

关于 $A \approx 190$ 核区奇质量核超形变转动单带 自旋指定的讨论*

狄尧民¹⁾

(徐州师范大学物理系 徐州 221009)

摘要 不拘泥在 $I(I+1)$ 展开式中究竟取几项(即采用三参数还是四参数),而是着重看其收敛过程,并在此基础上用物理量拟合法和带首转动惯量系统学等方法对 $A \approx 190$ 核区奇质量核的超形变转动单带的自旋指定做了综合分析和讨论,给出了结果并与其他文献做了比较.

关键词 超形变核态 $A \approx 190$ 核区 奇质量核 自旋的指定 带首转动惯量系统学

1 引言

对于 $A \approx 190$ 核区超形变转动带的自旋的指定已经有了不少讨论,我们在文献[1]中用 $I(I+1)$ 展开对该核区偶偶核的超形变转动带的自旋指定做了综合分析,在文献[2]中又对该核区的奇质量核 signature 伙伴带的自旋指定做了讨论,本文将对该核区的奇质量核的其余超形变转动带的自旋指定做综合分析.

对于奇质量核,虽然由于单粒子自由度与集体自由度耦合,脱耦合效应或多或少地存在,但脱耦合项的参数需要对 signature 伙伴带进行双带分析时确定^[2,3]. 在缺少 signature 伙伴的情况下只能进行通常的单带分析. 正如我们已经在文献[2]中分析指出:即使是对 signature 伙伴带,单带分析也是非常行之有效的. 这说明在一般情况下脱耦合效应是很小的,强耦合极限是一个很好的近似. 与文献[1,2]类同,在用 $I(I+1)$ 展开来拟合超形变转动带的 γ 跃迁的能量时,还计算相应的带首转动惯量,进行系统学分析. 用物理量拟合法进行分析时并不拘泥在展开式中究竟取几项,而是着重看其收敛过程. 对于少数难以判断的情形,还要考虑它偏离典型转动带的程度,进行特殊分析.

分析表明, signature 伙伴带应该有非常接近的第二类转动惯量^[3]. 根据这一判据,对于¹⁹¹Hg(1a-1b),¹⁹³Hg(1a-1b),¹⁹³Hg(3a-3b)和¹⁸⁹Ti(a-b),每对中的两带的第二类转动惯量有较大差异,将它们分开作为单独的带来处理;而¹⁹⁵Pb(1,2)的第二类转动惯量相近,则作为 signature 伙伴带来处理并已在文献[2]中做了讨论. 为此这里对该核区 18 条单独的奇质量核超形变转动带的自旋指定做了综合分析. 有关实验数据均根据参考文献[4],超形变转动带的标记也与该文献的相同.

2 物理量拟合法分析

与文献[1,2]中的单带分析类同,用三参数、四参数、五参数的展开,即在 $I(I+1)$ 展开中分别取三、四、五项,来拟合奇质量核超形变转动单带的 γ 跃迁能量. 对于数据较少的¹⁸⁹Hg(a),¹⁸⁹Ti(a),¹⁸⁹Ti(b)和¹⁹⁷Bi 带,我们用二参数、三参数、四参数的展开来拟合;对于数据特别少的¹⁹⁵Bi 带,用二参数、三参数的展开来拟合.¹⁹⁵Pb(3),¹⁹³Hg(1a)和¹⁹³Hg(3a)带需要特殊分析,对其余 15 条带有关的数据分析和计算结果列于表 1 之中.

从表 1 的数据可以看出,在该核区的 15 条单独

2002-08-08 收稿

* 江苏省教育厅自然科学基金资助

1) E-mail: yaomind@hotmail.com

的超形变转动带中,有 11 条最佳拟合完全一致,因此可以认为用该法可以完全确定 11 条带的自旋.

表 1 奇质量核超形变转动单带自旋指定的物理量拟合分析

超形变转动带	$E(I+2-I)$ /keV	I	3 参数	4 参数	5 参数	最佳拟合次数
¹⁹¹ Au(1)	186.8	6.5	2.3067	1.3862	0.8578	3
		7.5	0.8370	0.6391	0.4869	
		8.5	3.3567	2.2126	1.3721	
¹⁸⁹ Hg(2,3,4)	366.2	13.5			0.2262	1
		14.5	1.1341	0.7488	0.1509	
		15.5	0.7300	0.3680	0.2572	
¹⁹¹ Hg(1a)	310.9	16.5	1.9608	0.3830	0.3655	2
		12.5	0.7106	0.3770	0.1853	
		13.5	0.3812	0.1099	0.0645	
¹⁹¹ Hg(1b)	280.9	14.5	1.2471	0.4459	0.1805	3
		10.5	0.8132	0.6622	0.4808	
		11.5	0.7933	0.3296	0.3148	
¹⁹³ Hg(3b)	240.5	12.5	1.7986	0.6113	0.3381	3
		8.5	2.7167	1.6798	1.0355	
		9.5	0.5496	0.4371	0.3170	
¹⁹⁵ Hg(2)	244.0	10.5	1.2995	0.5536	0.3882	3
		9.5	1.7536	0.8565	0.6181	
		10.5	0.3480	0.3326	0.2876	
¹⁹⁵ Hg(3)	341.9	11.5	1.3701	0.8448	0.3882	3
		14.5	0.9374	0.5094	0.3599	
		15.5	0.3244	0.2220	0.2003	
¹⁸⁹ Ti(a)(2,3,4)	326.3	16.5	1.2223	0.5094	0.2178	3
		12.5	1.9952	0.8494	0.2808	
		13.5	0.2310	0.2184	0.0964	
¹⁸⁹ Ti(b)(2,3,4)	304.5	14.5	1.4575	0.3288	0.1660	3
		11.5	2.2541	1.1130	0.7723	
		12.5	0.6149	0.6074	0.5947	
¹⁹³ Ti(2)	187.9	13.5	1.6471	0.6623	0.5213	2
		14.5		0.5082	1	
		6.5	1.4894	0.8549	0.4882	
¹⁹³ Ti(3)	250.8	7.5	0.7436	0.4117	0.2475	3
		8.5	2.4646	1.2785	0.6874	
		9.5	0.9960	0.4764	0.1903	
¹⁹³ Ti(4)	271.5	9.5	0.2919	0.1321	0.1159	3
		11.5	1.2383	0.4974	0.2591	
		9.5		0.9798	0.4165	
¹⁹⁵ Pb(4)	213.58	10.5	0.7243	0.2503	0.1209	2
		11.5	0.5730	0.3751	0.2496	
		12.5	1.5401	0.7648	0.4021	
¹⁹⁵ Bi(2,3)	261.5	6.5		1.7757		2
		7.5	1.8630	0.7594	0.7090	
		8.5	0.8091	0.7741	0.6148	
¹⁹⁷ Bi(2,3,4)	186.7	9.5	1.5214	1.2144	0.6927	1
		10.5	0.8027	0.5018		
		11.5	0.6886	0.3094		
¹⁹⁷ Bi(2,3,4)	186.7	12.5	1.6843	0.4010		2
		6.5	2.8651	1.3529	0.7862	
		7.5	0.4500	0.4159	0.3722	
		8.5	2.7512	1.2949	0.6087	3

注:黑体表示自旋可以惟一确定的值,相关的数据均为方根误差,单位为 keV.

3 带首转动惯量系统学分析

利用拟合 γ 跃迁的能量所得到的参数,可用来计算带首转动惯量,计算结果列于表 2 之中.从这些数据可以看出带首转动惯量系统学分析具有较好

表 2 奇质量核超形变转动单带自旋指定的带首转动惯量系统学分析

超形变转动带	$E(I+2-I)$ /keV	I	3 参数	4 参数	5 参数
¹⁹¹ Au(1)	186.8	6.5	87.72	86.42	85.41
		7.5	94.42	94.86	95.35
		8.5	101.59	104.14	106.56
¹⁸⁹ Hg(2,3,4)	366.2	14.5	85.84	85.01	83.26
		15.5	90.90	91.62	90.83
		16.5	96.13	98.68	99.11
¹⁹¹ Hg(1a)	310.9	12.5	88.52	87.76	86.96
		13.5	95.03	95.60	95.88
		14.5	101.94	104.15	105.83
¹⁹¹ Hg(1b)	280.9	10.5	85.00	84.48	83.60
		11.5	91.99	92.96	93.21
		12.5	99.48	102.31	104.04
¹⁹³ Hg(3b)	240.5	8.5	84.86	83.18	81.65
		9.5	91.57	91.26	90.81
		10.5	98.74	100.10	101.05
¹⁹⁵ Hg(2)	244.0	9.5	90.94	89.42	88.49
		10.5	98.24	98.12	98.46
		11.5	106.06	107.65	109.65
¹⁹⁵ Hg(3)	341.9	14.5	92.03	91.17	90.44
		15.5	97.08	97.99	98.23
		16.5	103.62	105.32	106.76
¹⁸⁹ Ti(a)(2,3,4)	326.3	12.5	85.06	83.41	81.78
		13.5	90.53	90.44	89.94
		14.5	96.20	97.99	98.92
¹⁸⁹ Ti(b)(2,3,4)	304.5	11.5	85.14	83.37	81.84
		12.5	90.87	90.77	90.47
		13.5	96.83	98.73	100.02
¹⁹³ Ti(2)	187.9	6.5	85.85	84.65	83.63
		7.5	94.39	95.16	95.82
		8.5	103.70	107.00	109.96
¹⁹³ Ti(3)	250.8	9.5	86.59	85.44	84.36
		10.5	94.49	94.94	95.16
		11.5	103.02	105.51	107.50
¹⁹³ Ti(4)	271.5	10.5	86.66	85.80	85.30
		11.5	93.82	94.51	95.38
		12.5	101.50	104.11	106.83
¹⁹⁵ Pb(4)	213.58	7.5	83.75	81.78	81.26
		8.5	92.24	91.89	93.14
		9.5	101.46	103.22	106.99
¹⁹⁵ Bi(2,3)	261.5	10.5	90.83	89.81	
		11.5	98.50	99.74	
		12.5	106.57	110.67	
¹⁹⁷ Bi(2,3,4)	186.7	6.5	87.71	85.41	83.76
		7.5	95.61	95.80	96.17
		8.5	103.97	107.28	110.43

注:黑体表示自旋的指定值,相关的数据为带首转动惯量,单位为 $\hbar^2\text{MeV}^{-1}$.

的区分度和较小的理论公式相关性. 从这些数据还可以分析得出:该核区奇质量核超形变转动带的带首转动惯量在 $90-100 \text{ h}^2 \text{ MeV}^{-1}$ 之间,而其变化有随着质量数 A 增加而增加的趋势. $^{189} \text{Hg}(a)$, $^{189} \text{Ti}(a)$ 和 $^{189} \text{Ti}(b)$ 带的带首转动惯量较小, $^{195} \text{Hg}(2)$, $^{195} \text{Hg}(3)$ 和 $^{195} \text{Bi}$ 带的带首转动惯量较大. 带首转动惯量系统学分析(参考物理量拟合法)可以惟一地指定这 15 条超形变转动带的自旋.

4 $^{195} \text{Pb}(3)$, $^{193} \text{Hg}(1a)$, $^{193} \text{Hg}(3a)$ 带特殊分析

$^{195} \text{Pb}(3)$ 带第一个 γ 跃迁能量的实验数据与典型的转动带有明显偏离,这可以从与这个数据对应的第二类转动惯量来判断^[4]. 如用该带的全部数据来分析,就会出现物理量拟合法与带首转动惯量系统学分析不一致的现象,用物理量拟合确定的自旋指定值为 8.5, 而相应的带首转动惯量超过 $100 \text{ h}^2 \text{ MeV}^{-1}$. 将有明显偏离的第一个实验数据去掉然后进行分析,两种方法分析结果完全一致,自旋的指定值为 7.5. 具体分析数据列于表 3 之中.

表 3 $^{195} \text{Pb}(3)$ 带的综合分析

SD 转动带	类型	分析方法	I	3 参数	4 参数	5 参数
$^{195} \text{Pb}(3)$ $E(I+2-I)$: 198.19 (keV)	全数据 分析	物理量拟合法	7.5	1.2420	0.9852	0.7112
			8.5	0.9204	0.5138	0.4980
			9.5	2.1935	0.9379	0.6081
		带首转动惯量 系统学分析	7.5	91.69	90.82	89.61
			8.5	100.444	101.55	101.86
			9.5	109.94	113.56	115.93
	特殊 分析	物理量拟合法	6.5	2.0606	1.0808	0.3360
			7.5	0.5134	0.3783	0.2255
			8.5	0.9360	0.5122	0.4579
		带首转动惯量 系统学分析	6.5	84.45	82.53	80.69
			7.5	92.11	91.64	90.90
			8.5	100.36	101.72	102.48

注:黑体表示自旋的指定值. 物理量拟合法的数据为均方根误差,单位为 keV. 带首转动惯量的单位为 $\text{h}^2 \text{ MeV}^{-1}$.

$^{193} \text{Hg}(1a)$ 带与典型的转动带有明显的偏离,这也可以从该带的第二类转动惯量来判断,相应曲线的明显起伏表明带交叉的存在^[4]. 用全数据来进行分析,用物理量拟合法不可能得到确定的自旋指定值. 现我们选取与第二类转动惯量单调上升部分相应的实验数据(即前 16 个数据)来分析,也就是我们选取带交叉前的数据来分析,两种分析方法结果完全一致,自旋指定值为 9.5. 具体分析数据列于表 4 之中.

从 $^{193} \text{Hg}(3a)$ 带的第二类转动惯量的曲线来看,该带对典型转动带的偏离是明显的^[4]. 由于开始阶

段第二类转动惯量单调变化部分数据太少,不能采用与 $^{193} \text{Hg}(1a)$ 带类同的分析方法,在定自旋时必须考虑带交叉. 文献[5]已详细的讨论,自旋指定值为 13.5.

表 4 $^{193} \text{Hg}(3a)$ 带的综合分析

SD 转动带	类型	分析方法	I	3(2) 参数	4(3) 参数	5(4) 参数
$^{193} \text{Hg}(1a)$ $E(I+2-I)$: 233.2 (keV)	全数据 分析	物理量拟合法	8.5	4.6377	1.4497	1.1365
			9.5	2.7916	1.6755	1.6085
			10.5	2.7026	2.6813	2.1590
		带首转动惯量 系统学分析	8.5	87.08	84.10	83.24
			9.5	92.94	91.17	91.72
			10.5	99.13	98.81	101.13
	特殊 分析	物理量拟合法	11.5	3.8293	3.6000	2.5886
			8.5	1.8765	1.1138	0.4764
			9.5	0.6853	0.2151	0.1405
		带首转动惯量 系统学分析	10.5	2.5122	0.5091	0.2043
			8.5	85.60	84.10	82.16
			9.5	92.64	93.43	93.01
10.5	100.04	103.66	105.29			

注:黑体表示自旋的指定值. 物理量拟合法的数据为均方根误差,单位为 keV. 带首转动惯量的单位为 $\text{h}^2 \text{ MeV}^{-1}$.

5 自旋指定的结果和比较

采用上述综合分析的方法,我们可以定出 $A \approx 190$ 核区奇质量核的超形变转动单带的自旋(11 对 signature 伙伴带的自旋指定已经在文献[2]中给出),其结果和与其他文献的比较列入表 5 之中. 用这种方法指定的自旋应该更可靠些.

表 5 $A \approx 190$ 核区奇质量核超形变转动单带自旋指定的结果以及与其他文献的比较

超形变 转动带	$E_\gamma(I+2-I)$ /keV	自旋指定				
		本文	文献[4]	文献[6]	文献[7]	文献[8]
$^{191} \text{Au}(1)$	186.8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
$^{189} \text{Hg}$	366.2	15.5	14.5	15.5	15.5	(15.5)
$^{191} \text{Hg}(1a)$	310.9	13.5	15.5	13.5	13.5	13.5
$^{191} \text{Hg}(1b)$	280.9	11.5	12.5	10.5		(11.5)
$^{193} \text{Hg}(1a)$	233.2	9.5	9.5		9.5	(9.5)
$^{193} \text{Hg}(3a)$	291.0	13.5	13.5	13.5		(13.5)
$^{193} \text{Hg}(3b)$	240.5	9.5	10.5	9.5		(9.5)
$^{195} \text{Hg}(2)$	244.0	10.5	10.5		10.5	(10.5)
$^{195} \text{Hg}(3)$	341.9	15.5	15.5		15.5	15.5
$^{189} \text{Ti}(a)$	326.3	13.5	13.5			
$^{189} \text{Ti}(b)$	304.5	12.5	12.5			
$^{193} \text{Ti}(2)$	187.9	7.5	7.5	7.5		
$^{193} \text{Ti}(3)$	250.8	10.5	11.5	10.5		
$^{193} \text{Ti}(4)$	271.5	11.5	10.5			
$^{195} \text{Pb}(3)$	198.19	7.5	7.5		7.5	8.5
$^{195} \text{Pb}(4)$	213.58	8.5	8.5		8.5	(8.5)
$^{195} \text{Bi}$	261.5	11.5	10.5	10.5, 11.5		(11.5)
$^{197} \text{Bi}$	186.7	7.5	7.5		7.5	

参考文献 (References)

- 1 DI Yao-Min. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2002, **26**: 507—515 (in Chinese)
(狄尧民. 高能物理与核物理, 2002, **26**: 507—515)
- 2 DI Yao-Min. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2003, **27**: 227—232 (in Chinese)
(狄尧民. 高能物理与核物理, 2003, **27**: 227—232)
- 3 WU Chong-Shi. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1997, **21**: 621—626 (in Chinese)
(吴崇试. 高能物理与核物理, 1997, **21**: 621—626)
- 4 HAN X L, WU C L. At. Data Nucl. Data Tables, 1999, **73**: 43—151
- 5 WU C S, ZENG J Y, XING Z et al. Phys. Rev., 1992, **C45**: 261—274
- 6 WU Chong-Shi, LI Zhong-Hua. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**: 797—802 (in Chinese)
(吴崇试, 李忠华. 高能物理与核物理, 1999, **23**: 797—802)
- 7 LIU Shu-Xin, ZENG Jin-Yan. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**: 701—708 (in Chinese)
(刘树新, 曾谨言. 高能物理与核物理, 1999, **23**: 701—708)
- 8 GUO Jian-You, XU Fu-Xin, RUAN Tu-Nan. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2000, **24**: 829—838 (in Chinese)
(郭建友, 徐辅新, 阮图南. 高能物理与核物理, 2000, **24**: 829—838)

Analysis by Synthesis of the Spin Assignment for the Superdeformed Single Bands in $A \approx 190$ Odd Nuclei *

DI Yao-Min¹⁾

(Department of Physics, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221009, China)

Abstract The spin assignments for the superdeformed single bands in $A \approx 190$ odd nuclei are discussed by use of the method of analysis by synthesis. In this work, the $I(I+1)$ expression is used to fit the experimental energies of γ -transition. In contrast to other procedure, the convergence process of the series expansions is put stress upon whereas how many terms to be taken exactly in the expression does not emphasized. Moreover as well as the method of fitting the physical quantity, the moment of inertia of band heads is also calculated and the method of that systematics is used for the spin assignments. In practice the systematics of the moment of inertia of band heads is more efficient than the method of fitting the physical quantity in the spin assignment. As for a few bands which spin assignment is difficult the deviation from the typical rotational bands must be considered. Finally the results of the spin assignment and the comparison with other literatures are given.

Key words superdeformed band, $A \approx 190$ nuclear region, odd nuclei, spin assignment, systematics of the moment of inertia of band heads

Received 8 August 2002

* Supported by Natural Science Foundation of Jiangsu Education Committee

1) E-mail: yaomind@hotmail.com