

# 丰中子核 $^{105}\text{Mo}$ 单中子带结构的识别\*

丁怀博<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> Y. X. Luo<sup>2,3</sup>  
J. O. Rasmussen<sup>3</sup> I. Y. Lee<sup>3</sup> 车兴来<sup>1</sup> 陈永静<sup>1</sup> 李明亮<sup>1</sup>

1(清华大学物理系 北京 100084)

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

3(Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 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  $^{105}\text{Mo}$  的能级结构进行了研究. 除确认与扩展了基带转动带外, 新识别了 3 个转动带, 它们分别被指定为建立在 Nilsson 能级  $3/2^+[411]$ ,  $1/2^+[411]$  和  $5/2^+[413]$  轨道上的单中子激发带, 并对这些集体带的特性进行了讨论.

**关键词** 丰中子核 重核裂变 单中子激发带

丰中子奇 A 核  $^{105}\text{Mo}$  位于  $A \sim 100$  的大形变区, 对该区高自旋态的研究可以提供丰富的核结构信息, 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, 由于束靶组合的困难, 很难用通常的重离子熔合-蒸发反应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<sup>[6]</sup>. 以前的很多丰中子核高自旋态的集体带结构都是由上述方法研究而发现的. 本文报道利用裂变瞬发  $\gamma$  谱对  $^{105}\text{Mo}$  高自旋态研究的部分新的结果.

实验是与国外合作组在美国洛仑兹伯克利国家实验室(LBNL)的大型 Ge  $\gamma$  探测器阵列 Gammasphere 上进行的, 用 102 个反康 Ge 探测器组成的阵列测量由  $^{252}\text{Cf}$  的自发裂变产生的瞬发  $\gamma$  谱. 所用的  $^{252}\text{Cf}$  源强约为  $62\mu\text{Ci}$ , 置于两块  $10\text{mg}/\text{cm}^2$  厚的铁箔之间. 源放置在探测器阵列的中心, 记录三重以上的  $\gamma$  符合事件, 经过离线处理建立了三维符合矩阵, 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数据. 详细的实验技术可以参考其他文献[1, 7, 8].

通过对符合数据中  $\gamma$  跃迁的符合关系和跃迁强度的仔细分析, 我们得到了  $^{105}\text{Mo}$  新的能级纲图, 部分结果如图 1 所示. 各个集体带用加括号的数字标在纲图上方. 与以前发表的结果相比, 在早期文献[9, 10, 11]中的一些能级和跃迁在本工作中得到了证实, 在晕

带中新加了 3 条  $\Delta I=1$  的跃迁. 新建立了 3 个集体带 (2), (3), (4), 其带头能级的能量分别为 246.3, 332.0 和 310.0keV. 这里校正了文献[11]中对 464.4keV 能级的指定, 认为它属于一个新的带 (4) 的成员, 而不是原来指定的带 (2) 的成员. 与近期发表的文献[12]的结果相比, 对文献[12]中所识别的一个边带中的能级进行了重新安排和组合, 与我们新识别的能级一起组成带 (2) 与带 (3), 如图 1 所示. 另外还新发现了很多带间的级联跃迁.

$^{105}\text{Mo}$  比  $^{104}\text{Mo}$  多一个中子, 根据形变壳模型和带头能级的能量值, 新发现的 3 个集体带应该起源于单中子轨道, 属于单准中子激发带. 用推转壳模型计算了  $^{105}\text{Mo}$  的单中子 Nilsson 能级, 如图 2 所示. 对于  $^{105}\text{Mo}$ , 中子数  $N=63$ , 形变参数  $\beta_2$  在 0.3 和 0.4 之间(由 TRS 计算,  $\hbar\omega=0.0\text{MeV}$  时,  $\beta_2=0.309$ ). 此时, 在费米面附近的单中子能级有  $3/2^+[411]$ ,  $5/2^+[413]$ ,  $5/2^- [532]$ ,  $1/2^+[411]$ ,  $7/2^- [523]$  和  $5/2^+[402]$ , 这将有助于下一步分析 3 个单中子集体带的起源.

在以前的文献[11,13]中, 通过  $\beta$  衰变指定带(2)和带(4)的带头能级 246.3keV 和 310.0keV 的自旋宇称分别为  $3/2^+$  和  $5/2^+$ , 相应的中子 Nilsson 轨道是  $3/2^+[411]$  和  $5/2^+[413]$ . 这里采用以上所指定的结果. 另外, 在相邻核  $^{103}\text{Mo}$ <sup>[14, 15]</sup>,  $^{107}\text{Mo}$ <sup>[16]</sup> 中都发现了  $3/2^+[411]$  带, 在  $^{107}\text{Mo}$  中发现了  $5/2^+[413]$  带. 根据带

\* 国家自然科学基金(10375032, 10575057)和教育部博士点基金(20030003090)资助

1) E-mail: dhb04@mails.tsinghua.edu.cn

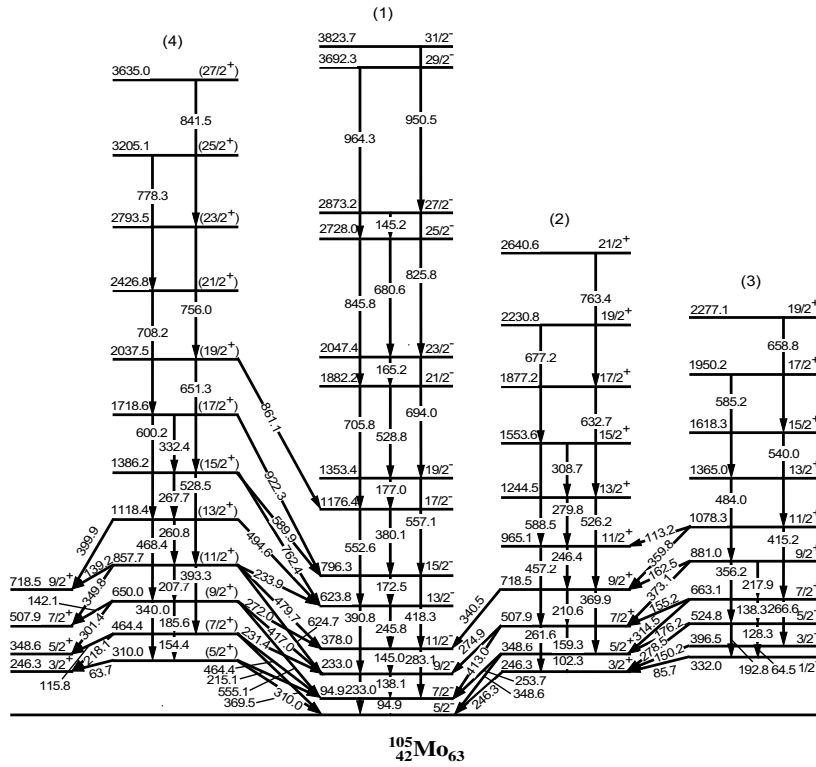


图 1 新建立的  $^{105}\text{Mo}$  的部分能级纲图

头能级能量值的大小以及带内的能级间距，对照  $^{105}\text{Mo}$  的中子 Nilsson 能级图，我们初步指定带(3)的带头能级 332.0keV 的自旋宇称为  $1/2^+$ ，建立在  $1/2^+[411]$  中子 Nilsson 轨道上。带(2)—(4)中其他能级  $I^\pi$  值的指定如图 1 所示。

图 3 所示。单粒子顺排量  $i$  可以从图中奇 A 核各带与相邻偶偶核晕带 ( $K=0$ ) 总顺排角动量  $I_x$  的比较而得到。对于  $3/2^+[411]$  带，在  $^{105}\text{Mo}$  中， $i \sim 0.2\hbar$ ，在  $^{107}\text{Mo}$  中， $i \sim 0.8\hbar$ 。对于  $5/2^+[413]$  带，在  $^{105}\text{Mo}$  和  $^{107}\text{Mo}$  中， $i$  的平均值均为  $\sim 0.6\hbar$ 。可以看出对于  $^{105}\text{Mo}$  和  $^{107}\text{Mo}$  中的偶宇称带，单粒子顺排量是很接近的。这为我们对

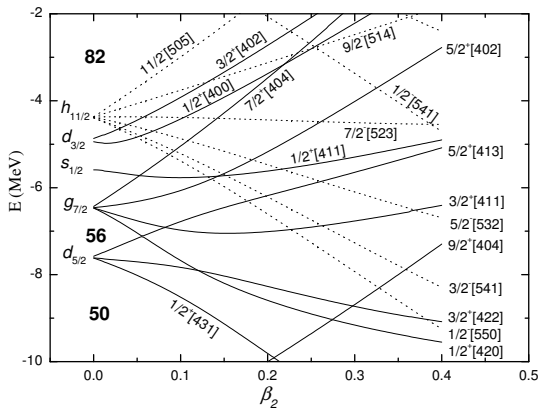


图 2 用推转壳模型计算得到的  $^{105}\text{Mo}$  的单中子 Nilsson 能级图

为了进行更深入的系统学比较，对于  $^{105}\text{Mo}$  和  $^{107}\text{Mo}$  中具有相同组态的转动带，我们计算了其总顺排角动量  $I_x$  随转动频率  $\omega$  的变化，计算公式为  $I_x = \sqrt{(I_a + 1/2)^2 - K^2}$ ，其中  $I_a = (I_i + I_f)/2$ ， $\hbar\omega = (E_i - E_f)/2$ 。对于  $3/2^+[411]$ ， $1/2^+[411]$  和  $5/2^+[413]$  带，其带头量子数分别为  $K=3/2$ ， $1/2$  和  $5/2$ 。计算结果如

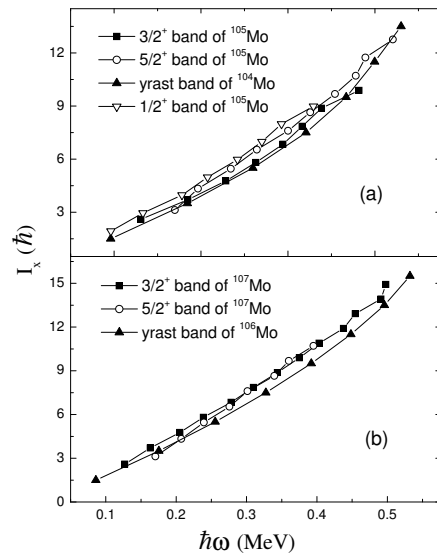


图 3  $^{105}\text{Mo}$  中带  $1/2^+[411]$ ， $3/2^+[411]$ ， $5/2^+[413]$  和  $^{107}\text{Mo}^{[16]}$  中带  $3/2^+[411]$ ， $5/2^+[413]$  以及相邻偶-偶核  $^{104}\text{Mo}^{[3]}$ ， $^{107}\text{Mo}^{[4]}$  的总顺排角动量比较图

带(2), 带(3)和带(4)中自旋和宇称的指定提供了进一步的支持.

图4是 $^{103}\text{Mo}$ ,  $^{105}\text{Mo}$ 和 $^{107}\text{Mo}$ 中正宇称带的转动惯量 $J^{(1)}$ 随转动频率 $\hbar\omega$ 的变化图. 由图中可以看出,

对这几个带, 它们的转动惯量随频率的增加而增加的趋势是非常相似的. 变化范围处于20到 $32\hbar^2/\text{MeV}$ 之间, 而与奇宇称带(1)的转动惯量 $^{[12]}$ 明显不同, 进而说明这几个带被指定为正宇称带是合理的.

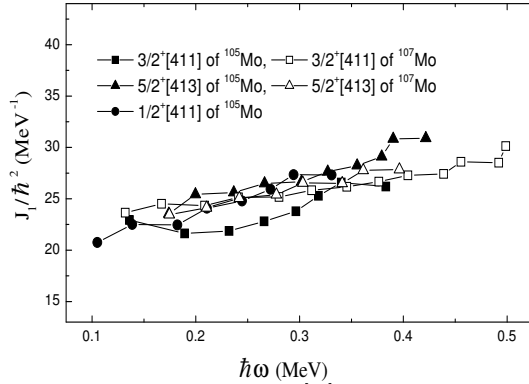


图4  $^{105}\text{Mo}$ 中带 $1/2^+[411]$ ,  $3/2^+[411]$ ,  $5/2^+[413]$ 与 $^{107}\text{Mo}^{[16]}$ 中带 $3/2^+[411]$ ,  $5/2^+[413]$ 的转动惯量随频率变化图

## 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 J et al. Phys. Rev., 1999, **C59**: 1316
- 8 ZHU S J et al. Phys. Lett., 1995, **B357**: 273
- 9 Shizuma K et al. Z. Phys., 1984, **A315**: 65
- 10 Hotchkis M A C et al. Nucl. Phys., 1991, **A530**: 111
- 11 LIANG M et al. Z. Phys., 1995, **A351**: 13
- 12 HUA H et al. Phys. Rev., 2004, **C69**: 014317
- 13 Lhersonneau G et al. Phys. Rev., 1996, **C54**: 1592
- 14 Hwang J K et al. J. Phys., 1998, **G24**: L9
- 15 HUA H et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 064325
- 16 Urban W et al. Phys. Rev., 2005, **C72**: 027302

## Identification of the Collective Bands Based on the Single Neutron Orbitals in Neutron-Rich $^{105}\text{Mo}$ Nucleus<sup>\*</sup>

DING Huai-Bo<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> Y.X.Luo<sup>2;3</sup>  
J.O.Rasmussen<sup>3</sup> I.Y.Lee<sup>3</sup> CHE Xing-Lai<sup>1</sup> CHEN Yong-Jing<sup>1</sup> LI Ming-Liang<sup>1</sup>

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

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

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

**Abstract** High-spin band structures in neutron-rich  $^{105}\text{Mo}$  nucleus have been investigated by measuring prompt  $\gamma$ -rays emitted by the spontaneous fission fragments of  $^{252}\text{Cf}$  with the Gammasphere detector array. The yrast band has been confirmed and updated. The other three new collective bands are observed and they are proposed as the single-neutron excitation bands built on the  $3/2^+[411]$ ,  $1/2^+[411]$  and  $5/2^+[413]$  Nilsson orbitals, respectively. The characters of these bands are discussed.

**Key words** neutron-rich nucleus, spontaneous fission, single-neutron excitation band

<sup>\*</sup> Supported by National Natural Science Foundation of China (10375032, 10575057) and Special Program of Higher Education Science Foundation (20030003090)

1) E-mail: dhb04@mails.tsinghua.edu.cn