

# 关于 $^{152}\text{Dy}$ 基态带性质的确定

张敬业 钟纪泉 李宝安

(中国科学院近代物理研究所)

## 摘 要

通过在规范空间中  $N \sim \lambda_n$  和  $E_\gamma(I+2)/E_\gamma(I) \sim I$  关系图, 进一步分析了  $^{152}_{66}\text{Dy}_{86}$  核的最新能谱数据, 指出  $8^+$  以上的基带是属于形变集体带, 但变形值尚小, 且并非转动带, 而更像振动带. 并对观察到的在  $^{167-169}\text{Yb}$  及  $^{84}\text{Zr}$  核中已出现的可能是对崩溃迹象作了探讨.

最近 J. Styczen 等人<sup>[1]</sup> 利用  $^{152}\text{Gd}(\alpha, 4n)^{152}\text{Dy}$  反应, 把  $^{152}\text{Dy}$  的基带确定至  $18^+$ , 从而清楚地看到了  $8^+$  以上基带和转晕 (yrast) 带能级结构的差别, 前者具有更高的规则性. 他们进而根据 R. Bengtsson, 张敬业和 S. Åberg<sup>[2]</sup> 提出的规范空间中  $N \sim \lambda_n$  图作了分析, 指出  $8^+$  以上的基带是形变的集体带. 文献[3]曾指出, 处于  $N \sim \lambda_n$  回弯区的过渡核, 如  $^{150}_{62}\text{Sm}_{88}$ ,  $^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$ ,  $^{152}_{64}\text{Gd}_{88}$ ,  $^{154}_{64}\text{Gd}_{90}$  等, 其形状共存现象, 可以根据基态以上的第一个  $0^+$  激发态  $0_1^+$ , 是否出现在对应的  $N \sim \lambda_n$  曲线的上、下分支延长线上来加以判断. 文献[1]正是根据这一思想, 发现  $^{152}\text{Dy}$  的  $10^+ - 18^+$  的基带的能级位置正好出现在  $N \sim \lambda_n$  曲线上分支的延长线上 (见图 1), 因此得出了这些状态是属于形变带的结论 ( $8^+$  处于过渡之中是可以理解的, 因为这儿有较强的基带与 Yrast 带的耦合.) 我们认为这一结论定性上是正确的, 但到底是转动带还是振动带, 尚需作进一步分析.

现在让我们仔细分析一下 Dy 的  $N \sim \lambda_n$  图, 如图 1 所示, 上分支的斜率在  $N = 91$  处是有明显变化的 (见图 1 上的长虚线). 这表明  $N \lesssim 91$  和  $N \gtrsim 91$  的核素, 在形变上是有区别的. 因为正如文献[3]所指出的,  $N \sim \lambda_n$  曲线的斜率是联系于壳修正能量, 因而也是联系于核的形状的. 众所周知,  $N \gtrsim 91$  的稀土核是大形变核, 它们能产生典型的转动带, 而  $N \lesssim 91$  (例如  $N = 88.90$ ) 的同中素, 形变则要小些, 转动带也不如前者典型, 而对于  $I(I+1)$  律偏离更大些. 现在,  $^{152}\text{Dy}_{86}$  的  $10^+$  以上的基带是出现在上分支的、具有  $N \lesssim 91$  段的斜率的延长线上, 因此应该认为, 它们的形变仍是较小的, 且其能带不是典型的转动带.

图 2 是  $R(I)$  与  $I$  的关系图,  $R(I)$  是相邻自旋的跃迁能量之比, 即

$$R(I) = E_\gamma(I+2)/E_\gamma(I) = E_\gamma(I+2 \rightarrow I)/E_\gamma(I \rightarrow I+2),$$

显然, 对于刚性转子这一比值是  $R_{\text{rig}}(I) = E_\gamma(I+2)/E_\gamma(I) = (2I+3)/(2I-1)$ , 对于理想振子则  $R_{\text{vib}}(I) = 1$ . 由  $R(I)$  的定义可知, 若一条带的转动惯量随  $I$  增大, 则其  $R(I) < R_{\text{rig}}(I)$ ; 反之,  $R(I) > R_{\text{rig}}(I)$ . 当转动惯趋于常数时, 则  $R(I) \approx R_{\text{rig}}(I)$ ;

当  $I$  非常大时,  $R_{rig}(I) \approx R_{vib}(I) = 1$ . 于是我们就有可能通过这样的  $R(I) \sim I$  关系图, 观察一条带的转动惯量的变化特征, 从而获得有助于确定带的属性的讯息. 由图 2 我们看到  $^{160}\text{Dy}_{84}$  是非常接近于刚性转子的, 但曲线下降比刚性转子快, 这是预料中的. 因为随着对关联的减小(也许还有小量的拉伸效应), 转动惯量是逐渐增加的.  $^{150}\text{Dy}_{84}$  的能级则既偏离于刚性转动带, 也偏离于理想振动带, 呈现出典型的单粒子组态的特征. 而  $^{152}\text{Dy}$ , 如已经知道的<sup>[3]</sup>, 基带的  $0^+ - 6^+$  能级是振动能级, 高于  $8^+$  的基带能级, 如前面所分析, 应具有比低自旋态略大的形变, 但由图 2 可以看出, 主要的仍是振动性质, 至于  $8^+$  以上的转晕态, 则呈现出单粒子组态的相貌!

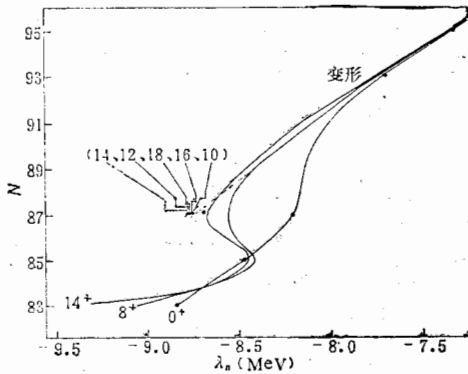


图 1

Dy 的  $N \sim \lambda_n$  图 ○ yrast 态 ● 基带的  $10^+ - 18^+$  态

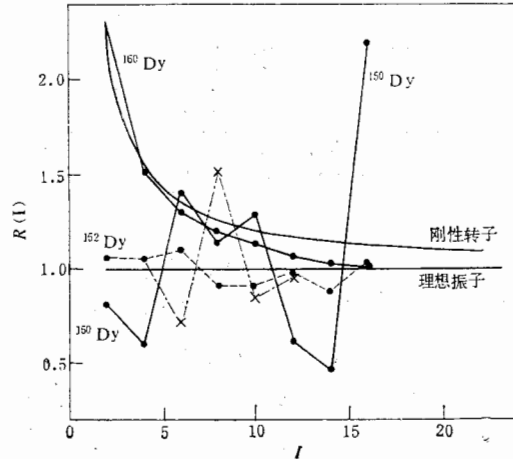


图 2

Dy 的  $R(I) = E_r(I+2 \rightarrow I)/E_r(I \rightarrow I-2) \sim I$  的关系图 ●---● ground ×---× yrast

图 3 是壳修正能量图<sup>[3]</sup>, 我们可以容易地看到,  $8^+$  以上的基带能级的壳修正能高于相应的转晕带的能级, 这自然将使壳修正能的极大值的位置向左, 即向中子数小的方向移动. 这意味着核相图(图 4)上的临界线亦向左移, 从而导致形变区的扩大. 这就是说, 如果  $8^+$  以上转晕态的主要成分是单粒子组态的话, 那基态能级对应的则有较高的集体(振动)性质. 应该注意的是, 核内核子数的有限性所导致的量子涨落, 在核相图(图 4)上临界线应该可覆盖一个区域(图中由短的线丛表示), 我们示意地在这样的范围内标出转晕态所对应的临界线(实线)和基带所对应的临界线(虚线), 尽管两者均在短线丛所覆盖的范围内, 但由壳修正能量的分析(图 3), 应该预计到虚线是在实线的左侧.

$^{152}\text{Dy}$  的中子数为 86, 正好处于临界线区域内, 因为只有四个中子超过 82, 应该预计到核是比较软的(位能面的计算<sup>[4]</sup> 确实给出了  $\epsilon_2 \approx 0.2$ ,  $\gamma = 60, -120$  两个平坦的极小), 组态的改变必然强烈地影响到核的形状和能带的属性. 因此从实验上设法进一步把基带的能级测到更高的自旋态, 特别是带间和带内能级间电磁跃迁几率的测量将无疑会揭示出许多有意义的核结构的讯息.

一般说来, 当核内的对关联降低到小于平均能级间隔, 那时我们将不会观察到对关联的效应了, 这时将主要由单粒子所占据的轨道决定, 因而能谱将十分敏感地依赖于核的形状与核位的细节. 这两年来, 对于对关联基本消失后的能谱的理论及实验研究, 已成为高

自旋界的前沿中心课题之一。最近,在英国 Daresbury 实验室,利用晶体球和反康技术,在  $\gamma$  谱学方面获得许多有意义的新结果<sup>[5]</sup>例如 H. G. Price 等<sup>[6]</sup>利用  $^{84}\text{Ni}(^{28}\text{Si}, 2p)^{84}\text{Zr}$ 、 $^{58}\text{Ni}(^{29}\text{Si}, 2pn)^{84}\text{Zr}$  反应,获得了高至  $34^+(\hbar\omega \approx 13 \text{ MeV})$  的转晕谱,发现在  $J^{(1)} \sim \hbar\omega$  图上,经过两个上弯之后( $\hbar\omega \geq 0.7 \text{ MeV}$ ,  $I \geq 18^+$ ),转动惯量适于刚体值,该文作者认为,这是对崩溃的迹象,而 J. C. Bacelar 等<sup>[7]</sup>发现,对于奇  $A$  核  $^{161-169}\text{Yb}$  在  $\hbar\omega > 0.36 \text{ MeV}(I \geq 49/2)$ , 对关联已基本消失,转动惯量趋于刚体值,且所测量到的正负宇称带的排列角动量亦和无对关联下的推转模型计算值一致。

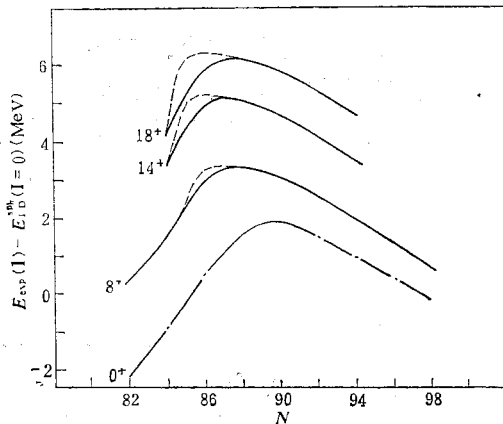


图 3 Dy 的壳修改图  
 ---- ground ——— yrast

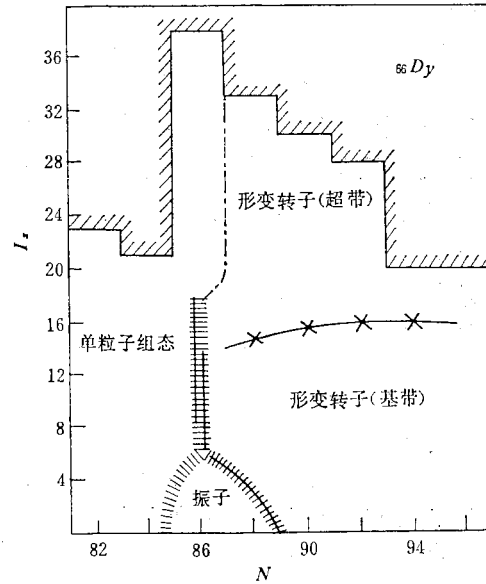


图 4 Dy 的核相图  
 // 线以上尚无实验值

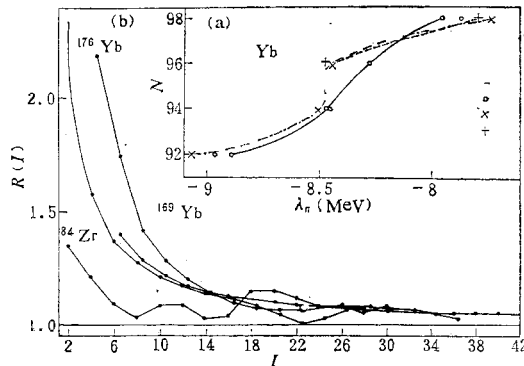


图 5 (a) Yb 的  $N \sim \lambda_n$  图; (b) Yb 及  $^{84}\text{Zr}$   $R(I) \sim I$  图  
 ——— g.s     $\times$   $49/2^+$      $\circ$   $21/2^+$      $+$   $61/2^+$

如文[3]所指出的,  $N \sim \lambda_n$  曲线的形状是紧密地联系于有效能级密度与核的形状的, 因此可以预计, 无对关联核的能谱的  $N \sim \lambda_n$  图应该和存在对关联的有较大的区别, 前者应是有较大的不规则性。

图 5 a 给出了  $^{167-169}\text{Yb}$  的基态及建立在  $5/2^+[642]$  和  $7/2^+[633]$  上的正宇称能级的  $N \sim \lambda_n$  关系曲线。可见, 对于存在对关联的低自旋能级, 如  $N(\lambda_n, 21/2^+)$ , 曲线形状和基

态的  $N(\lambda_n, 13/2^+)$  十分相似,但对关联可能消失的  $N(\lambda_n, 49/2^+)$ 、 $N(\lambda_n, 61/2^+)$  (后者的数据还不够),曲线则远偏离于  $N(\lambda_n, 13/2^+)$ ,且相互交叉.在  $N \approx 95$  附近,出现了明显的上弯.如文[3]所已指出的,这样一个上弯对应于形状的变化,亦即  $N \approx 91.93$  和  $N = 97.99$  的  $I = 49/2^+$  的状态,具有明显不同的形状.但是我们已经知道,对于稀土核的低自旋态,一般地  $N \gtrsim 91$  的,具有大形变,并未发现随着  $N$  的继续增大有明显地变化.因此,上述的上弯可能正是一个迹象,表明当对关联基本消失后,核的形状更加敏感地依赖于所填充的单粒子轨道.

图5b是  $^{167,169}\text{Yb}$  及  $^{84}\text{Zr}$  的  $R(I) \sim I$  关系图.由图可见,当  $I \geq 49/2^+$  和  $I > 18^+$  的一个相当大的范围内,  $^{167,169}\text{Yb}$  及  $^{84}\text{Zr}$  的转动带确实相当接近于刚性转子的转动带了,可以认为这是对关联基本消失的一个迹象.

综上所述可见,为了确定一个带的属性,必须综合分析各方面的讯息.  $N \sim \lambda_n$  (或  $Z \sim \lambda_p$ ) 图,核相图以及  $R(I) \sim I$  图是可能提供一些有价值的线索的.而处于核相图上临界线范围内的核,对其各条带的性质进行系统的理论和实验研究,无疑会揭示出许多新的有价值的核结构的讯息.

### 参 考 文 献

- [1] J. Styzen, Y. Nagai, M. Piiparinen, A. Ercan and P. Kleinheing, *Phys. Rev. Lett.*, **50**(1983), 1752.
- [2] R. Bengtsson, Jing-ye Zhang (张敬业), S. Åberg, *Phys. Lett.*, **B105**(1981), 5.
- [3] Jing-ye Zhang (张敬业), Invited talk presented at the Workshop on the Collective States in Nuclei. Suzhou (苏州), 8—18 sept, 1983. to be published in *Nucl. Phys. A. S. Åberg, R. Bengtsson, I. Ragnarsson, Jing-ye Zhang, Proc. Workshop on Nucl. Phys. I. C. T. P. Trieste, Italy 5—30 Oct. 1983, (Edited by C. H. Dasso, R. A. Broglia, and A. Winther) P. 273.*
- [4] S. Åberg, *Phys. Scripta*, **V. 25**(1982), 23.
- [5] J. Garrett, Invited talk presented at the Workshop on the Collective States in Nuclei. Suzhou(苏州) 8—18 sept 1983. to be published in *Nucl. Phys. A.*
- [6] H. G. Price, C. J. Lister, B. J. Varley, W. Gletly and J. W. Olness, Preprint (1983. 8).
- [7] J. C. Bacelar, C. Ellegaard, J. D. Garrett, G. B. Hagemann, B. Herskind, A. Holm, C. -x Yang, P. O. Tjom, R. Chapman, J. C. Lisle, J. N. Mo, E. Paul, and Willmott, Preprint (1983. 8).

## ON THE DETERMINATION OF THE GROUND BAND PROPERTY IN $^{152}\text{Dy}$

ZHANG JING-YE    ZHONG JI-QUAN    LIE BAO-AN

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

### ABSTRACT

Using the  $N \sim \lambda_n$  and  $E_\gamma(I+2)/E_\gamma(I) \sim I$  plots, the latest experimental spectrum of the nucleus  $^{152}_{66}\text{Dy}_{86}$  has been further analysed. It is point out that the ground band levels with  $I=8^+$  belong to deformed collective band. But values of deformation are less than that of well deformed nuclei. And those levels are more vibrational like than rotational. The hint of pairing disappearance in nuclei  $^{167,169}\text{Yb}$  and  $^{84}\text{Zr}$  is also discussed.