

190 区超形变核态转动惯量的奇偶差分析*

郭建友¹⁾ 徐辅新

(安徽大学物理系 合肥 230039)

阮图南

(中国科技大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 利用 Bohr-Mottelson 的 $I(I+1)$ 展开三参数公式拟合能谱所定出的展开系数, 计算 190 区超形变带的带首转动惯量. 计算结果显示: 奇 A 核的带首转动惯量系统大于相邻偶偶核的带首转动惯量, 奇奇核的带首转动惯量系统大于相邻奇 A 核的带首转动惯量, 超形变核态带首转动惯量展现出明显的奇偶差现象.

关键词 超形变核态 转动惯量 奇偶差

1 引言

转动惯量的奇偶差现象一直被认为是原子核内存在对关联的主要证据之一. 实验分析表明, 对于正常形变核, 从偶偶核转动谱定出的转动惯量 J , 系统地小于相邻奇 A 核和奇奇核的转动惯量, 而多数奇奇核的转动惯量大于相邻奇 A 核的转动惯量^[1]. 文献[2]通过定义转动惯量的奇偶差

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

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

对铜系和稀土区正常形变核态进行了系统分析, 发现奇偶差是普遍存在的, ϵ_n 和 ϵ_p 都大于零, 而不计及奇偶差, ϵ_n 和 ϵ_p 的理论值应近似为零. 对于超形变核态, 转动惯量是否存在奇偶差需要进一步研究. 实验分析表明, 处于超形变状态下的原子核具有很强的刚性, 转动惯量普遍比正常形变核态大得多. 因此, 有人认为超形变核态的对力可能很弱. 为了弄清超形变状态下对关联的强弱, 研究超形变核态转动惯量的奇偶差异是必要的, 它有

2000-08-21 收稿

* 国家自然科学基金(19677102, 19775044, 19991480), 北京正负电子对撞机国家实验室基金, 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论研究中心基金和安徽省教委基金(98JL014)资助

1) E-mail: guojyou@263.net

助于我们了解 SD 核态对力的强弱和对关联的重要性.

2 分析方法

根据 Bohr-Mottelson 的定义,转动惯量为角动量 $\hbar I_K$ 和角频率 ω_K 之比^[1]

$$J_K = \frac{\hbar I_K}{\omega_K}, \quad (3)$$

角频率可以从和 I_K 共轭的角变量的正则运动方程得到,

$$\omega_K = \hbar^{-1} \frac{\partial H_{\text{rot}}}{\partial I_K} = 2 \hbar^{-1} I_K \frac{\partial H_{\text{rot}}}{\partial (I_1^2 + I_2^2)}, \quad (4)$$

为此,可得转动惯量如下

$$J = \frac{\hbar^2}{2} \left(\frac{\partial H_{\text{rot}}}{\partial (I_1^2 + I_2^2)} \right)^{-1}. \quad (5)$$

由于轴对称转子的转动能可表为 $I(I+1)$ 展开的级数

$$E(I) = AI(I+1) + BI^2(I+1)^2 + CI^2(I+1)^2 + \dots, \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式,可得状态为 I 的转动惯量为

$$J = J_0 \left[1 - \frac{2B}{A} I(I+1) + \left(\frac{4B^2}{A^2} - \frac{3C}{A} \right) I^2(I+1)^2 + \dots \right]. \quad (7)$$

其中 $J_0 = \hbar^2/2A$ 为带首转动惯量,与 I 无关. 本文利用(6)式系统拟合 190 区超形变带的 E2 跃迁谱,定出参数 A, B 和 C 的值,然后计算带首转动惯量 J_0 (上述公式只适用于 $K \neq 1/2$ 的带,对 $K = 1/2$ 的带需修正). 为便于比较,对于有多条超形变带的核态,我们选取第一条 SD 带进行计算. 表 1 列出了用公式(6)拟合 190 区超形变带能谱所定出的参数、带首转动惯量等.

表 1 $I(I+1)$ 展开公式拟合 190 区 SD 定出的展开系数,带首转动惯量和自旋

Band	$E_y^{I_0+2 \rightarrow I_0}/\text{keV}$	A	B ($\times 10^{-4}$)	C ($\times 10^{-8}$)	J_0 ($\times 10^{-2}$)	I_0	σ ($\times 10^{-3}$)
¹⁹¹ Au	229.5	5.281	-1.982	1.055	9.468	9.5	1.293
¹⁸⁹ Hg	366.4	5.462	-1.203	-2.417	9.154	15.5	0.659
¹⁹⁰ Hg(1)	316.9	5.548	-1.727	-1.962	9.012	13.0	1.891
¹⁹¹ Hg(1)	310.9	5.261	-1.518	0.658	9.504	13.5	0.878
¹⁹² Hg(1)	214.4	5.677	-3.947	5.092	8.807	8.0	2.391
¹⁹³ Hg(1)	233.2	5.380	-3.816	5.590	9.294	9.5	4.818
¹⁹⁴ Hg(1)	253.93	5.597	-3.596	4.047	8.933	10.0	1.040
¹⁹⁵ Hg(<i>a</i>)	294.0	5.352	-2.890	2.867	9.342	12.5	1.085
¹⁹¹ Tl(1)	317.9	5.390	-1.936	7.314	9.276	13.5	0.668
¹⁹² Tl(<i>a</i>)	283.0	4.485	1.860	-4.878	11.148	14.0	0.472
¹⁹³ Tl(1)	227.3	5.225	-1.988	2.468	9.569	9.5	0.834
¹⁹⁴ Tl(1)	268.0	5.017	-1.397	1.091	9.966	12.0	1.084

续表

Band	$E_{\gamma}^{I_0^{+2} \rightarrow I_0} / \text{keV}$	A	B ($\times 10^{-4}$)	C ($\times 10^{-8}$)	J_0 ($\times 10^{-2}$)	I_0	σ ($\times 10^{-3}$)
$^{195}\text{Tl}(1)$	146.2	5.256	-1.853	1.236	9.513	5.5	1.288
^{192}Pb	215.6	5.818	-5.710	13.35	8.594	8.0	2.907
$^{193}\text{Pb}(1)$	277.2	4.941	0.509	-3.107	10.119	12.5	0.754
$^{194}\text{Pb}(1)$	213.2	5.683	-4.602	10.05	8.798	8.0	0.998
$^{195}\text{Pb}(1)$	182.13	5.069	-0.978	2.145	9.864	7.5	0.615
$^{196}\text{Pb}(1)$	171.5	5.720	-2.943	2.124	8.741	6.0	1.420
$^{197}\text{Pb}(1)$	184.4	5.121	-0.837	0.679	9.764	7.5	0.973
^{198}Pb	305.1	5.704	-2.134	1.835	8.766	12.0	1.638
^{197}Bi	186.7	5.219	-0.965	2.155	9.580	7.5	1.493
^{198}Po	175.9	5.915	-6.462	19.41	8.453	6.0	1.259

3 结果讨论

3.1 偶偶核与相邻奇 A 核带首转动惯量的比较

为分析超形变核态偶偶核与相邻奇 A 核带首转动惯量的差异,图 1 给出了 Hg 和 Pb 同位素超形变核态带首转动惯量随中子数的变化情况,从中可以看出,奇偶差是明显的,偶偶核的带首转动惯量系统地小于相邻奇 A 核的带首转动惯量,无一例外,相比之下,Pb 同位素带首转动惯量的奇偶差异更加显著,而 Hg 同位素要弱一些. 这可能反映出处于超形变态的 Pb 同位素核对相关强于 Hg 同位素核. Hg 同位素核转动惯量的奇偶差起伏不大,可能是对力较弱. 图 2 给出了相同中子,不同质子偶偶核和奇 A 核的带首转动惯量,和图 1 情况一样,带首转动惯量存在着明显的奇偶差,且质量数越高,奇偶差越明显. 这或许反映出,质量数越高,原子核集体性越好,对相关越强.

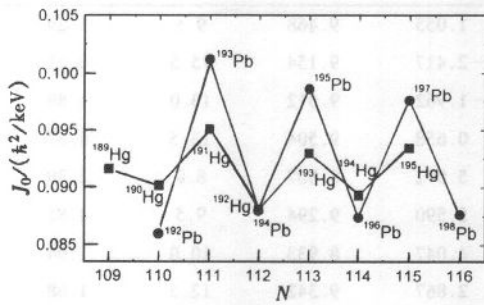


图 1 190 区相同 Z、不同 N 偶偶与奇 A 核超形变态转动惯量的差异

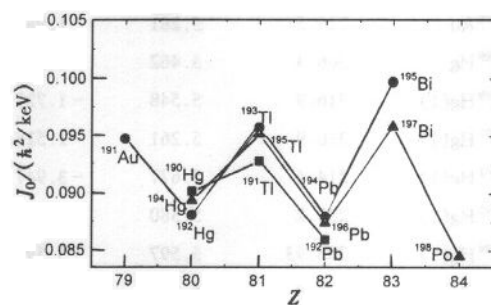


图 2 190 区相同 N、不同 Z 偶偶与奇 A 核超形变态转动惯量的差异

—■— N=110, —●— N=112, —▲— N=114.

3.2 奇 A 核与相邻奇奇核带首转动惯量的比较

图 3 给出了 Tl 同位素核带首转动惯量随中子数的变化情况, 从中可以看出: 奇 A 核的带首转动惯量系统地小于相邻奇奇核的带首转动惯量, 这与正常形变核情况基本一致. 图 4 给出了相同中子, 不同质子转动惯量的差异. 和图 3 情况类似, 奇 A 核的转动惯量系统地小于奇奇核的转动惯量, 且质量数大的核转动惯量较小, 奇 A 与奇奇核转动惯量的差异也弱一些.

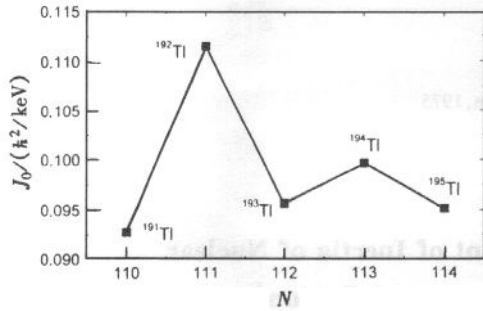


图 3 190 区相同 Z 、不同 N 奇 A 与奇奇核超形变态转动惯量的差异

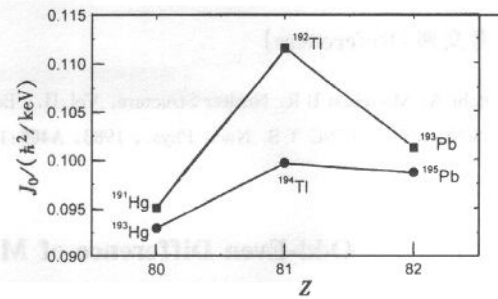


图 4 190 区相同 N 、不同 Z 奇 A 与奇奇核超形变态转动惯量的差异
—■— $N=111$, —●— $N=113$.

3.3 转动惯量的奇偶差

为了明显看出转动惯量的奇偶差异、偶中子和偶质子核转动惯量奇偶差的大小, 比较中子堵塞与质子堵塞的强弱. 我们利用文献[2]给出的转动惯量奇偶差的定义式(1)和(2), 系统计算了 ϵ_n 和 ϵ_p , 结果见图 5. (a) 质子数为偶核与奇 A 核转动惯量的奇偶差. 从图中可以看出, ϵ_n 明显大于零, 反映出奇偶差是存在的. 且 Pb 同位素核的 ϵ_n 明显大于 Hg 同位素的 ϵ_n , 即 Pb 同位素核的奇偶差比 Hg 同位素的奇偶差大一些, 这与图 1 显示的结果相一致. (b) 中子数为偶核与奇 A 核转动惯量的奇偶差. 图中显示出奇偶差也是明显的. 反映出奇偶差在超形变核态是普遍存在的. 对关联也是超形变核态十分重要的问题. 然而, 从图 5 也可看出, ϵ_n 和 ϵ_p 都在 0.2 以下, 而许多正常形变核的 ϵ_n 和 ϵ_p 比 0.2 大得多, 这反映出, 超形变核态对力确实比正常形变核态要弱一些.

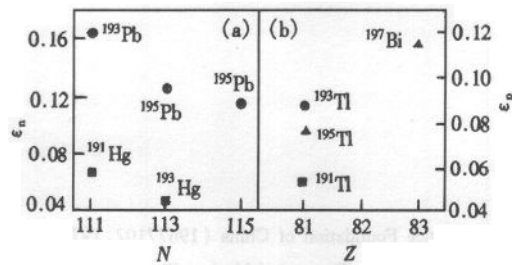


图 5 190 区超形变核转动惯量的奇偶差
(a) 奇 N 核; (b) 奇 Z 核.

4 结论

本文系统分析了 190 区超形变带的带首转动惯量,发现:偶偶核的带首转动惯量系统小于相邻奇 A 核的带首转动惯量,奇 A 核的带首转动惯量系统小于相邻奇奇核的带首转动惯量,超形变核态带首转动惯量展现出明显的奇偶差现象. 然而超形变核态的 ϵ_n 和 ϵ_p 普遍比正常形变核小,反映出超形变核态对关联确实比正常形变核态要弱一些.

参考文献 (References)

- 1 Bohr A, Mottelson B R. Nuclear Structure, Vol. II. , Benjamin, 1975
- 2 ZENG J Y, CHENG T S. Nucl. Phys. , 1983, A405:1

Odd-Even Difference of Moment of Inertia of Nuclear Superdeformed States in A ~ 190 Region

GUO Jian-You¹⁾ XU Fu-Xin

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

RUAN Tu-Nan

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract By fitting the E2 transition spectra of superdeformed bands in A ~ 190 region, the coefficients of Bohr-Mottelson's $I(I+1)$ expansion are determined and moments of inertia of band head are calculated out. All results show that the moments of inertia of odd-A nuclei are systematically larger than those of the neighboring even-even nuclei, and the moments of inertia of odd-odd nuclei are systematically larger than those of the neighboring odd-A nuclei. The odd-even difference of moment of inertia of nuclear superdeformed states is obvious.

Key words nuclear superdeformed states, moments of inertia, and the odd-even difference

Received 21 August 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19677102, 19775044 & 19991480), Beijing Electron-Positron Collision of National Laboratory, Center of Theoretical Nuclear Physics of Lanzhou Heavy Ion Accelerator National Laboratory, and Education Committee Foundation of Anhui Province (98JL014)

1) E-mail: guojyou@263.net