

超形变奇-奇核¹⁹⁴Tl 中的双堵塞效应*

贺晓涛¹ 刘树新^{2,3} 于少英^{1,2} 赵恩广^{2,3}

1 (内蒙古民族大学理工学院 通辽 028043)

2 (中国科学院理论物理所 北京 100080)

3 (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 采用处理含有对力的推转壳模型的粒子数守恒方法研究了 $A \sim 190$ 区奇奇核¹⁹⁴Tl 中 6 条超形变带. 计算结果与实验符合得非常好. 根据我们的 PNC 计算结果, 分别指定了¹⁹⁴Tl 的 6 条超形变带的组态, 详细分析了质子和中子的堵塞效应对转动惯量的影响. 转动惯量随转动频率的变化主要来源于高 N 闯入壳(对质子 $N=6$, 对质子 $N=6$) 的贡献, 而其他大壳对转动惯量的贡献基本上不随转动频率变化.

关键词 奇-奇核 粒子数守恒方法 超形变转动带 动力学和运动学转动惯量 堵塞效应

迄今, 在 $A \sim 190$ 区, 已经观测到了上百条高自旋超形变(SD)带^[1]. 对偶偶核的晕带, 人们已经采用不同的理论方法进行了细致的研究^[2]. 奇奇核的 SD 带是最复杂的, 对它的研究也最少. 由于涉及到双重堵塞效应, 奇奇核中 SD 带的带首转动惯量往往比相邻偶偶核的晕带要大 10% 左右^[3]. 它们的 SD 带的转动惯量随转动频率的变化比较复杂, 一般不像偶偶核的那样随转动频率的增加而平滑地增大, 有些几乎保持为常数^[4]. 但是在奇奇核¹⁹⁴Tl 和奇 A 核¹⁹³Tl 中, 实验仍然观测到了“全同带现象”, ¹⁹⁴Tl 的 6 条 SD 带的跃迁能量 E_γ 非常接近¹⁹³Tl 的两条 SD 带^[5]. 这些问题引起了理论工作者的极大兴趣. 本文采用粒子数守恒(PNC)方法对¹⁹⁴Tl 的 6 条 SD 带首次进行了详细地研究. 有关 PNC 计算方法的细节可参阅文献[6—8].

在我们的 PNC 计算中, 单粒子 Nilsson 能级参数 (κ, μ) 取自文献[9]. 形变参数取为 $\epsilon_2 = 0.46$, $\epsilon_4 = 0.033$, 对每组旋称带有微小的调整. 费米面附近的推转的单粒子能级如图 1 所示. 中子的推转多粒子组态(CMPC)的截断能量取为 $E_c = 0.70 \hbar\omega_0$, 涉及的 CMPC 空间的维数约为 1000, 质子的 CMPC 截断能量取为 $E_c = 0.45 \hbar\omega_0$, 涉及的 CMPC 空间的维

数约为 700. 在这样的 CMPC 空间中, 有效对力强度(单位 MeV)取: $G_{op} = 0.3$, $G_{2p} = 0.009$; $G_{on} = 0.2$, $G_{2n} = 0.03$.

图 2 给出了¹⁹⁴Tl 的三对旋称带¹⁹⁴Tl(1a, 1b), ¹⁹⁴Tl(2a, 2b)和¹⁹⁴Tl(3a, 3b)的转动惯量 $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 的计算结果. 其中 6 条 SD 带的自旋值取自文献[3]. 在整个实验观测的频率范围内, 理论计算和实验都符合得非常好. 根据我们的 PNC 计算结果, 给出对¹⁹⁴Tl 的 6 条 SD 带的组态指定如表 1. 中子轨道 [512]5/2

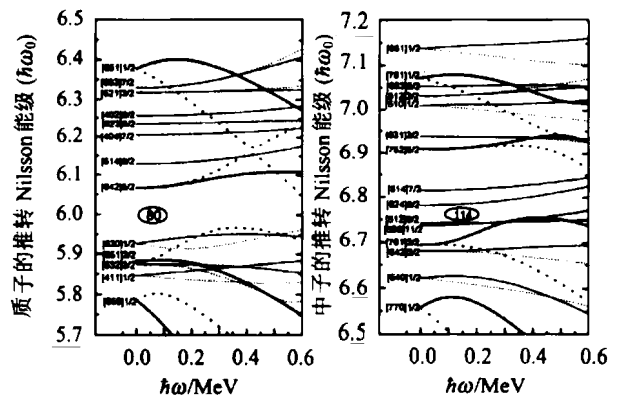


图 1 $A \sim 190$ 区 SD 核的推转 Nilsson 能级

旋称 $\alpha = +1/2$ ($\alpha = -1/2$) 的 Nilsson 轨道用实线(虚线)表示, 相应的高 N 闯入轨道(对质子 $N=6$, 对质子 $N=6$) 则用粗线表示.

2002-03-11 收稿

* 国家自然科学基金(10147205, 19835010, 10047001), 国家重点基础研究发展规划(G2000077407)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KJCX2-SW-N02)资助

表 1 ¹⁹⁴Tl 的 6 条 SD 带的组态

SD 带	组态
¹⁹⁴ Tl(1a, α = 0)	(π[642]5/2, α = +1/2) ⊗ (ν[512]5/2, α = -1/2)
¹⁹⁴ Tl(1b, α = 1)	(π[642]5/2, α = +1/2) ⊗ (ν[512]5/2, α = +1/2)
¹⁹⁴ Tl(2a, α = 0)	(π[642]5/2, α = -1/2) ⊗ (ν[624]9/2, α = +1/2)
¹⁹⁴ Tl(2b, α = 1)	(π[642]5/2, α = -1/2) ⊗ (ν[624]9/2, α = -1/2)
¹⁹⁴ Tl(3a, α = 0)	(π[642]5/2, α = -1/2) ⊗ (ν[512]5/2, α = +1/2)
¹⁹⁴ Tl(3b, α = 1)	(π[642]5/2, α = -1/2) ⊗ (ν[512]5/2, α = -1/2)

和[624]9/2 都是高 Ω(形变顺排)轨道,几乎没有旋称分裂(参见图 1),因此理论计算的 3 对旋称带¹⁹⁴Tl(1a,1b),¹⁹⁴Tl(2a,2b)和¹⁹⁴Tl(3a,3b)几乎都没有旋称分裂,这与实验结果完全一致。

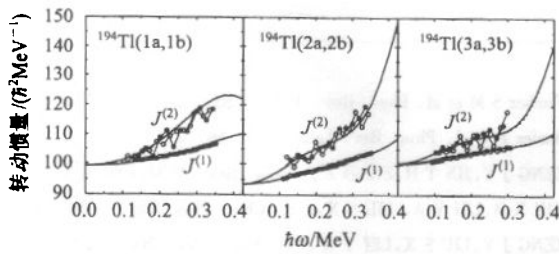


图 2 ¹⁹⁴Tl SD 带的转动惯量的计算和实验的比较

●(○)表示旋称 α=0(α=1)的 J⁽¹⁾和 J⁽²⁾的实验值,
-(- -)表示旋称 α=0(α=1)的 J⁽¹⁾和 J⁽²⁾的计算值。

¹⁹⁴Tl 的 6 条 SD 带中,质子被堵塞的轨道都是 [642]5/2,中子被堵塞的轨道分别是 [624]9/2 和 [512]5/2,被堵塞的状况非常类似。下面以¹⁹⁴Tl(2a)为例来详细分析质子和中子的堵塞效应。

在图 3 中,给出了¹⁹⁴Tl(2a)的质子和中子分别对转动惯量的贡献。可以清楚地看出:(1) 由于单质子高 N 闯入轨道 [642]5/2(见图 1)的影响,质子对转动惯量的贡献远比相邻偶核 SD 带大。(2) 当 ħω < 0.3MeV,转动惯量随转动频率的逐渐增大主要来自中子的贡献 J_n,而质子的贡献 J_p则随着转动频率的逐渐增大而减小。(3) 当 ħω > 0.3MeV,转动惯量随转动频率的逐渐增大主要来自质子的贡献 J_p。这些都是壳效应的一种反映,因为质子的 N 闯入轨道 [642]5/2 正好位于费米面上,与下面的其他轨道之间存在一个较大的能隙。质子轨道 [642]5/2 的堵塞严重削弱了质子的有效对力强度,从而对其他轨道的填充几率有很大影响(见图 5)。在 ħω > 0.3MeV,另一条高 N 低 Ω 闯入轨道 [651]1/2(α = -1/2)随转动频率的增大迅速下降,逐步接近费米面,其影响越来越大,在 ħω > 0.3MeV 以后, J_p 的上升主要来自它的贡献。

图 4 分别给出了质子和中子每一个大壳分别对

J⁽¹⁾的贡献。从图中可以看到,质子 N = 4,5 壳和中子 N = 5,6 壳对 J⁽¹⁾的贡献基本上不随转动频率变化。真正影响 J⁽¹⁾变化的都是高 N 闯入轨道。与相邻的偶核 SD 核相比,质子的堵塞效应更为显著,因为被堵的是高 N 闯入轨道,而中子被堵的只是一般的轨道。

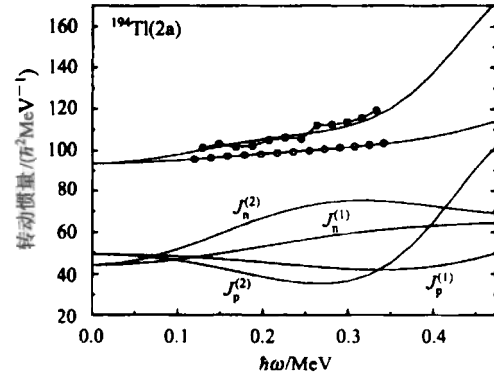


图 3 ¹⁹⁴Tl(2a)的质子和中子分别对 J⁽¹⁾和 J⁽²⁾的贡献

○表示 J⁽¹⁾的实验值,●表示 J⁽²⁾的实验值,
—表示 J⁽¹⁾和 J⁽²⁾的计算值。

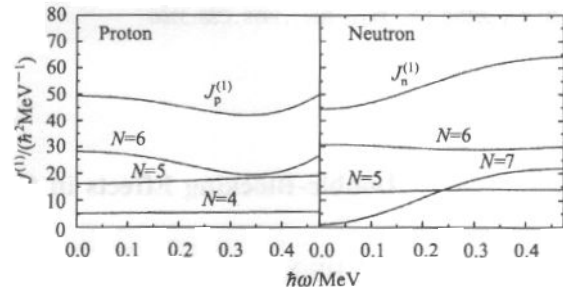


图 4 ¹⁹⁴Tl(2a)的质子 N = 4,5,6 壳和中子 N = 5,6,7 壳分别对 J⁽¹⁾的贡献

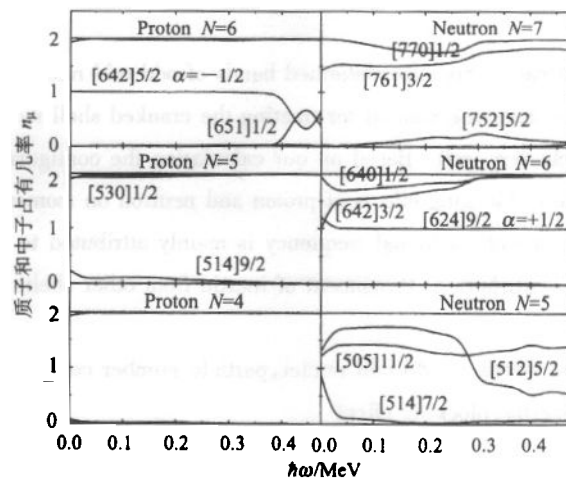


图 5 SD 带¹⁹⁴Tl(2a, α = 0)的质子和中子推转 Nilsson 轨道(包括两种旋称 α = ±1/2)上粒子的填充几率 图中只标记了明显偏离 2 和 0 的 Nilsson 轨道,其他远离费米面的 Nilsson 轨道的填充几率非常接近 2 或 0。

堵塞效应对转动惯量的影响可以更清楚地从质子和中子的填布几率中看出. 在图 5 中分别给出质子和中子的填布几率. 由于质子在费米面下存在一个较大的能隙, 而中子费米面附近的能级较为密集, 质子和中子的填布几率就很不相同. 质子能隙的存在使 $[642]5/2$ 轨道的堵塞效应更为显著, 质子的有效对力强度严重削弱, 使得质子费米面下的轨道几乎完全填布 ($n_{\mu} \approx 2$), 质子费米面上的轨道几乎是空的 ($n_{\mu} \approx 0$). 中子费米面附近的能级较为密集, 在对力的作用下费米面下的轨道上的粒子部分被激发到费米面之上. 在图 5 中还可看到, 质子轨道 $[642]5/2$ 和 $[651]1/2$ 的填布几率在 $\hbar\omega > 0.35\text{MeV}$

以后有一个交换. 这是由于随着转动频率的增大, 轨道 $[642]5/2$ ($\alpha = -1/2$) 和 $[651]1/2$ ($\alpha = -1/2$) 相互接近, 并在 $\hbar\omega = 0.40\text{MeV}$ 附近发生交叉. 在 $\hbar\omega > 0.3\text{MeV}$ 以后, J_p 的上升主要来自高 N 低 Ω 闯入轨道 $[651]1/2$ ($\alpha = -1/2$) 的角动量顺排.

总之, 奇奇核 ^{194}Tl 中 SD 带转动惯量 $J^{(1)}$ 和 $J^{(2)}$ 随角频率变化的规律在我们的计算中得到了满意的解释, 这关键在于 PNC 方法将 Pauli 堵塞自动而严格地考虑在内. 这些计算结果对于进一步揭示 ^{194}Tl 与 ^{193}Tl 中 SD 带的全同现象的微观机制, 以及相邻 SD 核的研究有重要的参考价值.

参考文献 (References)

- 1 Singh B, Firestone R B, Chu S Y F. Nucl. Data Sheets, 1996, **78**: 1
- 2 Afanasjev A V, König J, Ring P. Phys. Rev., 1999, **C60**: 051303 and references therein
- 3 LIU S X, ZENG J Y. Phys. Rev., 1998, **C58**: 3266

- 4 Fischer S M et al. Phys. Rev., 1996, **C53**: 2126
- 5 Azaiez F et al. Phys. Rev. Lett., 1991, **66**: 1030
- 6 ZENG J Y, JIN T H, ZHAO Z J. Phys. Rev., 1994, **C50**: 1388
- 7 XIN X B, LEI Y A, LIU S X et al. Chin. Phys. Lett., 2000, **17**: 94
- 8 ZENG J Y, LIU S X, LEI Y A et al. Phys. Rev., 2001, **C63**: 024305
- 9 Bengtsson T, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1985, **A436**: 14

Double-Blocking Effects in Odd-odd Superdeformed Nucleus $^{194}\text{Tl}^*$

HE Xiao-Tao¹ LIU Shu-Xin^{2,3} YU Shao-Ying^{1,2} ZHAO En-Guang^{2,3}

1 (College of Science and Engineering, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028043, China)

2 (Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

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

Abstract Six superdeformed bands of odd-odd nucleus ^{194}Tl in $A \sim 190$ mass region are studied using the particle-number conserving method for treating the cranked shell model with pairing interactions. Calculated results agree with experiments very well. Based on our calculation the configurations of the six superdeformed bands are assigned and the influence of blocking effects of proton and neutron on moments of inertia is investigated in detail. The variation of moments of inertia with rotational frequency is mainly attributed to the intruder shells (neutron $N = 7$ and proton $N = 6$), whereas the contributions to moment of inertia from other shells remain almost unchanged with rotational frequency.

Key words odd-odd nuclei, particle-number conserving method, superdeformed band, dynamic and kinematic moments of inertia, blocking effect

Received 11 March 2002

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10147205, 19835010, 10047001), Major State Basic Research Development Program (G2000077407) and Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX2 - SW - N02)