

超形变带自旋的比较指定*

李明亮^{1,1)} 朱胜江¹ 徐辅新²

1 (清华大学物理系 北京 100084)

2 (安徽大学物理系 合肥 230039)

摘要 首次用 Bohr-Mottelson 公式和 Harris 公式同时指定 $A \approx 190$ 区超形变带的带首自旋值. 对大多数超形变带, 用以上两种方法指定的自旋是一致的, 而对部分超形变带则不一致. 不能一致地指定自旋的和自旋指定不符合带首转动惯量系统学的超形变带, 用带首转动惯量系统学或两类转动惯量系统学的方法重新指定其自旋. 利用指定的自旋, 拟合 Bohr-Mottelson 转动谱公式, 研究了参数之间的关系, 结果表明从 Harris 三参数公式导出的关系式更符合实验值.

关键词 超形变带 自旋指定 转动惯量 转动谱公式

1 引言

自从实验上观察到第一条超形变(SD)带 $^{152}\text{Dy}(1)^{[1]}$ 以来, 在 $A \approx 60, 80, 130, 150$ 以及 $A \approx 190$ 质量区已经观测到 200 多条超形变带. 目前, 除少数几条超形变带外, 绝大多数超形变带的自旋值在实验上还没有测出. 由于自旋是研究原子核超形变带物理性质的基础, 因此从理论上探讨超形变带的自旋指定问题对进一步了解超形变带的性质是很有意义的. 目前, 人们所提出的多种自旋指定方案大致可以分为三种: (1) 最佳拟合法; (2) 两类转动惯量随角动量的变化; (3) 带首转动惯量系统学. 这些方案都较好地描述了 $A \approx 190$ 质量区超形变带的能谱变化规律.

目前, 对超形变带转动谱的描述常用的是 Bohr-Mottelson 公式、Harris 公式和 ab 公式.

Bohr 根据对称性分析得出^[2], 在绝热近似下, 对于轴对称变形核 $K = 0$ (K 是原子核角动量 I 在对称轴上的投影)的转动带, 能级由下式给出:

$$E(I) = A\xi^2 + B\xi^4 + C\xi^6 + D\xi^8 + \dots, \quad (1)$$

其中 $\xi = \sqrt{I(I+1)}$. 对于 $K \neq 0$ 的带, 只需把 ξ 换为 $\xi = \sqrt{I(I+1) - K^2}$ 即可(但 $K = 1/2$ 带需考虑脱耦合项).

Harris 建议^[3]用 ω^2 展开代替 $I(I+1)$ 展开 ($\omega = dE/d\xi$ 是角频率):

$$E = \alpha\omega^2 + \beta\omega^4 + \gamma\omega^6 + \delta\omega^8 + \dots. \quad (2)$$

根据 Bohr 哈密顿量, 考虑稳定变形核的不大的非轴对称性以及振动的影响, 得出了一个简单的封闭的表达式(ab 公式)^[4]. 对于偶偶核转动带:

$$E(I) = a[\sqrt{1+bI(I+1)} - 1]. \quad (3)$$

根据(1), (2)或(3)式, 可求出相应的运动学和动力学转动惯量:

$$J^{(1)}/\hbar^2 = \xi \left(\frac{dE}{d\xi} \right)^{-1}, \quad J^{(2)}/\hbar^2 = \left(\frac{d^2E}{d\xi^2} \right)^{-1}. \quad (4)$$

可以根据实验测定的 E_γ , 按下述公式提取 $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$:

$$J^{(1)}(I-1)/\hbar^2 = (2I-1)/E_\gamma(I \rightarrow I-2), \quad (5)$$

$$J^{(2)}(I)/\hbar^2 = \frac{4}{\Delta E_\gamma(I)} = \frac{4}{E_\gamma(I+2 \rightarrow I) - E_\gamma(I \rightarrow I-2)}, \quad (6)$$

$$\omega(I-1) = \frac{E_\gamma(I)}{2\hbar}. \quad (7)$$

可以证明, 两类转动惯量随角动量(或角频率)的变化遵守下列几条规则($K = 1/2$ 带除外)^[5]:

2005 - 01 - 19 收稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077405), 国家自然科学基金(10375032)和教育部博士点基金(20030003090)资助

1) E-mail: liml03@mails.tsinghua.edu.cn

- (1) 当 $I \rightarrow 0$ 时, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 趋于同一个常数 J_0 (带首转动惯量);
- (2) $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 都随 I 单调增大, 或者都随 I 单调减小. 但 $d \ln J^{(2)} / d\xi \approx 3 d \ln J^{(1)} / d\xi$;
- (3) $J^{(1)}(\xi)$ 和 $J^{(2)}(\xi)$ 曲线决不相交, 或者都向上弯, 或者都向下弯;
- (4) $I \rightarrow 0$ 时, $dJ^{(1)} / d\xi \rightarrow 0, dJ^{(2)} / d\xi \rightarrow 0$.

另外, 对于正常形变带和超形变带的研究表明相邻核的带首转动惯量相似. 此规律称为带首转动惯量系统学^[5, 6].

2 $A \approx 190$ 区超形变带自旋的比较指定

2.1 比较指定

一种方法是 Harris 公式的 $J^{(1)}$ 最佳拟合法. 利用从(2)式导出的 Harris 转动惯量 3 参数公式

$$J^{(1)} = 2\alpha + \frac{4}{3}\beta\omega^2 + \frac{6}{5}\gamma\omega^4 \quad (8)$$

拟合实验提取的 $J_{\text{exp}}^{(1)}(I-1)$ 值, 其中 $J_{\text{exp}}^{(1)}$ 由(5)式算出. 从(5)式可以看出, $J_{\text{exp}}^{(1)}(I-1)$ 的值与能级自旋密切相

关. 所以通过选择合适的带首自旋, 使 $J^{(1)}$ 的计算值与其实验提取的 $J_{\text{exp}}^{(1)}$ 值拟合的方均根差最小, 即可定出超形变带的能级自旋. 我们利用(8)和(5)式, 通过最小二乘法对 $A \approx 190$ 区 SD 带的运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 进行了系统的拟合, 结果见表 1. 表 1 的第 7 列是拟合时所取的带首自旋的参考值 I_f , 拟合的精度取为 1%; 第 8 列 I_0 是最接近 I_f 的整数(半整数), 依赖于相应 SD 带的 (A, Z) , I_0 被认为是相应 SD 带的带首物理自旋, 第 9 列 J_0 是提取的带首转动惯量, 第 10 列是拟合精度

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i [J_{\text{cal}}^{(1)}(i) - J_{\text{exp}}^{(1)}(i)]^2}. \quad (9)$$

另一种方法是用四参数 Bohr-Mottelson 转动谱公式

$$E(I) = AI(I+1) + B[I(I+1)]^2 + C[I(I+1)]^3 + D[I(I+1)]^4 \quad (10)$$

指定自旋, 方法同上. 表 1 的第 3 到第 6 列是 Bohr-Mottelson 公式指定的结果. 第 11 列标记两种自旋指定是否一致. 第 12 列是本文最终指定的带首自旋. 本文中其他表格, 即表 2—5 的格式和表 1 相同.

表 1 $A \approx 190$ 区偶偶核超形变晕带自旋指定

SD 带	$E_\gamma(I_0+2 \rightarrow I_0)$ /keV(实验值)	Bohr-Mottelson 公式指定				Harris 公式指定				是否一致	最终指定
		I_f	I_0	J_0	σ_{E_γ}	I_f	I_0	J_0	σ_{J_1}		
^{190}Hg	316.9	11.96	12	82.1	0.1	12.80	13	90.4	12.9	no	12
^{192}Hg	214.8	8.15	8	87.3	0.3	7.99	8	86.9	3.3	yes	8
^{194}Hg	211.1	8.06	8	88.9	0.1	7.81	8	88.4	15.0	yes	8
^{192}Pb	214.8	7.18	7	75.6	0.6	7.24	7	75.5	26.2	yes	8
^{194}Pb	124.9	4.03	4	87.6	0.2	4.00	4	87.6	4.4	yes	4
^{196}Pb	171.4	6.14	6	87.2	0.4	6.16	6	87.3	13.1	yes	6
^{198}Pb	305.1	12.07	12	86.8	0.5	12.42	12	87.2	12.4	yes	12
^{198}Po	175.9	6.19	6	84.2	0.2	6.11	6	84.2	8.2	yes	6

2.2 偶偶核晕带

对 $A \approx 190$ 区偶偶核超形变晕带, 自旋指定结果见表 1. 从表 1 可以看出, 用两种方法拟合结果仅对 ^{190}Hg 的指定有分歧. 对 ^{192}Pb 的指定虽然一致, 但显然偏离带首转动惯量的系统学(带首转动惯量大约在 $81-91\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$), 所以须重新考察. 我们发现当指定 ^{192}Pb 的 $I_0 = 8$ 时, 带首转动惯量为 $85.8\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$, 符合带首转动惯量系统学. 而当 $I_0 = 6, 7$ 或 $9, 10$ 时, 带首转动惯量不符合系统学.

对 ^{190}Hg , 用 Bohr-Mottelson 公式指定的自旋是 12, 用 Harris 公式的 $J^{(1)}$ 拟合法指定的自旋为 13. 假定带首自旋为 12 或 13, 我们按式(5), (6)提取两类转动惯量, 如图 1 所示.

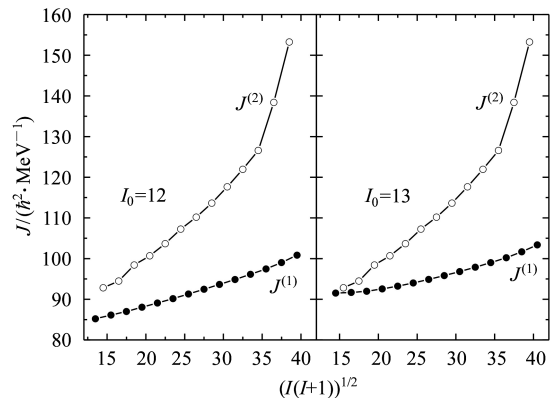


图 1 ^{190}Hg 的两类转动惯量随角动量的变化

显然, 指定 $I_0 = 12$ 符合转动惯量系统学, 而 $I_0 = 13$ 则不符合.

2.3 偶偶核激发带

对 $A \approx 190$ 区偶偶核超形变激发带, 自旋指定结果见表 2. 从表 2 的比较可以看出, 两公式对部分 SD 带的自旋指定一致, 且符合带首转动惯量系统学(带首转动惯量大约在 $91-97\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$). 而另一部分 SD 带用两种公式不能一致地指定, 我们用带首转动惯量系统学进一步分析. 我们指定: $^{190}\text{Hg}(2)$ 的 $I_0 = 25$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 94.3\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{190}\text{Hg}(3)$ 的 $I_0 = 14$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 96.2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{192}\text{Hg}(3)$ 的

$I_0 = 15$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 96.7\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{194}\text{Pb}(2a)$ 的 $I_0 = 10$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 93.2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{194}\text{Pb}(2b)$ 的 $I_0 = 11$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 93.8\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; 与其 signature 伙伴带 $^{194}\text{Pb}(2a)$ 的带首转动惯量非常相似. 当这些自旋指定值加 1 或减 1 时, 带首转动惯量将偏离系统学规律. 而 $^{190}\text{Hg}(4)$ 的带首转动惯量对带首自旋不太敏感, 自旋指定值加 1 或减 1, 带首转动惯量仅改变约 $2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$, 这是很少见的. 我们尚不能指定其自旋.

表 2 $A \approx 190$ 区偶偶核超形变激发带自旋指定

SD带	$E_\gamma(I_0 + 2 \rightarrow I_0)$ /keV(实验值)	Bohr-Mottelson 公式指定				Harris 公式指定				是否一致	最终指定
		I_f	I_0	J_0	σ_{E_γ}	I_f	I_0	J_0	σ_{J_1}		
$^{190}\text{Hg}(2)$	481.1	27.46	27	104.8	0.2	38.98	39	190.8	3.1	no	25
$^{190}\text{Hg}(3)$	318	13.4	13	87.4	0.2	13.67	14	96.2	5.5	no	14
$^{190}\text{Hg}(4)$	446.3	21.49	21	76	3.1	50.1	50	271.8	90.4	no	
$^{192}\text{Hg}(2)^*$	241.2	9.56	10	93.6	0.3	10.14	10	94.3	9.7	yes	10
$^{192}\text{Hg}(3)$	333.1	13.34	13	81.3	0.2	18.1	18	124.4	30.7	no	15
$^{194}\text{Hg}(2a)$	200.8	7.99	8	93.8	0.1	7.88	8	93.6	9.8	yes	8
$^{194}\text{Hg}(2b)$	262.3	11.05	11	93.9	0.1	10.85	11	93.7	7.1	yes	11
$^{194}\text{Pb}(2a)$	241.2	10.06	10	93.2	0.3	10.87	11	105	10.0	no	10
$^{194}\text{Pb}(2b)$	260.9	9.97	10	83.6	0.3	10.69	11	94.1	11.1	no	11
$^{196}\text{Pb}(2a)$	204.6	7.86	8	91.6	0.3	7.74	8	91.5	13.9	yes	8
$^{196}\text{Pb}(2b)$	226.8	9.47	9	91.6	0.4	9.29	9	91.6	11.5	yes	9

*后 7 条 γ 跃迁被略掉.

目前, $A \approx 190$ 区已被实验测定自旋的超形变带有 $^{194}\text{Hg}^{[7]}$ 和 $^{194}\text{Pb}^{[8-10]}$, 我们指定的自旋都与实验测定值完全符合.

2.4 奇 A 核

对 $A \approx 190$ 区奇 Z 核超形变带, 自旋指定结果见表 3. 除 $^{193}\text{Tl}(2)$ 和 $^{193}\text{Tl}(3)$ 外, 两种公式指定的自旋均相符. 然而其中的 $^{191}\text{Au}(2a)$ 和 $^{193}\text{Tl}(4)$ 的带首转动惯量显然偏离系统学, 需要对其自旋重新指定. 除以

上 4 个 SD 带外, 其余 SD 带的自旋都被一致指定, 且带首转动惯量符合系统学规律(带首转动惯量大约在 $89-96\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$). 对这 4 个带, 我们对其自旋进行重新指定: $^{193}\text{Tl}(2)$ 的 $I_0 = 7.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 95.4\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{193}\text{Tl}(3)$ 的 $I_0 = 10.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 93.8\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{191}\text{Au}(2a)$ 的 $I_0 = 17.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 92.7\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{193}\text{Tl}(4)$ 的 $I_0 = 11.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 94.0\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$.

表 3 $A \approx 190$ 区奇 Z 核超形变带自旋指定

SD带	$E_\gamma(I_0 + 2 \rightarrow I_0)$ /keV(实验值)	Bohr-Mottelson 公式指定				Harris 公式指定				是否一致	最终指定
		I_f	I_0	J_0	σ_{E_γ}	I_f	I_0	J_0	σ_{J_1}		
$^{191}\text{Au}(1)$	186.8	7.16	7.5	94.8	0.6	7.03	7.5	94.8	34.5	yes	7.5
$^{191}\text{Au}(2a)$	397.9	16.68	16.5	85.8	0.2	16.67	16.5	85.8	4.3	yes	17.5
$^{191}\text{Au}(2b)$	382.8	16.53	16.5	89.9	0.2	16.95	16.5	90	6.0	yes	16.5
$^{191}\text{Tl}(a)$	277	11.14	11.5	92.5	0.3	11.56	11.5	92.8	7.2	yes	11.5
$^{191}\text{Tl}(b)$	296	12.23	12.5	93.5	0.2	12.43	12.5	93.6	5.0	yes	12.5
$^{193}\text{Tl}(1a)$	227.3	9.38	9.5	95.9	0.2	9.27	9.5	95.7	10.5	yes	9.5
$^{193}\text{Tl}(1b)$	206.6	8.43	8.5	96	0.2	8.29	8.5	95.8	13.3	yes	8.5
$^{193}\text{Tl}(2)$	187.9	6.8	6.5	84.4	0.8	7.43	7.5	95.4	40.2	no	7.5
$^{193}\text{Tl}(3)$	250.8	11.02	11.5	105.9	0.5	9.52	9.5	85	23.3	no	10.5
$^{193}\text{Tl}(4)$	271.5	10.83	10.5	85.7	0.2	10.66	10.5	85.4	4.7	yes	11.5
$^{195}\text{Tl}(a)$	146.2	5.48	5.5	95.3	0.3	5.45	5.5	95.3	11.2	yes	5.5
$^{195}\text{Tl}(b)$	167.5	6.57	6.5	95.4	0.2	6.45	6.5	95.1	15.6	yes	6.5

表 4 $A \approx 190$ 区奇 N 核超形变带自旋指定

SD带	$E_{\gamma}(I_0+2 \rightarrow I_0)$ /keV	Bohr-Mottelson 公式指定				Harris 公式指定				是否一致	最终指定
		I_f	I_0	J_0	$\sigma_{E_{\gamma}}$	I_f	I_0	J_0	σ_{J_1}		
$^{189}\text{Hg}(1)$	366.2	14.26	14.5	83.1	0.2	16.15	16.5	99.3	7.6	no	15.5
$^{191}\text{Hg}(1a)$	311	13.29	13.5	95.6	0.1	13.08	13.5	95.2	7.6	yes	13.5
$^{191}\text{Hg}(1b)$	281	11.41	11.5	93	0.3	11.33	11.5	92.7	8.2	yes	11.5
$^{191}\text{Hg}(2a)$	252.4	11.46	11.5	104.4	3.0	10.73	10.5	94.5	60.7	no	10.5
$^{191}\text{Hg}(2b)$	272	11.36	11.5	93.8	0.2	11.3	11.5	93.8	6.5	yes	11.5
$^{193}\text{Hg}(1a)$	233.2	8.82	8.5	83.9	1.4	8.76	8.5	82.6	43.2	yes	9.5
$^{193}\text{Hg}(1b)$	254	10.48	10.5	93.1	0.2	10.37	10.5	92.9	7.1	yes	10.5
$^{193}\text{Hg}(2a)$	233.5	9.52	9.5	92.8	0.4	9.48	9.5	92.8	7.6	yes	9.5
$^{193}\text{Hg}(3a)$	291	17.99	17.5	151.5	1.0	14.55	14.5	112.8	33.5	no	11.5
$^{193}\text{Hg}(3b)$	240.5	9.9	9.5	91.2	0.4	9.88	9.5	91.3	16.0	yes	9.5
$^{195}\text{Hg}(1a)$	333.9	14.46	14.5	92.9	0.2	14.08	14.5	92.6	7.2	yes	14.5
$^{195}\text{Hg}(1b)$	273.9	11.45	11.5	93	0.2	11.1	11.5	92.6	13.4	yes	11.5
$^{195}\text{Hg}(2)$	284.5	11.89	11.5	89.7	0.6	13.55	13.5	107	39.8	no	11.5
$^{195}\text{Hg}(3)$	341.9	15.58	15.5	98.1	0.2	15.11	15.5	97.7	7.6	yes	14.5
$^{193}\text{Pb}(1a)$	276.9	15.99	15.5	135.3	4.5	14.74	14.5	119.7	118.4	no	11.5
$^{193}\text{Pb}(1b)$	190.5	7.58	7.5	95.2	0.5	7.42	7.5	94.7	14.5	yes	7.5
$^{193}\text{Pb}(2a)$	250.6	10.21	10.5	94.8	0.2	10.33	10.5	94.8	6.1	yes	10.5
$^{193}\text{Pb}(2b)$	273	11.49	11.5	93.4	0.2	11.37	11.5	93.3	4.8	yes	11.5
$^{193}\text{Pb}(3a)$	213.2	8.58	8.5	92.7	0.3	8.47	8.5	92.7	6.4	yes	8.5
$^{193}\text{Pb}(3b)$	233	9.06	9.5	92.5	0.5	9.1	9.5	92.6	17.9	yes	9.5
$^{195}\text{Pb}(1)$	182.1	7.53	7.5	98.4	0.1	7.56	7.5	98.5	4.9	yes	7.5
$^{195}\text{Pb}(2)$	162.6	6.63	6.5	98.8	0.2	6.53	6.5	98.6	5.1	yes	6.5
$^{195}\text{Pb}(3)$	198.2	8.36	8.5	101.6	0.5	8.24	8.5	101.1	0.2	yes	7.5
$^{195}\text{Pb}(4)$	213.6	7.93	7.5	81.5	0.8	8.21	8.5	92.2	0.2	no	8.5
$^{197}\text{Pb}(a)$	184.4	7.48	7.5	97.3	0.2	7.58	7.5	97.5	0.1	yes	7.5
$^{197}\text{Pb}(b)$	205.5	8.58	8.5	97.6	0.2	8.59	8.5	97.6	0.1	yes	8.5

对 $A \approx 190$ 区奇 N 核超形变带，自旋指定结果见表 4。除 6 个带指定有差别外，其余 20 个带指定一致。但被一致指定的 $^{193}\text{Hg}(1a)$ ， $^{195}\text{Hg}(3)$ 和 $^{195}\text{Pb}(3)$ 的带首转动惯量显然偏离系统学，需要重新指定。除这 9 个超形变带外，其余 15 超形变带的自旋都被一致指定，且带首转动惯量符合系统学(带首转动惯量大约在 $90-99\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$)。对于不一致的 6 个带，我们重新进行指定： $^{189}\text{Hg}(1)$ 的 $I_0 = 15.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 90.8\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ ； $^{191}\text{Hg}(2a)$ 的 $I_0 = 10.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 95.1\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ ； $^{195}\text{Pb}(3)$ 的 $I_0 = 7.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 90.6\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ ； $^{195}\text{Pb}(4)$ 的 $I_0 = 8.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 92.2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ ； $^{193}\text{Hg}(1a)$ 的 $I_0 = 9.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 91.0\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ ；(与伙伴带 $^{193}\text{Hg}(1b)$ 的带首转动惯量最接近)； $^{193}\text{Hg}(3a)$ 的 $I_0 = 11.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 89.7\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ (与伙伴带 $^{193}\text{Hg}(3b)$ 的带首转动惯量最接近)； $^{193}\text{Pb}(1a)$ 的 $I_0 = 11.5$ ，相应的带首转动惯量 $J_0 = 94.0\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ (与伙伴带 $^{193}\text{Pb}(1b)$ 的带首转动惯量极相似)。而 $^{195}\text{Hg}(2)$ 和 $^{195}\text{Hg}(3)$ 的带首转动惯量落在系统学范围($90-99\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$)内的自旋指定都有两个值，下面我们用两类转动惯量的变化规

律(如图 2)来鉴别之。

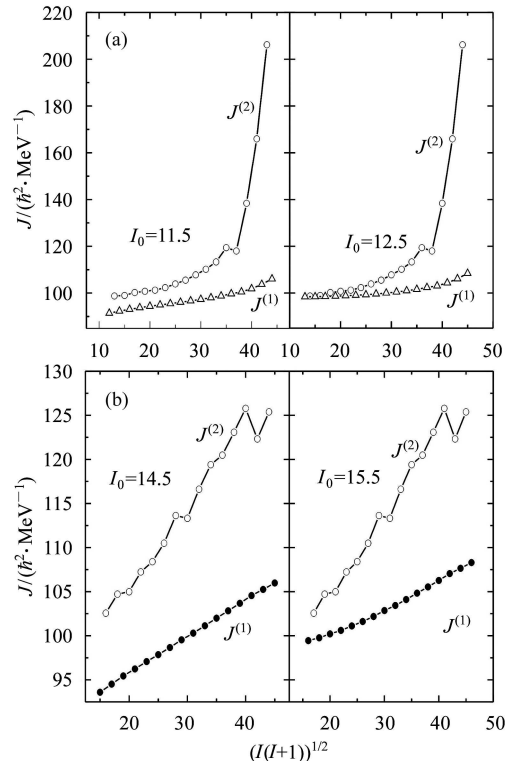


图 2 $^{195}\text{Hg}(2)$ (a)和 $^{195}\text{Hg}(3)$ (b)的两类转动惯量随角动量的变化

从两类转动惯量应服从的规律, 我们指定: $^{195}\text{Hg}(2)$ 的自旋 $I_0 = 11.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 91.6\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{195}\text{Hg}(3)$ 的自旋 $I_0 = 14.5$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 90.7\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$.

2.5 奇奇核

对 $A \approx 190$ 区奇奇核超形变带, 自旋指定结果见表 5. 两种方法指定自旋的结果完全相同, 但 $^{192}\text{Tl}(1a)$, $^{192}\text{Tl}(1b)$, $^{194}\text{Tl}(2a)$, $^{194}\text{Tl}(2b)$ 和 ^{196}Bi 带首转动惯量不符合系统学(带首转动惯量大约在 $90-104\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$), 需要重新指定自旋. 我们指定: ^{196}Bi 的带首自旋为 $I_0 = 6$, 相应的带首转动惯量 $J_0 =$

$90.2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$. 其余 4 个带是两对 signature 伙伴带, 文献[6]采用跃迁能量光滑化的方法, 用 ab 公式指定了 190 区奇奇核的自旋, 并给出了带首转动惯量. 这里参考该文提取的带首转动惯量值: $J_0(^{192}\text{Tl}(1a, 1b)) = 103.2\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$, $J_0(^{194}\text{Tl}(2a, 2b)) = 95.7\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$. 我们指定: $^{192}\text{Tl}(1a)$ 的带首自旋 $I_0 = 13$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 102.0\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{192}\text{Tl}(1b)$ 的带首自旋 $I_0 = 16$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 103.1\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{194}\text{Tl}(2a)$ 的带首自旋 $I_0 = 10$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 94.6\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$; $^{194}\text{Tl}(2b)$ 的带首自旋 $I_0 = 9$, 相应的带首转动惯量 $J_0 = 94.6\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$. 而且都满足伙伴带带首转动惯量相似的特征.

表 5 $A \approx 190$ 区奇奇核超形变带自旋指定

SD带	$E_\gamma(I_0+2 \rightarrow I_0)$ /keV	Bohr-Mottelson公式指定				Harris公式指定				是否一致	最终指定
		I_f	I_0	J_0	σ_{E_γ}	I_f	I_0	J_0	σ_{J_1}		
$^{192}\text{Tl}(1a)$	283	14.18	14	112	0.2	13.8	14	111.3	5.7	yes	13
$^{192}\text{Tl}(1b)$	337.5	17.34	17	112.3	0.2	16.58	17	111.3	6.0	yes	16
$^{192}\text{Tl}(2a)$	233.4	9.72	10	97.4	0.5	9.74	10	97.3	12.7	yes	10
$^{192}\text{Tl}(2b)$	213.4	8.93	9	97.5	0.2	8.87	9	97.5	7.1	yes	9
$^{194}\text{Tl}(1a)$	268	12.14	12	99.8	0.5	11.88	12	99.7	11.9	yes	12
$^{194}\text{Tl}(1b)$	209.3	9	9	99.7	0.2	8.97	9	99.7	4.3	yes	9
$^{194}\text{Tl}(2a)$	240.5	10.57	11	104.6	0.4	10.56	11	104.1	15.0	yes	10
$^{194}\text{Tl}(2b)$	220.3	9.45	9	94.6	0.5	9.3	9	94.6	16.0	yes	9
$^{194}\text{Tl}(3a)$	187.9	8.11	8	100.2	0.3	8.24	8	100.6	13.6	yes	8
$^{194}\text{Tl}(3b)$	207	8.74	9	99.9	0.4	9.23	9	100.7	15.8	yes	9
^{196}Bi	166.2	6.39	6	90	0.5	6.39	6	90.2	28.3	yes	7

3 Bohr-Mottelson 转动谱公式参数之间的关系

我们从 Harris 三参数展开

$$E = \alpha\omega^2 + \beta\omega^4 + \gamma\omega^6, \quad (11)$$

曾经导出 Bohr-Mottelson 转动谱公式参数之间的一个新关系^[11]

$$12(ABC - 2B^3)/A^2D = 1, \quad (12)$$

而从 ab 公式导出的结果是

$$12(ABC - 2B^3)/A^2D = 0. \quad (13)$$

这里利用新指定的自旋, 用 Bohr-Mottelson 四参数转动谱公式拟合 190 区全部的超形变带, 获得参数 A, B, C 和 D , 提取了 $12(ABC - 2B^3)/A^2D$ 的值, 如图 3 所示(个别严重偏离的数据被舍去).

从图中不难看出: 对超形变带, 从 Harris 三参数公式导出的新关系式(12)较 ab 公式的推论式(13)更符合实验提取值. 这和文献[11]的结论是一致的.

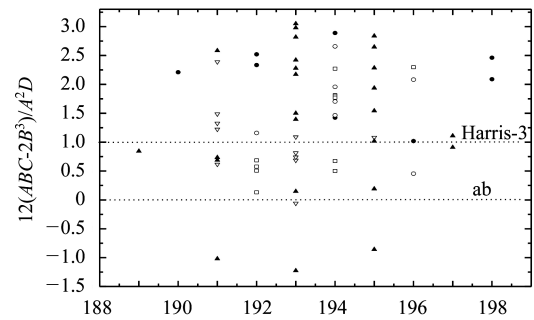


图 3 190 区超形变带的 $12(ABC - 2B^3)/A^2D$ 与 A 的关系

● 偶偶核 SD 晕带, ○ 偶偶核 SD 激发带, ▽ 奇 Z 核 SD 带, ▲ 奇 N 核 SD 带, □ 奇奇核 SD 带.

4 结论

用 Bohr-Mottelson 公式和 Harris 公式来同时指定 $A \approx 190$ 区超形变带的自旋值. 用两种方法指定的大多数转动带的自旋值是一致的. 但是, 对偶偶核激发带, 两种方法指定的自旋值不一致较多.

用两种公式指定的自旋如果一致, 且提取的带首

转动惯量符合系统学要求, 就可以较有把握地指定自旋了. 如果两公式自旋指定一致, 但提取的带首转动惯量不符合系统学的要求, 要重新指定自旋. 对两公式不能一致地指定自旋的 SD 带和或自旋指定不符合系统学规律的 SD 带, 可以根据带首转动惯量系统学, 甚至或利用两类转动惯量随角动量变化规律重新进行

自旋指定. 对于 signature 伙伴带, 自旋指定还可以利用伙伴带之间转动惯量相似性的特点来实现.

当然, 本方法同样适用于其他转动谱公式之间的比较指定, 比如用 ab 公式和 Bohr-Mottelson 公式或 Harris 公式之间进行比较指定. 同样地, 我们可以用本文的方法来指定其他超形变核区的自旋.

参考文献(References)

- 1 Twin P J et al. Phys. Rev. Lett., 1986, **57**: 811
- 2 Bohr A, Mottelson B R. Nuclear Structure(Vol. II). New York: Benjamin, 1975
- 3 Harris S M. Phys. Rev. Lett., 1964, **13**: 663; Phys. Rev., 1965, **B138**: 509
- 4 WU C S, ZENG J Y. Common in Theory Phys. (Beijing), 1987, **8**: 51
- 5 LEI Y A, LIN C Z, ZENG J Y. HEP & NP, 1997, **21**: 648—656 (in Chinese)
- 6 WU Chong-Shi, ZHOU Zhi-Ning. HEP & NP, 1999, **23**: 1209—1215 (in Chinese)
(吴崇试, 周治宁. 高能物理与核物理, 1999, **23**: 1209—1215)
- 7 Khoo T L et al. Phys. Rev. Lett., 1996, **76**: 1583
- 8 Hauschild K et al. Phys. Rev., 1997, **C55**: 2819
- 9 Lopez-Martens A et al. Phys. Lett., 1991, **B380**: 18
- 10 Brinkman M J et al. Phys. Rev., 1991, **C53**: R1461
- 11 LI Ming-Liang, XU Fu-Xin. HEP & NP, 2003, **27**: 511—514 (in Chinese)
(李明亮, 徐辅新. 高能物理与核物理, 2003, **27**: 511—514)

Comparative Assignments of Spin of Superdeformed Bands*

LI Ming-Liang^{1:1)} ZHU Sheng-Jiang¹ XU Fu-Xin²

1 (Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

2 (Department of Physics, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract The spin values of the superdeformed (SD) bands in $A \approx 190$ region have been assigned by comparing the fitting results of Bohr-Mottelson and Harris formulas. The assigned spin values in most of the SD bands are consistent in the both fitting results. For the superdeformed bands whose spin cannot be assigned consistently by the two formulas or the bands whose spin assignment doesn't accord with bandhead moments of inertial systematics, we assign their spin using moments of inertial systematics. By using our assigned spin values, the relation of parameters of Bohr-Mottelson formula has been examined. The results show that the relation deduced from three-parameter Harris formula is closer to the experiment than the relation deduced from ab formula.

Key words superdeformed band, spin assignment, moment of inertial, rotational spectra formula

Received 19 January 2005

*Supported by Major State Basic Research Development Program (G2000077405), National Natural Science Foundation of China (10375032) and Doctoral Fund of Ministry of Education of China(20030003090)

1) E-mail: liml03@mails.tsinghua.edu.cn