}Kr 超形变转动带的高 N 侵入组态应为 $\pi 5^0 \nu 5^1$.

4 结 论

通过 $^{55}\text{Mn}(^{30}\text{Si}, \alpha pn)$ 反应布居了 ^{79}Kr 的高自旋态. 利用 GASP 阵列配以由 40 个 $\Delta E \times E$ Si(Au) 望远镜所组成的带电粒子球实现 $\gamma\gamma\gamma$ -带电粒子符合测量. 从观测到的 8 条级联 γ 跃迁同已知的 ^{79}Kr 正常带上的 γ 跃迁符合关系、它们所布居的相对强度以及该转动带的动力学转动惯量随转动频率的变化特征表明, 这些级联 γ 属于 ^{79}Kr 的高自旋超形变转动带, 所观测到的最低态的自旋 $\sim 18\hbar$. 除了在转动频率 $\hbar\omega > 0.95\text{MeV}$ 处急剧下降外, 该带的动力学转动惯量为 $J^{(2)} = 4/\Delta E_\gamma \approx 22(\hbar^2/\text{MeV})$, 这与理论计算的具有四极形变参数 $\beta_2 = 0.51$ 的超形变转动带相吻合. 从推转壳模型的计算结果可以看出, ^{79}Kr 的超形变转动带的高 N 侵入组态应为 $\pi 5^0 \nu 5^1$.

参 考 文 献

- 1 Twin P J, Nyako BM, Nelson A H et al. Observation of a Discrete-line Superdeformed Band up to $60\hbar$ in ^{152}Dy . Phys Rev Lett, 1986, 57: 811~814
- 2 Nolan P J, Twin P J. Superdeformed Shapes at High Angular Momentum. Annu Rev Nucl Part Sci, 1988, 38: 533~562
- 3 Janssens R V F, Khoo T L. Superdeformed Nuclei. Annu Rev Nucl Part Sci, 1991, 41: 321~355

- 4 Singh B, Firestone R B, Chu S Y F. Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers. Nucl Data Sheets, 1996, 78, (1): 1~218
- 5 Baktash C, Cullen D M, Carrettet J D et al. First Observation of a Superdeformed Band in the $N, Z \approx 40$ Mass Region. Phys Rev Lett, 1995, 74: 1946~1949
- 6 Nazarewicz W, Dudek J, Bengtsson R et al. Microscopic Study of the High-spin Behaviour in Selected $A \approx 80$ Nuclei. Nucl Phys, 1985, A435: 397~447
- 7 Jin H-Q, Baktash C, Brinkman M J et al. Identification and Quadrupole-moment Measurement of a Superdeformed Band in ^{84}Zr . Phys Rev Lett, 1995, 75: 1471~1474
- 8 Smith A G, Dagnall P J, Lisle J C et al. Observation of Superdeformation in ^{82}Sr . Phys Lett, 1995, 355B: 32~36
- 9 Dagnall P J, Smith A G, Lisle J C et al. The Observation of a Superdeformed Structure in ^{82}Y . Z Phys, 1995, A353: 251~253
- 10 Dudek J, Nazarewicz W, Rowley N. Shape Coexistence Effects and Superdeformation in ^{84}Zr . Phys Rev, 1987, C35: 1489~1501

Observation of Superdeformation in ^{79}Kr

PAN Qiangyan

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

M. De Poli G. De Angelis C. Fahlander D. Bazzacco

E. Farnea A. Gadea D. R. Napoli P. Spolaore

(Laboratori Nazionali di Legnaro, INFN, 35020 Legnaro (PD), Italy)

Abstract High-spin states in ^{79}Kr were populated via the fusion evaporation reaction $^{55}\text{Mn} (^{30}\text{Si}, \alpha\text{pn})$ at 130 MeV. Prompt $\gamma\gamma$ -charged particle coincidences were measured by using the GASP array in conjunction with the $\Delta E \times E$ Si(Au) charged particle ball. A superdeformed band consisting of 8 γ -ray transitions with an intensity of $(2.7 \pm 0.3)\%$ has been identified in ^{79}Kr . The dynamic moment of inertia for the band is nearly constant at approximately $22 \text{ h}^2/\text{MeV}$ below a rotational frequency of 0.95 MeV and decreases abruptly above that frequency. This band is interpreted to have a $\pi 5^{\nu} 5^1$ intrinsic intruder configuration with a quadrupole deformation β_2 of 0.51.

Key Words $\gamma\gamma$ -charged particle coincidence superdeformation high- N intruder configuration