

^{129}Ce 高自旋态的形状变化*

李广生 戴征宇 刘祥安 张兰宽 温书贤 吴晓光
袁观俊 彭朝华 翁培焜 李生岗 杨春祥

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 通过 $^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 3n)^{129}\text{Ce}$ 反应, 利用多普勒移动衰减法测量了 ^{129}Ce 高自旋态的寿命. 得到的跃迁四极矩表明 ^{129}Ce 的集体性相对于核芯 ^{128}Ce 减弱. 这个因增加一个 $h_{11/2}$ 中子而引起集体性的降低可以解释为由于形状驱动效应产生三轴形变所造成的. 正、负宇称带的跃迁四极矩与角动量的关系呈现相似的变化趋势, 推测一对 $h_{11/2}$ 准质子可能对核芯性质起主要作用.

关键词 高自旋态 寿命测量 四极矩

1 引言

质量数 $A = 130$ 附近的轻 Ce 同位素是变形核, 而且是软 γ 形变^[1-6]. 探讨奇质量 Ce 核的形状和 γ 柔软性对于研究核结构是很有意义的, 因为这个未配对粒子是核芯性质的灵敏探针. Aryaeinejad 等^[7] 建立了 ^{129}Ce 的高自旋能级纲图, 并用推转壳模型(CSM)成功地解释了回弯和旋称劈裂(Signature splitting)的特点. 他们还预言了正宇称带和负宇称带有不同的形状, 并在带交叉前和带交叉后发生形状变化. 这个理论预言可以通过测量能级寿命得到的跃迁四极矩来检验. 在本工作中, 用 $\gamma - \gamma$ 符合的多普勒移动衰减法测量了 ^{129}Ce 高自旋态的寿命, 对核形状随角动量的变化关系进行了探讨, 初步结果已发表^[8].

2 实验方法

实验是在中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器上进行的. 利用束流能量为 73 MeV 的 $^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 3n)^{129}\text{Ce}$ 反应布居 ^{129}Ce 的高自旋激发态. 实验用的靶是 $970\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 厚的同位素丰度为 92.8% 的 ^{116}Sn , 并附有 $20\text{mg}/\text{cm}^2$ 厚的铅衬, 以慢化和阻停反冲的产物核. 用 7 台高纯锗探测器组成的探测阵列进行 $\gamma - \gamma$ 符合测量. 每台高纯锗探测器都带有对称型的康普顿抑制装置, 从而提高了峰康比. 这些探测器的相对效率为 15%—30%,

2000-11-03 收稿

* 国家自然科学基金(19975070)资助

能量分辨率好于 2.2keV(对⁶⁰Co 的 1332.5keV γ 射线). 3 台探测器放在对束流方向成 90° 的位置上,其余 4 台分别位于 $\pm 30^\circ$ 和 $\pm 143^\circ$. 每个探测器距靶中心 18cm,所张立体角是比较小的,从而减小了角度对多普勒效应的影响. 用⁶⁰Co 和¹⁵²Eu 标准源进行了能量和效率刻度. 只有当至少 2 个反康普顿高纯锗探测器同时探测到的 γ - γ 符合数据才被记录,以事件记录法存在磁带上. 在本实验中,总共收集了大约 60×10^6 个符合事件.

3 结果

离线对符合数据进行分类,并建成一个角度相关的二维矩阵. 对 30°观察到的多普勒展宽峰进行形状分析,以便测定能级寿命. 在峰形分析中,对若干修正,例如反冲速度的分布、有限的靶厚度、探测器的有限立体角和能量分辨率以及级联馈入等都进行了考虑. 关于数据处理和峰形分析的方法已在文献[9]中详述. 本实验确认了由 Aryaeinejad 等^[7]所建立的¹²⁹Ce 的能级纲图. 图 1 给出与本寿命测量有关的部分能级纲图. 对于正、负宇

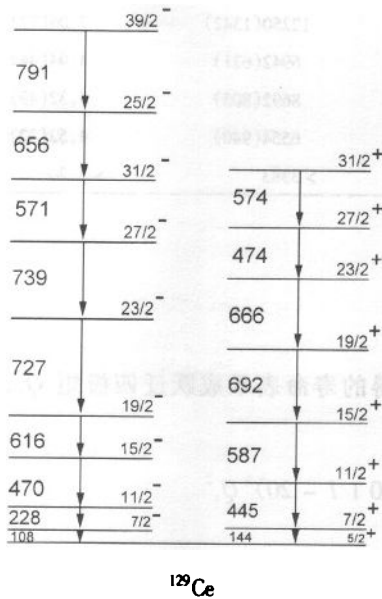


图 1 本工作采用的¹²⁹Ce 能级纲图

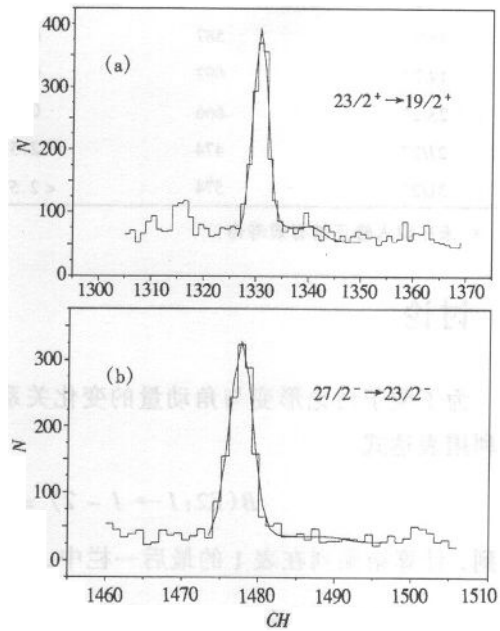


图 2 多普勒展宽峰

(a) 666keV $23/2^+ \rightarrow 19/2^+$ 跃迁;

(b) 739keV $27/2^- \rightarrow 23/2^-$ 跃迁.

光滑曲线是对实验谱的拟合峰形.

称带的最高能级,只能给出未作馈入修正的有效寿命. 这是因为在这些能级以上的馈入信息是未知的. 测得的这些有效寿命被取作为拟合其下面较低跃迁的峰形时的馈入时间. 对于未观察到的边馈入也进行了修正. 边馈入的强度是通过测量的 γ 跃迁相对强度确定的. 作为例子,图 2 给出 666keV $23/2^+ \rightarrow 19/2^+$ 和 739keV $27/2^- \rightarrow 23/2^-$ 跃迁的多普勒展宽谱.

为了对测量结果进行检验,我们还测定了 ^{126}Ba 6^+ 和 8^+ 态的寿命. 这个核是通过本实验中的 $^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, \alpha 2n)^{126}\text{Ba}$ 反应产生的. 过去用反冲距离法测得这二个能级的寿命为 $\tau(6^+) = 1.62\left(\frac{100}{50}\right)\text{ps}$ 和 $\tau(8^+) = 2.14\left(\frac{35}{25}\right)\text{ps}$ ^[10]. 本工作测得的寿命值为 $\tau(6^+) = 1.47(30)\text{ps}$ 和 $\tau(8^+) = 2.02(35)\text{ps}$, 与过去的报道值很好地一致. 表 1 列出我们测定的 ^{129}Ce 高自旋态寿命和相应的 $B(E2)$ 值.

表 1 ^{129}Ce 的能级寿命、 $B(E2)$ 值和跃迁四极矩 Q_i

I^π	E_γ/keV	τ/ps	$B(E2)/e^2\text{fm}^4$	Q_i/eb
19/2 ⁻	616	1.79(15)	4545(380)	4.35(18)
23/2 ⁻	727	1.46(27)	2434(450)	2.97(27)
27/2 ⁻	739	0.68(6)	4924(434)	4.07(18)
31/2 ⁻	571	1.33(16)	5891(709)	4.34(26)
35/2 ⁻	656	1.00(12)	3848(461)	3.45(21)
39/2 ⁻	791	< 0.87*	> 3044	> 3.04
15/2 ⁺	587	0.73(8)	12250(1342)	7.06(77)
19/2 ⁺	692	0.67(6)	6942(621)	4.94(44)
23/2 ⁺	666	0.54(5)	8692(805)	5.32(49)
27/2 ⁺	474	2.51(36)	6554(940)	4.52(32)
31/2 ⁺	574	< 2.57*	> 3383	> 3.20

* 未作馈入修正的有效寿命.

4 讨论

为了便于讨论形变与角动量的变化关系,将测得的寿命表示成跃迁四极矩 Q_i . 这可以利用表达式

$$B(E2: I \rightarrow I-2) = \frac{5}{16\pi} \langle I200 | I-20 \rangle^2 Q_i^2 \quad (1)$$

得到. 计算结果列在表 1 的最后一栏中.

用宇称和旋称(signature)量子数 (π, α) 标记的 ^{129}Ce $\left(-, -\frac{1}{2}\right)$ 转晕带的平均四极矩 $Q_i = 3.84(54)\text{eb}$, 小于核芯 ^{128}Ce 转晕带的 $Q_i = 4.18(86)\text{eb}$ ^[9]. 这意味着加入一个 $h_{11/2}$ 中子造成 ^{129}Ce 集体性的减小, 这个减小可以解释为由于三轴形变所引起的. 在 ^{129}Ce 负宇称带中, 中子费米面处在高 $jh_{11/2}$ 壳中部的 $[523]7/2^-$ 轨道附近, 这个价粒子轨道对核芯 ^{128}Ce 产生一个 $\gamma = -60^\circ$ 的驱动力. 另一方面, 处在 $h_{11/2}$ 壳底部附近 $[550]1/2^-$ 和 $[541]3/2^-$ 轨道之间的准质子具有朝 $\gamma \geq 0^\circ$ 的强驱动效应. Aryaeinejad 等^[7] 用推转壳模型进行的计算表明, $h_{11/2}$ 中子驱动效应和 $h_{11/2}$ 质子驱动效应之间的最终平衡, 导致 ^{129}Ce 1-准中子态的 $\gamma = -30^\circ$, 而带交叉之后的 3-准粒子态具有 $\gamma \approx 0^\circ$. 这意味着质子对的顺排引起了从三轴到近似于长椭的形状变化. 因此, $\left(-, -\frac{1}{2}\right)$ 带在高自旋时跃迁四极矩的减小或许可以归因

于四极形变的变化. 这可以通过关系式

$$Q_i = \frac{3}{\sqrt{5\pi}} ZeR^2 \beta_2 \frac{\cos(30^\circ + \gamma)}{\cos 30^\circ} \quad (2)$$

计算得到四极形变参量 β_2 . 式中 Ze 是核的电荷, $R = 1.2A^{1/3}$. 算得带交叉前的 $\beta_2 = 0.21$ (3) 和带交叉后的 $\beta_2 = 0.24$ (3). 它们都小于 ^{128}Ce 刚体转动时的 $\beta_2 = 0.25$ (5)^[9].

为了比较正宇称带和负宇称带的集体行为, 将表 1 中的 Q_i 值与自旋的变化关系画图表示在图 3 中. 可以看出, 二个带的跃迁四极矩随自旋增大而减小的变化趋势颇为相似. 正宇称带和负宇称带的顺排粒子都是一对 $h_{11/2}$ 准质子, 这二个带所显示的 Q_i 行为的相似性表明存在这样的可能性, 即一对 $h_{11/2}$ 准质子对核芯性质起主导作用. 但是, 负宇称带的 Q_i 值略小于正宇称带的 Q_i 值. 这个差别可能与这二个带有不同的三轴形变有关. 正宇称中子费米面位在低 j 壳的 $d_{5/2}[402]5/2^+$ 轨道, 因此 γ 驱动效应是很小的, 不像负宇称中子态具有朝向 $\gamma = -60^\circ$ 的驱动力. 正、负宇称带在 Q_i 值上有差别, 这一事实与过去观察到的这二个带有不同的交叉频率和旋称劈裂^[7] 这个特点是一致的.

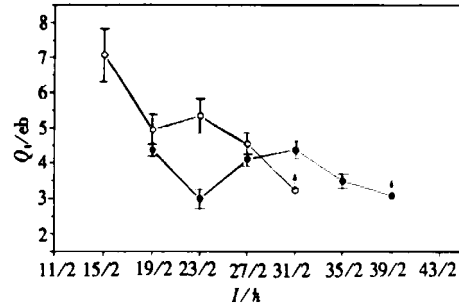


图 3 正、负宇称带的跃迁四极矩 Q_i 与自旋 I 的变化关系

○ π^+ , ● π^- , 带有箭头的实验点为下限值.

5 总结

利用 $^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 3n)^{129}\text{Ce}$ 反应布居 ^{129}Ce 的高自旋态. 通过对多普勒展宽峰的形状分析测定了 ^{129}Ce 高自旋态的寿命. 结果表明, ^{129}Ce 的跃迁四极矩小于 ^{128}Ce 的跃迁四极矩. 因多了一个 $h_{11/2}$ 中子而造成集体性的降低, 这可以用 γ 驱动效应引起的三轴形变得到解释. 虽然负宇称带比正宇称带的跃迁四极矩略小一些, 但它们随角动量的变化却显示出非常相似的走向. 这似乎表明, 一对 $h_{11/2}$ 准质子可能对核芯性质起主要作用. 正、负宇称带在 Q_i 值上略有差别, 这个特点与这二个带有不同的交叉频率和旋称劈裂是一致的. 这些差别都源自于不同的 γ 驱动效应所致.

感谢中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器运行人员为我们提供了良好的束流条件. 对许国基同志为我们制备了优质的实验用靶深表感谢.

参考文献 (References)

- 1 Kirwan A J, Ball G C, Bishop P J et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**(5):467—470
- 2 CHEN Y S, Frauendorf S, Leander G A et al. Phys. Rev., 1983, **C28**(6):2437—2445
- 3 Cata-Danil G, Nyako B M, Gizon J et al. Z. Phys., 1991, **A339**(2):313—314
- 4 Nyako B M, Gizon J, Barci V et al. Z. Phys., 1989, **A334**(4):513

- 5 Todd D M, Aryaeinejad R, Love D J G et al. *J. Phys.*, 1984, **G10**(10):1407—1433
- 6 Leander G A, Arve P, Bengtsson T et al. *Nucl. Phys.*, 1983, **A400**:97c—112c
- 7 Aryaeinejad R, Love D J G, Nelson A H et al. *J. Phys.*, 1984, **G10**(7):955—967
- 8 LI Guang-Sheng, DAI Zheng-Yu, LIU Xiang-An et al. *China Phys. Lett.*, 1998, **15**(8):564—565
- 9 LI G S, DAI Z Y, WEN S X et al. *Z. Phys.*, 1996, **A356**(2):119—123
- 10 Seiler-Clark, Huser D, Novotny R et al. *Phys. Lett.*, 1979, **80B**(4,5):345—347

Shape Change of ^{129}Ce at High Spin States*

LI Guang-Sheng DAI Zheng-Yu LIU Xiang-An ZHANG Lan-Kuan
WEN Shu-Xian WU Xiao-Guang YUAN Guan-Jun PENG Chao-Hua
WENG Pei-Kun LI Sheng-Gang YANG Chun-Xiang

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

Abstract High spin states of ^{129}Ce were populated through the reaction $^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 3n)^{129}\text{Ce}$ at a beam energy of 73 MeV. Lifetimes of the excited states were measured using the Doppler shift atten-

The transition quadrupole moments Q_i were deduced from lifetime data. The results collectivity of ^{129}Ce is reduced with respect to the even-even core ^{128}Ce . This reduction in collectivity caused by the addition of a $h_{11/2}$ neutron can be interpreted as due to triaxial deformation induced by shape driving effect. Although the Q_i values of the negative-parity band are somewhat smaller than the ones of the positive-parity band, they exhibit a considerably similar behavior with increasing angular momentum. It would appear that the two $h_{11/2}$ quasiprotons possibly have a dominant influence on property of the core.

Key words high spin state, lifetime measurement, quadrupole moment

Received 3 November 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19975070)