

# 关于 $\alpha$ 带的形变

张敬业 钟纪泉

(中国科学院近代物理所, 兰州)

## 摘 要

近年来在某些铜系区和稀土区的偶偶核中, 观察到一条新的正宇称转动带, 其转动惯量略大于(约10%)基带、 $\beta$ 带和 $\gamma$ 带的转动惯量, 且同时观察到了负宇称带, 这些实验事实有可能利用振荡子(Vibron)模型或八极形变的存在来加以解释. 本文通过简单的几何图象, 定量估算了在核实表面存在 $\alpha$ 结团时, 核实被极化而进一步拉伸的情况, 这样的极化效应, 如果存在的话, 在 $\alpha$ 衰变的角分布中应该有所反映.

近年来, 对于 $\alpha$ 结团在重核中的效应是否存在的问题引起了许多兴趣<sup>[1,2]</sup>. 实验上观察到在某些铜系和稀土区偶偶核中存在一个新的转动带, 其转动惯量略大于基带、 $\beta$ 带和 $\gamma$ 带的转动惯量, 同时还观察到一条负宇称带, 它的能级具有近似的三重态( $1^-$ ,  $2^-$ ,  $3^-$ ;  $3^-$ ,  $4^-$ ,  $5^-$ 等)结构<sup>[3]</sup>. 这样的特征有可能通过核振荡子模型(Nuclear Vibron Model)<sup>[1,3]</sup>加以解释, 也有可能通过假定核存在静态或动态的八极形变来加以解释<sup>[4]</sup>. 在核振荡子模型中, 假定核存在着无 $\alpha$ 结团的组态和有 $\alpha$ 结团的组态之间的共存, 而 $\alpha$ 结团和核实形成一种双核系统, 在这种系统中, 偶极振动模式能量最低. 实验上所观察到的新转动带正对于 $1\alpha$ 组态, 故可叫作 $\alpha$ 带, 而偶极振动与 $\alpha$ 带的耦合, 给出了那条具有三重态结构的负宇称带<sup>[3]</sup>.

如果这种 $1\alpha$ 组态确实存在, 那么其几何图象可以设想为图1所示. 这儿, 为简化起见, 假定核实只有四极形变, 这并不影响下面讨论的一般性. 如图1这样一个双核系统, 在作绕过核实中心的垂直轴转动时, 即给出 $\alpha$ 转动带. 如上所述, 这样一个双核系统的偶极振动与 $\alpha$ 带的耦合, 给出了上述负宇称带. 这样一个系统的转动惯量应该是

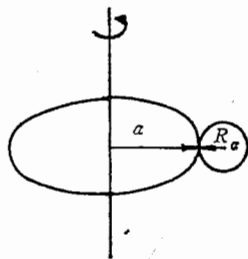


图1  $1\alpha$ 组态的几何图象.  $a$ 为具有长椭球形变的核实的长轴,  $R_\alpha$ 为 $\alpha$ 结团的半径.

$$J = J_0 + J_\alpha \quad (1)$$

其中 $J_0$ 是核实的转动惯量, 而 $J_\alpha$ 是 $\alpha$ 结团绕过核实中心的垂直轴的转动惯量.

考虑到形变 $\epsilon$ 与对关联 $\Delta$ 的影响,  $J_0$ 应为<sup>[5]</sup>:

其  
中  
其  
对  
对  
其  
而  
由  
双  
其  
可  
头  
对  
身  
的  
核

$$\mathcal{J}_0 = \mathcal{J}_p(\varepsilon, Z, A, \Delta_p) + \mathcal{J}_n(\varepsilon, N, A, \Delta_n), \quad (2)$$

其中质子部分的贡献为

$$\mathcal{J}_p = \mathcal{J}_{rig}(\varepsilon, A) \cdot \frac{Z}{A} (1 - f(x_p)), \quad (3)$$

中子部分的贡献为

$$\mathcal{J}_n = \mathcal{J}_{rig}(\varepsilon, A) \cdot \frac{N}{A} (1 - f(x_n)). \quad (4)$$

$f$  函数反应了对关联对于转动惯量的影响<sup>[6]</sup>

$$f(x) = \ln(1 + \sqrt{1+x^2})/x\sqrt{1+x^2}, \quad (5)$$

对于质子

$$x_p = \varepsilon \hat{\omega}_p / 2\Delta_p, \quad (6)$$

对于中子

$$x_n = \varepsilon \hat{\omega}_n / 2\Delta_n,$$

其中

$$\left. \begin{aligned} \hat{\omega}_p &= \hat{\omega}_0 \left( 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{N-2}{A} \right), \\ \hat{\omega}_n &= \hat{\omega}_0 \left( 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{N-2}{A} \right), \\ \hat{\omega}_0 &= 41 \cdot A^{-1/3}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

而刚体转动惯量为

$$\begin{aligned} \mathcal{J}_{rig}(\varepsilon, A) &= \frac{1}{144} A^{5/3} \left[ \left( 1 + \frac{1}{3} \varepsilon \right)^2 \left( 1 - \frac{2}{3} \varepsilon \right) \right]^{2/3} \\ &\quad \cdot \left[ \left( 1 + \frac{1}{3} \varepsilon \right)^{-2} + \left( 1 - \frac{2}{3} \varepsilon \right)^{-2} \right] \quad (\text{MeV}), \end{aligned} \quad (8)$$

由于  $\alpha$  粒子是双满壳核, 可以认为其对关联为零, 于是在核实表面的  $\alpha$  结团对于如图 1 的双核系统转动惯量的贡献应为:

$$\mathcal{J}_\alpha = \frac{1}{72} \cdot (4)^{5/3} + M_\alpha \left[ 1.2 \times A^{1/3} \times \left( 1 + \frac{2}{3} \varepsilon \right) + 1.2 \times 4^{1/3} \right]^2 \quad (\text{MeV}) \quad (9)$$

其中  $M_\alpha$  为  $\alpha$  粒子的质量, 在对应的转动惯量单位系统中各项数值,

$$M_\alpha = 4 \times \frac{500}{20736} = 2/20.736.$$

利用  $\alpha$  带的  $2^+$  态与基态的能级差所确定的  $\alpha$  带基态转动惯量值, 与(1)式对应, 我们可以通过(1)~(9)诸式提取出当表面存在  $\alpha$  结团时核实所必须具有的形变值. 我们就手头能够收集到的具有  $\alpha$  带的原子核数值<sup>1)</sup>作了计算, 结果列于表 1 中. 为了显示出  $\alpha$  结团对于核实形变的影响, 即极化效应, 表 1 中同时列出了当不存在  $\alpha$  结团时, 核实原子核本身由其基态带  $2^+$  能级所确定的形变, 亦即在公式(1)中除去  $\mathcal{J}_\alpha$  项, 令  $\mathcal{J}_0$  与核实原子核的基态转动惯量相等而提取得的形变值. 由表 1 可见, 对于像  $^{160}\text{Dy}_{94}$  这样典型的大形变核, 当表面存在  $\alpha$  结团而构成了  $^{164}\text{Er}_{96}$  的  $\alpha$  带时, 核实的形变于无  $\alpha$  结团时的  $^{160}\text{Dy}$  本身

1) 因为在计算中要用到对能隙, 亦即奇偶质量差, 有的核尽管有  $\alpha$  带, 但由于尚没有足够的相邻核的结合能数据, 因此也无法进行这类计算.

表1  $\alpha$  结团的极化效应

原子核	核 实	核实原子核的四极形变	
		存在 $\alpha$ 结团	不存在 $\alpha$ 结团
$^{228}_{90}\text{Th}_{138}$	$^{224}_{88}\text{Ra}_{136}$	0.285	0.192
$^{226}_{90}\text{Th}_{136}$	$^{222}_{88}\text{Ra}_{134}$	0.291	0.159
$^{224}_{88}\text{Ra}_{136}$	$^{220}_{86}\text{Rn}_{134}$	0.212	0.153
$^{222}_{88}\text{Ra}_{134}$	$^{218}_{86}\text{Rn}_{132}$	0.153	0.108
$^{164}_{68}\text{Er}_{96}$	$^{160}_{66}\text{Dy}_{94}$	0.301	0.302
$^{156}_{64}\text{Gd}_{92}$	$^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$	0.323	0.292

的形变是一样的,即 $\alpha$ 结团对于 $^{160}\text{Dy}$ 这样的大形变核无极化效应;反之,对于像 $^{218}_{86}\text{Rn}_{132}$ 这种仅有四个质子超过质子满壳82,六个中子超过中子满壳126的软核, $\alpha$ 结团的存在,可以使其形变增长约30%。可见,对于这类软核, $\alpha$ 结团的极化效应是完全不能忽略的。

因为在 $\alpha$ 衰变中, $\alpha$ 的角分布是和出射前与它相连的核实的形状密切相关的<sup>[6]</sup>,所以 $\alpha$ 结团对于核实的极化效应应该在出射 $\alpha$ 粒子的角分布中有所反映,这可以用来作为检验上述几何图象的正确性的判别实验。

作者感谢南京大学、兰州大学徐躬耦教授提醒我们注意振荡子模型的发展现状。

## 参 考 文 献

- [1] F. Iachello and A. D. Jackson, *Phys. Lett.*, **108B**(1982), 151.  
 [2] H. J. Daley and B. R. Barrett, *Nucl. Phys.*, **A449**(1986), 256.  
 [3] H. J. Daley, *Daresbury Lab. Preprint*, 1986, August, DL/NUC/P239 T.  
 [4] G. A. Leander and R. K. Sheline, *Nucl. Phys.*, **A413**(1984), 375.  
 [5] R. Bengtsson and S. Åberg, *Phys. Lett.*, **172B**(1986), 277.  
 [6] A. Bohr and B. Mottelson, "Nuclear Structure", **VII** (1975), p82.

ON THE DEFORMATION OF  $\alpha$ -BAND

ZHANG JINGYE    ZHONG JIQUAN

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

## ABSTRACT

Recently a new positive parity rotational band was observed, its moment of inertia is a bit larger than that of ground,  $\beta$  and  $\gamma$  bands for some even-even nuclei of the actinide and rare-earth regions, and also was negative parity band. These facts can be interpreted by vibron model and octupole deformation. By a simple geometrical figure the more stretch of the polarized core was quantitatively estimated when there was  $\alpha$ -cluster in the surface region of the core. If there is this polarized effect, it ought to be behaved in the angular distribution of  $\alpha$ -decay.

了点  
续示  
中  
一  
量  
力  
的  
求  
微