

快报

原子核形变中的动力学效应

I. ^{172}Os 核高自旋态的形变*

张敬业

(中国高科技中心理论物理分中心和中国科学院近代物理所,兰州)

摘要

利用我们最近提出的 Hill-Wheeler 方程的一种数值解法,考虑动力学效应计算了 ^{172}Os 核转晕态的形状随转动频率的变化. 所得结果比通常的总罗斯量面 (TRS) 计算的形变值更符合于实验测量值. 这表明,至少对于像 ^{172}Os 这样的过渡核,核形变动力学效应是不能忽略的.

—

自 1986 年以来,通过总罗斯量面 (TRS) 来确定核指定组态的高自旋态形变的方法,已被广泛地应用和承认. 最初是 $A=185$ 区^[1]的 TRS 计算,随即推广到 $A=130$ 区^[2]和 $A=165$ 区^[3], 这类计算描述了核形状随转动频率的变化. 从总体上讲,与实验结果能良好地符合,特别是对大形变核^[1,2,3]. 但过渡核符合较差,尤其是高自旋态^[4]. 此外,更加重要的是 TRS 的结果,只是核的静态形变,因为它并未考虑量子涨落对核形变的影响,也未能回答不同的两个极小间波函数的重叠情况等与它们之间跃迁有关的问题. 于是当一个 TRS 有多于一个极小时 (这是经常遇到的情况,特别是过渡核),实际上无法真正确定核的形状^[5,6].

众所周知,生成坐标方法 (GCM) 是研究大振幅集体运动的有力工具^[7]. 在 70 年代,例如西德的 A. Faessler 小组^[8],利用 GCM 研究了许多种核的集体运动模式,取得了有趣的结果. 最近我们^[5,6]进一步揭示了此方法的 Hill-Wheeler 方程中重叠矩阵的物理意义,并提出了该方程的一种新的数值求解方法. 于是可以利用所求得的集体态的本征函数,通过权重平均来描述集体态的各种性质,例如形状随转动频率的动力学演化过程. 本文将介绍 ^{176}Os 核的计算结果并与最新测量值进行比较.

二

如文 [5] 所指出的, Hill-Wheeler 方程

本文 1989 年 8 月 12 日收到.

* 自然科学基金资助项目.

$$\int dq' (\langle q|H|q'\rangle - E\langle q|q'\rangle)C(q') = 0 \quad (1)$$

的哈密顿核可以作如下的“水平”展开

$$\begin{aligned} \langle q|H|q'\rangle &= \frac{1}{2} (\langle q|H|q\rangle + \langle q'|H|q'\rangle) \langle q|q'\rangle \\ &+ \frac{1}{2} [(\lambda + \lambda')\langle q|Q|q'\rangle - (\langle q|\lambda \cdot Q|q\rangle + \langle q'|\lambda' \cdot Q|q'\rangle) \langle q|q'\rangle] \\ &+ \frac{1}{2} \sum [\langle q|a_i^+ a_j^+ a_k^+ a_l^+ |q'\rangle \langle q'|a_i a_j a_k a_l H|q'\rangle \\ &+ \langle q|H a_i^+ a_j^+ a_k^+ a_l^+ |q\rangle \langle q|a_i a_j a_k a_l |q'\rangle], \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $-\lambda \cdot Q$ 是外加场,而 $|q\rangle$ 是HFB自治的最低能量解即局域真空态.利用文[5]详细介绍的步骤:首先对所研究的诸集体变量 q ,在感兴趣范围内离散化,继而利用推转模型所得的离散化格点的波函数求出对应的重叠矩阵之 $\langle q|q'\rangle$,最后在集体近似下,通过(2)式数值求解Hill-Wheeler方程.这样就可以通过所求得的本征函数在生成基 $|q\rangle$ 的归一化平方展开系数

$$W_i = C^2(q_i) / \sum_k C^2(q_k) \quad (3)$$

对本征态的形变(或其它感兴趣的集体变量)作权重平均

$$\varepsilon_{avr} = \sum \varepsilon_i W_i, \quad (4)$$

而对应的量子涨落可由下式估算

$$\Delta\varepsilon = \sqrt{\sum (\varepsilon_i - \varepsilon_{avr})^2 \cdot W_i}. \quad (5)$$

分式(4)、(5)中的 ε_i 是集体变量(本文讨论的是形变)离散化的格点值,由于 W_i 反映了本征态的几率分布,因此通过(4)式所求得的权重平均是包含了动力学效应的.而且由于 W_i 是转动频率的函数,因此(4)式可以描述核形变的动力学演变过程.

最近,美国橡树岭国家实验室的N. Johnson小组对 ^{172}Os 核的转晕态寿命进行了测量^[9].结果表明基带的形变随频率而增大而超带的形变又降下来.这提供了一个典型例子来检验形状演变的动力学过程的理论计算.

已知TRS^[9,10]计算所得的基带的形变是 $\beta_2 = 0.212, \gamma = -16^\circ, \beta_4 = 0$.而超带的形变,一直到 $\hbar\omega = 0.45\text{MeV}$,是 $\beta_2 = 0.185, \gamma = -6^\circ, \beta_4 = 0.01$.

本文的计算,由于计算机内存的局限,目前只能在二维集体变量空间,如 $(\varepsilon_2, \omega)^*$ 或 (γ, ω) 中进行.因此我们首先参考TRS的结果,固定 $\gamma = -11^\circ$,即TRS所得的基带与超带的 γ 形变平均值.而对 ε_2 在0.129到0.249范围内以0.015步长离散化,转动频率则取 $\hbar\omega = 0.1$ 到0.4MeV,步长0.025.利用Nilsson推转模型并在零级近似下数值求解Hill-Wheeler方程,最后通过(4)式求得 ε_2 权重平均值 ε_{avr} .为便于和实验值比较换算成四极矩 Q_i ,

* 由于计算中我们取 $\varepsilon_4 = 0$,所以 $\varepsilon_2 \approx 0.95\beta_2$.

$$Q_i = \sqrt{\frac{12}{5\pi}} Z e r_0^2 A^{2/3} \beta_2 \cos(\gamma + 30^\circ) \quad (6)$$

其中 $r_0 = 1.2\text{fm}$.

图 1 给出了本文理论值, TRS 的结果和实验值. 可以看到, 考虑了动力学效应的形变值, 能够再现实验测量到的基带形变随频率增长以及超带形变值的下降, 比 TRS 的结果更好地描述了形变的演化过程.

为了对 γ 的变化也能有个大致的概念, 我们又进行了固定 $\epsilon_2 = 0.189$ (仍取 TRS 所得的基带和超带 ϵ_2 的平均值) 而变化 γ 和 ω 的计算. 结果表明除了 $\hbar\omega = 0.175$ 和 0.20 MeV 时 $\gamma \approx -14^\circ$ 外 (这大致对应于实验观察到 Q_i 增大的频率范围), γ 稳定于 $\sim -8^\circ$. 这表明我们取 $\gamma = -11^\circ$ 所求得的 $\epsilon_{s.v.}$ 是有意义的.

此外, 由图中还可看到, 在低频率处, 理论还预言了 ^{172}Os 核的“收缩”现象. 这种现象在例如 ^{166}Yb 核的基带中已观察到^[1]. 但是否在 ^{172}Os 的基带中存在, 还有待于更精确的实验测量来检验.

显然, 在三个集体变量 ($\epsilon_2, \gamma, \omega$) 以致于更多集体变量 ($\epsilon_2, \epsilon_4, \gamma, \omega, \Delta, \dots$) 空间内求解 Hill-Wheeler 方程, 以研究这些变量同时随 ω 的变化规律是必要的. 这在本方法中并无原则上的困难, 但需要更大量的计算机工作. 另外, 本文理论计算中所作的近似, 诸如在运用 Nilsson 推转模型时取 $\epsilon_4 = 0$, 像通常那样忽略了不同大壳间的耦合, 在哈密顿核的展开中只取零级近似等也都有进一步改进的必要. 但从上述初步结果中已可看到, 对于像 ^{172}Os 这样的过渡核, 考虑核形变的动力学效应, 能够更好地反映过程的物理内涵. 所以动力学效应对形变的影响是一个十分有意义且值得进一步深入研究的课题.

作者感谢 F. Dönau, L. Riedinger, R. Bengtsson 和 J. D. Garrett 诸教授所作的有益讨论.

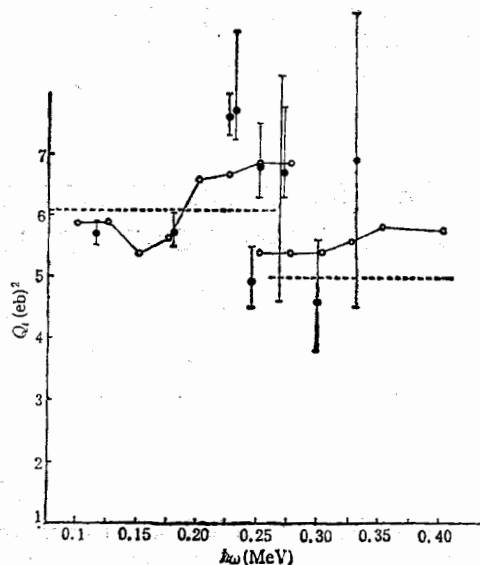


图 1 ^{172}Os 转晕带的电四极矩 Q_i 与转动频率 $\hbar\omega$ 关系图. 直线连接的空点是本文理论值, 带误差的是实验值, 虚线是 TRS 的结果

参 考 文 献

- [1] Zhang Jingye, Proc. Conference on "Physics at Tandem" 26-30 May, 1986, Beijing, China. R. Bengtsson, T. Bengtsson, J. Dudek, G. Leander, W. Nazarewicz and Zhang Jingye, *Phys. Lett.*, **133B** (1987), 11.
- [2] R. Wyss, J. Nyberg, A. Johnson, R. Bengtsson and W. Nazarewicz, *Phys. Lett.*, **215B**(1988), 211.
- [3] R. Wyss, J. Nyberg, R. Bengtsson and W. Nazarewicz, "TRS for A=165 Region", to be published.
- [4] M. P. Carpenter et al., "Alignment Processes and Shape Variations in ^{184}Pt ", Sub. to *Nucl. Phys.*, (1989).
- [5] F. Dönau, Zhang Jingye and L. L. Riedinger, *Nucl. Phys.*, **A496**(1989), 333.
- [6] Zhang Jingye, F. Dönau and L. L. Riedinger, Proc. Workshop on "Microscopic Models in Nuclear Struc-

- ture Physics², 3—6 Oct. 1988, JIHIR, Oak Ridge, USA.
- [7] P. L. Hill and J. A. Wheeler, *Phys. Rev.*, **89**(1953), 102.
J. J. Griffin and J. A. Wheeler, *Phys. Rev.*, **108**(1957), 311.
- [8] 例如: A. Faessler, F. Grummer, A. Plastino and F. Krmpotic, *Nucl. Phys.*, **A217**(1973), 420; H. -T. Chen, H. Muther and A. Faessler, *Nucl. Phys.*, **A297**(1978), 445; 等等。
- [9] A. Virtanen, I. Y. Lee, N. R. Johnson, C. Baktash, F. K. McGowan, J. Dudek, M. A. Riley and J. C. Well, ORNL Annual Report (1989).
- [10] J. Dudek, TRS for ^{172}Os , Private Communication (1989).
- [11] J. C. Bacelar, R. M. Diamond, E. M. Beck, M. A. Deleplanque, J. Draper and F. S. Stephens, *Phys. Rev.*, **C35**(1987), 1170.

THE DYNAMIC EFFECT ON NUCLEAR DEFORMATION I. DEFORMATIONS AT HIGH SPINS FOR NUCLEUS ^{172}Os

ZHANG JINGYE

(Center of Theoretical Physics, CCAST (World Lab),
Institute of Modern and Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

According to a method of numerical solution of Hill-Wheeler equation proposed by us recently, the dynamic evolution of shapes in the Yrast band of ^{172}Os was calculated. Results show better agreement with the recent lifetime measurement than the normal TRS calculation. This means the dynamic effect on the nuclear shape is not negligible at least for the transitional nuclei like ^{172}Os .