

快报

裂变核鞍点有效转动惯量的计算

陈信义 胡济民
(北京大学)

摘 要

用密度变化的连续介质模型计算了裂变核 ^{170}Yb 和 ^{254}Fm 鞍点有效转动惯量及电荷分布。

一、引 言

有效转动惯量 $J_0/J_{\text{eff}} = J_0(J_{\perp} - J_{\parallel})/(J_{\perp}J_{\parallel})$ 是描述鞍点核形变的一个重要量,它可由分析反应碎片角分布实验数据得到。这里 J_{\perp} 和 J_{\parallel} 分别代表垂直和平行于核对称轴方向的核的转动惯量, J_0 为相应球形核转动惯量。理论计算常采用旋转液滴模型(RLDM)^[1]。但核内物质及电荷的分布是不均匀的。对于鞍点形变较大的裂变核,密度的变化对 J_{eff} 影响较大,如仍将裂变核看作是均匀带电的旋转液滴,则难免影响计算结果的可靠性。本文考虑了核密度的变化,用连续介质模型计算了裂变核 ^{170}Yb 和 ^{254}Fm 鞍点有效转动惯量及电荷分布等。

二、模 型

应用连续介质模型^[2],将角动量为 $I\hbar$ 的转动核能量中形变相关部分表示为质子密度 ρ_p 和中子密度 ρ_n 的如下泛函

$$E[\rho_p, \rho_n; I] = \alpha \int |\nabla \rho_0| dV + \beta \int [(\rho_p - \rho_n)^2 + s(\rho_p + \rho_n - \rho_0)^2]/(\Phi \rho_0) dV + \frac{e^2}{2a} \iint \frac{\rho_p(\mathbf{r}_1)\rho_p(\mathbf{r}_2)}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|} dV_1 dV_2 + \frac{1}{2} \frac{I^2}{J a^2}, \quad (1)$$

上式右边四项分别代表表面能、压缩能、库仑能和转动能, $\Phi = (1 - \gamma |\nabla \rho_0|/\rho_0)^{-1}$, J 为刚体转动惯量

$$J = M \int (x^2 + y^2)(\rho_p + \rho_n) dV, \quad (2)$$

而 α, β, γ 和 s 等是可调参量。式中引入的参考密度 ρ_0 取成费米分布的形式

$$\rho_0 = \frac{t}{4\pi a^3} \frac{1 + \exp(-R/a)}{1 + \exp[(r/\mu - R)/a]}, \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned}
 R &= R_{0f}/\mu, \\
 f &= 1 + \alpha_{20}Y_{20}(\theta) + \alpha_{22}[Y_{2-2}(\theta, \varphi) + Y_{22}(\theta, \varphi)]/\sqrt{2} + \dots, \\
 \mu &= \left[1 + \left(\frac{\partial f}{\partial \theta} / f \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi} / f \right)^2 / \sin^2 \theta \right]^\sigma.
 \end{aligned} \quad (4)$$

当取 $\sigma \sim 0.5$ 时, 费米分布 (3) 的弥散层厚度基本上与形变无关。

在约束 $\int \rho_p dV = Z, \int \rho_n dV = N$ 下对 (1) 式作变分可导出 ρ_p 和 ρ_n 所满足的积分方程。通过求解这方程可计算裂变核的位能曲面、鞍点密度分布及 J_{eff} 。

表 1 是参量值。用这组参量, 微观能量采用 Möller 和 Nix 的结果^[3] 计算 1526 个核质量与实验数据的均方差为 0.9 MeV, 并预言了合理的裂变位垒高度。

表 1

$a(\text{fm})$	t	$\alpha(\text{MeV})$	$\beta(\text{MeV})$	γ	s	σ
0.5361	0.325	14.5843	26.1003	0.45	0.5347	0.545

三、结 果

图 1 给出了 J_0/J_{eff} 与角动量 $\langle I^2 \rangle$ 的关系, 实线是本文用密度变化的连续介质模型计算的曲线, 虚线是 RLDM 计算结果^[4,5]。由图可知: 密度的变化使 ^{170}Yb 的 J_0/J_{eff} 降低约 0.3, 但对 ^{254}Fm 的 J_0/J_{eff} 影响很小。这是因为 ^{170}Yb 的鞍点形变比 ^{254}Fm 的大得多 (见图 2), 密度的变化对 J_{eff} 的效应更显著。图 2 用 Y-Z (转动轴) 平面上的等密度线给出了 ^{170}Yb 和 ^{254}Fm 的鞍点形变及电荷不均匀分布情况。图 3 是计算的裂变核裂变位垒高度 B_f 随 I 的变化曲线。

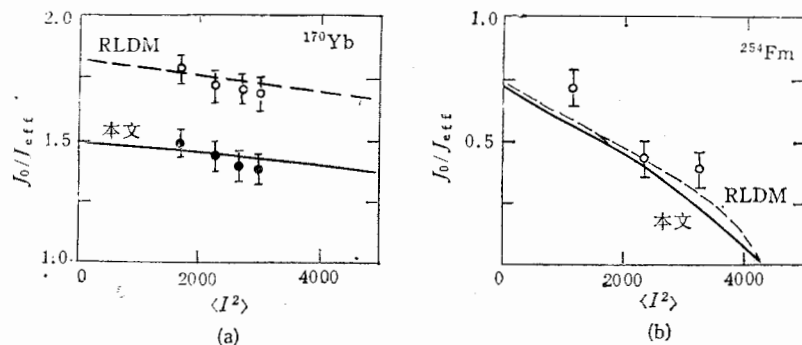


图 1 裂变核 J_0/J_{eff} 与角动量 $\langle I^2 \rangle$ 的关系

分析实验数据用式 $K_0^2 = T J_{\text{eff}}$ 计算 J_{eff} 。其中 K_0^2 代表裂变核角动量在核对称轴方向上投影的均方宽度, 由拟合实验数据得到。 $T = \sqrt{E_{\text{eff}}^*/a_f}$ 代表核温度, a_f 和 E_{eff}^* 分别为鞍点处裂变核的能级密度参量和有效激发能, $E_{\text{eff}}^* = E^* - E_v - B_f - E_r$, E^* 代表

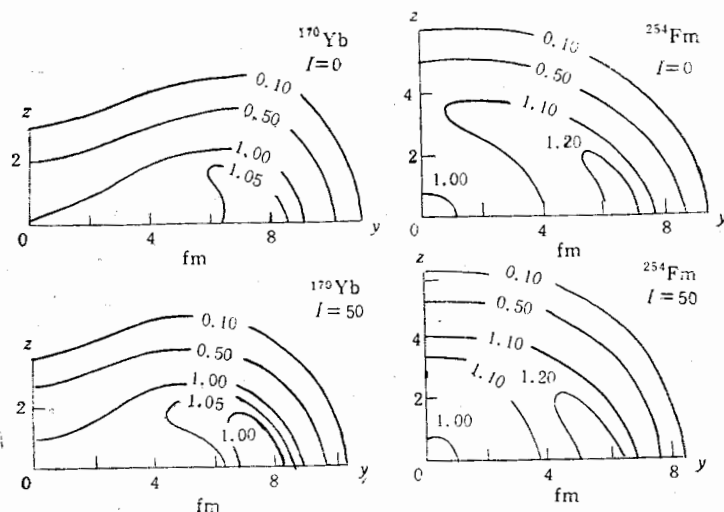
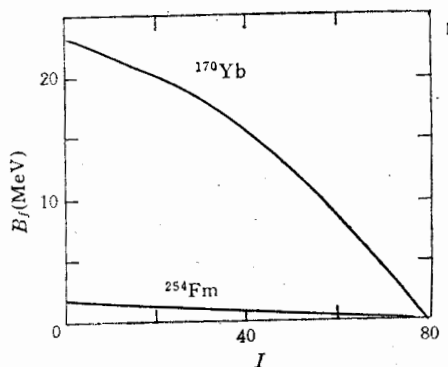


图2 裂变核鞍点电荷分布

图3 裂变位垒高度 B_f 与角动量 l 的关系

初始激发能, E_v 代表鞍点前裂变核蒸发粒子所损失的能量, B_f 和 E_v 分别是由模型计算给出的裂变位垒高度和转动能.

图1(a)中 $\bar{\alpha}$ 代表分析 $115 \text{ MeV } ^{11}\text{B} + ^{159}\text{Tb}$, $126 \text{ MeV } ^{12}\text{C} + ^{158}\text{Gd}$, $137 \text{ MeV } ^{16}\text{O} + ^{154}\text{Sm}$ 和 $144 \text{ MeV } ^{20}\text{Ne} + ^{150}\text{Nd}$ 反应碎片角分布实验数据^[6]得出的 ^{170}Yb 的 J_0/J_{eff} 值, 而 $\bar{\alpha}$ 代表文献[4]的分析结果. 文献[4]取 $E_v = 0$ 即假定鞍点前 ^{170}Yb 不蒸发粒子, 并将 a_f 取成基态值 $A/8 \text{ MeV}^{-1}$. 但因上述反应的激发能较高 ($E^* \sim 107 \text{ MeV}$)^[6], 鞍点形变较大, 所以裂变核在鞍点前就会蒸发粒子^[7], 我们假定 $E_v = 20 \text{ MeV}$. 此外 a_f 与形变有关, 它比基态值大^[8], 文中取 $a_f = 1.5A/8 \text{ MeV}^{-1}$. 对于反应 $^{16}\text{O} + ^{238}\text{U} \rightarrow ^{254}\text{Fm}$, 因裂变核鞍点形变较小, 则可近似取 $E_v = 0$ 及 $a_f = A/8 \text{ MeV}^{-1}$. ^{254}Fm 的 J_0/J_{eff} 实验分析值如图1(b)中的 $\bar{\alpha}$ 所示^[9].

核密度的变化是一个宏观自由度. 计算表明: 在象裂变核为 ^{170}Yb 的重粒子反应这样的大形变核过程中, 密度自由度不可忽略.

参 考 文 献

- [1] S. Cohen and W. J. Switecki, *Ann. Phys.*, 82(1974), 557.
- [2] 胡济民、郑春开, 原子核物理, 7(1985), 1.
- [3] P. Moller and J. R. Nix, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 26(1981), 165.
- [4] 刘国兴, 高能物理与核物理, 11(1987), 98.
- [5] B. B. Back et al., *Phys. Rev. Lett.*, 50(1983), 818.
- [6] A. M. Zebelmen et al., *Phys. Rev.*, C10(1974), 200.
- [7] P. Grange et al., *Phys. Rev.*, C34(1986), 209.
- [8] M. Brack et al., *Phys. Rev.*, 123(1985), 275.

CALCULATION OF THE EFFECTIVE MOMENT OF INERTIA OF FISSIONING NUCLEI AT SADDLE POINT

CHEN XINYI HU JIMIN

(Peking University)

ABSTRACT

The effective moment of inertia, charge density distributions of the fissioning nucleus ^{170}Yb and ^{254}Fm at saddle point are calculated by using the continuous medium model with variable densities.

更正

本刊1989年第2期第99页图3,因版制坏,现更正如下,并向作者、读者致欠。

