

文章编号: 1007-4627(2004)04-0315-05

## A=130 区缺中子核<sup>122</sup>Cs 与<sup>134</sup>Ce 高自旋态研究\*

朱胜江<sup>1</sup>, 禹英男<sup>1</sup>, 甘翠云<sup>1</sup>, 朱凌燕<sup>1</sup>, M. 萨哈伊<sup>1</sup>, 肖树冬<sup>1</sup>,  
李明亮<sup>1</sup>, 车兴来<sup>1</sup>, 温书贤<sup>2</sup>, 竺礼华<sup>2</sup>, 吴晓光<sup>2</sup>, 李广生<sup>2</sup>

(1 清华大学物理系, 北京 100084;

2 中国原子能科学研究院, 北京 102413)

**摘要:** 通过重离子核反应与在束  $\gamma$  谱的实验技术, 对 A=130 缺中子核区<sup>122</sup>Cs 与<sup>134</sup>Ce 核的高自旋态进行了研究, 所用核反应分别为<sup>107</sup>Ag(<sup>19</sup>F, 1p3n)与<sup>122</sup>Sn(<sup>16</sup>O, 4n). 实验结果扩展了<sup>122</sup>Cs 与<sup>134</sup>Ce 的能级纲图. 在<sup>122</sup>Cs 中发现可能是属于手征二重带的结构, 而在<sup>134</sup>Ce 核的高自旋态结构中呈现出重要的具有不同  $\gamma$  形变的形状共存特性.

**关键词:** 核结构; 高自旋态; 手征二重带; 形状共存

**中图分类号:** O571.2      **文献标识码:** A

### 1 引言

A=130 缺中子核区核的高自旋态具有重要的结构特性. 核内质子的费米面位于  $h_{11/2}$  亚壳层的底部, 中子的费米面则位于  $h_{11/2}$  亚壳层的顶部. 推转壳模型的计算指出<sup>[1]</sup>, 位于  $h_{11/2}$  亚壳层下部的粒子将驱动核的形状向长椭圆形变( $\gamma \approx 0^\circ$ )方向变化, 而位于  $h_{11/2}$  亚壳层上部的粒子将驱动核的形状向扁椭圆形变( $\gamma \approx -60^\circ$ )方向变化. 在高自旋态下由多准粒子组态形成的转动带或能态, 可使核形成不同的形状. 对于 Ce 同位素链来说, 在以往的研究中就观测到多条具有不同  $\gamma$  形变的长椭、扁椭和三轴形变带, 甚至在一个核, 比如<sup>132</sup>Ba<sup>[2]</sup>中, 就观测到同时存在具有不同  $\gamma$  形变的结构, 即所谓形状共存. 另一方面, 最近在高自旋态研究中, 由手征对称性的破裂引起的手征二重带的研究也引起人们很大的关注. 当双奇核满足这样的条件: 具有三轴形变芯, 单质子与单中子分别位于子壳层的下部(单粒子)或顶部(单空穴), 形成核芯运动、单粒子与空穴运动的角动量互相垂直, 这样的核则可能引起手征对称的破缺. 而理论预言, 在此区内的一些双奇核最有可能具有这种特性<sup>[3-5]</sup>. 实验上在此区已发现多个双奇核的手征二重带结构, 其中, 在  $N < 82$  的 Cs

同位素链的双奇核有: <sup>124</sup>Cs( $N=69$ )<sup>[6]</sup>, <sup>126</sup>Cs( $N=71$ )<sup>[7]</sup>, <sup>128</sup>Cs( $N=73$ )<sup>[8]</sup>和<sup>130</sup>Cs( $N=75$ )<sup>[9]</sup>. 这些手征二重带的发现, 是对核结构理论的重要检验. 另一方面, 进一步在相邻同位素中进行研究, 将对手征二重带存在的条件与范围, 以及理论特征等提供重要的实验依据.

本文报道对于  $N=67$  的<sup>122</sup>Cs 与  $N=76$  的<sup>134</sup>Ce 高自旋态的进一步实验研究结果. 在以前发表的文献中, 已对此区内的<sup>122</sup>Cs 核<sup>[10-12]</sup>和<sup>134</sup>Ce 核<sup>[13-16]</sup>的高自旋态实验研究作了报道, 但与相邻核相比, 研究结果尚须继续深入. 本项研究的目的是在<sup>122</sup>Cs 中寻找手征二重带, 在<sup>134</sup>Ce 中研究形状共存特性.

### 2 实验及数据处理与结果

实验是在中国原子能科学研究院 H-13 串列加速器上进行的. 在这两个实验中, 分别用<sup>107</sup>Ag(<sup>19</sup>F, 1p3n)与<sup>122</sup>Sn(<sup>16</sup>O, 4n)重离子核反应布居<sup>122</sup>Cs与<sup>134</sup>Ce 的高自旋态. 所用同位素<sup>107</sup>Ag 与<sup>122</sup>Sn 靶的厚度都为 2.4 mg/cm<sup>2</sup>, 分别蒸发在厚度为 19 mg/cm<sup>2</sup>的铅靶衬上. <sup>19</sup>F 束流能量为 86 MeV, 而<sup>16</sup>O束流能量为 73 MeV. 由 10 个反康高纯 Ge 探测器组成的联合在束  $\gamma$  谱探测装置测量高自旋态退激

收稿日期: 2003-08-16

\* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000077405); 国家自然科学基金资助项目(10375032); 教育部博士点基金资助项目(20030003090)

作者简介: 朱胜江(1946-), 男(汉族), 江苏滨海人, 教授, 从事核结构研究; E-mail: zhushj@mail. tsinghua. edu. cn



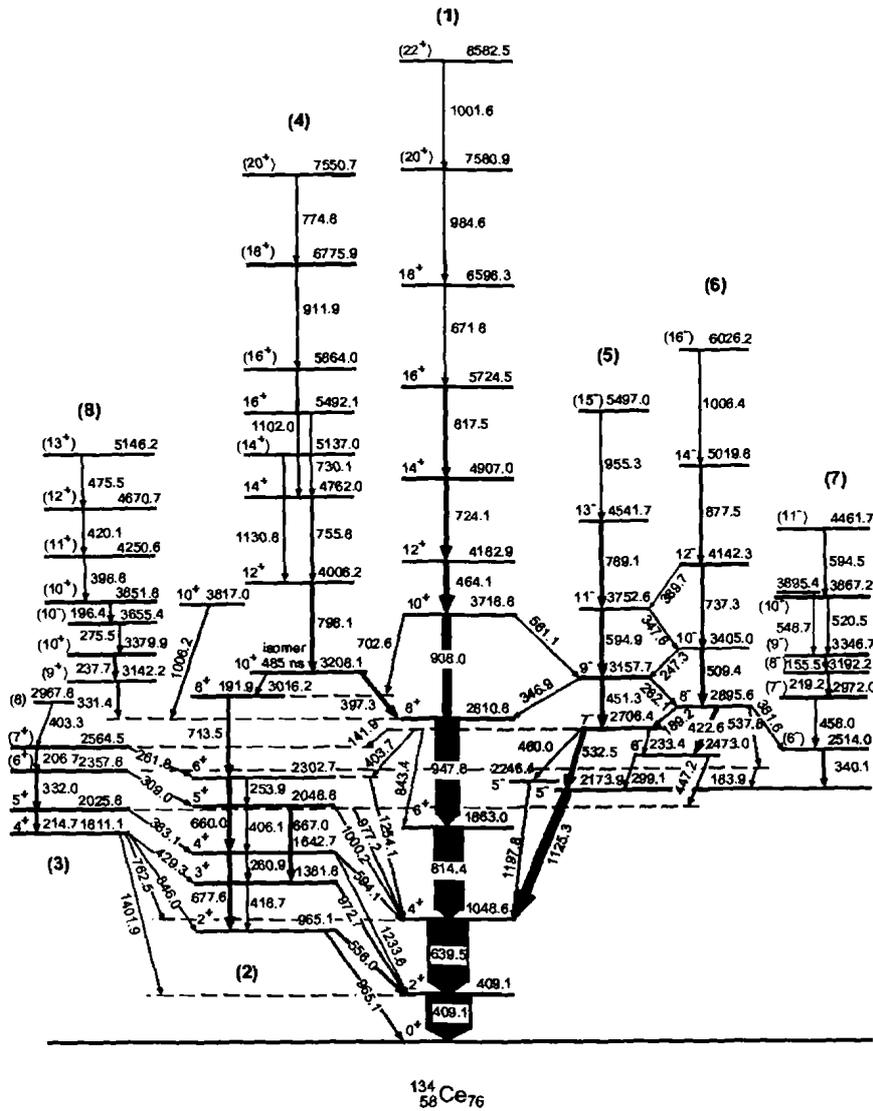


图 2 本实验建立的  $^{134}\text{Ce}$  核的部分能级纲图

成了非 yrast 态, 而另一个能量为 3 208. 1 keV 的  $10^+$  能级变成了 yrast 态; (2) 能级间距脱离原来的规律性, 发生了带交叉或集体回弯现象. 图 4 为带 (1), (5) 和 (6) 的顺排角动量  $i_x$  随转动频率  $\hbar\omega$  的变化关系. 从图中可以看到, 对于带 (1), 带交叉发生在转动频率  $\hbar\omega \approx 0. 34$  MeV. 然而,  $^{134}\text{Ce}$  的回弯曲线比正常核来得激烈, 文献[16]中的  $g$  因子的实验对 3 718. 18 keV ( $10^+$  态) 能级的组态进行的研究指出, 带 (1) 中的  $10^+$  态起源于一对  $h_{11/2}$  中子组态, 或者说, 带交叉是由一对  $h_{11/2}$  中子的顺排引起的. 这种解释也得到推转壳模型理论计算的支持<sup>[13]</sup>. 另一方面, 根据推转壳模型的计算, 由于一对  $h_{11/2}$  中子角动量顺排的形状驱动作用, 使建立在此  $10^+$  态上的转动带形成具有  $\gamma \approx -60^\circ$  的扁椭圆形变<sup>[13]</sup>.

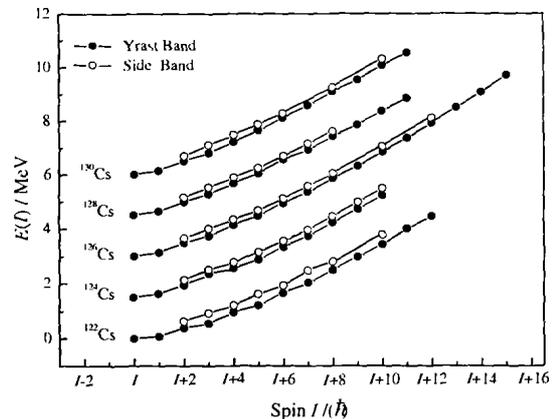


图 3 实验得到的双奇核  $^{122-126}\text{Cs}$  的基于  $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$  组态的晕带与边带的激发能随能量的系统性变化. 图中以  $^{122}\text{Cs}$  为基准, 其它核相应于前一个核的能量分别抬高 1. 5 MeV.

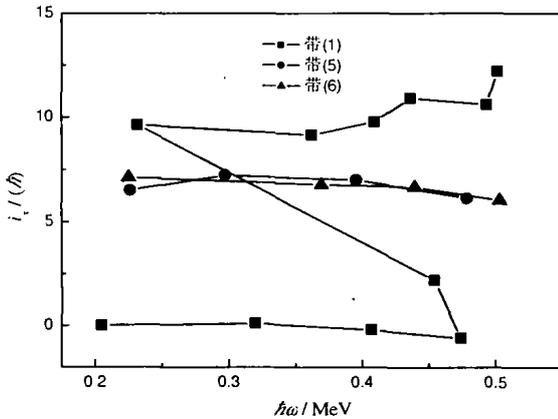


图 4 从实验提取的<sup>134</sup>Ce 中带(1)、(5)和(6)的顺排角动量  $i_x$  随转动频率  $\hbar\omega$  变化

而能量为 3 208.1 keV 的 yrast  $10^+$  态为一半衰期为 485 ns 的同质异能态<sup>[13]</sup>。在此  $10^+$  同质异能态以上, 在图中标注为(4)的一系列能级具有单粒子跃迁特性. 这种同质异能态称为 yrast 陷阱. 从  $g$  因子的实验测量结果<sup>[16]</sup>可以看出, 此  $10^+$  同质异能态也是起源于一对  $h_{11/2}$  准中子的组态. 而根据推转壳模型的计算<sup>[13]</sup>, 它为  $\gamma \approx -120^\circ$  的长椭圆形变, 而此种长椭圆形变与  $\gamma \approx 0^\circ$  的绕对称椭球的短轴转动的长椭圆形变不同, 为绕对称椭球的长轴转动的长椭圆形变<sup>[1]</sup>, 其能级结构是单粒子跃迁, 如在图 2 中  $10^+$  同质异能态以上标注为(4)的一系列能级那样; 而后者为典型的集体转动能谱.

对于负宇称带(5)和(6), 这两个  $\Delta I=2$  的转动带非常相似, 两带之间由  $\Delta I=1$  的跃迁相连, 这两个带为一对 signature partner 带, 其带头为  $7^-$  能级. 在文献<sup>[18]</sup>中报道了在相邻  $N=76$  的同中子核 <sup>132</sup>Ba 的高自旋态中发现类似的 signature partner 带结构, 它起源于质子的  $h_{11/2}$  与  $g_{7/2}$  组态. 基于统计学原理的比较, 我们认为 <sup>136</sup>Ce 核中这个强耦合带也应具有质子的  $h_{11/2}$  与  $g_{7/2}$  组态, 即  $(\pi h_{11/2} \otimes \pi g_{7/2})$ . 再考察图 4 中的带(5)和(6)的顺排角动量特性: 与相邻奇质子核 <sup>133</sup>La 相比较<sup>[19]</sup>, 带(5)和带(6)的顺排角动量  $i_x$  正好为 <sup>133</sup>La 核中的  $h_{11/2}$  与  $g_{7/2}$

转动带的顺排角动量之和. 基于多准粒子组态中的顺排角动量相加性原理, 对 <sup>134</sup>Ce 核中这个带组态的指定是合理的. 而推转壳模型的计算指出, 由于质子的形状驱动效应, 两个准质子带应具有正的  $\gamma$  形变 ( $\gamma \approx 0^\circ - 30^\circ$ )<sup>[1, 2]</sup>. 而在 <sup>132</sup>Ba 核中的两个准质子带被认为是  $\gamma \approx 30^\circ$  的形状. 考虑到在 <sup>134</sup>Ce 核中的两个准质子带的伙伴带之间的 signature 劈裂较 <sup>132</sup>Ba 核中的要小, 带内的能级规律性更强, 我们认为, 新观测到的 <sup>134</sup>Ce 核中的两个准质子带具有  $\gamma \approx 0^\circ$  的形状, 即为正常的长椭圆形变带.

通过以上的分析可以看到, 测得的 <sup>134</sup>Ce 的高自旋态显示出三种不同  $\gamma$  形变的形状共存结构: 在基带以上的带交叉处的  $10^+$  态起源于两个  $h_{11/2}$  准中子的组态, 为  $\gamma \approx -60^\circ$  的扁椭圆形变; yrast  $10^+$  同质异能态也起源于两个  $h_{11/2}$  准中子的组态, 为  $\gamma \approx -120^\circ$  的长椭圆形变; 而基于  $7^-$  态的强耦合带则起源于两个准质子  $h_{11/2}$  与  $g_{7/2}$  组态, 为  $\gamma \approx 0^\circ$  的长椭圆形变. 对于两个新的跃迁系列(7)与(8)的结构特性尚不清楚, 需做进一步的研究.

## 4 总结

用重离子核反应与在束  $\gamma$  谱的实验技术, 对 <sup>122</sup>Cs 与 <sup>134</sup>Ce 核的高自旋态进行了研究, 扩展了 <sup>122</sup>Cs 与 <sup>134</sup>Ce 的能级纲图. 分析表明, 在 <sup>122</sup>Cs 中发现了可能是基于  $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$  组态的手征二重带结构, 而在 <sup>134</sup>Ce 核的高自旋态结构中呈现出重要的具有不同  $\gamma$  形变的形状共存特性. 这种丰富多彩的形状共存结构对于理解原子核结构特性以及系统研究此区内单粒子轨道的形状驱动效应提供有意义的实验证据, 而对于在  $A=130$  区中子数较少的奇奇核中观测到手征二重带的现象, 对其更深入的理解仍需做进一步的理论与实验工作.

致谢 作者感谢中国原子能科学研究院提供实验束流、靶以及在实验期间提供的各种帮助, 感谢北京大学许甫荣教授非常有益的指导与讨论.

## 参 考 文 献:

[1] Paul E S, Beausang C W, Fosson D B, et al. Phys Rev Lett, 1987, 58: 984.  
 [2] Paul E S, Fosson D B, Liang Y, et al. Phys Rev, 1989, C40:

1 255.  
 [3] Frauendorf S, Meng J. Nucl Phys, 1997, A617: 13.  
 [4] Dimitrov V D, Frauendorf S, Dönu F. Phys Rev Lett, 2000,

- 84: 5 732.
- [5] Starosta K, Koik T, Chiara C J, *et al.* Nucl Phys, 2001, **A682**: 375c.
- [6] 李险峰, 陆景彬, 刘运柞等. 第九届全国核结构学术会议报告, 2002 年, 合肥.
- [7] Li X F, Ma Y J, Liu Y Z, *et al.* Chin Phys Lett, 2002, **19**: 1 779.
- [8] Koik T, Starosta K, Chiara C J Z, *et al.* Phys Rev, 2001, **C63**: 061304(R).
- [9] Starosta K, Koik T, Chiara C J Z, *et al.* Phys Rev Lett, 2001, **86**: 971.
- [10] Smith J F, Chiara C J, Fossan D B, *et al.* Phys Rev, 1998, **C58**: 3 237.
- [11] Lu J B, Liu Y Z, Ma Y J, *et al.* J Phys, 1999, **G25**: 573.
- [12] Moon C B, Komatsubara T, Furuno K. Nucl Phys, 2000, **A674**: 343.
- [13] Müller-Veggian M, Beuscher H, Haenni D R, *et al.* Nucl Phys, 1984, **A417**: 189.
- [14] Ward D, Diamond R M, Stephens F S. Nucl Phys, 1968, **A117**: 309.
- [15] Goldberg M B, Broude C, Dafni E, *et al.* Phys. Lett, 1980, **97B**: 351.
- [16] Zemel A, Broude C, Dafni E, *et al.* Nucl Phys, 1982, **A383**: 165.
- [17] Radford D C. Nucl Instr and Meth in Phys Res, 1995, **A361**: 297.
- [18] Juutinen S, Törmänen S, Ahonen P, *et al.* Phys Rev, 1995, **C52**: 2 946.
- [19] Hildingson L, Klamra W, Lindblad Th, *et al.* Z Phys, 1991, **A338**: 125.

## High Spin-states of $^{122}\text{Cs}$ and $^{134}\text{Ce}$ in $A=130$ Neutron-deficient Region\*

ZHU Sheng-jiang<sup>1</sup>, YU Ying-nan<sup>1</sup>, GAN Cui-yun<sup>1</sup>, ZHU Ling-yan<sup>1</sup>, M. Sakhaee<sup>1</sup>,  
XIAO Shu-long<sup>1</sup>, LI Ming-liang<sup>1</sup>, CHE Xing-lai<sup>1</sup>, WEN Shu-xian<sup>2</sup>, ZHU Li-hua<sup>2</sup>,  
WU Xiao-guang<sup>2</sup>, LI Guang-sheng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;  
<sup>2</sup> China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract:** Through heavy ion nuclear reaction and in-beam  $\gamma$ -ray spectroscopy technique, the high spin states of neutron-deficient  $^{122}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Ce}$  nuclei in  $A=130$  region have been studied. The  $^{107}\text{Ag}(^{19}\text{F}, 1\text{p}3\text{n})$  and  $^{122}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 4\text{n})$  reactions were used. The previous level schemes of  $^{122}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Ce}$  have been extended. Possible chiral doublet bands in  $^{122}\text{Cs}$  have been observed and a shape coexistence with different  $\gamma$  values in  $^{134}\text{Ce}$  are suggested.

**Key words:** nuclear structure; high spin state; chiral doublet band; shape coexistence

\* **Foundation item:** Major State Basic Research Development Program (G2000077405); National Natural Science Foundation of China (10375032); Special Program of Higher Education Science Foundation (20030003090)