

确定原子核低激发态配对种类与结构的“新”途径

雷杨

leiyang19850228@gmail.com

西南科技大学 (SWUST)

第十七届全国核物理大会·华中科技大学
2019年10月



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

配对近似

$$A^{I\pi\dagger} = \sum_{a \leq b} \beta_{ab}^{I\pi} A^{I\pi\dagger}(ab), \quad A^{I\pi\dagger}(ab) = \frac{(C_a^\dagger \times C_b^\dagger)^{I\pi}}{\sqrt{1 + \delta_{ab}}},$$
$$|\tau_{\sigma=\pi, \nu}^J\rangle = \left(\left(A^{r1\dagger} \times A^{r2\dagger} \right)^{(J_2)} \times A^{r3\dagger} \right)^{(J)} |0\rangle$$

配对近似的优势

- 波函数结构清晰
- 计算自由度大
- 与代数模型
(IBM、FDSM)
联系紧密

待发展之处

- 形变关联
- 自由度过大

Y. M. Zhao and A. Arima, Phys. Rep. 545, 1 (2014)



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

IBM的壳模型基础给了我们提示

- 所有可能的两体组态线性叠加成一个配对(非耦合集体对):

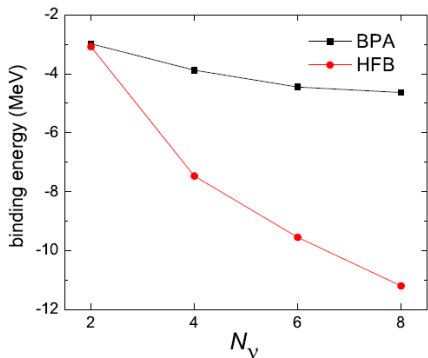
$$\begin{aligned}\Gamma^\dagger &= \sum \alpha_{j_1 j_2, m_1 m_2} a_{j_1 m_1}^\dagger a_{j_2 m_2}^\dagger \\ &= \sum \eta_M^J \sum \beta_{j_1 j_2} (a_{j_1}^\dagger a_{j_2}^\dagger)_M^J\end{aligned}$$

- 用这种配对架构试探波函数, 进行能量最小化(如HFB基态, $\exp(\Gamma^\dagger| \rangle)$)

S. Pittel and J. Dukelsky, Phys. Lett. B, 128, 9 (1983).

K. Sugawara-Tanabe and A. Arima, Phys. Lett. B 110, 87 (1982).

Y. Lei, S. Pittel, G. J. Fu, and Y. M. Zhao, arXiv: 12072297 (2012).



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

非耦合形式的配对近似

- 设 $\Omega = \frac{1}{2} \sum \omega_{ij} c_j c_i$, 其中 $\omega_{ij} = -\omega_{ji}$. 除此之外不没限制
- 那么其收缩 $[\Omega, \Lambda^\dagger] = -\frac{1}{2} \text{tr}(\lambda\omega) + P$, P 也是一个非耦合单体算符 $\sum (p = \lambda\omega)_{ij} c_i^\dagger c_j$.
- 单体算符与非耦合配对的收缩为 $\Gamma = [\Omega, P] = \sum (\omega p + p^T \omega)_{ij} c_j c_i$.
- $(\Gamma^\dagger)^N | \rangle$ 的 overlap、多体哈密顿矩阵元 (非递归) 公式
- overlap、多体哈密顿矩阵元对 ω_{ij} 的导数解析公式。
- 共轭梯度法; BFGS 求解容器 ...
- 形变参数计算 (现在仅四极)

T. Otsuka et al., Prog. Part. Nucl. Phys., 47, 319 (2001).



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

非耦合形式配对近似的数学特征

所得结果

- “平均场”基态的形变参数，解决第一个遗憾✓
- 耦合形式集体对在“平均场”基态中的定量组份，解决第二个遗憾✓
- 可以输入到传统配对近似中的对结构。

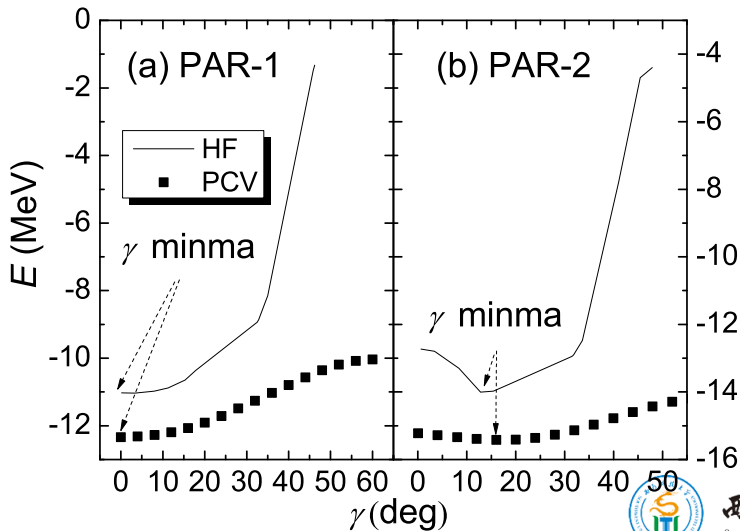
可以证明：最小化过程存在一些“self-consistent symmetries”

- 零角动量结构 → seniority scheme
- 宇称非混合状态 → 更多的形状混合可能
- K 量子数 → 轴对称形变约束

非约束状态下，能量级小点宇称不混合？



γ softness with pair condensation for ^{132}Ba



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

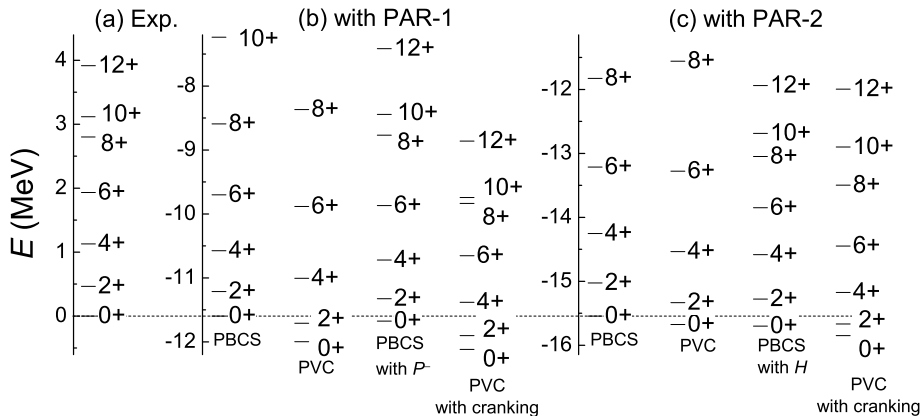
favored pairs for ^{132}Ba

		PVC without cranking				with $\omega_x = 0.33$ cranking			
PAR-1	E_{\min}	-12.334				E_{\min}	-9.130		
	β	0.106	γ	$< 10^{-4}$	β	0.093	γ	$< 1^\circ$	
	neutron		proton		neutron		proton		
	$L^\pi = 0^+ (S)$	0.463	$L^\pi = 0^+ (S)$	0.447	$L^\pi = 10^+ (H)$	> 0.999	$L^\pi = 2^+ (D)$	0.273	
	$L^\pi = 2^+ (D)$	0.453	$L^\pi = 2^+ (D)$	0.489			$L^\pi = 4^+ (G)$	0.399	
							$L^\pi = 6^+ (I)$	0.320	
PAR-2	E_{\min}	-15.418			E_{\min}	-11.055			
	β	0.102	γ	16°	β	0.083	γ	31°	
	neutron		proton		neutron		proton		
	$L^\pi = 0^+ (S)$	0.428	$L^\pi = 0^+ (S)$	0.520	$L^\pi = 10^+ (H)$	0.945	$L^\pi = 4^+ (G)$	0.112	
	$L^\pi = 2^+ (D)$	0.449	$L^\pi = 2^+ (D)$	0.444			$L^\pi = 6^+ (I)$	0.819	



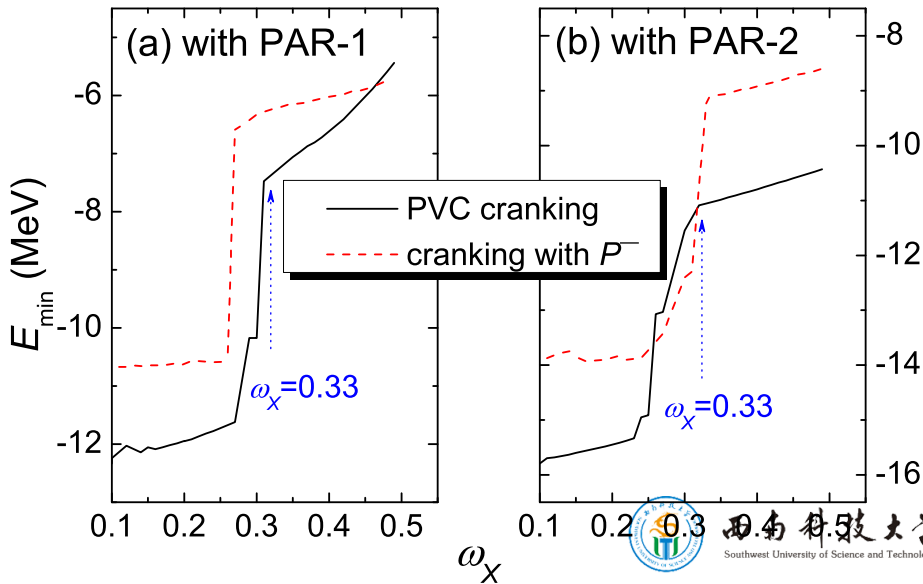
西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

能谱



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

cranking



小节

- 我们已经发展出一种“新”方法来配合配对近似，**先验定量**地确定集体对种类与结构；反过来看，配对近似可以看作是这种非耦合配对凝聚的**近似但更为自由、更为清晰**的角动量投影过程
- 这种方法对原子核形状的描述更为**直接**，可以体现出 $A \sim 132$ 区域 γ softness。
- ^{132}Ba 尝试计算：
 - ▶ 新方法所引入的两体关联是其 γ softness描述的关键。
 - ▶ 新方法有效地降低了结合能。
 - ▶ 两组参数都“喜欢” $H^L=10$ 配对，但是需要质子配对的配合，这是之前计算没有考虑到了（也考虑不到）。这也体现出新方法的优势。
 - ▶ 负宇称的“有效”描述有一定的合理性，但其提供了结合能不占优。



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology

Thanks for your attention.



西南科技大学
Southwest University of Science and Technology