

量子群 $U_{qp}(u_2)$ 模型对 $A \sim 190$ 区 超形变带研究*

张新明¹ 周焕强²

1(曲靖师范学院信息技术与计算机科学系 云南曲靖 655000)

2(重庆大学应用物理系 重庆 630044)

摘要 用双参数量子群 $U_{qp}(u_2)$ 理论模型公式对 $A \sim 190$ 区 47 条超形变(SD)转动带进行了系统分析. 计算得到的 E_γ 跃迁谱与实验较好地吻合;按转动带自旋指定的 3 种方案确定 $^{194}\text{Hg}(1)$, $^{194}\text{Pb}(1)$ 的带首自旋, 结果与实验一致. 此外, 进一步讨论了核软度参数 σ_1 的物理意义, 发现一对旋称对偶带的 σ_1 几乎全等.

关键词 超形变带 量子代数 $U_{qp}(u_2)$ 模型

1 引言

正常形变核转动谱和超形变(SD)带是核结构研究中最具吸引力的研究领域之一, 在这方面已经从理论和实验作了大量研究. 文献[1,2]从玻尔-莫特逊哈密顿量(BMH)出发导出的 a, b 转动谱公式, 对正常形变(ND)核转动谱和 SD 带 150, 190 区的研究都取得了比较满意的结果. 文献[3]用量子群 $SU_q(2)$ 模型对铜系和稀土偶偶核基带转动谱的研究发现与实验结果有明显的系统偏离; 文献[4]用量子群 $U_{qp}(u_2)$ 模型进一步的研究结果有明显改善. 文献[5]用 $U_{qp}(u_2)$ 模型研究“全同”SD 带 ^{192}Hg , $^{194}\text{Hg}(1, 2, 3)$, $^{191}\text{Hg}(2, 3)$ 和 $^{193}\text{Hg}(2, 3)$, 结果与文献[6]一致. 本文继续文献[4,5]的工作, 用双参数量子群 $U_{qp}(u_2)$ 理论模型公式拟合新近发现的 190 区 47 条 SD 转动带的能谱, 按转动带自旋指定的 3 种方案确定 SD 带首自旋; 进一步探索形变参数的物理意义.

2 能谱拟合及自旋指定

如文献[4,5]所述, Kibler^[7] 等人考虑非半单纯李代数 u_2 , 导出了 $U_{qp}(u_2)$ 的二阶 Casimir 算子: $C_2(U_{qp}(u_2))$, 再由 qp 转子的哈密顿量

2001-06-08 收稿, 2002-03-18 收修改稿

* 云南省教育厅科研基金资助

$$H = \frac{1}{2J^{(0)}} C_2(U_{qp}(u_2)) + E_0, \quad (1)$$

得到双参数形变 $U_{qp}(u_2)$ 模型的 qp 转子能谱公式为

$$E(I) = \frac{1}{2J^{(0)}} e^{(2I+1)\beta\cos\gamma} \frac{\sin(I\beta\sin\gamma)\sin[(I+1)\beta\sin\gamma]}{\sin^2(\beta\sin\gamma)} + E_0, \quad (2)$$

式中 E_0 是带首能量, I 是核自旋量子数, β 和 γ 是两个独立的实参数, 通过

$$q = e^{\beta\cos\gamma} e^{i\beta\sin\gamma}, \quad p = e^{\beta\cos\gamma} e^{-i\beta\sin\gamma} \quad (3)$$

定义了参数 q 和 p ; (2) 式中 $J^{(0)}$ 是当 $q=1, p=1$ 时的转动惯量, 它与基态 ($I=0$) 转动惯量 J_0 的关系为

$$J_0 = \frac{\hbar^2 \sin(\beta\sin\gamma)}{e^{-\beta\cos\gamma} \beta\sin\gamma} J^{(0)} = \mu J^{(0)}, \quad (4)$$

它们相差一个由 qp 形变引起的减弱因子 μ , 当 qp 形变不大时, $\mu \approx 1$.

用公式(2)拟合 190 区超形变带的 E_γ 跃迁, 采用线性最小法确定超形变带的自旋(带首自旋 I_0), 使计算能谱和实验能谱的方均根差 σ 最小. 拟和结果如表 1 所示, 其中

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_\gamma^{\text{cal}}(I_i) - E_\gamma^{\text{exp}}(I_i)|^2}.$$

表 1 A ~ 190 区超形变带计算能谱的方均根差、带首自旋、 $|1-\mu|$ 及拟合参数值

Band	$E_\gamma^{I_c+2 \rightarrow I_c}$ keV	$J_0 / (\hbar^2 \text{MeV}^{-1})$	β	$\gamma / (^\circ)$	I_0	σ / keV	$ 1-\mu $	核软度参数 σ_1
¹⁸⁹ Hg(1)	366.4	93.0	0.01218	87.2	15.5	0.478	5.70×10^{-4}	9.9×10^{-5}
¹⁹⁰ Hg(1)	316.9	80.6	0.00873	97.83	12	0.622	1.20×10^{-3}	5.0×10^{-5}
¹⁹⁰ Hg(2)	481.1	92.6	0.00146	169.5	23	2.31	1.43×10^{-3}	4.7×10^{-8}
¹⁹⁰ Hg(3)	279	84.9	0.00167	176	11	0.693	1.66×10^{-3}	9.0×10^{-9}
¹⁹¹ Hg(1)	310.9	94.9	0.008426	90.6	13.5	0.455	1.00×10^{-4}	4.7×10^{-5}
¹⁹¹ Hg(2)	252.4	92.0	0.00592	97.3	10.5	0.395	7.58×10^{-4}	2.3×10^{-5}
¹⁹¹ Hg(3)	272	91.2	0.005433	100.4	11.5	0.526	9.85×10^{-4}	1.9×10^{-5}
¹⁹² Hg(1)	214.4	84.3	0.00172	175	8	2.108	1.71×10^{-3}	1.5×10^{-8}
¹⁹² Hg(2)	282.4	87.9	0.00182	177.6	12	6.89	1.82×10^{-3}	3.9×10^{-9}
¹⁹² Hg(3)	333.1	95.2	0.01594	85.5	14	1.90	1.21×10^{-3}	1.7×10^{-4}
¹⁹³ Hg(1)	233.2	90.7	0.001459	177.69	9.5	5.067	1.46×10^{-3}	2.3×10^{-9}
¹⁹³ Hg(2)	254	90.3	0.00501	102.5	10.5	0.765	1.09×10^{-3}	1.6×10^{-5}
¹⁹³ Hg(3)	233.5	90.4	0.00529	101.5	9.5	0.566	1.06×10^{-3}	1.8×10^{-5}
¹⁹³ Hg(4)	291	100.1	0.0121	85.1	12.5	2.48	1.01×10^{-3}	9.7×10^{-5}
¹⁹³ Hg(5)	240.5	90.8	0.00699	92.4	9.5	0.415	3.01×10^{-4}	3.3×10^{-5}
¹⁹⁴ Hg(1)	253.93	84.9	0.00175	184	10	1.8	1.74×10^{-3}	9.9×10^{-9}
¹⁹⁴ Hg(2)	200.79	91.4	0.0061	98.37	8	0.921	8.94×10^{-4}	2.4×10^{-5}
¹⁹⁴ Hg(3)	262.27	91.0	0.00465	103.3	11	0.774	1.07×10^{-3}	1.4×10^{-5}
¹⁹⁵ Hg(a)	294	89.7	0.00522	104.13	12.5	0.671	1.28×10^{-3}	1.7×10^{-5}
¹⁹¹ Tl(1)	317.9	92.3	0.0099	90.8	13.5	0.376	1.55×10^{-4}	6.5×10^{-5}

续表

Band	$E_{\gamma}^{I_0+2-I_c}$ keV	$J_0/(h^2 \text{MeV}^{-1})$	β	$\gamma/(^\circ)$	I_0	σ/keV	$ 1-\mu $	核软度参数 σ_1
$^{191}\text{Tl}(2)2$	377.8	91	0.0096	92.3	16.5	0.513	4.01×10^{-4}	6.1×10^{-5}
$^{192}\text{Tl}(a)1$	283	103	0.00254	88.8	13	0.574	5.21×10^{-5}	4.3×10^{-6}
$^{193}\text{Tl}(1)1$	227.3	93	0.00453	99.2	9.5	0.704	7.27×10^{-4}	1.3×10^{-5}
$^{193}\text{Tl}(2)1$	206.6	94	0.00669	95.3	8.5	0.825	6.25×10^{-4}	3.0×10^{-5}
$^{194}\text{Tl}(1a)1$	268	99	0.006827	92.3	12	0.539	2.82×10^{-4}	3.1×10^{-5}
$^{194}\text{Tl}(1b)1$	209.3	99	0.00702	92	9	0.232	2.53×10^{-4}	3.3×10^{-5}
$^{194}\text{Tl}(2a)1$	240.5	93	0.00612	96.1	10	0.446	6.56×10^{-4}	2.5×10^{-5}
$^{194}\text{Tl}(2b)1$	220.3	92	0.0032	107	9	0.501	9.37×10^{-4}	6.2×10^{-6}
$^{194}\text{Tl}(3a)1$	187.9	99	0.0039	98	8	0.432	5.45×10^{-4}	9.9×10^{-6}
$^{194}\text{Tl}(3b)1$	207	99	0.00167	111.4	9	0.594	6.10×10^{-4}	1.6×10^{-6}
$^{195}\text{Tl}(1)1$	146.2	94	0.00828	91.81	5.5	0.608	2.73×10^{-4}	4.6×10^{-5}
$^{195}\text{Tl}(2)1$	167.5	94	0.00863	92.8	6.5	0.981	4.34×10^{-4}	5.0×10^{-5}
^{192}Pb	215.6	82	0.00368	118.7	8	0.196	1.77×10^{-3}	6.9×10^{-6}
$^{193}\text{Pb}(1)1$	277.2	91	0.00094	139.2	11.5	0.486	7.11×10^{-4}	2.5×10^{-7}
$^{194}\text{Pb}(1)1$	124.9	85	0.00209	137.8	4	0.702	1.55×10^{-3}	1.3×10^{-6}
$^{195}\text{Pb}(1)1$	182.13	98	0.0004	151	7.5	0.15	3.50×10^{-4}	2.5×10^{-8}
$^{196}\text{Pb}(1)1$	171.5	86	0.01011	92.1	6	0.359	3.87×10^{-4}	6.8×10^{-5}
$^{196}\text{Pb}(2)2$	204.5	89	0.00581	99	8	0.276	9.14×10^{-4}	2.2×10^{-5}
$^{196}\text{Pb}(3)1$	226.7	90	0.00663	97	9	0.33	8.15×10^{-4}	2.9×10^{-5}
$^{197}\text{Pb}(1)1$	184.4	96	0.00402	94	7.5	0.308	2.83×10^{-4}	1.1×10^{-5}
$^{197}\text{Pb}(2)1$	205.5	98	0.0079	86	8.5	0.404	5.41×10^{-4}	4.1×10^{-5}
^{198}Pb	305.1	85	0.00622	96	12	0.628	6.56×10^{-4}	2.6×10^{-5}
^{195}Bi	261.5	87	0.00411	108.8	10.5	0.437	1.33×10^{-3}	1.0×10^{-5}
$^{197}\text{Bi}(1)1$	166.2	96	0.00748	88.3	6.5	0.235	2.13×10^{-4}	3.7×10^{-5}
$^{197}\text{Bi}(2)1$	186.7	96	0.01003	88.6	7.5	0.398	2.28×10^{-4}	6.7×10^{-5}
^{198}Po	175.91	82	0.00788	99.8	6	0.259	1.35×10^{-3}	4.0×10^{-5}
^{191}Au	186.8	92	0.006047	97	7.5	1.563	7.43×10^{-4}	2.4×10^{-5}

注:实验能谱依次选自文献[8—27].

表 2 ^{194}Hg 和 ^{196}Pb 自旋指定值与方均根差的变化

$^{194}\text{Hg}(1)$	Spin	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	12
	β	0.0025	0.00232	0.0021	0.002	0.00175	0.0046	0.006	0.0073
	γ	168°	175.2°	171°	168°	182°	106°	98°	92°
	$J^{(0)}/(h^2 \text{MeV}^{-1})$	75	77	80	82	84.97	89	93	100
	σ/keV	7.03	5.2	3.74	2.48	1.8	2.16	2.72	3.95
	带首自旋	No	No	No	No	Yes	No	No	No
$^{194}\text{Pb}(1)$	Spin	3	3.5	4	4.5	5			
	β	0.00229	0.00194	0.00209	0.0089	0.0094			
	γ	180°	175°	137.8°	92°	89°			
	$J^{(0)}/(h^2 \text{MeV}^{-1})$	77.5	81.2	85.24	92	97			
	σ/keV	4.68	2.13	0.7	1.72	3.18			
	带首自旋	No	No	Yes	No	No			

$$\omega(I) = \frac{1}{\hbar} \frac{dE}{d\sqrt{I(I+1)}} = \frac{\beta \sqrt{I(I+1)} e^{(2I-1)\beta \cos \gamma}}{J^{(0)}(2I+1) \sin^2(\beta \sin \gamma)} \{- \cos[(2I+1)\beta \sin \gamma + \gamma] \cdot \cos \gamma \cos(\beta \sin \gamma)\}, \quad (5)$$

$$= \frac{\hbar \sqrt{I(I+1)}}{\omega} = J_0 \frac{(2I+1) \sin \gamma \sin(\beta \sin \gamma)}{e^{2I\beta \cos \gamma} \{- \cos[(2I+1)\beta \sin \gamma + \gamma] + \cos \gamma \cos(\beta \sin \gamma)\}}, \quad (6)$$

$$J^{(2)} = \frac{\hbar^2}{d\omega/d\sqrt{I(I+1)}},$$

利用(5)式可得

$$J^{(2)} = J_0(2I+1)^3 \sin \gamma \sin(\beta \sin \gamma) / e^{2I\beta \cos \gamma} \{ (1 + 4I(I+1)(2I+1)\beta \cos \gamma) \cdot (- \cos[(2I+1)\beta \sin \gamma + \gamma] + \cos \gamma \cos(\beta \sin \gamma)) + 4I(I+1)(2I+1)\beta \sin \gamma \sin(2I+1)\beta \sin \gamma + \gamma \}. \quad (7)$$

$U_{qp}(u_2)$ 模型的参数 $\beta \sin \gamma$ 对应着可变惯量矩(VMI)模型的核软度(Softness)参数 σ_1 , 由(6)式可得

$$\sigma_1 = \frac{1}{J_i} \frac{dJ_i}{dI} \Big|_{I=0} = 2[1 - \beta \sin \gamma \cot(\beta \sin \gamma)] \approx \frac{2}{3} |\beta \sin \gamma|^2. \quad (8)$$

按照文献[28]提出的 SD 转动带自旋指定的几种方案,用双参数量子群 $U_{qp}(u_2)$ 模型,确定了 $^{194}\text{Hg}(1)$ 和 $^{194}\text{Pb}(1)$ 的带首自旋,结果如表 2 和图 1,2 所示.

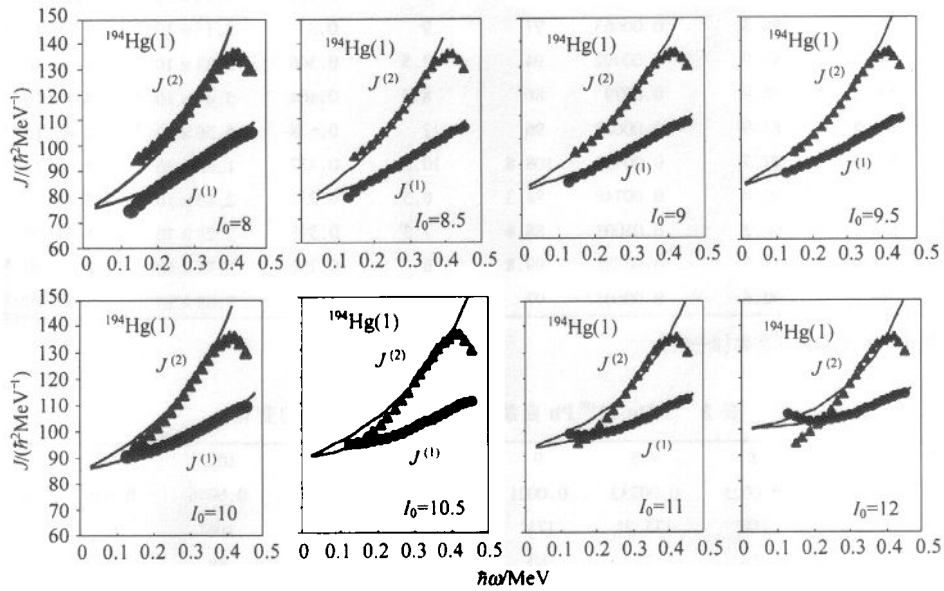


图 1 SD 带 $^{194}\text{Hg}(1)$ 的两类转动惯量随角动量的变化(详细说明见正文)

图 1,2 中 \blacktriangle , \bullet 分别表示 $J^{(2)}$, $J^{(1)}$ 随 ω 变化的实验散点图,实验值按公式: $\omega = E_\gamma(I)/2$; $J^{(1)}(I-1) = (2I-1)\hbar^2/E_\gamma(I)$; $J^{(2)} = 4\hbar^2/\Delta E_\gamma(I)$ 提取作图. 实线分别表示 $J^{(2)}$, $J^{(1)}$ 随 ω 变化的理论曲线图,其值按照公式(5),(6),(7)带入表 2 中的拟和参数计算出, ω 作出.

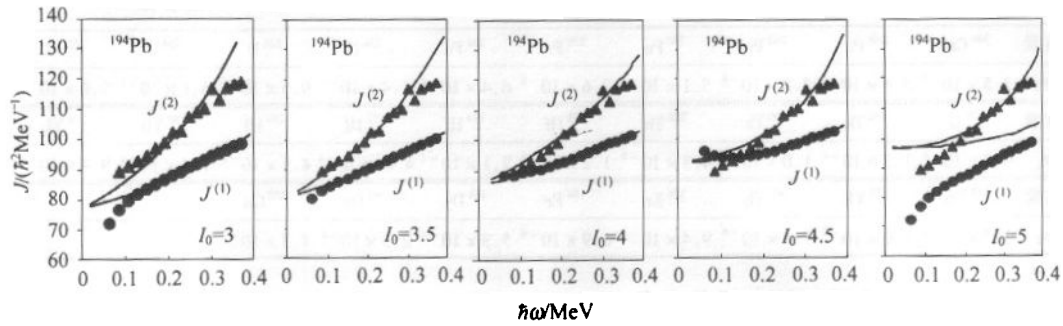


图 2 SD 带 ^{194}Pb 的两类转动惯量随角动量的变化(详细说明见正文)

3 结果讨论

如表 1 所示,用 $U_{qp}(u_2)$ 模型拟和 190 区 47 条 SD 转动带的 E_γ 能谱,计算值与实验数据的平均方均根差为 0.9keV,除了 $^{190}\text{Hg}(3)$, $^{192}\text{Hg}(2,3)$, $^{193}\text{Hg}(1,4)$ 这几条能谱的拟和精度偏差稍大一些,有近一半能谱的相对方均根差在万分之几以下,平均相对方均根差小于千分之二.总的看计算结果是满意的.还用转动带自旋指定的 3 种方案^[28]:两类转动惯量随角动量的变化、带内 γ 跃迁能量、带首转动惯量的系统学综合确定出 $^{194}\text{Hg}(1)$ 和 $^{194}\text{Pb}(1)$ 的带首自旋,结果如表 2 和图 1、图 2 所示,与实验结果完全一致;其他 45 条 SD 转动带带首自旋的指定如表 1 所示,与文献[28]一致.从这些分析中可以发现:

(1) 在偶偶核(Hg, Pb, Po)中,所有晕 SD 带的旋称(signature)都是 $\alpha = 0$,它们的带首转动惯量相当接近, $J_0 \approx (83 \pm 3) \hbar^2 \text{MeV}^{-1}$.

(2) 在奇 A 核中,大多数观测到的 SD 带($^{191,193}\text{Hg}(2,3)$, $^{191,193,195}\text{Tl}(1,2)$, $^{197}\text{Bi}(1,2)$)都是旋称对偶带.每对旋称对偶带的带首转动惯量 J_0 , qp 形变参数 $|1 - \mu|$ 和核软度参数 σ_1 几乎全同,这反映出相同微观组态核素的参数 J_0 , μ 和 σ_1 是几乎全同的.

(3) 在奇奇核 SD 带($^{194}\text{Tl}((1a, 1b), (2a, 2b), (3a, 3b))$)和偶偶核的激发 SD 带($^{196}\text{Pb}(2,3)$, $^{190,192,194}\text{Hg}(2,3)$)中,每对旋称对偶带的带首转动惯量 J_0 , qp 形变参数 $|1 - \mu|$ 和核软度参数 σ_1 ,除 $^{190,192}\text{Hg}(2,3)$ 外,几乎全同.在奇 A 核和奇奇核 SD 带中,不同旋称对偶带的 J_0 , qp 形变参数 $|1 - \mu|$ 和核软度参数 σ_1 有一定的涨落,这反映出它们内部奇核子所处轨道有差异.它们带首转动惯量 J_0 也都系统地大于相邻偶偶核的晕 SD 带.

(4) 由表 1,3 可以看出,SD 态比正常形变(ND)态有较小的核软度参数 σ_1 ,这意味着 SD 态比正常形变态更硬.在 190 区 SD 态中, $^{194}\text{Tl}(3a, 3b)$, $^{192,193,194,195}\text{Pb}(1)$, $^{192,193,194}\text{Hg}(1)$ 带的核软度参数 σ_1 又比其他大多数 SD 带小 1—4 个数量级,这意味着在 190 区 SD 带中,这几个 SD 核更硬.这与文献[6]指出的 $^{192,194}\text{Hg}(1)$ SD 带的中子系和质子系(当 $\omega = 0$ 时)都处于准粒子真空态,高 N 组态都是 $\pi 6^4 \nu 7^4$,可将 $^{192}\text{Hg}(1)$ 和 $^{194}\text{Hg}(1)$ 视为转动核心的观点相吻合.这启示我们可将 $^{192,193,194,195}\text{Pb}(1)$, $^{193}\text{Hg}(1)$ 视为转动核心,其相应的 SD 激发带组态可视为处于某一轨道上的中子与转动核心的强耦合.

表 3 由文献[4]的铜系和稀土偶偶核基态转动带能级拟合参数得到的核软度参数 σ_1

核素	²⁴⁸ Cm	²⁴⁴ Pu	²⁴² Pu	²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu	²³⁶ Pu	²³⁸ U	²³⁶ U	²³⁴ U	²³² U
σ_1	2.5×10^{-4}	8.6×10^{-5}	2.3×10^{-4}	5.1×10^{-4}	2.6×10^{-4}	6.4×10^{-4}	1.4×10^{-4}	9.5×10^{-5}	6.8×10^{-5}	2.0×10^{-4}
核素	²³⁰ U	²³² Th	²³⁰ Th	²²⁶ Th	¹⁷⁸ Hf	¹⁷⁴ Hf	¹⁷² Hf	¹⁷⁰ Hf	¹⁷⁶ Yb	¹⁷⁴ Yb
σ_1	9.2×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.0×10^{-4}	4.3×10^{-4}	1.2×10^{-3}	7.1×10^{-4}	4.0×10^{-4}	4.5×10^{-4}	9.4×10^{-4}	9.4×10^{-5}
核素	¹⁷² Yb	¹⁷⁰ Yb	¹⁶⁸ Yb	¹⁶⁶ Er	¹⁶⁴ Er	¹⁶⁴ Dy	¹⁶² Dy	¹⁵⁶ Gd		
σ_1	3.5×10^{-4}	1.0×10^{-3}	7.5×10^{-4}	9.4×10^{-4}	6.9×10^{-4}	5.3×10^{-4}	2.3×10^{-4}	4.3×10^{-4}		

(5) 利用转动惯量的奇偶差定义

$$\epsilon_p = \frac{J(N, Z) - [J(N, Z - 1) + J(N, Z + 1)]/2}{[J(N, Z - 1) + J(N, Z + 1)]/2}, \quad (N \text{ 偶}, Z \text{ 奇}),$$

$$\epsilon_n = \frac{J(N, Z) - [J(N - 1, Z) + J(N + 1, Z)]/2}{[J(N - 1, Z) + J(N + 1, Z)]/2}, \quad (N \text{ 奇}, Z \text{ 偶}). \quad (10)$$

利用表 1 中的带首转动惯量 J_0 计算得到如下图 3—5 的结果.

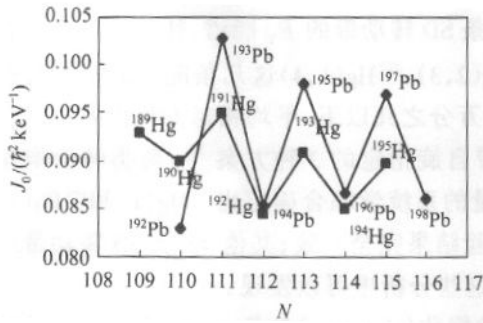


图 3 190 区同 Z、不同 N 偶偶核与奇 A 核 SD 态转动惯量的差异

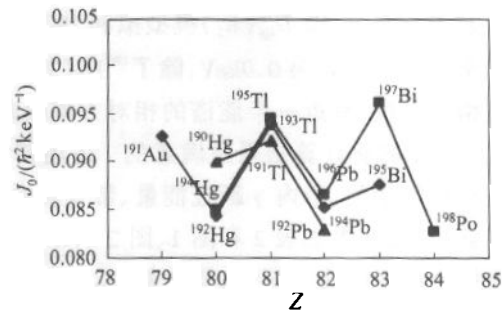


图 4 190 区同 N、不同 Z 偶偶核与奇 A 核 SD 态转动惯量的差异

▲ N = 110, ◆ N = 112, ■ N = 114.

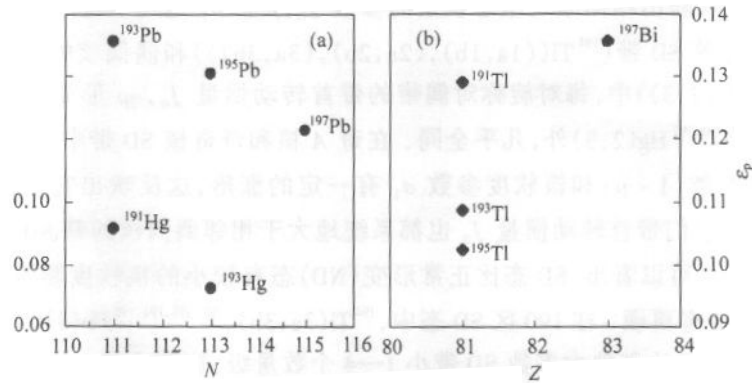


图 5 190 区超形变核转动惯量的奇偶差

(a) 奇 N 核; (b) 奇 Z 核.

图 3 显示出 Hg 和 Pb 同位素 SD 态带首转动惯量随中子数的变化, 可见奇偶差是明显

的,相比之下,Pb 同位素带首转动惯量的奇偶差强于 Hg 同位素,这可能反映出超形变态的 Pb 同位素核的对关联强于 Hg 同位素核. 图 4 显示出相同中子,不同质子偶偶核和奇 A 核的带首转动惯量. 同样可见,带首转动惯量存在着明显的奇偶差,质量数越高,奇偶差越明显. 这可能反映出质量数越高,对关联越强. 图 5 是利用转动惯量奇偶差的定义式(9)和(10),系统计算出 ϵ_p 和 ϵ_n 作出的,其中图 5(a)是偶质子奇中子核转动惯量的奇偶差 ϵ_n ,可见 ϵ_n 明显大于零,且 Pb 同位素的 ϵ_n 明显大于 Hg 同位素的 ϵ_n . 图 5(b)是偶中子奇质子核转动惯量的奇偶差 ϵ_p ,同样,所显示的 ϵ_p 明显大于零. 本文用双参数形变 $U_{qp}(u_2)$ 模型研究 190 区 SD 核态转动惯量的奇偶差,得到图 3—5 所示结果,除了 ϵ_p 的计算值比文献[29]稍大,其他与之一致.

4 结束语

在我们前面工作^{4,5}的基础上,本文进一步用双参数形变 $U_{qp}(u_2)$ 模型,较为全面、系统地研究了 $A \sim 190$ 区 SD 转动带,按文献[28]提出的确定转动带自旋的 3 种方案,用 $U_{qp}(u_2)$ 模型所确定的 47 条 SD 带自旋,与之完全一致;用双参数形变 $U_{qp}(u_2)$ 模型的 qp 转子能谱公式系统研究这 47 条 190 区 SD 转动带,进一步显示了核软度参数和 qp 形变参数的物理意义,两者均能反映核素的微观组态结构,特别是核软度参数,它的数量级直接反映出核素的软硬度,例如:已被视为转动核心的¹⁹²Hg(1)和¹⁹⁴Hg(1)的核软度参数比其他大多数核要小 3—4 个数量级;对于大多数旋称对偶带,其中每对旋称对偶带的核软度参数,不仅数量级而且数值都十分接近. 另外,用该模型对 190 区 SD 核态转动惯量的奇偶差分析研究的结果,与用 Bohr Mottelson 的 $I(I+1)$ 三参数模型公式^[29]研究的结果基本一致. 但应当指出的是:双参数形变 $U_{qp}(u_2)$ 模型的 qp 转子能谱公式对少数几条 SD 带实验数据的拟合误差较大,例如,¹⁹⁰Hg(3),¹⁹²Hg(2,3),¹⁹³Hg(1,4),所以,得到的软度参数和 qp 形变参数的可信度不高,还有待进一步的研究.

参考文献 (References)

- 1 ZENG J Y, MENG J, WU C S et al. Phys. Rev., 1991, **C44**:R1745—R1748
- 2 WU C S, ZENG J Y, XING Z et al. Phys. Rev., 1992, **C45**:261—274
- 3 MENG J, WU C S, ZENG J Y. Phys. Rev., 1991, **C44**:2545—2551
- 4 ZHANG Xin-Ming, ZHOU Huan-Qiang. High Energy Phys and Nucl. Phys., 1996, **20**:165(in Chinese)
(张新明,周焕强. 高能物理与核物理, 1996, **20**:165)
- 5 ZHANG Xin-Ming, ZHOU Huan-Qiang, HE Jin-Song. High Energy Phys and Nucl. Phys., 1998, **22**:803(in Chinese)
(张新明,周焕强,贺劲松. 高能物理与核物理, 1998, **22**:803)
- 6 ZENG Jin-Yan, LEI Yi-An. Science in China (Series A), 1993, **23**(6):597—605(in Chinese)
(曾谨言,雷奕安. 中国科学(A辑), 1993, **23**(6):597—605)
- 7 Kibler M. Symmetry and Structural Properties of Condensed Matter, In: Florek W, Lulek T ed. Singapore: World Scientific, 1993. 445
- 8 Bearden I G, Janssens R V F, Carpenter M P et al. Z. Phys., 1992, **A341**:491—492
- 9 Wilson A N, Timar J, Sharpey-Schafer J F et al. Phys. Rev., 1996, **C54**:559—567

- 10 Carpenter M P, Janssens R V F, Cederwell et al. Phys. Rev., 1995, **C51**:2400—2405
- 11 Fallon P, Lauritsen T, Annad I et al. Phys. Rev., 1995, **C51**:R1609—R1612
- 12 Joyce M J, Sharpey-Schafer J F, Riley M A et al. Phys. Lett., 1994, **B340**:150—154
- 13 Krücken R, Hackman G, Delelanque M A et al. Phys. Rev., 1996, **C54**:R2109—R2113
- 14 Hackman G, Krücken R, Janssens R V F et al. Phys. Rev., 1997, **C55**:148—154
- 15 Pilote S, YU C H, JIN H Q et al. Phys. Rev., 1994, **C49**:718—724
- 16 Fischer S M, Carpenter M P, Janssens R V F et al. Phys. Rev., 1996, **C53**:2126—2133
- 17 Bouneau S, Wilson A N, Azaiez F et al. Phys. Rev., 1996, **C53**:R9—R13
- 18 Azaiez F, Kelly W H, Korten W et al. Phys. Rev. Lett., 1991, **66**:1030—1033
- 19 Duprat J, Azaiez F, Bourgeois C et al. Phys. Lett., 1994, **B341**:6—11
- 20 Ducroux L, Astier A, Beraud R et al. Z. Phys., 1995, **A352**:13—14
- 21 van Severen U J, Korten W, Hübel H et al. Z. Phys., 1995, **A353**:15—16
- 22 Gall B J P, Deloncle I, Porquet M-G et al. Phys. Lett., 1995, **B345**:124—130
- 23 Hughes J R, Becker J A, Brinkman M J et al. Phys. Rev., 1994, **C50**:R1265—R1269
- 24 Farris L P, Henry E A, Becker J A et al. Phys. Rev., 1995, **C51**:R2288—R2292
- 25 Clark R M, Bouneau S, Wilson A N et al. Phys. Rev., 1996, **C53**:117—123
- 26 Mc Nabb D P, Baldisiefen G, Bernstein L A et al. Phys. Rev., 1996, **C53**:R541—R543
- 27 Schuck C, Gueorguieva E, Lopez-Martens A et al. Phys. Rev., 1997, **C56**:R1667—R1670
- 28 LIU Shu-Xin, ZENG Jin-Yan. High Energy Phys and Nucl. Phys., 1999, **23**:701(in Chinese)
(刘树新, 曾谨言. 高能物理与核物理, 1999, **23**:701)
- 29 GUO Jian-You, XU Fu-Xin, RUAN Tu-Nan. High Energy Phys and Nucl Phys., 2000, **24**:829(in Chinese)
(郭建友, 徐辅新, 阮图南. 高能物理与核物理, 2000, **24**:829)

Study for Superdeformed Bands in $A \sim 190$ Region with Quantum Group $U_{qp}(u_2)$ Model*

ZHANG Xin-Ming¹ ZHOU Huan-Qiang²

¹(Department of Computer Science, Qujing Normal College, Yunnan Qujing 655000, China)

²(Department of Applied Physics, Chongqing University, Chongqing 630044, China)

Abstract 47 superdeformed bands in the $A \sim 190$ region are systematically analyzed by using the twoparameter expansion of quantum group $U_{qp}(u_2)$ Model. The calculated results of E2-transition γ -ray energies are in agreement with experimental data. According to three different methods for the spin assignment of rotational bands, the spin values of the band-head I_0 of the yrast SD bands in $^{194}\text{Hg}(1)$ and $^{194}\text{Pb}(1)$ are assigned. Furthermore, the physical meaning of the nuclear softness is discussed, and these nuclear softness values of a signature partner are almost equal.

Key words superdeformed bands, quantum algebra, $U_{qp}(u_2)$ model

Received 8 June 2001, Revised 18 March 2002

* Supported by Yunnan Education Commission