

190区超形变带自旋指定的再讨论*

郭建友^{1,2} 徐辅新¹ 阮图南²

1(安徽大学物理系 合肥 230039)

2(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 利用两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系,对190区Bohr-Mottelson的两参数、三参数和四参数 $I(I+1)$ 展开公式指定自旋不一致的27条超形变带进行分析,发现其中18条超形变带,它们的带首自旋 I_0 能够从两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系中可靠地定出。 $^{192}\text{Hg}(2)$ 等发生带交叉的超形变带,它们的带首自旋也可通过分析带交叉以前、两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系定出。

关键词 超形变带 转动惯量 自旋指定

1 引言

原子核超形变带是目前核结构领域十分热门的前沿课题之一。迄今为止,已分别在190,150,130,80以及60区测得200多条超形变带。探讨超形变带的性质及其能谱变化规律已成为理论物理学家十分感兴趣的课题。超形变带的自旋指定一直是研究超形变态性质的一个重要内容,目前已提出了很多方案^[1-6]。这些方案的共同之处都是建立在正常形变带能谱相应公式的基础上,并且都具有跃迁能量对自旋值的敏感性。文献[7]利用Bohr-Mottelson的 $I(I+1)$ 展开能谱公式^[8]

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

$$E(I) = AI(I+1) + BI^2(I+1)^2 + CI^3(I+1)^3, \quad (2)$$

$$E(I) = AI(I+1) + BI^2(I+1)^2 + CI^3(I+1)^3 + DI^4(I+1)^4, \quad (3)$$

对190区超形变SD带进行了系统分析,并用实验能谱与计算能谱相对方均根差最小的方法对190区61条SD带进行了自旋指定。发现其中34条SD带,3个公式指定的带首自旋完全一致,其中27条SD带,3个公式指定的带首自旋有差异(见表1)。对于这些自旋指定不一致的SD带,哪一个自旋值是正确的呢?文献[7]从拟合精度考虑给出了带首

2000-05-30 收稿

* 国家自然科学基金(19677102,19775044和19991480),高等学校博士学科点专项科研基金(97035807),北京正负电子对撞机国家实验室,兰州重离子加速器国家实验室原子核理论研究中心和安徽省教委基金(98JL014)资助

自旋的建议值. 本文在文献[7]的基础上, 进一步分析两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系以定出更为可靠的带首自旋. 考虑到 $K \neq 1/2$ 的超形变带, 当能级自旋指定正确时, 运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 和动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 ω 而平缓变化、不相交, 在 $\omega \rightarrow 0$ 时, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 趋于同一值. 为此, 下面我们具体分析文献[7]指定带首自旋不一致的 27 条 SD 带, 两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系.

表 1 Bohr-Mottelson $I(I+1)$ 展开公式(1)–(3)指定自旋不一致的 SD 带

| | | | | | | | |
|-------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| I_0 | ^{189}Hg | $^{190}\text{Hg}(1)$ | $^{192}\text{Hg}(1)$ | $^{192}\text{Hg}(3)$ | $^{193}\text{Hg}(2)$ | $^{193}\text{Hg}(3)$ | $^{194}\text{Hg}(1)$ |
| AB | 15.5 | 13.0 | 9.0 | 14.0 | 11.5 | 10.5 | 11.0 |
| ABC | 15.5 | 13.0 | 8.0 | 17.0 | 10.5 | 9.5 | 10.0 |
| ABCD | 14.5 | 12.0 | 8.0 | 13.0 | 10.5 | 9.5 | 10.0 |
| I_0 | $^{194}\text{Hg}(3)$ | $^{195}\text{Hg}(a)$ | $^{195}\text{Hg}(b)$ | $^{195}\text{Hg}(c)$ | ^{195}Bi | ^{192}Pb | $^{194}\text{Pb}(2a)$ |
| AB | 12.0 | 13.5 | 12.5 | 9.5 | 11.5 | 8.0 | 10.0 |
| ABC | 11.0 | 12.5 | 11.5 | 10.5 | 11.5 | 8.0 | 11.0 |
| ABCD | 11.0 | 12.5 | 11.5 | 10.5 | 12.5 | 7.0 | 10.0 |
| I_0 | $^{194}\text{Pb}(2b)$ | $^{195}\text{Pb}(4)$ | $^{191}\text{Tl}(1)$ | $^{191}\text{Tl}(2)$ | $^{194}\text{Tl}(2)$ | $^{194}\text{Tl}(5)$ | $^{191}\text{Hg}(4)$ |
| AB | 11.0 | 8.5 | 13.5 | 16.5 | 10.0 | 9.0 | 10.5 |
| ABC | 11.0 | 8.5 | 13.5 | 16.5 | 11.0 | 10.0 | 11.5 |
| ABCD | 10.0 | 7.5 | 12.5 | 18.5 | 11.0 | 10.0 | 11.5 |
| I_0 | $^{196}\text{Pb}(3)$ | $^{192}\text{Hg}(2)$ | $^{193}\text{Hg}(1)$ | $^{193}\text{Hg}(4)$ | $^{192}\text{Tl}(a)$ | $^{192}\text{Tl}(b)$ | |
| AB | 9.0 | 13.0 | 11.5 | 12.5 | 13.0 | 16.0 | |
| ABC | 9.0 | 11.0 | 9.5 | 13.5 | 14.0 | 17.0 | |
| ABCD | 10.0 | 12.0 | 8.5 | 14.5 | 14.0 | 17.0 | |

2 分析方法

利用 Bohr-Mottelson 的 $I(I+1)$ 展开公式(1)–(3), 拟合 190 区 SD 带的 E2 跃迁谱.

利用计算能谱和实验能谱相对方均根差 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{E_{\gamma}^{\text{cal}}(I_i) - E_{\gamma}^{\text{exp}}(I_i)}{E_{\gamma}^{\text{exp}}(I_i)} \right]^2}$ 最小的方法,

定出 SD 带的带首自旋. 利用差分公式

$$J^{(1)}(I-1) = (2I-1)\hbar^2/E_{\gamma}(I \rightarrow I-2), \quad (4)$$

计算运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 和差分公式

$$J^{(2)}(I) = 4\hbar^2/[E_{\gamma}(I+2 \rightarrow I) - E_{\gamma}(I \rightarrow I-2)], \quad (5)$$

提取动力学转动惯量 $J^{(2)}$.

从(4)式可以看出, 运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 与能级自旋密切相关, 自旋指定的差异直接影响 $J^{(1)}$ 的计算值, 而由(5)式提取的动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 与能级自旋没有直接的关系. 因此, 分析 $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 随转动频率 ω 的变化及其相互关系可以帮助我们判断自旋指定的

合理性. 特别是, 对于 $K \neq 1/2$ 带, 两类转动惯量的相交可能意味着能级自旋指定有偏差.

3 结果讨论

对于(1)–(3)式指定自旋不完全一致的 27 条中的 18 条带, 我们利用(5)式给出了它们动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 ω 的变化关系; 并在不同带首自旋情况下, 利用(4)式给出了它们运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 随转动频率 ω 的变化关系, 如图 1, 2 所示, 从中可以看出, 这些超形变带, 两类转动惯量随转动频率变化很有规律, 动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 在所观测的频率范围内随转动频率 ω 的增加而平滑上升, 表明它们可能都不是 $K = 1/2$ 且脱耦合常数明显不为 0 的带. 因此, 分析这些带两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系能够定出它们的带首自旋. 例如 $^{190}\text{Hg}(1)$ 带, 当带首自旋 I_0 选取 $13\hbar$ 时, 运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 和动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 ω 增加而平缓上升、不相交, 且 $J^{(2)} > J^{(1)}$, 在 $\omega \rightarrow 0$ 时, $J^{(2)}$ 和 $J^{(1)}$ 趋于同一值, 这与微观理论相一致. 而当带首自旋 I_0 取为 $14\hbar$ 时, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 在 ω 较小时发生了交叉, $J^{(1)} > J^{(2)}$, 这与微观理论不相符. 当 I_0 取为 $12\hbar$ 时, 随 ω 的减小, $J^{(2)}$ 系统大于 $J^{(1)}$, 而不趋于同一值. 所以, $^{190}\text{Hg}(1)$ 带的带首自旋的合理取值为 $13\hbar$. 其它 17 条带, 情况与 $^{190}\text{Hg}(1)$ 相似, 它们的带首自旋不难从图 1, 2 中看出.

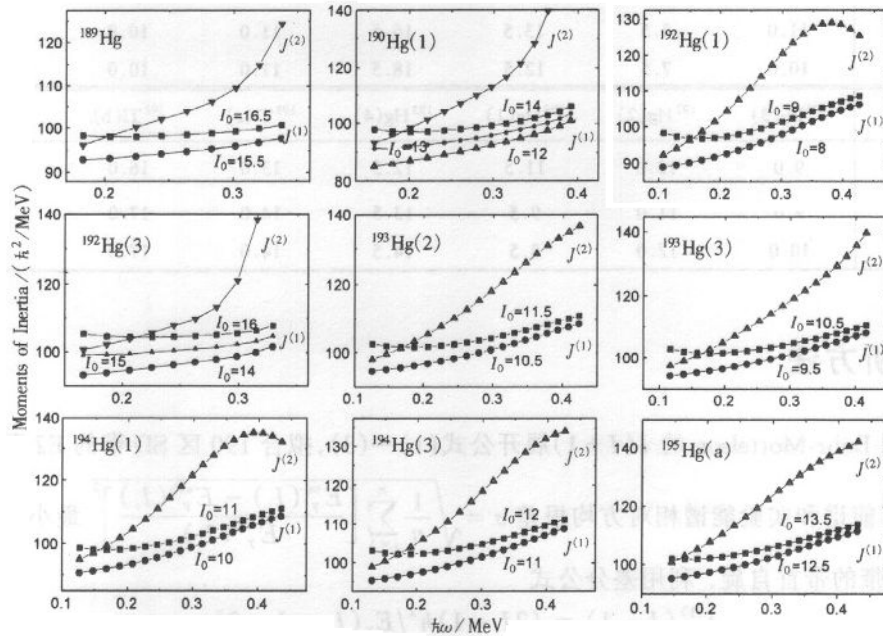


图 1 Hg 同位素核 SD 带两类转动惯量随转动频率的变化规律

$^{194}\text{Tl}(2,5)$, $^{191}\text{Hg}(4)$ 和 $^{196}\text{Pb}(3)$ 等 SD 带, 如图 3 所示, 它们的带首自旋难以从两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系中可靠地定出. 例如 $^{196}\text{Pb}(3)$, 当带首自旋取为 $I_0 = 10\hbar$, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 发生了明显的交叉, 而当带首自旋取为 $I_0 = 9\hbar$, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 随转动频率的变化在 ω 趋于零时不仅不趋于相同的值, 反而随着转动频率的减小, $J^{(2)}$ 偏离 $J^{(1)}$ 越来

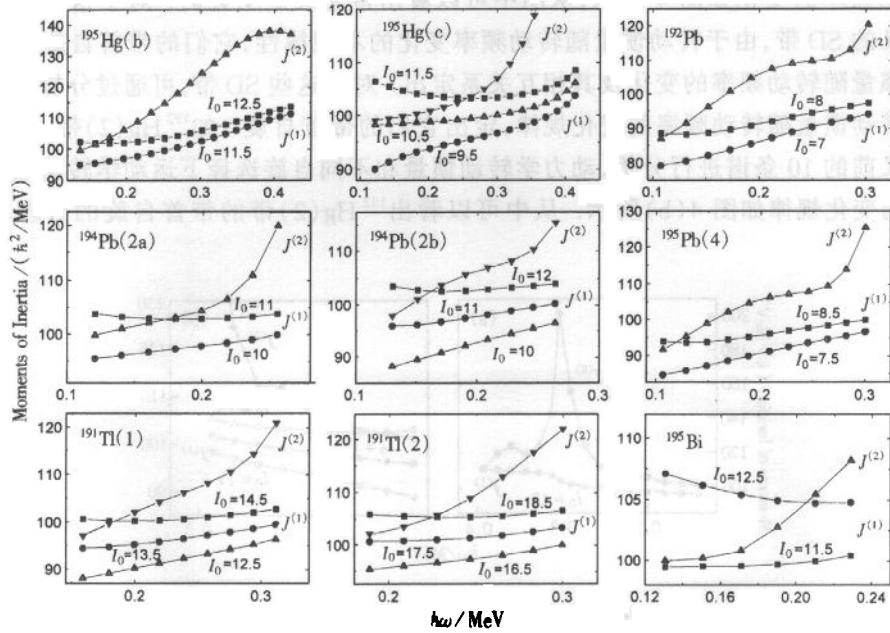


图 2 Hg,Pb,Tl 和 Bi 同位素核 SD 带两类转动惯量随转动频率的变化规律

越大,说明这条 SD 带的带首自旋可能在 $9\hbar$ 和 $10\hbar$ 之间. 考虑到偶-偶核 SD 带的带首自旋只能为整数,即 $^{196}\text{Pb}(3)$ 的带首自旋可能是 $9\hbar$ 或 $10\hbar$. 上述两类转动惯量随转动频率的变化的异常情况,可能是实验测量的能谱不够精确或这些带具有比较特殊的结构. 详细原因尚需要进一步的研究.

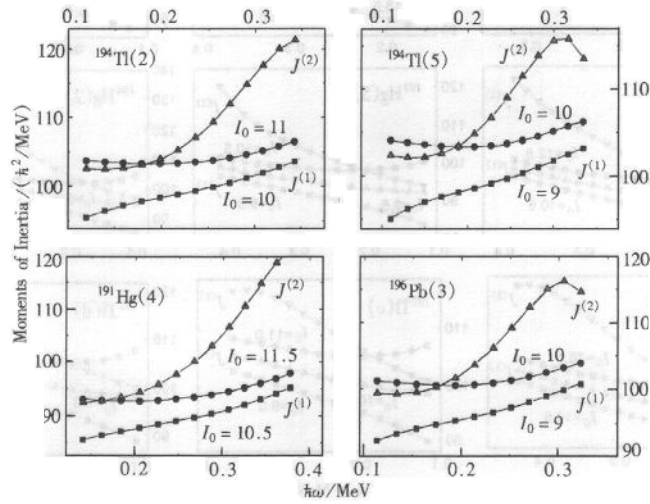


图 3 $^{194}\text{Tl}(2,5)$, $^{191}\text{Hg}(4)$ 和 $^{196}\text{Pb}(3)$ SD 带两类转动惯量随转动频率的变化规律

$^{192}\text{Hg}(2)$ 等 5 条 SD 带,文献[7]利用 3 个公式定出的带首自旋也不一致,它们可能发生了带交叉,两类转动惯量随转动频率的变化已不规则. 例如 $^{192}\text{Hg}(2)$ 带,动力学转动惯

量随转动频率的变化如图 4 所示,从图中可以看出带交叉是明显的. 对于这些可能发生了带交叉的 SD 带,由于转动惯量随转动频率变化的不规律性,它们的带首自旋也很难通过转动惯量随转动频率的变化及其相互关系定出. 对于这些 SD 带,可通过分析带交叉以前两类转动惯量随转动频率的变化规律,定出它们的带首自旋. 如 $^{192}\text{Hg}(2)$ 带,我们取发生带交叉前的 10 条谱进行分析,动力学转动惯量和不同自旋选择下运动学转动惯量随转动频率的变化规律如图 4(b)所示. 从中可以看出 $^{192}\text{Hg}(2)$ 带的带首自旋的合理取值是 $12\hbar$.

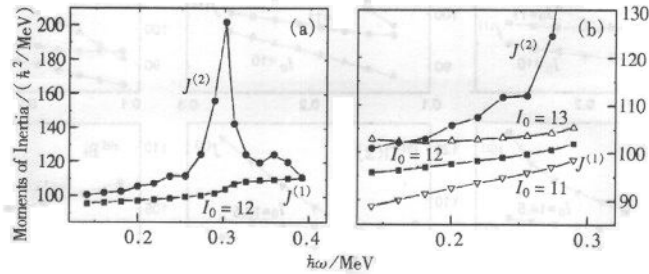


图 4 $^{192}\text{Hg}(2)$ 带带交叉前后两类转动惯量随转动频率的变化规律

此外,对于 $I(I+1)$ 展开 3 个公式指定自旋完全一致的大多数 SD 带,两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系如图 5 所示(部分结果),从中可以看出,这些 SD 带两类

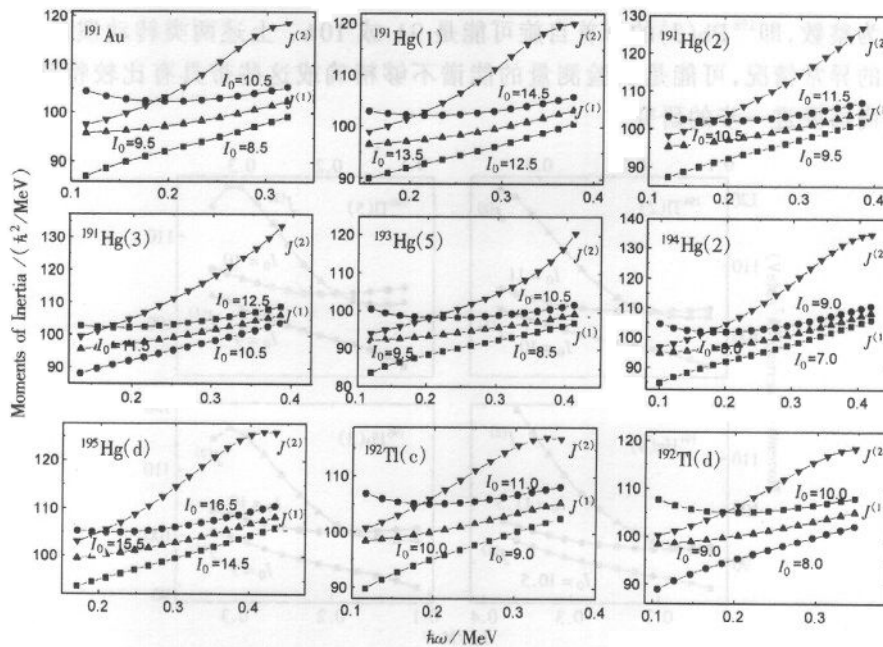


图 5 ^{191}Au 等超形变带两类转动惯量随转动频率的变化规律

转动惯量随转动频率变化都很有规律,动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 在所观测的频率范围内随转动频率 ω 的增加而平滑上升,由两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系定出的带

首自旋和用 $I(I+1)$ 展开 3 个公式指定的自旋完全一致. 表明用 $I(I+1)$ 展开 3 个公式指定自旋和用两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系指定自旋都是合理的, 上述利用两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系对 $I(I+1)$ 展开 3 个公式指定自旋不一致的 SD 带进行重新自旋指定是可靠的和有意义的. 然而, 对于 $^{193}\text{Pb}(1)$, $^{195}\text{Pb}(2)$, $^{195}\text{Pb}(3)$ 和 $^{197}\text{Pb}(2)$ 等 4 条带, Bohr-Mottelson 的 $I(I+1)$ 展开 3 个公式定出的带首自旋完全一致, 但它们的动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 随转动频率 ω 变化很不规则, $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 发生了明显的交叉(图 6). 交叉的根源可能不能归结为带首自旋指定不正确所致, 它们可能是 $K=1/2$, 且脱耦合常数明显不为 0 的带.

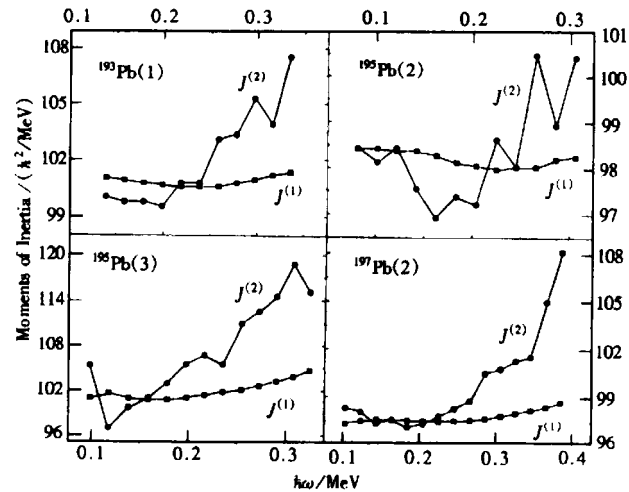


图 6 $^{193}\text{Pb}(1)$, $^{195}\text{Pb}(2)$, $^{195}\text{Pb}(3)$ 和 $^{197}\text{Pb}(2)$ 带转动惯量的变化

4 结论

利用两类转动惯量随转动频率的变化规律, 对 190 区 Bohr-Mottelson 的 $I(I+1)$ 展开公式指定自旋不一致的 27 条超形变带进行了系统分析. 发现其中 18 条 SD 带, 它们的带首自旋可从两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系中可靠地定出. $^{194}\text{Tl}(2,5)$, $^{191}\text{Hg}(4)$ 和 $^{196}\text{Pb}(3)$ 等 SD 带具有比较特殊的结构, 它们的带首自旋难以通过两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系中可靠地定出, 但可给出带首自旋的可能取值. $^{192}\text{Hg}(2)$ 等可能发生了带交叉 SD 带, 它们的带首自旋可通过分析带交叉以前两类转动惯量随转动频率的变化及其相互关系定出.

参考文献 (References)

- 1 Becker J A, Henry F A, Kuhnert A et al. Phys. Rev., 1992, C46:889
- 2 Draper J E, Stephens F S, Deleplanque M A et al. Phys. Rev., 1990, C42:R1791
- 3 ZENG J Y, MENG J, WU C S et al. Phys. Rev., 1991, C44:R1745
- 4 WU C S, ZENG J Y, XING Z et al. Phys. Rev., 1992, C45:261
- 5 XU Fu-Rong, ZHENG Chun-Kai. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1996, 20:554(in Chinese)

- (许甫荣, 郑春开. 高能物理与核物理, 1996, 20:554)
- 6 LIU Yu-Xin, SONG Jian-Gang, SUN Hong-Zhou et al. *Phys. Rev.*, 1997, C56:1370
- 7 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)
- 8 Bohr A, Mottelson B R. *Nuclear Structure*. Benjamin, New York, 1975, II

Further Discussion on the Spin-Determination of Superdeformed Bands in the $A \sim 190$ Region*

GUO Jian-You^{1,2} XU Fu-Xin¹ RUAN Tu-Nan²

¹(Department of Physics, Anhui University, Hefei 230039, China)

²(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract The 27 superdeformed bands, whose spin determinations aren't in agreement with two-parameter, three-parameter and four-parameter $I(I+1)$ expansions, are analyzed. The results show that the angular momenta of 18 superdeformed bands can be determined by comparison with the variation of the kinematic and dynamic moments of inertia with rotational frequency and their mutual relation. The angular momenta of superdeformed bands like $^{192}\text{Hg}(2)$, which have bands cross, can also determined by analyzing the spectra before bands cross and by comparison with the variation of the kinematic and dynamic moments of inertia with rotational frequency and their mutual relation.

Key words superdeformed bands, moments of inertia, spin determinations

Received 30 May 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19677102, 19775044, 19991480), Doctoral Unit Research Foundation of the State Education Committee (97035807), 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)