

190 区超形变核中转动带的组态结构*

刘树新¹⁾

(北京大学物理学院 北京 100871)

(兰州重离子加速器国家实验室原子核理论研究中心 兰州 730000)

摘要 通过系统研究 $A \sim 190$ 区超形变核中转动带的转动惯量、角动量顺排、旋称分裂随转动频率的变化规律, 结合我们用处理对力的粒子数守恒方法的计算结果, 对 $A \sim 190$ 区所有转动带的组态结构给出了一个整体的描述. 绝大多数超形变带都建立在强耦合轨道上, 例如中子 $[512]5/2$, $[624]9/2$. 少数超形变带则建立在高 j 闯入轨道上, 即中子 $[761]3/2$, $[752]5/2$. 根据我们提出的组态结构所进行的理论计算结果表明, $A \sim 190$ 区所有转动带的一般行为、反常变化和带交叉都得到了满意的解释.

关键词 超形变转动带 粒子数守恒方法 动力学和运动学转动惯量 高 j 闯入轨道

目前, 在 $A \sim 190$ 区已观测到近百条超形变 (SD) 转动带. 绝大多数 SD 带, 特别是偶偶核晕 SD 带, 转动惯量随转动频率的变化是比较规则的, 转动惯量随角动量 I (角频率 ω) 的增加而光滑地增大, 在实验观测的角动量 $I \sim (10-40)\hbar$, 即角频率 $\hbar\omega \sim (0.1-0.4)\text{MeV}$ 范围中, 动力学转动惯量 $J^{(2)}$ 约增大 30%—40%^[1, 2]. 现在大家已取得共识, 把 $J^{(2)}$ 这种逐渐增大归之于在对力影响下, Coriolis 力所导致的粒子角动量沿转动方向顺排的结果^[3-5]. $A \sim 190$ 区偶偶核晕 SD 带 $J^{(2)}$ 的变化与稀土区和钢系区正常变形 (ND) 偶偶核基带(在

发生回弯前)很相似, 但 $J^{(2)}$ 的增长幅度相差悬殊. 例如钢系偶偶核 ($^{232-238}\text{U}$, $^{236-244}\text{Pu}$ 等), 在 $I \sim 0-22\hbar$ 或 $\hbar\omega \sim 0-0.2\text{MeV}$ 范围内, $J^{(2)}$ 约增大 200%, 远远高于 $A \sim 190$ 区 SD 带的增长幅度. 另外, 与这一般的变化趋势不同, 在 $A \sim 190$ 区有少数 SD 带表现出反常的行为, 转动惯量几乎不随转动频率变化, 例如 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$. 在奇 A 核 ^{193}Hg 中, $^{193}\text{Hg}(1, 4)$ 两个带则表现出较强的带相互作用. 本文的目的就是对于 $A \sim 190$ 区所有转动带的一般行为、反常变化和带交叉, 从整体上给予解释.

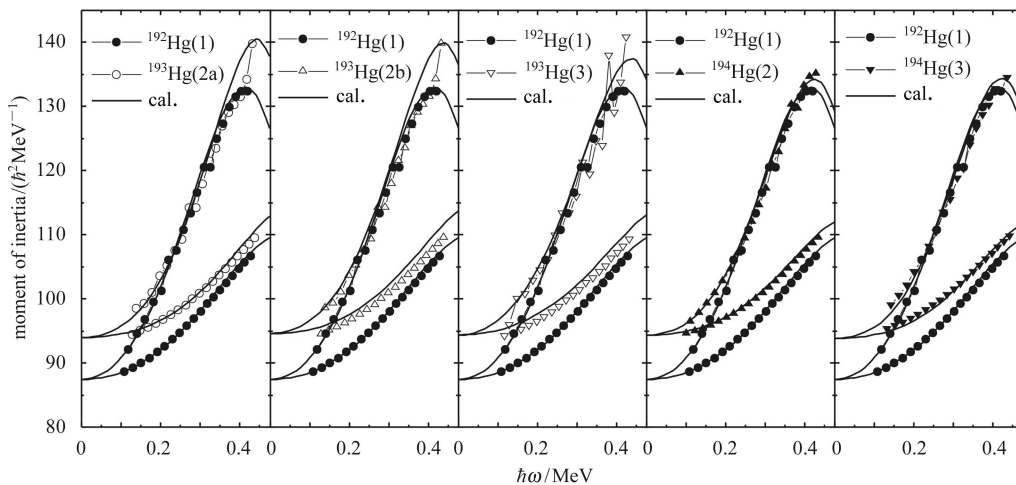


图 1 Hg 系列超形变全同带实验和理论比较
 $A \sim 190$ 区 SD 核的推转 Nilsson 能级 ($\epsilon_2 = 0.45, \epsilon_4 = 0.025$).

2005 - 01 - 21 收稿

* 国家自然科学基金(10375001)资助

1) E-mail: liusx@pku.edu.cn

首先以 $A \sim 190$ 区 Hg 系列的一组超形变全同带为例, 说明绝大多数转动带的一般行为. 这组全同带及其相应的组态是, $^{192}\text{Hg}(1)$ (准粒子真空带), $^{193}\text{Hg}(2a)$ ($\nu[512]5/2, \alpha = +1/2$), $^{193}\text{Hg}(2b,3)$ ($\nu[624]9/2, \alpha = \pm 1/2$) 和 $^{194}\text{Hg}(2,3)$ ($\nu[512]5/2 \otimes [624]9/2, \alpha = 0.1$). 在图 1 中给出了实验和理论比较. 对于 $A \sim 190$ 区高自旋全同带, 被堵的轨道 $\nu[624]9/2$ 和 $\nu[512]5/2$, 对 Coriolis 力的响应是中等程度的, 它们对转动惯量的贡献不可忽略, 所以 $^{192}\text{Hg}(1)$, $^{193}\text{Hg}(2a, 2b, 3)$ 和 $^{194}\text{Hg}(2, 3)$ 的带首转动惯量并不相同, 因而在低频区不可能出现全同带. 但是随着 ω 的增大, 堵塞效应将逐渐减弱, $^{193}\text{Hg}(2a, 2b, 3)$ 和 $^{194}\text{Hg}(2, 3)$ 相对于 $^{192}\text{Hg}(1)$ 的角动量顺排, 平滑地增加并逐渐趋于饱和, 从而在 $\hbar\omega \approx 0.20-0.40\text{MeV}$ 范围中出现全同带.

我们的理论研究还对实验上观测到的转动惯量奇偶差 $\delta J/J$ 在低频区的大幅度涨落, 给出了满意的解释, 解决了 BCS 方法所碰到的严重挑战. $\delta J/J$ 灵

敏地依赖于被堵能级的性质. 实验观测到的全同带 ($\delta J/J \sim 0$) 所涉及到的被堵单粒子能级, 在全同频率范围内对 Coriolis 力的响应都相当微弱. 与此相反, $\delta J/J$ 很大的转动带, 所涉及到的被堵能级都是高 j 闯入轨道. 随着转动频率 ω 的增大, 堵塞效应将逐渐减弱, 因而奇偶差随之逐渐消失.

对于 $A \sim 190$ 区的所有转动带, 除了奇质子核以外, 激发带都建立在中子的激发之上, 而中子的激发主要涉及到强耦合轨道, 它们是中子 $[505]11/2$, $[512]5/2$, $[624]9/2$ 和 $[514]7/2$. 少数转动带则建立在高 j 闯入轨道上, 根据从唯象、微观两方面的分析, 它们只涉及到高 j 闯入轨道 $[761]3/2$ 和 $[752]5/2$. 超形变核 ^{194}Hg 的质子和中子费米面附近的单粒子轨道分布如图 2.

高 j 闯入轨道一般都有较大的旋称分裂, 并且对原子核的形变有较大影响. 超形变核 ^{193}Hg 的转动带 1, 4 和 5 涉及到高 j 闯入轨道 $[761]3/2$. 在低自旋区,

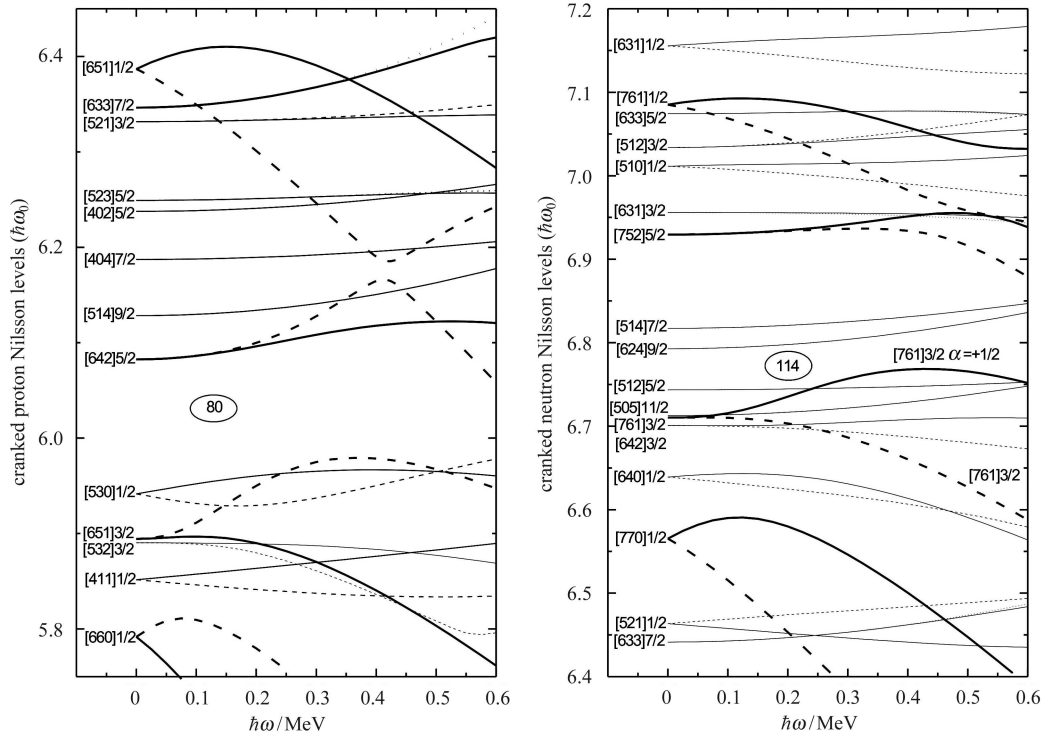


图 2 $A \sim 190$ 区 SD 核的推转 Nilsson 能级 ($\varepsilon_2 = 0.45$, $\varepsilon_4 = 0.025$)

3 个带的组态如下:

带 1 是 $\nu[512]5/2$ ($\alpha = -1/2$), 带交叉后变为 $\nu[761]3/2$ ($\alpha = -1/2$);

带 4 是 $\nu[761]3/2$ ($\alpha = -1/2$), 带交叉后变为 $\nu[512]5/2$ ($\alpha = -1/2$);

带 5 是 $\nu[761]3/2$ ($\alpha = +1/2$).

在图 3 给出了它们的运动学转动惯量的实验观测值. 作为比较, 图 3 中也画出带 2a 的运动学转动惯量, 它的组态是 $\nu[512]5/2$ ($\alpha = +1/2$), 和带 1 在低自旋区是旋称对偶带 (signature partner), 它的运动学转动惯量随自旋的变化典型地体现了 $A \sim 190$ 区绝大多数转动带的一般行为. 而建立在高 j 闯入轨道上的带 4 和 5

的转动惯量在低自旋区趋于相同的值, 并明显高于带 2a 的带首转动惯量; 随着转动频率的增大, 它们有较大的旋称分裂(signature splitting). 基于上述组态指定的理论计算结果在图 4 中给出, 实验和理论的符合是相当令人满意的.

在 $A \sim 190$ 区的低端, 少数带的反常行为和带交叉都是高 j 闯入轨道 [761]3/2 的表现, 例如, 超形变核 $^{189-192}\text{Hg}$ 中几条转动带的反常变化, 超形变核 ^{193}Pb 中带 1 和 2 转动惯量变平的现象.

在 $A \sim 190$ 区的高端, 由于高 j 闯入轨道中子 [761]3/2 和质子 [642]5/2 的填布, 原子核的形变加大, 中子高 j 闯入轨道 [752]5/2 迅速降低, 开始发挥关键性

的作用. 我们以 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 为例说明这种情况.

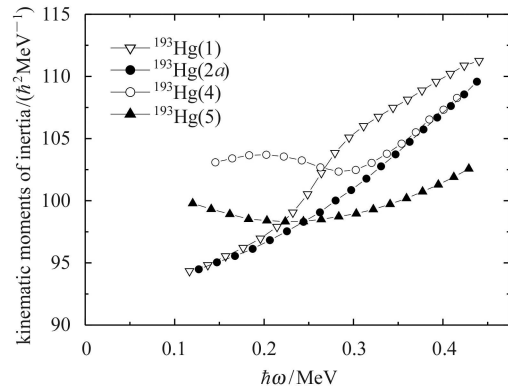


图 3 超形变带 $^{193}\text{Hg}(1, 2a, 4, 5)$ 的运动学转动惯量

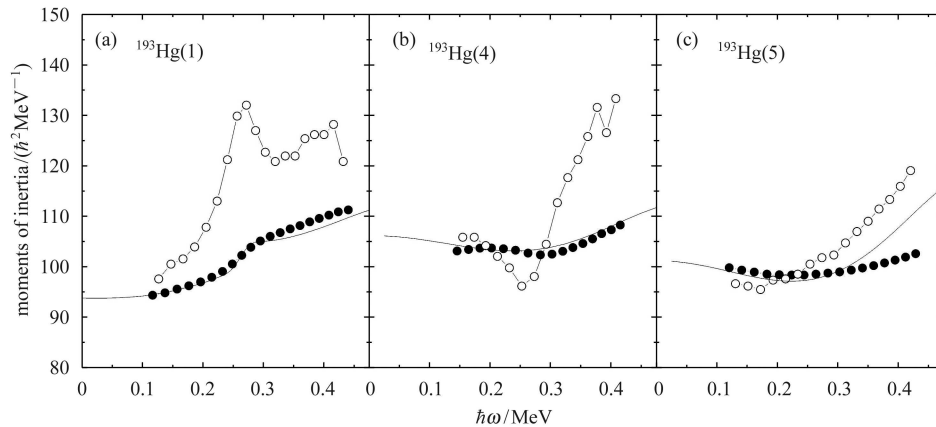


图 4 超形变带 $^{193}\text{Hg}(1, 4, 5)$ 实验和理论值的比较

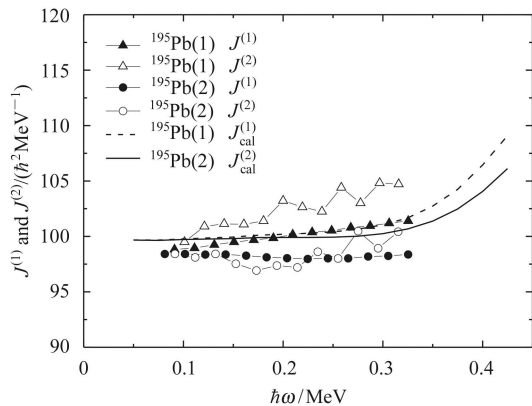


图 5 超形变带 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 实验和理论值的比较

超形变核 ^{195}Pb 有两个质子填布在高 j 闯入轨道 [642]5/2 上, 两个中子填布在高 j 闯入轨道 [761] 3/2 上, 从而超形变核 ^{195}Pb 有较大的形变, 高 j 闯入轨道

[752]5/2 随着形变的增大, 下降较快, 几乎就位于费米面上. 在图 5 中所给的理论计算结果很好的再现了 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 两个转动带的转动惯量变平的现象. 同样是基于高 j 闯入轨道, $^{193}\text{Hg}(1, 5)$ 和 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 的旋称分裂的差别较大. 例如在转动频率 $h\omega = 0.3\text{MeV}$ 这个位置, $^{193}\text{Hg}(1, 5)$ 的运动学转动惯量相差 $7.5h^2\text{MeV}^{-1}$, 角动量顺排相当于差 $2.2h$, 而 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 的只相差 $3.0h^2\text{MeV}^{-1}$, 角动量顺排相当于差 $1.0h$, 这与它们所基于的高 j 闯入轨道的性质是完全符合的. $^{197}\text{Pb}(1, 2)$ 和 $^{196}\text{Bi}(1)$ 的情况与 $^{195}\text{Pb}(1, 2)$ 类似.

总之, 在 $A \sim 190$ 区的已观测到的所有超形变转动带的组态结构已基本确定, 相信这对实验和理论工作者都有较大的参考价值. 这些转动带的 $J^{(2)}$ 和 $J^{(1)}$ 随 ω 变化的规律及其微观机制, 可以进一步参考我们相应的文章^[2, 6-10].

参考文献(References)

- 1 Janssens R V F, Khoo T L. Annu. Rev. Nucl. Part. Sci., 1991, **41**: 321
- 2 LIU S X, ZENG J Y. Phys. Rev., 1998, **C58**: 3266
- 3 Riley M A et al. Nucl. Phys., 1990, **A512**: 178
- 4 Moore E F et al. Phys. Rev. Lett., 1990, **64**: 3127
- 5 YE D et al. Phys. Rev., 1990, **C41**: R13
- 6 LIU S X, ZENG J Y, ZHAO E G. Phys. Rev., 2002, **C66**: 024320
- 7 LIU S X, ZENG J Y. Nucl. Phys., 2004, **A736**: 269
- 8 LIU S X, ZENG J Y. Phys. Rev., 2002, **C66**: 067301
- 9 LIU S X, XIN X B, ZENG J Y. J. Phys., 2000, **G26**: 79
- 10 LIU Shu-Xin, YU Lei, ZENG Jin-Yan. Chin. Phys. Lett., 2000, **17**: 871

Configuration Structure of Superdeformed Bands in $A \sim 190$ Mass Region^{*}

LIU Shu-Xin¹⁾

(School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

(Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou,
Lanzhou 730000, China)

Abstract Using the particle-number conservation method for treating the cranked shell model with pairing interaction, we systematically investigate the variations of the moments of inertia, the angular momentum alignment and the signature splitting with rotational frequencies for superdeformed bands in the $A \sim 190$ mass region. According to our calculated results, we provide a global description of the configuration structure of superdeformed bands in the $A \sim 190$ mass region. Most superdeformed bands are located at the strong-coupling orbits, such as neutron $[512]5/2$, $[624]9/2$. A few superdeformed bands lie on high j orbits, i.e., neutron $[761]3/2$, $[752]5/2$. Our calculated configuration assignments give a satisfactorily explanation to the general behavior, the anomalous change and the band crossing of superdeformed bands in the $A \sim 190$ mass region.

Key words superdeformed rotational bands, particle-number conservation, dynamical and kinematic moments of inertia, high j intruder orbit