

## 丰中子核 $^{108}\text{Ru}$ 的集体带结构\*

车兴来<sup>1;1)</sup> 朱胜江<sup>1</sup> J. H. Hamilton<sup>2</sup> A. V. Ramayya<sup>2</sup> J. K. Hwang<sup>2</sup>  
李明亮<sup>1</sup> 禹英男<sup>1</sup> I. Y. Lee<sup>3</sup> J. O. Rasmussen<sup>3</sup> Y. X. Luo<sup>2,3</sup>

1 (清华大学物理系 北京 100084)

2 (Department of Physics, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, USA)

3 (Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA)

**摘要** 通过对重核  $^{252}\text{Cf}$  自发裂变产生的瞬发  $\gamma$  谱的测量, 对丰中子核  $^{108}\text{Ru}$  的能级结构进行了研究. 基带、单声子  $\gamma$  振动带和一个二准粒子带分别得到了确认和扩展, 同时识别了一个新的边带, 初步认定为二声子  $\gamma$  振动带. TRS 模型计算表明  $^{108}\text{Ru}$  核具有三轴形变, 其形变参量为  $\beta_2 \sim 0.29$ ,  $\gamma = -22^\circ$ . 推转壳模型的计算结果表明  $^{108}\text{Ru}$  核基带回弯是由  $h_{11/2}$  轨道的一对中子发生角动量的顺排所致. 对二准粒子带的组态特性也进行了讨论.

**关键词** 核结构 集体带 自发裂变

丰中子核  $^{108}\text{Ru}$  位于  $A=100$  大形变区. 对该区高自旋态的研究可以提供有关核结构的丰富信息, 比如核形状的系统性变化, 单粒子运动与集体运动特性, 新的准粒子转动带等<sup>[1-5]</sup>. 然而, 用通常的重离子融合-蒸发反应很难得到丰中子核的高自旋态, 一种有效的实验方法是通过测量重核(如  $^{252}\text{Cf}$  或  $^{248}\text{Cm}$ ) 自发裂变产生的瞬发  $\gamma$  谱进行研究<sup>[6]</sup>. 近期报道的丰中子核  $^{108,110,112}\text{Ru}$  的一些集体带结构就是通过上述方法识别的<sup>[7-10]</sup>. 实验中, 利用大型 Ge  $\gamma$  探测器阵列(例如美国的 Gammasphere 或欧洲的 Eurogam) 可以获得三重和三重以上  $\gamma$  符合事件, 对此数据进行分析可以识别出属于所研究核(目标核)的  $\gamma$  射线, 从而进行进一步的深入研究. 这里报道对  $^{108}\text{Ru}$  核高自旋态研究的新结果.

实验是与国外实验组合作在美国洛仑兹伯克利国家实验室的 Gammasphere 探测装置上完成的, 所用的  $^{252}\text{Cf}$  源强约  $62 \mu\text{Ci}$ , 置于两块  $10\text{mg}/\text{cm}^2$  厚的铁箔之间. 整个源放置在一个由 102 个反康 Ge 探测器组成的 Gammasphere 探测器阵列的中心, 测量由  $^{252}\text{Cf}$  自发裂变产生的瞬发  $\gamma$  谱, 记录三重以上的符合事件. 经过离线处理, 建立了三维符合矩阵(Cube), 最后得到在投影谱中具有  $5.7 \times 10^{11}$  个折合成二维符合的有

效事件数, 此数据比我们在以前的实验中测量的数据<sup>[1,11]</sup> 的统计性高约 15 倍. 详细的实验技术介绍可以参照其他文献<sup>[1,11,12]</sup>.

符合数据利用本实验组 PC 机上安装的 Radware 程序包进行分析<sup>[13]</sup>. 通过对符合关系和跃迁强度的仔细验证, 我们得到了  $^{108}\text{Ru}$  新的能级纲图, 如图 1 所示. 各个集体带结构用加括号的数字标在纲图上方. 对晕带(1), 将自旋态推进到  $16\eta$ . 带(2)为单声子  $\gamma$  振动带<sup>[8]</sup>, 在工作中将带(2)的自旋态扩展到  $13\eta$ . 带(3)为建立在  $2134.2\text{keV}$  能级上的转动带, 此带在文献[9]中仅识别了 3 个能级和 2 条跃迁, 工作中扩展了众多的能级与跃迁, 将自旋态扩展到  $15\eta$ , 使其成为一完整的转动带. 此外, 还识别了一个基于  $1644.8\text{keV}$  的边带(4)以及一些带间的馈入跃迁.

为了深入理解  $^{108}\text{Ru}$  带结构的性质, 我们进行了推转壳模型<sup>[14-16]</sup> 的计算. 计算包括 TRS(总罗斯面)与准粒子能级. 图 2 为对  $^{108}\text{Ru}$  核进行 TRS 计算的结果. 从图中可以看到,  $\eta\omega = 0.0\text{MeV}$  时, 其极小值点在  $\beta_2 = 0.29$ ,  $\gamma = -22.0^\circ$  处; 当  $\eta\omega = 0.4\text{MeV}$  时, 极小值点在  $\beta_2 = 0.27$ ,  $\gamma = -27.3^\circ$  处. 形变参量  $\beta_2$ ,  $\gamma$  随转动频率  $\omega$  的增大变化很小. TRS 的计算表明  $^{108}\text{Ru}$  具有三轴形变. 从实验提取的顺排量表明,

\* 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077400), 国家自然科学基金(199775028)和美国能源部(DE-FG05-88ER40407)资助  
1) E-mail: chexl02@mails.tsinghua.edu.cn

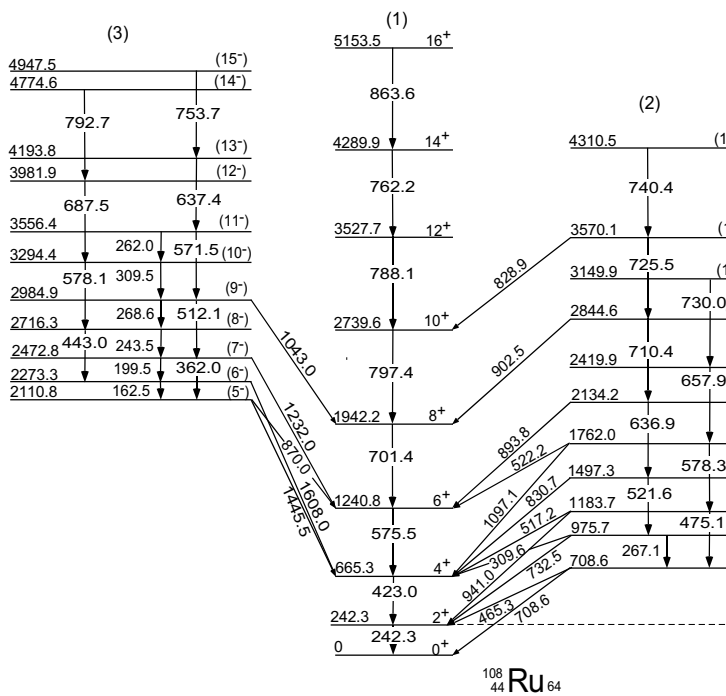


图 1 本实验建立的  $^{108}\text{Ru}$  能级纲图

$^{108}\text{Ru}$  核的晕带在  $\eta\omega = 0.4 \text{ MeV}$  时, 发生了回弯. 推转壳模型算得的  $^{108}\text{Ru}$  核的中子和质子准粒子能级如图3所示, 它表明, 一对  $h_{11/2}$  中子顺排引起的带交叉刚好出现在  $\eta\omega = 0.4 \text{ MeV}$  附近, 这一结果和实验符合得很好, 而从质子的计算结果中直到  $\eta\omega = 0.6 \text{ MeV}$  还看不到有带交叉产生. 因此,  $^{108}\text{Ru}$  核晕带的集体回弯是由一对  $h_{11/2}$  中子顺排引起的.

与  $\nu g_{7/2} \otimes \nu h_{11/2}$  组态. 准粒子顺排角动量的分析支持对这一结构的指定.  $^{108}\text{Ru}$  核带(3)的顺排角动量值近似为其邻近核  $^{111}\text{Ru}$  核<sup>[17]</sup>  $h_{11/2}$  带和  $^{107}\text{Ru}$  核<sup>[1,18]</sup>  $g_{7/2}$  带顺排量之和. 根据尼尔逊能级图, 建议带(3)的带头组态为  $\{\nu[402]5/2^+ \otimes \nu[532]5/2^-\}5^-$ .

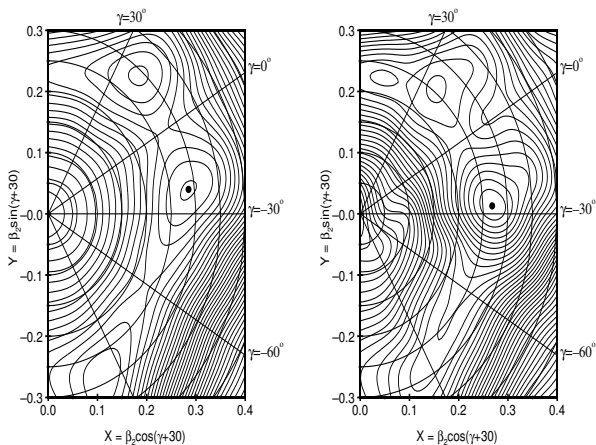


图 2  $^{108}\text{Ru}$  核TRS(总罗斯面)图

(a)  $\hbar\omega = 0.0 \text{ MeV}$ ; (b)  $\hbar\omega = 0.4 \text{ MeV}$ .

带(3)的带头在文献[9]中自旋和宇称被指定为  $5^-$ . 由于带(3)与邻近核  $^{104,106}\text{Mo}$  <sup>[3,4]</sup> 和  $^{110}\text{Ru}$  <sup>[10]</sup> 中发现的二准粒子带在结构上非常相似, 根据系统学原理, 我们认为该带也是一个二准粒子带, 此带起源

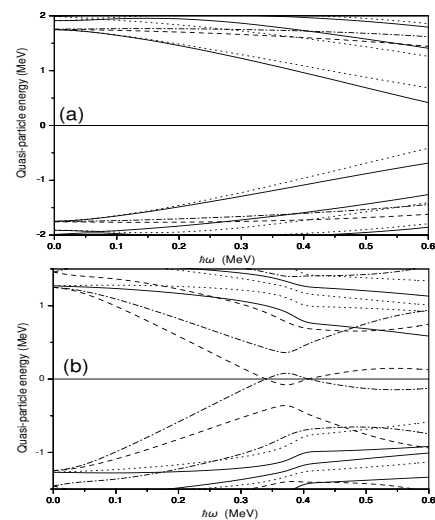


图 3  $^{108}\text{Ru}$  准粒子能级图(a)准质子(b)准中子

实线:  $(\pi, \alpha) = (+, +1/2)$ ; 点线:  $(\pi, \alpha) = (+, -1/2)$ ; 点划线:  $(\pi, \alpha) = (-, +1/2)$ ; 虚线:  $(\pi, \alpha) = (-, -1/2)$ .

根据跃迁的选择定则, 我们推测带(4)带头的自旋, 宇称为  $4^+$ . 由于邻近核  $^{104,106}\text{Mo}$  <sup>[3,4]</sup> 中的二声子  $\gamma$  振动带的带结构和带(4)的带结构很相似, 从系统学比较出发, 认为带(4)也是一个二声子  $\gamma$  振动带.

## 参考文献(References)

- 1 ZHU S J et al. Chin. Phys. Lett., 1998, **15**: 793
- 2 Durell J L et al. Phys. Rev., 1995, **C52**: R2306
- 3 YANG L M et al. Chin. Phys. Lett., 2001, **18**: 24
- 4 XU R Q et al. Chin. Phys. Lett., 2002, **19**: 180
- 5 ZHANG Z et al. Phys. Rev., 2003, **C67**: 064307
- 6 Hamilton J H et al. Prog. Part. Nucl. Phys., 1995, **35**: 635
- 7 ZHU S et al. Rev.Mex. Fis., 1992, **38**: 53
- 8 LU Q H et al. Phys. Rev., 1995, **C52**: 1348
- 9 Deloncle I et al. Eur. Phys. J., 2000, **A8**: 177—185
- 10 JIANG Z et al. Chin. Phys. Lett., 2003, **20**: 350
- 11 ZHU S J et al. Phys. Rev., 1999, **C59**: 1316
- 12 ZHU S J et al. Phys. Lett., 1995, **B357**: 273
- 13 Radford D C et al. Nucl. Instrum. Methods., 1995, **A361**: 297
- 14 Bengtsson R et al. Nucl. Phys., 1972, **A237**: 139
- 15 Frauendorf S et al. Phys. Lett., 1981, **B100**: 219
- 16 Frauendorf S et al. Phys. Lett., 1983, **B125**: 219
- 17 Hwang J K et al. J. Phys., 1998, **G24**: L9
- 18 ZHU S J et al. Phys. Rev., 2001, **C65**: 014307

Identification of Collective Bands in Neutron-Rich  $^{108}\text{Ru}$  Nucleus\*

CHE Xing-Lai<sup>1,1)</sup> ZHU Sheng-Jiang<sup>1</sup> J. H. Hamilton<sup>2</sup> A. V. Ramayya<sup>2</sup> J. K. Hwang<sup>2</sup>  
 LI Ming-Liang<sup>1</sup> YU Yong-Nan<sup>1</sup> I. Y. Lee<sup>3</sup> J. O. Rasmussen<sup>3</sup> Y. X. Luo<sup>2,3</sup>

1 (Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

2 (Department of Physics, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, USA)

3 (Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA)

**Abstract** Through measuring high-fold prompt  $\gamma$ -ray coincidence events following the spontaneous fission of  $^{252}\text{Cf}$  with the Gammasphere detector array, new level scheme in the very neutron-rich  $^{108}\text{Ru}$  nucleus has been established. The ground-state band, the one-phonon  $\gamma$ -vibrational band and a two-quasi-particle band have been confirmed and expanded. Besides, a two-phonon  $\gamma$ -vibrational band has been identified. From cranked shell model calculations,  $^{108}\text{Ru}$  nucleus may have triaxial deformation with parameters  $\beta_2 = 0.29$ ,  $\gamma = -22^\circ$  and the band crossing in the yrast band is due to the alignment of two  $h_{11/2}$  neutrons. The possible configurations for the two-quasiparticle collective band were also discussed.

**Key words** nuclear structure, collective band, spontaneous fission

\* Supported by Major State Basic Research Development Program(G2000077400), NSFC(19975028) and U.S. Department of Energy(DE-FG05-88ER40407)

1) E-mail: chexl02@mails.tsinghua.edu.cn