

关于重核位能曲面(液滴部分)的研究

吴锡真 李素梅
(中国科学院原子能研究所)

摘 要

本文选用一套适宜的表面参数化方法,推导了包括曲率能在内的重核变形能公式,计算了²³⁵U, ²⁵²Fm等重核的位能曲面和裂变位垒高度。

为了应用宏观-微观相结合的方法,计算重核的裂变位垒参数,我们应用液滴模型,研究原子核的宏观位能曲面。关于原子核液滴能的计算已有不少文章^[1,2]。我们的计算包括了表面能、库仑能和曲率能项,原子核变形的描述包括了反射不对称变形。对于核表面参数化方法考虑到与微观计算的推广尼尔逊(Nilsson)^[3]位等位面形状相一致,因此半径矢量的形式是:

$$R(\theta) = R_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega_0} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \varepsilon_2 - \varepsilon_2 \cos^2 \theta \right]^{-1/2} \left[1 - \frac{2}{3} \varepsilon_2 P_2(\cos \theta_i) + 2\varepsilon_1 P_1(\cos \theta_i) \right. \\ \left. + 2\varepsilon_3 P_3(\cos \theta_i) + 2\varepsilon_4 P_4(\cos \theta_i) + 2\varepsilon_5 P_5(\cos \theta_i) + 2\varepsilon_6 P_6(\cos \theta_i) \right]^{-1/2} \\ \cos \theta_i = \cos \theta \frac{\left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon_2 \right)^{1/2}}{\left[1 + \frac{1}{3} \varepsilon_2 - \varepsilon_2 \cos^2 \theta \right]^{1/2}}$$

其中: R_0 是相应球形核半径; ω_0 是球形核的谐振子阱参数; ω_0 是变形谐振子阱参数; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6$ 是变形参数。

ε_1 通过核在变形中保持质心不动的条件

$$\int_{-1}^1 \left[1 - \frac{2}{3} \varepsilon_2 P_2(x) + 2\varepsilon_1 P_1(x) + 2\varepsilon_3 P_3(x) + 2\varepsilon_4 P_4(x) + 2\varepsilon_5 P_5(x) \right. \\ \left. + 2\varepsilon_6 P_6(x) \right]^{-2} x dx = 0 \text{ 定出来。}$$

ω_0 由核在变形中保持体积不变的条件定出。

$$\left(\frac{\omega_0}{\omega_0} \right)^3 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon_2 \right)^{-1/2} \left(1 + \frac{1}{3} \varepsilon_2 \right)^{-1} \int_{-1}^1 \left[1 - \frac{2}{3} \varepsilon_2 P_2(x) + 2\varepsilon_1 P_1(x) \right. \\ \left. + 2\varepsilon_3 P_3(x) + 2\varepsilon_4 P_4(x) + 2\varepsilon_5 P_5(x) + 2\varepsilon_6 P_6(x) \right]^{-3/2} dx.$$

原子核的液滴能:

本文1979年2月12日收到。

$$E = a_s A^{2/3} \left[1 - \kappa \frac{(N-Z)^2}{A^2} \right] (B_s - 1) + a_{curv} A^{1/3} \left[1 - \kappa \frac{(N-Z)^2}{A^2} \right] (B_{curv} - 1) + a_c Z^2 / A^{1/3} (B_c - 1).$$

$a_s, a_{curv}, a_c, \kappa$ 是液滴模型参数. B_s, B_{curv}, B_c 分别是以球形核表面能为单位的表面能、曲率能和库仑能.

$$B_s = \frac{1}{2} \int_0^\pi d\theta \left(\frac{R(\theta)}{R_0} \right) \left[\left(\frac{R(\theta)}{R_0} \right)^2 + \left(\frac{d}{d\theta} \left(\frac{R(\theta)}{R_0} \right) \right)^2 \right]^{1/2} \sin \theta,$$

$$B_{curv} = \frac{1}{4} \int_\pi^0 \left\{ 1 - \frac{y \frac{d^2 y}{dz^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dz} \right)^2} \right\} \frac{dz}{d\theta} d\theta,$$

$$B_c = \frac{1}{2} \int_0^\pi \frac{\nu(R)}{\nu_0} \left(\frac{R(\theta)}{R_0} \right)^3 \sin \theta d\theta,$$

$$\frac{\nu(R)}{\nu_0} = \frac{3}{2\pi} \int_\pi^0 d\theta' \frac{y' \left[(y+y') \frac{dz'}{d\theta'} + (z-z') \frac{dy'}{d\theta'} \right] K(k) - 2yy' \frac{dz'}{d\theta'} D(k)}{[(y'+y)^2 + (z-z')^2]^{1/2}}$$

$$y = R(\theta)/R_0 \sin \theta, \quad y' = R(\theta')/R_0 \sin \theta',$$

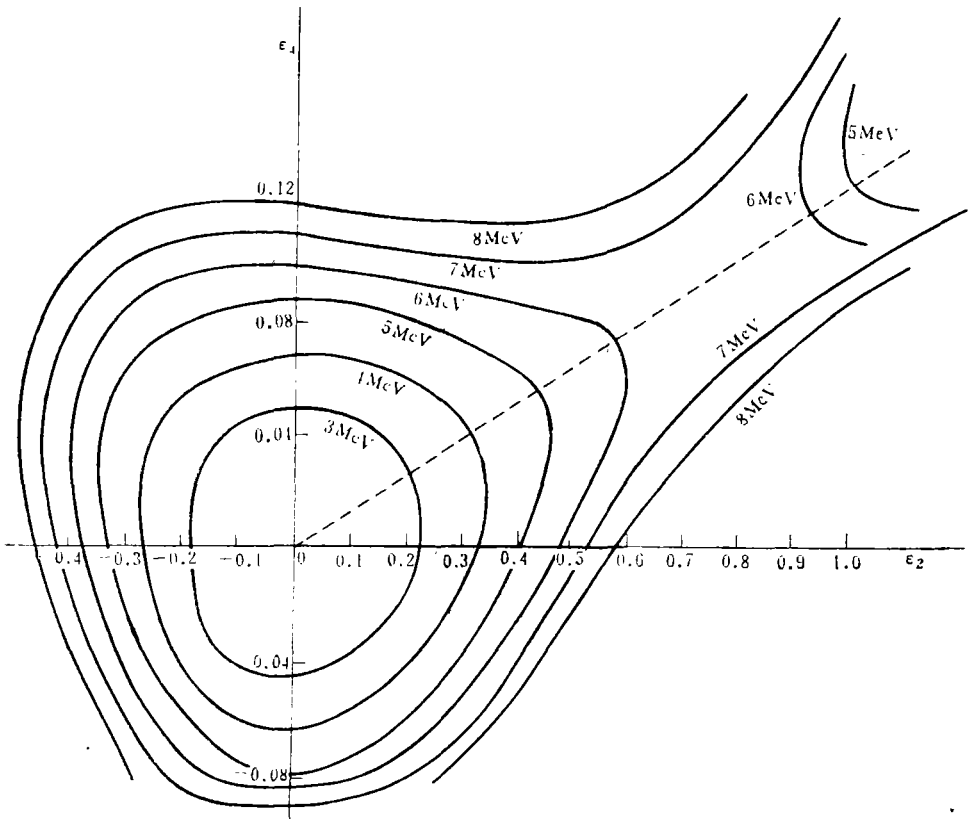


图1 ^{235}U 的 ϵ_2 - ϵ_4 位能曲面图(液滴参数同文内)

$$z = R(\theta)/R_0 \cos \theta, \quad z' = R(\theta')/R_0 \cos \theta',$$

$$D(k) = \frac{K(k) - E(k)}{k^2},$$

$$k^2 = \frac{4yy'}{(y + y')^2 + (z - z')^2},$$

$K(k)$ 和 $E(k)$ 为第一类和第二类全椭圆函数。

我们用数值方法计算 U, Pu, Fm 等一些重核的位能曲面和裂变位垒, 并与有关数据作了比较, 现列举一些结果如下:

1. 位能曲面: 为了显示位能曲面的性质, 我们计算了位能曲面图, 在这些图中 ϵ_2 - ϵ_4 曲面图对反映裂变的性质比较重要, 在这里我们画出了 ^{235}U , ^{252}Fm 的 ϵ_2 - ϵ_4 曲面图, 从这些图中明显地看出核在裂变时所走的路途是沿着 ϵ_2 - ϵ_4 都增加的方向。在这个方向上的位能极大值就是位垒高度。从图可见, 仅有 ϵ_2 变形坐标对描述裂变是非常不够的, ϵ_4 自由度也是非常重要的。

2. 计算了 U, Pu, Fm 等核的裂变位垒, 并与有关理论进行了比较, 结果见下页表。计算时选用的液滴参数见参考文献 [5]。

可见, 我们计算的裂变位垒数值是合理的, 与现在公认的几种理论计算比较, 结果是相近的, 但我们用的参数较少, 不过我们参数化的方法对重核和超重核比较适宜。

总之, 我们用本文的参数化方法, 计算了一些重核的裂变位垒和位能曲面, 得到的结果还是比较好的, 这就为用宏观-微观方法计算一系列重核的位垒参数提供了基础。

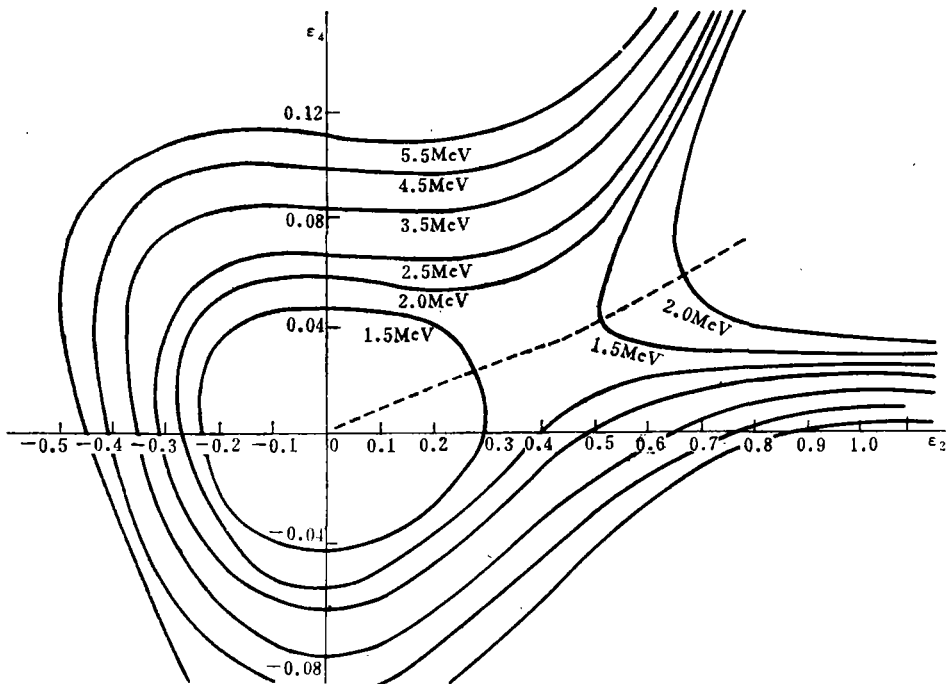


图 2 ^{252}Fm 的位能曲面图(液滴参数同文内)

| 核素 | 本文计算 | 液滴计算 ^[2] | Myers 计算 ^[4] | Nilsson 计算 ^[3] |
|-------------------|----------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| ²³⁵ U | 6.167MeV | 6.858MeV | 5.027MeV | |
| ²³⁹ Pu | 4.698MeV | 5.43MeV | 3.664MeV | |
| ²⁵² Fm | 1.815MeV | 2.102MeV | | 1.83MeV |

参 考 文 献

- [1] N. Bohr, J. Wheller, *Phys. Rev.*, **56**(1939), 426.
 [2] S. Cohen, W. J. Swaitecki, *Ann. of Phys.*, **22**(1963), 406.
 [3] S. G. Nilsson, *Nucl. Phys.*, **A131**(1969), 1.
 [4] W. Myers, W. J. Swaitecki, *Nucl. Phys.*, **81**(1966), 1.
 [5] B. L. Anderson. *Nucl. Phys.*, **A159**(1970), 337.

A STUDY ON THE HEAVY NUCLEAR POTENTIAL ENERGY SURFACE (LIQUID MODEL PART)

WU XI-ZHEN LI SU-MEI

(*Institute of Atomic Energy, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In the present paper, the parametrization for the nuclear surface is chosen properly. The formulae for the nuclear deformation energy, including surface energy, coulomb energy and curvature energy are derived. The potential energy surface of the heavy nuclei like ²³⁵U, ²⁵²Fm et al. and the barrier heights of many heavy nuclei are calculated.