第15卷 第12期 高能物理与核物理 Vol. 15, No. 12
1991年12月 HIGH ENERGY PHYSICS AND NUCLEAR PHYSICS Dec., 1991

A～190区超形变带能谱分析和自旋的决定*

陈星蕖 邢正
（兰州大学现代物理系，730000）

摘要

利用宏观模型系统地分析了 A～190 区七个超形变核十五条超形变带的能谱，决定了超形变带的自旋值，用三参数公式计算了能谱，运动学转动惯量 $\mathscr{I}^{(1)}$ 和动力学转动惯量 $\mathscr{I}^{(2)}$，并与实验进行了比较，得到了较满意的结果。

最近实验已在 A～150 和 A～190 区发现不同超形变核的转动带具有似乎全同的跃迁能量（在1—2keV 精度内），这决不是偶然的巧合，可能有深刻的物理内容。Stephens 指出[1,2]，这种事实可以看作是一种量子化顺排效应 $\left(\frac{1}{2}\hbar\text{ 或 }1\hbar\right)$，另一方面C.L. Wu 等人认为[3,4]，Stephens 的结论本质上依赖于超形变带指定的自旋值，但自旋值没有测定，现在实验中倾向指定的自旋值具有不确定性，若将这些超形变带的自旋值进行适当的移动（如 $1\hbar$），就不存在非零量子化自旋顺排，因此如何看待这一实验事实，关键在于精确地决定超形变带的自旋值，而现阶段的实验技术尚不能测定其自旋值。能否从 γ 跃迁的能量决定自旋值是一个极为重要的问题。我们已经指出[5]，吴崇试-曾谨言公式（W-Z 公式）[6-9]可以用于分析超形变带的带结构，根据这一公式由测定的跃迁能量可以准确地决定超形变带的自旋值，本文主要目的是对 A～190 区已知的所有超形变带进行唯象分析，首先确定其自旋值，然后拟合其能谱，最后给出运动学转动惯量 $\mathscr{I}^{(1)}$ 和动力学转动惯量 $\mathscr{I}^{(2)}$。

在 A～190 区，^{191}Hg[10,11]、^{192}Hg[12,13]、^{193}Hg[14,15]、^{194}Hg[16,17]、^{194}Tl[18]、^{194}Pb[19,20]、^{196}Pb[20]已经发现15条超形变带，其中既有偶偶核，又有奇A核，还有奇奇核；既有 Yrast 带，又有激发带，我们用 W-Z 公式进行分析，其中二参数表示式为

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

则

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

由于自旋 I 的变化只能是整数，能谱 $E_\gamma(I)$ 对 I 的指定值相当灵敏，因此我们很容易由 γ 射线能量决定超形变带的自旋值[5]。具体方法是：假定超形变带的自旋已经指定，利用最低自旋的两条 γ 射线能量，由(2)式定出参量 a、b，若指定的自旋正确，则(2)式应最佳拟合所有实验数据，若指定的自旋不正确，则由此定出的参数 a、b 就不能很好地描述

本文1991年2月2日收到。
* 国家自然科学基金和国家教委博士点基金资助。

表 1

		$I_{exit}(\hbar)$	a(keV)	b	c	Δ(keV)	$(I_{exit})_{exp}(\hbar)$
^{192}Hg		8	46382	2.422×10^{-4}	5.768×10^{-10}	2.5	8[12]
^{191}Hg	$b1$	15.5	103906	1.008×10^{-4}	-2.469×10^{-10}	0.97	14.5[4]
	$b2$	12.5	68513	1.547×10^{-4}	1.906×10^{-10}	0.37	12.5[11]
	$b3$	13.5	65003	1.628×10^{-4}	-1.177×10^{-10}	0.38	13.5[11]
^{193}Hg	$b1$	7.5	24375	4.469×10^{-4}	1.533×10^{-8}	5.6	7.5[15]
	$b2$	10.5	73023	1.457×10^{-4}	-6.595×10^{-10}	1.0	10.5[15]
	$b3$	9.5	60109	1.774×10^{-4}	1.332×10^{-11}	1.1	9.5[15]
	$b4$	13.5	136870	7.127×10^{-5}	9.002×10^{-10}	4.2	13.5[15]
^{194}Hg	$b1$	10	41639	2.697×10^{-4}	1.467×10^{-9}	3.9	10[2]
	$b2$	11	71373	1.483×10^{-4}	-3.668×10^{-10}	0.91	11[2]
	$b3$	8	63116	1.691×10^{-4}	-2.885×10^{-10}	0.71	8[2]
^{194}Tl	$b1$	12	125729	7.952×10^{-5}	-3.308×10^{-10}	0.71	12[18]
	$b2$	10	64633	1.622×10^{-4}	6.197×10^{-10}	0.97	10[18]
^{194}Pb		6	41422	2.730×10^{-4}	4.140×10^{-10}	0.79	6[19,20]
^{196}Pb		8	58609	1.949×10^{-4}	-5.608×10^{-10}	0.60	未指定

实验数据．在实验数据不确定的范围内调节指定的自旋值重新确定 a,b 直到(2)式能最佳拟合实验数据，得到正确的自旋值．表 1 给出了我们的计算结果，其中 I_{exit} 是我们定出的相应超形变带的最低自旋值(退激自旋)，而 $(I_{exit})_{exp}$ 是实验家采用文献[12]建议的方法所得到的结果，除 ^{191}Hg 的 Band1 外，所有 I_{exit} 均同实验家定出的一致，然而我们的分析清楚表明，为了最佳拟合实验数据 $^{191}Hg(b1)$ 的最低自旋值应为 $15.5\hbar$，而不是 $14.5\hbar$． 图 1(a) 给出我们计算的结果，图形清楚表明 $I_{exit}=15.5\hbar$ 较好地拟合实验数据．若引入计算值与实验值的方均根偏差

$$\Delta=\sqrt{\frac{1}{N-n}\sum_{I}|E_{\gamma}(I,\mathrm{cacl})-E_{\gamma}(I,\exp)|^{2}},\tag{3}$$

这里N为可资比较的能级间隔 E_γ 的个数，n 为参数个数，则在 $I_{exit}=15.5\hbar$ 时 $\Delta=3.9$ keV，而若 $I_{exit}=14.5\hbar$，则 $\Delta=19.9$keV，与实验有较大偏离．在决定了超形变带的自旋值以后，我们进一步用三参数公式[5]

$$E(I)=a[\sqrt{1+bI(I+1)+cI^{2}(I+1)^{2}}-1],\tag{4}$$

拟合能谱．表 1 给出了使用参数及相应的方均根偏差 Δ． 图 1(b),2,3 给出了理论与实验 γ 射线的能量 $E_\gamma(I)$ 的比较，其中曲线是由(4)式计算的结果，使用参数见表 1，实验点分别用不同的符号标出，由图和表 1 可见理论与实验符合得很好，15 条理论曲线与实验值的方均根偏差中，有 11 条 $\Delta<1$keV，最大偏差是 ^{193}Hg 的两条行为反常的 Band1 和 Band4，此时可能存在着带交叉[15]．我们的分析表明：1) $W-Z$ 公式分析 $A\sim190$ 区所有超形变带(包括奇A核和奇奇核)是很成功的；用它从实验的 $E_\gamma(I)$ 值来决定超形变

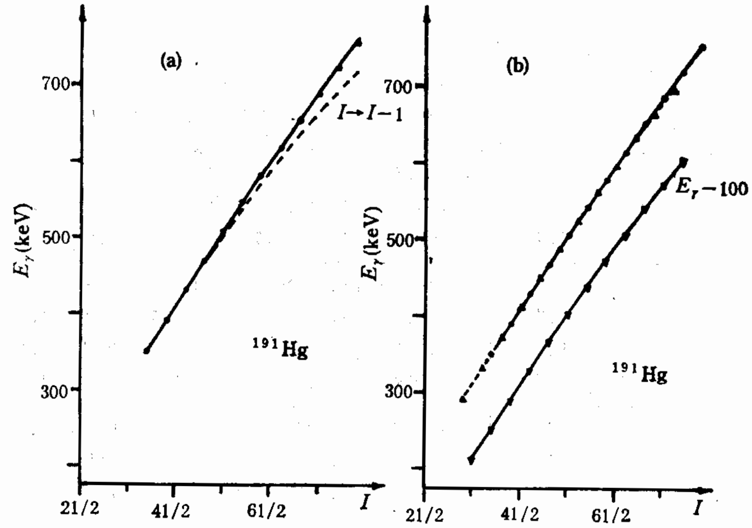

图 1

(a) ^{191}Hg(Band1) 自旋的决定,其中实线是理论曲线,而虚线是 $I\to I-1$ 的结果. 相应的横轴坐标 $I\to I-1$,使用参数: 实线: $a=111175$keV, $b=9.4\times10^{-5}$;虚线: $a=35616$keV, $b=3.2\times10^{-4}$. (b) ^{191}Hg 三条超形变带的理论 $E_\gamma(I)$ 与实验值的比较. 曲线为理论值; 实验值: Band1 ●, Band2 ▲, Band3 ▼. 为使图形清晰. Band3 向下移动了 100 keV

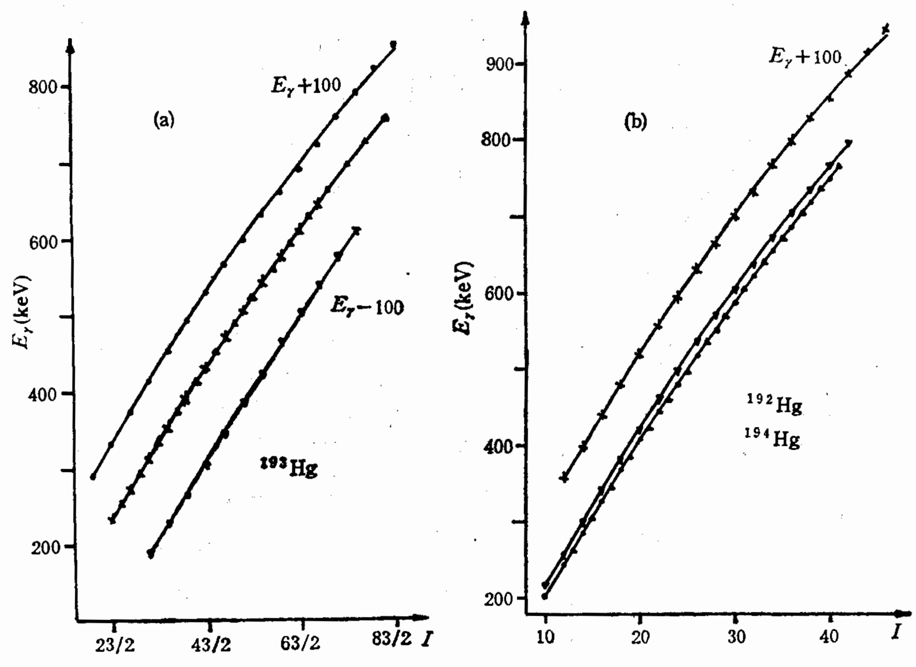

图 2 ^{193}Hg,^{192}Hg,^{194}Hg 超形变带理论 $E_\gamma(I)$ 与实验值的比较. 计算参数见表 1. 为了清晰,部分结果作了移动.

(a) ^{193}Hg 的结果,实验值: Band1 ●, Band2 ▲, Band3 ×, Band4 ▼. (b) ^{192}Hg, ^{194}Hg 的结果,实验值: ^{192}Hg ▼, ^{194}Hg: Band1 ×, Band2 ▲, Band3 ●

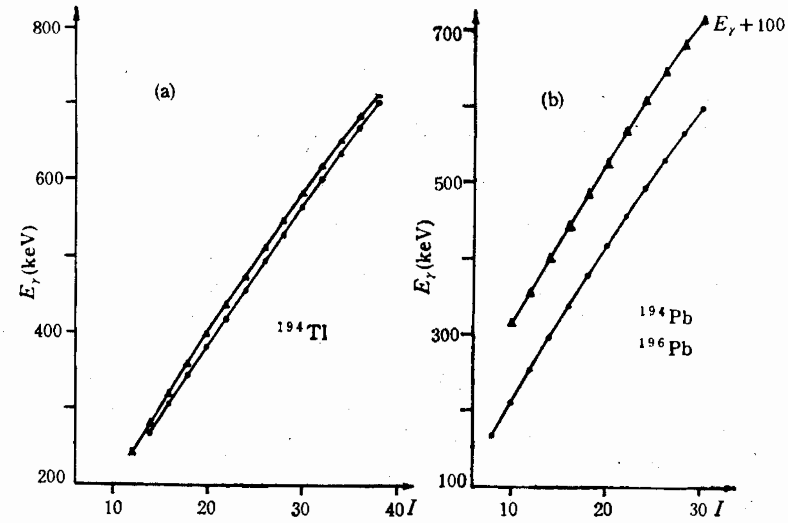

图 3　^{194}Tl, ^{194}Pb 和 ^{196}Pb 超形变带理论 $E_\gamma(I)$ 同实验值的比较. 计算参数见表 1. ^{196}Pb 向上移动了 100keV

(a) ^{194}Tl 的结果. 实验值: Band1●, Band2▲　(b) ^{194}Pb 和 ^{196}Pb 的结果.实验值: ^{194}Pb●, ^{196}Pb▲

带的自旋值是可靠的,不存在任意性. 2)我们决定的 A-190 区超形变带自旋值 I_{exit} 同文献[1,2]使用的相同,因此文献[3,4]对 I_{exit} 移动 $1\hbar$ 是不合适的,这样一个自然的结论就是:文献[1,2]对实验数据的分析是正确的,即在 A-190 区存在着一个 ^{192}Hg 族 (family), 由九条超形变带构成,其相对于 ^{192}Hg 的自旋顺排角动量在一相当大的转动频率范围内是量子化的[1,2]. 3) Becker[12]等人提出通过拟合一定转动频率 ω 范围内,如[ω_{exit}, ω_2] $\mathscr{J}^{(2)}$ 的实验数据,决定 Harris 展开系数,再在区间 [$0, \omega_{exit}$] 积分定退激自旋 I_{exit} 的方法,虽然存在某些不确定因素,但在 $A \sim 190$ 区由于退激转动频率较低,同时 $\mathscr{J}^{(2)}$ 是 ω 的光滑函数,对偶偶核定出的退激自旋 I_{exit} 是正确的. 但对奇 A 核及奇奇核,我们认为则应小心从事,而对 $A \sim 150$ 区的超形变核由于退激转动频率较高, Becker 的方法是否适用是值得研究的.

由(4)式我们定义转动频率

$$\omega(I) = \frac{1}{\hbar}\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}I_x}, \tag{5}$$

这里

$$I_x = \sqrt{I(I+1) - K^2}, \tag{6}$$

则

$$\hbar\omega(I) = \frac{a[b + 2cI(I+1)]I_x}{\sqrt{1 + bI(I+1) + cI^2(I+1)^2}}. \tag{7}$$

设 $I \gg K$,则

$$\hbar\omega(I) = \frac{a[b + 2cI(I+1)]\sqrt{I(I+1)}}{\sqrt{1 + bI(I+1) + cI^2(I+1)^2}}. \tag{8}$$

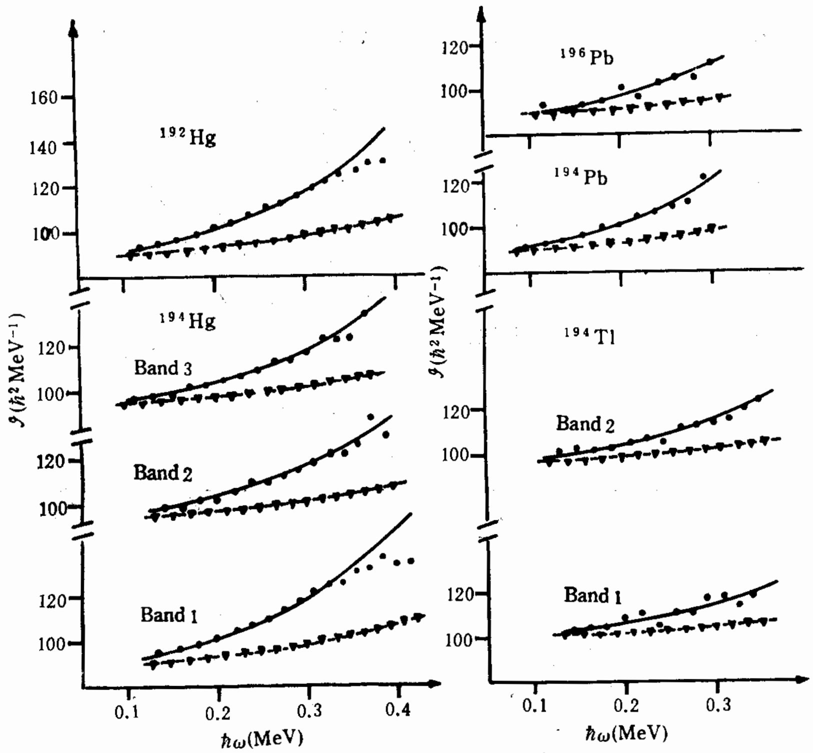

图 4　^{192}Hg, ^{194}Hg, ^{194}Tl, ^{194}Pb 和 ^{196}Pb 两类转动惯量理论值与实验值的比较，其中实线为 $\mathscr{J}^{(2)}$ 的理论值；虚线为 $\mathscr{J}^{(1)}$ 的理论值. 使用参数见表 1

实验值：● $\mathscr{J}^{(2)}$ ▼ $\mathscr{J}^{(1)}$

运动学转动惯量 $\mathscr{J}^{(1)}$ 和动力学转动惯量 $\mathscr{J}^{(2)}$ 分别为

$$\mathscr{J}^{(1)} = \frac{\hbar I_x}{\omega(I)} = \frac{\hbar^2}{a(b+2cI(I+1))}\sqrt{1+bI(I+1)+cI^2(I+1)^2}, \tag{9}$$

$$\mathscr{J}^{(2)} = \hbar\left(\frac{\mathrm{d}\omega(I)}{\mathrm{d}I_x}\right)^{-1} = \frac{\hbar^2}{a}\cdot\frac{[1+bI(I+1)+cI^2(I+1)^2]^{3/2}}{a+6cI(I+1)+3bcI^2(I+1)^2+2c^2I^3(I+1)^3}. \tag{10}$$

图 4、5 给出了计算的两类转动惯量 $\mathscr{J}^{(1)}$ 和 $\mathscr{J}^{(2)}$ 随 ω 的变化，并与实验值进行了比较. 运动学转动惯量 $\mathscr{J}^{(1)}$ 的实验值是用表 1 指定的自旋值，由 $\mathscr{J}^{(1)} = (2I-1)/E_\gamma$ 决定的. 由图可见：对 $A\sim190$ 区所有超形变带，$\mathscr{J}^{(1)}$ 和 $\mathscr{J}^{(2)}$ 的理论曲线很好地重现了实验值，给出了这一区域转动惯量随 ω 增加而增加的普遍特征. 对 ^{193}Hg 两条反常的带 ^{193}Hg(Band 1), ^{193}Hg(Band 4), $\mathscr{J}^{(2)}$ 理论曲线也给出了平均特征.

简短的结论：W-Z 公式在分析 $A\sim190$ 区超形变带的带结构是相当成功的，用它可以正确地决定超形变带的自旋值. 利用三参数公式使 $A\sim190$ 区所有超形变带的理论能谱 $E_\gamma(I)$, $\mathscr{J}^{(1)}$ 和 $\mathscr{J}^{(2)}$ 与实验值很好地符合.

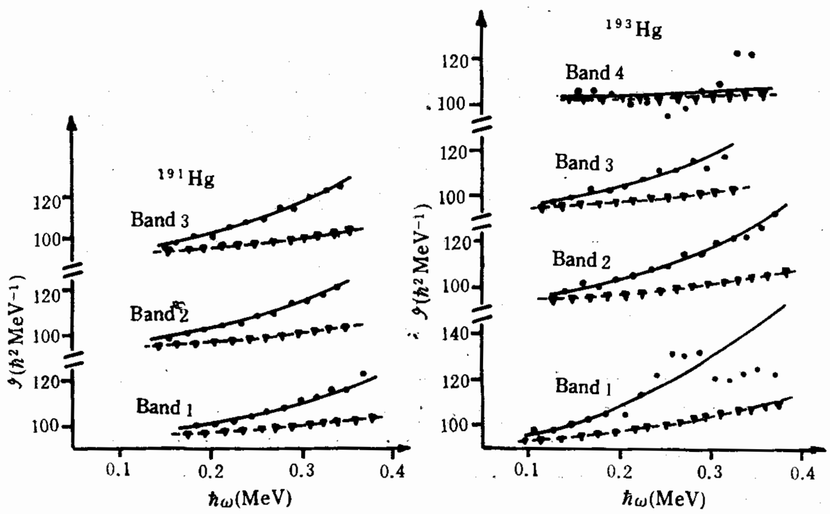

图 5　^{191}Hg, ^{193}Hg 两类转动惯量的理论值与实验值的比较、符号说明同图 4

参　考　文　献

[1] F. S. Stephens et al., *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990), 2623.
[2] F. S. Stephens et al., *Phys. Rev. Lett.*, **65**(1990), 301.
[3] C-L. Wu et al., Comment on "Spin Alignment in Superdeformed Hg Nuclei", Submitted to Phys. Rev. Lett.,
[4] C-L. Wu et al., Is There Non-Zero Quantized Spin Alignment in Superdeformed Nuclei, Submitted to Phys. Rev. Lett.
[5] 邢正，陈星蕖，高能物理与核物理，**15**(1991)，第11期，页码待定.
[6] 吴崇试，曾谨言，高能物理与核物理，**8**(1984)，219；**8**(1984)，445；**9**(1985)，77；**9**(1985)，214.
[7] C. S. Wu and J. Y. Zeng, *Commun in Theor. Phys.*, **8**(1987), 51.
[8] H. X. Huang, C. S. Wu and J. Y. Zeng, *Phys. Rev.*, **C39**(1989), 1617.
[9] F. X. Xu, C. S. Wu and J. Y. Zeng, *Phys. Rev.*, **C40**(1989), 2337.
[10] E. F. Moore et al., *Phys. Rev. Lett.*, **63**(1989), 360.
[11] M. P. Carpenter et al., *Phys. Lett.*, **B240**(1990), 44.
[12] J. A. Becker et al., *Phys. Rev.*, **C41**(1990), R9.
[13] D. Ye et al., *Phys. Rev.*, **C41**(1990), R13.
[14] E. A. Henry et al., *Z. Phys.*, **A335**(1990), 361.
[15] D. M. Cullen et al., *Phys. Rev. Lett.*, **65**(1990), 1547.
[16] C. W. Beausang et al., *Z. Phys.*, **A335**(1990), 325.
[17] M. A. Riley et al., *Nucl. Phys.*, **A512**(1990), 178.
[18] F. Azaiez et al., *Z. Phys.*, **A336**(1990), 243.
[19] K. Theine et al., *Z. Phys.*, **A336**(1990), 113.
[20] M. J. Brinkman et al., *Z. Phys.*, **A336**(1990), 115.

Phenomenological Analysis and Determination of Spins for Superdeformed Bands in the Mass-190 Region

CHEN XINGQU XING ZHENG
(*Department of Modern Physics, Lanzhou University*, 730000)

ABSTRACT

Fifteen superdeformed bands in seven nuclei of the mass-190 region are analyzed by means of the phenomenological model. An overall and excellent agreement between the calculated and observed spectra E_γ, kinematic moment of inertia $\mathscr{I}^{(1)}$ and dynamic moment of inertia $\mathscr{I}^{(2)}$ is obtained for all superdeformed bands in the mass-190 region.