

研究简报

用 2Δ 分析超带的性质

高元义

(中国科学院近代物理研究所)

摘 要

使用两准粒子能量 2Δ 计算了超带转排角动量 $J(I\omega)$, 用 $J(I\omega)$ 定量地分析了一些核超带性质.

在转子模型的 $\mathcal{J} \sim \omega^2$ 关系图上, 且不论相交带的内禀性质如何, 它们均表现出转动惯量的差异. 基带转动惯量在低 I 时小些, 但随 I 而增加; 超带的转动惯量在低 I 时大些, 但随 I 的增加一般变化不大, 以致发生带交叉. 带交叉的结果给出 yrast 带, 并使 yrast 带在交叉点处有转动惯量的突变. 现在通常认为超带可能是由于 RAL 效应, 即一个核子对角动量 i 沿转动轴方向转动排列的结果; 或者是 CAP 效应, 即全部核子对都拆对的结果; 或者是不同于基带形状的转动带. 因此, yrast 带转动惯量的突变实际上是一种综合的效应. 人们为了区分这三种机制已做了大量的工作, 有不少工作是从相交叉带是否具有不同转动惯量及形状的性质出发, 辅之以其他物理性质来判定超带的性质的.

Bohr 和 Mottelson 从能谱上提取了转排角动量 $i(\omega)$ ^[1], 当超带纯系两准粒子带, 其他带混杂很小, $i(\omega)$ 就近似地是转排角动量, 稀土区的核大都如此; 然而, 当超带是其他的带, 如是另外形状的带, 同样也给出 $i(\omega)$, $i(\omega) = (\mathcal{J}_s - \mathcal{J}_g)\omega$ ^[2], 表示相交叉两带转动惯量的差. $i(\omega)$ 仍然是一种综合的效应, 在区分超带的性质方面, 同有效转动惯量 \mathcal{J}_ω 一样, 给不出新的物理内容. 但若考虑到超带是两准粒子带, 那么其与基带在能量上应有两准粒子激发能之别, 近似差 2Δ , $i(\omega)$ 应主要由 2Δ 给出. 若超带是不同于基带形状的带, 其 $i(\omega)$ 应与 2Δ 无关系. 由于 CAP 效应要求核子对都拆对, 同只拆一对的 RAL 效应比, 激发能高得多, 在此我们暂不予以考虑.

对于刚性转子, 有能谱公式

$$E(I) = \frac{I(I+1)}{2\mathcal{J}}. \quad (1)$$

如果偏离刚性转子, 基带表示成

$$E(I) = \frac{(I - j_c)(I - j_c + 1)}{2\mathcal{J}}. \quad (2)$$

两准粒子带表示成

$$E'(I') = \frac{(I' - j'_c)(I' - j'_c + 1)}{2\mathcal{J}'} + 2\Delta. \quad (3)$$

若 j_c 、 j'_c 是随 I 缓慢变化的函数, 则有

$$\omega = \frac{\partial E(I)}{\partial I} \approx \frac{1}{\mathcal{J}} \left[I - j_c + \frac{1}{2} \right],$$

$$\omega' = \frac{\partial E'(I')}{\partial I'} \approx \frac{1}{\mathcal{J}'} \left[I' - j'_c + \frac{1}{2} \right].$$

令

$$\omega = \omega' \quad \mathcal{J} = \mathcal{J}'$$

$$i(\omega) = I' - \Gamma = j'_c(I') - j_c(I).$$

从 (2) 和 (3) 式出发, 考虑到我们的物理问题, 为了方便, 对于基带、超带都有

$$E_r(I) = \frac{(I - j_c)(I - j_c + 1)}{2\mathcal{J}} - \frac{(I - j'_c - 2)(I - j'_c + 1)}{2\mathcal{J}}, \quad (4)$$

$$E_r^{\Delta}(I) = \frac{(I - j_c)(I - j_c + 1)}{2\mathcal{J}} - \frac{(I - j'_c - 2)(I - j'_c + 1)}{2\mathcal{J}} + 2\Delta, \quad (5)$$

从 (4) 和 (5) 式很易推得:

$$j_c = \frac{(2I + 1) - \sqrt{(2I + 1)^2 + 4[Y - 4I + 2 + 2\mathcal{J}E_r(I)]}}{2} = j_c(I), \quad (6)$$

$$j_c^{\Delta} = \frac{(2I + 1) - \sqrt{(2I + 1)^2 + 4[Y - 4I + 2 + 2\mathcal{J}(E_r(I) - 2\Delta)]}}{2}$$

$$= j_c^{\Delta}(I) \quad (7)$$

$$Y = Y(j'_c) = j_c'^2 + 3j_c' - 2I \cdot j_c'.$$

在 (6) 和 (7) 式中

$$E(4^+) = \frac{4(4 + 1)}{2\mathcal{J}_c(4^+)},$$

$$2\mathcal{J}_c(4^+) = \frac{E(4^+)}{20} = 2\mathcal{J}.$$

$E_r(I)$ 是 yrast 线上 r 的能量, 沿 yrast 线先算出 $j_c(I - 2)$, 使 $j_c(I - 2) = j_c'$, 通过 Y 代入 $j_c(I)$ 表示式, 再算得 $j_c(I)$ 值. 照此前往, 在带交叉处用 j_c^{Δ} 表示, 过 j_c^{Δ} 仍用 $j_c(I)$ 表示式. 从而算得一系列 $j_c(I)$ 值, 定义

$$J(I, \omega) = j'_c(I', \omega) - j(I, \omega),$$

$j'_c(I', \omega)$ 表示超带 I' 所对应的 $j_c(I)$ 值, $j(I, \omega)$ 表示与超带 $j'_c(I', \omega)$ 同 ω 的 I 所对应的 $j_c(I)$ 值.

二、

利用正则关系

$$\omega(I) = \frac{1}{2} E_r(I).$$

我们做出 $I \sim \omega$ 关系图, 由 $\omega = \omega'$ 可得 $i(I\omega) = I'(\omega) - I(\omega)$, 同时可算得 $J(I\omega) = j'_c(I'\omega) - j(I\omega)$. 如果是 RAL 效应, 应有

$$i(I\omega) = J(I\omega).$$

对一些核的计算结果如下

nuclid	$2\Delta_n$	$J(I\omega)$	$i(I\omega)$
^{158}Er	2.695	$\begin{cases} J(16^+\omega) = 9.8 \\ J(18^+\omega) = 9.30 \end{cases}$	$\begin{cases} i(16^+\omega) = 9.3 \\ i(18^+\omega) = 8.8 \end{cases}$
^{162}Er	2.148	$J(18^+\omega) = 7.4$	$i(18^+\omega) = 6.4$
^{164}Er	2.065	$\begin{cases} J(18^+\omega) = 7.4 \\ J(20^+\omega) = 7.4 \end{cases}$	$\begin{cases} i(18^+\omega) = 7.7 \\ i(20^+\omega) = 7.7 \end{cases}$
^{182}Os	2.155	$\begin{cases} J(16^+\omega) = 8.4 \\ J(18^+\omega) = 8.29 \end{cases}$	$\begin{cases} i(16^+\omega) = 8.1 \\ i(18^+\omega) = 8.0 \end{cases}$
^{130}Ce	2.817	$\begin{cases} J(14^+\omega) = 8.8 \\ J(16^+\omega) = 8.74 \end{cases}$	$\begin{cases} i(14^+\omega) = 8.7 \\ i(16^+\omega) = 8.5 \end{cases}$
^{164}Yb	2.156	$\begin{cases} J(16^+\omega) = 7.8 \\ J(18^+\omega) = 7.64 \end{cases}$	$\begin{cases} i(16^+\omega) = 7.5 \\ i(18^+\omega) = 7.7 \end{cases}$
^{166}Yb	2.278	$\begin{cases} J(18^+\omega) = 8.3 \\ J(20^+\omega) = 7.2 \end{cases}$	$\begin{cases} i(18^+\omega) = 8.1 \\ i(20^+\omega) = 7.0 \end{cases}$

表中 $2\Delta_n$ 取原子核中子奇偶质量差, ^{130}Ce 的 $2\Delta_n$ 由于数据不足, 是从 Bohr 和 Mottelson 书中图上估计得的^[2]. 我们所考虑数核 $I \sim \omega$ 关系图见图 1、2.

我们计算的 $j_c(I)$ 同前人理论及实验给出的 $i(\omega)$ 比较如下:

nuclid	^{158}Er	^{162}Er	^{164}Er	^{164}Yb	^{166}Yb	^{182}Os	^{130}Ce
本工作	$\begin{cases} 9.8(I=16^+) \\ 9.3(I=18^+) \end{cases}$	$8.34(I=18^+)$	$\begin{cases} 7.83(I=18^+) \\ 8.15(I=20^+) \end{cases}$	$8.9(I=18^+)$	$\begin{cases} 9.0(I=18^+) \\ 9.27(I=20^+) \end{cases}$	$\begin{cases} 8.85(I=16^+) \\ 9.26(I=18^+) \end{cases}$	$\begin{cases} 9.05(I=14^+) \\ 9.48(I=16^+) \end{cases}$
前 < $\begin{cases} \text{exp} \\ \text{theo} \end{cases}$	$\begin{cases} 9.2(I=16^+) \\ 8.4(I=16^+) \end{cases}$	$\begin{cases} 8.4 \\ 8.6 \end{cases}$	$\begin{cases} 8.08 \\ 8.0 \end{cases}$	$\begin{cases} 10.20 \\ 9.5 \end{cases}$	$\begin{cases} 8.58 \\ 9.0 \end{cases}$	$\begin{cases} 9.1 \\ 9.0 \end{cases}$	$\begin{cases} \sim \\ [1][3][4] \end{cases}$

表中所引实验值, 除 ^{158}Er , ^{164}Er 以外, 都是利用最低处几个 $I(\omega)$ 直线外差 $i(\omega) = I'(\omega) - I(\omega)$ 而得, 实际上对应于我们的 $j'_c(I')$ 值, 故此我们用 $j_c(I)$ 同前人的理论及实验值比较. ^{158}Er 的取法同我们的 $i(I\omega)$ 取法. 对于以上超带可能是由两准粒子带给出的核, 本工作实验提取值同计算值, 以及同前人所得结果符合较好. 这说明为了计算超带的转排角动量考虑超带的内禀性质. 引入 2Δ 是合理的, 或许证明以上核超带很可能确系两准粒子带. 与以上形成明显对照的计算结果如下:

nuclid	$2\Delta_n$	$J(I\omega)$	$i(I\omega)$
^{156}Er	2.481	$8.7(I=16^+)$	$9.9(I=16^+)$
^{132}Ce	2.795	$\begin{cases} 8.68(I=14^+) \\ 9.17(I=16^+) \end{cases}$	$\begin{cases} 10.2(I=14^+) \\ 11.0(I=16^+) \end{cases}$
^{134}Ce	2.795	$\begin{cases} 7.33(I=12^+) \\ 7.9(I=14^+) \end{cases}$	$\begin{cases} 9.2(I=12^+) \\ 9.2(I=14^+) \end{cases}$

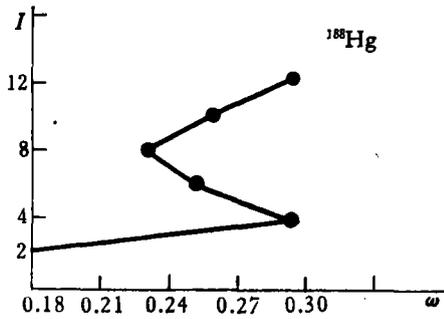


图 1

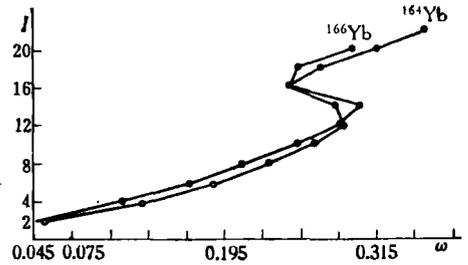
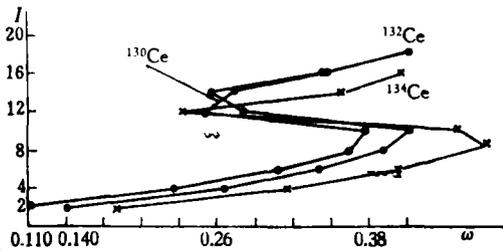
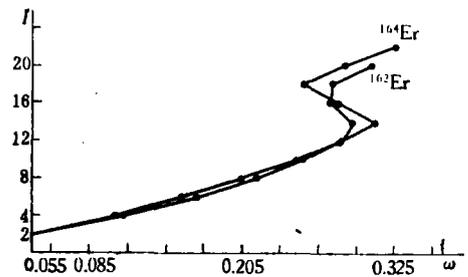
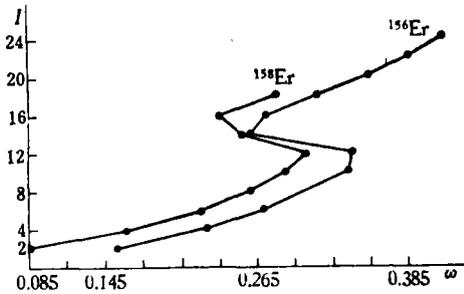
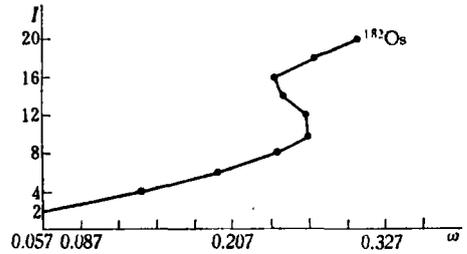


图 2

图 3

$J(I\omega)$ 和 $i(I\omega)$ 相差甚远。而这些核通常被认为是形状相变的核。

三、

从以上全部计算和初步分析看，有一类核 $J(I\omega) - i(I\omega) \leq 0.3\hbar$ ，我们通常认为这些核超带是两准粒子带。除 ^{158}Er ， ^{130}Ce 以外，低 I 处 $j_c(I)$ 值都很小，仅仅在回弯区猛增。这可能意味着两准粒子带同基带混杂小，其他带混杂亦小。超带是比较纯的两准粒子带，基带是比较好的转动带，带交叉处两准粒子能量近似是常数，这可能是选择 2Δ 计算符合的主要原因。另一类核， ^{158}Er 其 $J(I\omega) - i(I\omega) = 0.5\hbar$ ，中子数是 90，低处 j_c 随 I 增加变化较大，是较软的核， $J(I\omega)$ 不但包含有转排角动量，还包含有形变的贡献。 ^{162}Er 其 $J(I\omega) - i(I\omega) = 1\hbar$ ，低 I 处 j_c 随 I 增加变化不大，可能由于中子拆对对核形状有较大影响，使超带不纯是两准粒子带。同 ^{162}Er 毗邻的 ^{164}Er 的 $J(I\omega) - i(I\omega) = 0.3\hbar$ ，其低处 j_c 随 I 增加变化很小，即形变贡献很小，通常认为在交叉点处两准粒子能量下降，即

$J(I\omega) - i(I\omega) > 0$, ^{164}Er 却相反, 或许只能解释成中子对拆对使核的形状发生变化造成. 如果这种解释可以成立, 那么只能做这样一种推测, ^{162}Er 中子拆对使其形变增大, ^{164}Er 中子拆对使其形变变小. 以上核, 除 ^{164}Er 以外, 共同点是 $J(I\omega) > i(I\omega)$. 另一类核, 其 $J(I\omega) - i(I\omega) \leq -1.2\hbar$, 或者 $i(I\omega) - J(I\omega) \geq 1.2\hbar$. 现在通常认为这些核可能仅只超带的形状不同于基带的. 用 2Δ 计算不符合是自然的. 由此看来, $J(I\omega) - i(I\omega)$ 之值不同是这两大类核一个十分明显的区别, 也是预料之中的. 此外, j_c 表示式对 2Δ 很敏感, 一般来说 $2\Delta_n, 2\Delta_p$ 不完全相等, 对区分中子拆对还是质子拆对有一定的意思.

总之, 用 $J(I\omega) - i(I\omega)$ 之值辅之以其他一些物理量分析超带性质是有可能的.

感谢同顾金南的有益讨论.

参 考 文 献

- [1] A. Bohr and B. R. Mottelson, Proc. Int. Conf. Nuclear Structure, Tokyo, 1977; *J. Phys. Soc. JAPAN*, A4(1978), SUPPL., p. 157—172.
- [2] A. Bohr and B. R. Mottelson, *Nuclear Structure*, Vol 1, 169—170.
- [3] 张敬业、张锡珍, 高能物理与核物理, 5(1981), 108.
- [4] 张锡珍、陈永寿, 高能物理与核物理, 4(1980), 103.

TO ANALYSE THE PROPERTY SUPERBAND BY USING 2Δ

GAO YUAN-YI

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Using two-quasiparticle energy the rotational alignment angular momentum is calculated, the property of the superbands of some nuclei is also analysed qualitatively.