

从正常形变看超形变带角动量的确定

陈星藻 邢正

(兰州大学现代物理系, 兰州 730000)

摘 要

通过对正常形变基态转动带的研究, 检验了用 W-Z 公式确定超形变带带头角动量的方法, 并与超形变带进行了对比. 指出只要 W-Z 公式能很好地描述转动带(正常形变和超形变), 同时跃迁能量灵敏地依赖于指定的角动量, 由此确定的带头角动量都是正确的.

超形变转动带(SD 带)的研究近年来有很大进展^[1-3], 基于“全同”SD 带的实验事实^[4,5], Stephens 等人^[5]提出了顺排角动量量子化的概念, 持反对意见者认为^[6,7], 顺排角动量量子化的概念是建立在 SD 带角动量完全确定的假定下的, 而到目前为止, SD 带的自旋值还未直接测定, 实验中倾向指定的自旋值具有不确定性, 如果自旋的指定, 那怕改变 $1\hbar$, 将使结论完全改变. Becker 等^[8]提出了一种由 Harris 展开来决定 SD 带能级角动量的方法, 其缺点是明显的, 文献^[7]进一步指出, 这一方法甚至不能给出正常形变转动带带头角动量, 我们^[9-11]用 W-Z 公式^[12,13]

$$E(I) = a[\sqrt{1 + bI(I+1)} - 1] \quad (1)$$

直接拟合 γ 跃迁能量

$$E_\gamma(I) = a[\sqrt{1 + bI(I+1)} - \sqrt{1 + b(I-2)(I-1)}], \quad (2)$$

来决定 SD 带的能级角动量, 利用这种方法, SD 带的角动量大部分已经指定, 但是其正确与否最终还要由实验直接测量来证明. 本文通过对锕系区和稀土区核基态转动带的研究指出, 对正常形变转动带这种方法精确地给出了带头角动量, 从而间接证明文献^[9-11]决定超形变带自旋的方法是可信的.

对大部分稀土元素偶偶核, 基带和 S 带的带交叉发生在 $I_c \sim 10-12\hbar$, 只有少数核素 $I_c > 16$, 有七条以上能级可以使用, 而锕系元素偶偶核带交叉以前的基带能级已经推到较高的自旋值, 例如 ^{248}Cm , $^{234, 236, 238}\text{U}$ 和 ^{232}Th 在 $I = 30\hbar$ 时尚未看到明显的带交叉, 使我们可以利用现有的正常形变转动带的实验数据来检验决定 SD 带自旋的方法. 我们分析了所有锕系元素偶偶核和 $I_c > 16$ 的稀土元素偶偶核全部实验数据, 并与 SD 带作了对比. 实验数据取自文献^[15-31]. 图 1 是一个典型的例子, ^{248}Cm 基带能级角动量依次为 $I = 0, 2,$

• 国家自然科学基金和国家教委博士点基金资助.

本文 1992 年 6 月 17 日收到.

4, …, 28, 带头角动量 $I_0=0$ 为已知. 用(2)式去拟合实验能谱, 图 1(a)用全部 14 条 γ 跃迁能量拟合, 当指定带头 $I_0=0$ 时, 给出方均根偏差 $\sigma=0.0046$, 如果 I_0 偏离正确值, 方均根偏差 σ 将急剧增大. 如 $I_0=1$, 则 $\sigma=0.101$, 而图 1(b)是采用低自旋端前 7 条 γ 跃迁能量拟合的结果, 方均根偏差没有多大变化, 对锆系和稀土偶偶大变形核的计算结果与 ^{248}Cm 类似(见表 1, 表 2). 我们的计算清楚表明:

a) 对正常形变基带, W-Z 公式可以正确地给出带头角动量, 若指定带头角动量正确, 公式(1)能很好地描述基带能谱, 方均根偏差 σ 很小^[14], 若带头角动量偏离正确值 $1\hbar$, 对绝大多数核素, 则 σ 将增大 1 至 2 个数量级.

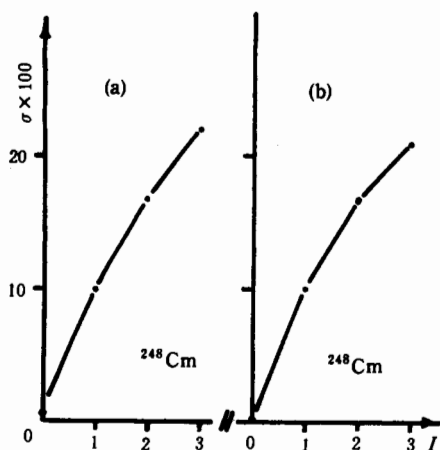
表 1 锆系元素基带带头角动量的确定

	$\sigma \times 100$				拟合中使用的 E_γ 条数 n	文 献
	$I_0=0$	$I_0=1$	$I_0=2$	$I_0=3$		
^{248}Cm	0.462	10.1	16.9	21.9	14	[15,16]
^{244}Pu	0.516	10.2	19.3	26.8	10	[17]
^{242}Pu	0.353	9.94	18.3	25.7	12	[18]
^{240}Pu	0.190	12.4	22.5	29.7	7	[19]
^{238}Pu	0.371	11.3	21.3	28.8	9	[19]
^{236}Pu	0.735	11.1	20.9	28.3	8	[19]
^{238}U	0.228	9.51	16.3	22.3	14	[20]
^{236}U	0.573	9.41	16.1	22.2	14	[21]
^{234}U	1.64	8.59	15.2	21.3	14	[22]
^{230}U	0.854	9.22	17.9	25.0	8	[19]
^{232}Th	1.82	8.23	14.5	19.9	14	[20]
^{230}Th	1.19	8.62	15.0	19.6	11	[20]
^{228}Th	0.891	8.47	16.2	22.9	7	[23]

表 2 稀土元素基带带头角动量的确定

	$\sigma \times 100$				拟合中使用的 E_γ 条数 n	文 献
	$I_0=0$	$I_0=1$	$I_0=2$	$I_0=3$		
^{178}Hf	1.25	10.5	16.6	20.9	8	[20]
^{176}Hf	2.14	12.5	22.1	29.2	7	[24]
^{174}Hf	0.505	9.65	16.5	23.2	8	[25]
^{172}Hf	0.366	8.99	14.9	19.1	8	[26]
^{170}Hf	1.13	7.68	13.3	18.3	8	[27]
^{176}Yb	0.611	11.2	20.9	28.1	8	[20]
^{174}Yb	0.392	10.0	16.9	21.8	10	[25]
^{172}Yb	0.421	11.5	21.6	28.9	8	[26]
^{170}Yb	0.536	11.0	20.5	27.6	7	[27]
^{168}Yb	0.396	9.52	16.4	22.8	8	[20]
^{166}Er	0.511	10.1	18.0	24.9	8	[28]
^{164}Er	0.266	9.91	19.0	26.0	7	[29]
^{164}Dy	0.124	9.90	16.2	20.6	7	[29]
^{162}Dy	2.73	9.71	16.1	20.7	9	[30]
^{156}Gd	0.578	8.74	16.6	23.2	7	[31]

b) 图 1(b)表明, 高自旋端的能级对带头角动量的精确决定没有影响. 作为比较, 图 3 给出了 ^{194}Hg (b3)^[32] SD 带的一个例子, 其中图 3(a) 曲线 0 是用全部 16 条 γ 跃迁能量拟

图1 ^{248}Cm 基带带头的决定(a)用全部14条 γ 跃迁能量拟合;(b)用低自旋端前7条 γ 跃迁能量拟合.

合,而图3(b)只用低自旋端的前7条 γ 跃迁能量进行拟合,所得到的自旋值 I_0 是完全相同的($E_\gamma(I=10\rightarrow 8)=201.2\text{keV}$,即 $I_0=8\hbar$),当 I_0 偏离 $\pm 1\hbar$ 时,方均根偏差都增大一个数量级.因此对SD带,高自旋端的能级对确定带头角动量 I_0 也没有影响.为研究低自旋端 γ 跃迁能量对确定

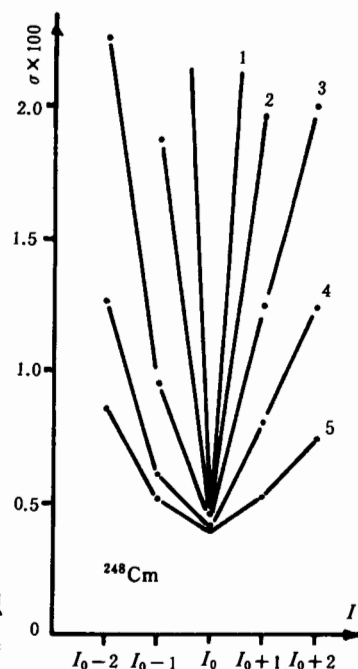


图2 低自旋端能级对确定带头角动量的影响

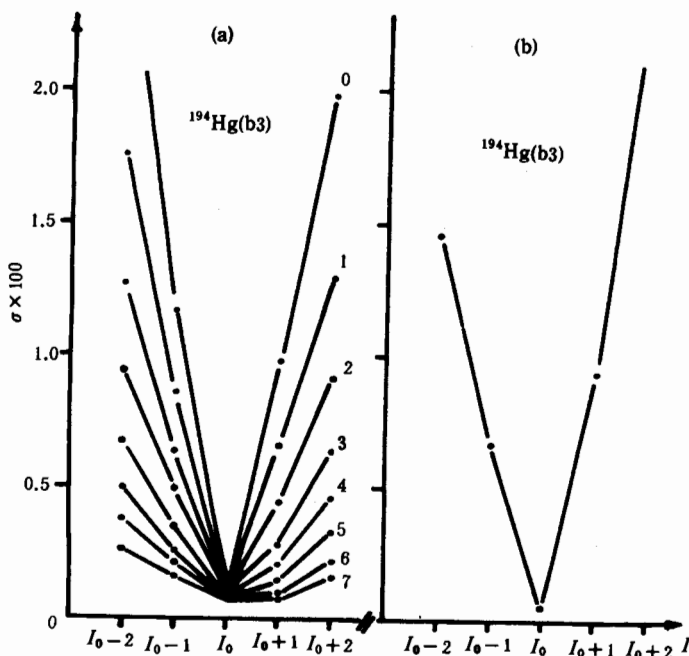
带头角动量的影响,图2给出了 ^{248}Cm 的计算结果.其中曲线1是去掉第1条 γ 跃迁能量 E_γ 拟合的结果,而曲线2,3,4,5分别是去掉前2,3,4,5条 E_γ 拟合的结果,(这里角动量 $I=2,4,6,\dots$ 对应的 γ 跃迁能量分别称第1,2,3...条 E_γ).由图看到:

a)低自旋端的能级对精确决定带头角动量是极为重要的.由(2)式近似有

$$E_\gamma(I) \approx ab(2I - 1),$$

$$\frac{\Delta E_\gamma(I)}{E_\gamma(I)} \approx \frac{\Delta I}{I - \frac{1}{2}}. \quad (3)$$

可见自旋愈低, γ 射线的能量对自旋的关系愈灵敏,为了精确地决定带头角动量应尽可能多地采用低自旋端的

图3 (a)低自旋端能级对确定SD带带头角动量 I_0 的影响(b)高自旋端能级对确定SD带带头角动量 I_0 的影响

能级去拟合实验数据.

b)随着带头角动量的增加(即拟合中去掉前几条 γ 射线能量 E_γ),方均根偏差 σ 与带头角动量 I_0 的关系愈来愈不灵敏.例如用全部 14 条 E_γ 拟合,当 I_0 增加 $1\hbar$ 时, σ 会增加 2 个数量级,而去掉前 4 条 E_γ 去拟合, σ 仅增加一倍.如果删去的低自旋能级数进一步增多,由于 I_0 的改变对 σ 的变化甚微,同时又都能很好地描述实验能谱(如曲线 5,在 I_0 改变 $\pm 1\hbar$ 时,相对误差都为 4—5%),则难以决定带头的角动量,因此在 σ - I 图形中,如果 I_0 的变化对 σ 改变并不明显,在决定带头角动量时必须小心从事.作为对比,图 3 给出了¹⁹⁴Hg(b3)^[32]超形变带的一个例子,其特征与正常形变转动带相同.其中曲线 0 表示用全部 16 条 E_γ 拟合的结果,而曲线 1—7 分别表示在低自旋端分别去掉 1, 2...7 条 E_γ 拟合的结果.我们看到,低自旋端的能级对精确决定超形变带带头角动量 I_0 是至关重要的.

文献[7]指出,利用 Becker 等人^[8]的方法不能正确地给出¹⁷⁷Pt 基带带头的角动量^[33].众所周知,非常缺中子的 Pt 同位素位于大变形核区的边缘,理论估计^[34]四极形变参数对¹⁷⁶Pt, $\epsilon_2 = 0.193$, 对¹⁷⁸Pt, $\epsilon_2 = 0.210$, 这样可以估计对于¹⁷⁷Pt, $\epsilon_2 \approx 0.20$, 通常¹⁷⁶Pt, ¹⁷⁸Pt 基带反常能级间隔是形状共存的特征^[35],但是¹⁷⁷Pt 的能谱具有转动谱的特征,其基态的内禀组态指定为 $[512](5/2)^-$, 没有看到带交叉,带内顺排角动量 i 净增 $7\hbar$. 当用(2)式去拟合实验能谱^[33].得到了基带带头角动量 $I_0 = (5/2)\hbar$, 结果如图 4 所示.

由计算,可以得到以下结论:

1)我们确定 SD 带自旋的方法^[9-11],对正常形变基态转动带精确地给出了带头角动量.即使对处于大变形区边缘的核(如¹⁷⁷Pt),只要公式(1)能很好地描述其转动谱,就能正确地给出带头角动量.

2)低自旋端的能级对精确决定带头角动量是极为重要的.低自旋端的能级对带头角动量的变化极为灵敏,而高自旋端的能级对带头角动量的确定没有影响.只要 σ - I 图的 V 形曲线较尖锐,由它给出的带头角动量 I_0 就是正确的.

3)对超形变带,在高自旋端和低自旋端,实验测量的 γ 跃迁能量由于种种原因,如强度较弱,与其它带的作用等等,误差较大.在拟合中适当除去高自旋端误差较大的 γ 跃迁能量不会影响带头的决定,但是对低自旋端的能级,由于它对带头角动量的变化极其灵敏,为不使灵敏度降低,通常只应在第二类转动惯量 $\mathcal{J}^{(2)}$ 有明显突变时,才除去该能级.

4)由于(1)式对 SD 带实验能谱的描写^[9-11]通常比对正常形变带的描写更好,因此有理由说对正常形变带成立的结论对 SD 带也应成立,所以我们用以决定超形变带带头角动量的方法是正确的.

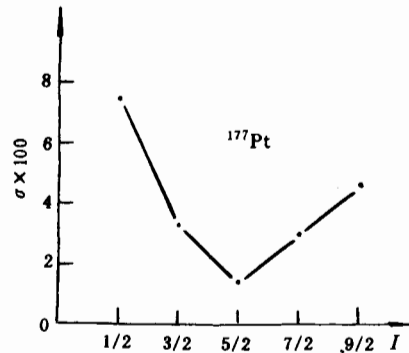


图 4 ¹⁷⁷Pt 基带带头角动量的确定

参 考 文 献

- [1] P. Twin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **57**(1986), 811.
- [2] P. Twin, *Nucl. Phys.*, **A520**(1990), 17C; **A522**(1991), 13C.
- [3] S. Åberg, *Nucl. Phys.*, **A520**(1990), 35C.
- [4] T. Byrski et al., *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990), 1650.

- [5] F. S. Stephens et al., *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990), 2623; **65**(1990), 301;
F. S. Stephens, *Nucl. Phys.*, **A520**(1990), 91C.
- [6] C. L. Wu et al., *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991), 1377.
- [7] R. Wyss and S. Pilote, *Phys. Rev.*, **C44**(1991), R601.
- [8] J. A. Becker et al., *Phys. Rev.*, **C41**(1990), R9.
- [9] 邢正, 陈星冀, 高能物理与核物理, **15**(1991), 1020.
- [10] 陈星冀, 邢正, 高能物理与核物理, **15**(1991), 1094.
- [11] C. S. Wu, J. Y. Zeng, Z. Xing, X. Q. Chen and J. Meng, *Phys. Rev.*, **C45**(1992), 261.
- [12] 吴崇斌, 曾谨言, 高能物理与核物理, **8**(1984), 219, 445; **9**(1985), 77, 214.
- [13] C. S. Wu and J. Y. Zeng, *Commun. Theor. Phys.*, **8**(1987), 51.
- [14] F. X. Xu, C. S. Wu and J. Y. Zeng, *Phys. Rev.*, **C40**(1989), 2337.
- [15] T. Czosnyka et al., *Nucl. Phys.*, **A458**(1986), 123.
- [16] P. B. Piercey et al., *Phys. Rev. Lett.*, **46**(1981), 415.
- [17] E. N. Shurshikov, *Nucl. Data Sheets*, **49**(1986), 785.
- [18] E. N. Shurshikov, *Nucl. Data Sheets*, **45**(1985), 509.
- [19] K. Hardt et al., *Nucl. Phys.*, **A407**(1983), 127.
- [20] M. Sakai, *At. Data Nucl. Data Tables*, **31**(1984), 399.
- [21] H. Ower et al., *Nucl. Phys.*, **A388**(1982), 421.
- [22] Y. A. Ellis-Akovali, *Nucl. Data Sheets*, **40**(1983), 523.
- [23] M. J. Martin, *Nucl. Data Sheets*, **49**(1986), 83.
- [24] D. J. Horen and B. Harmatz, *Nucl. Data Sheets*, **19**(1976), 383.
- [25] E. Browne, *Nucl. Data Sheets*, **41**(1983), 277.
- [26] Wang Gong Qing, *Nucl. Data Sheets*, **45**(1985), 509.
- [27] Zhou Chunmei, *Nucl. Data Sheets*, **50**(1987), 351.
- [28] A. E. Ignatovich et al., *Nucl. Data Sheets*, **52**(1987), 365.
- [29] E. N. Shurshikov, *Nucl. Data Sheets*, **47**(1986), 433.
- [30] R. G. Helmer, *Nucl. Data Sheets*, **44**(1985), 659.
- [31] R. G. Helmer, *Nucl. Data Sheets*, **49**(1986), 383.
- [32] M. Riley et al., *Nucl. Phys.*, **A512**(1990), 178.
- [33] G. D. Dracoulis et al., *Nucl. Phys.*, **A510**(1990), 533.
- [34] I. Ragnarsson et al., *Nucl. Phys.*, **A233**(1974), 329.
- [35] R. Bengtsson et al., *Phys. Lett.*, **B183**(1987), 1.

Examine the Method of Spin Determination in Superdeformed Bands on the Basis of Normal Deformation

CHEN XINGQU XING ZHENG

(Department of Modern Physics Lanzhou University, Lanzhou 730000)

ABSTRACT

The data available for the ground rotational bands of known angular momenta are used to examine the method of spin determination in superdeformed bands. The bandhead angular momenta of all the ground-state rotational bands are reproduced. The calculated transition energies depend sensitively on the prescribed spins both for ground-state rotational bands and for superdeformed rotational bands. It is reasonable to determine the spins in superdeformed bands using two parameter W-Z expression for rotational spectra.