

裂变过程的模型理论

丘锡钧 宋宏秋 黄唯志 王子兴

(中国科学院上海原子核研究所)

摘 要

用类 α 衰变模型计算了 ^{235}U 热中子诱发裂变碎块的质量、动能分布。势垒中除了库仑能和核相互作用外,还考虑了碎块变形能和内部激发能。

假定裂变过程分为两步,先以几率 $\gamma(m)$ 形成两个初生碎块(m 是质量比),然后它们以几率 $T(m)$ 穿透势垒而分飞。计算 $\gamma(m)$ 极其复杂,作为第一步,参照文献[1]的做法,假定 $\gamma(m)$ 与 m 无关。因此,质量分布决定于 $T(m)$ 。

图1是过程示意图。为简单起见,用相切椭球模型,质心距

$$X = r_0 \sum_{j=1}^2 A_j^{1/3} (1 + \alpha_j),$$

α_j 是变形参数。在 X_0 点碎块处于基态,变形由迈尔斯-斯维切斯基质量公式^[2]确定。事实上,相接部分是一个颈。由于核力吸引,两碎块并不马上分离,随 X 增大而继续变形,直到断点 X_c ,才最终断裂。过程中碎块要穿透的势垒是

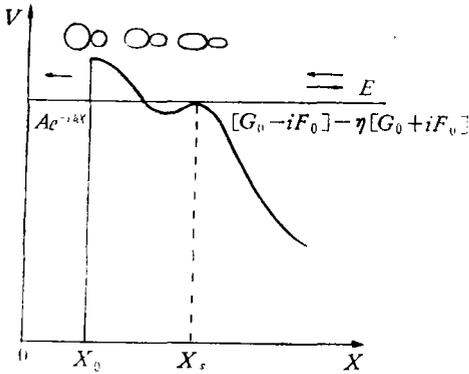


图1 过程示意图

$$V(X) = V_c(X) + V_n(X) + \Delta D_1(X) + \Delta D_2(X), \quad (1)$$

其中碎块间库仑能

$$V_c(X) = \frac{z_1 z_2 e^2}{X} F.$$

形状因子 F 是 α_j 的函数^[3]。核相互作用取沃兹-萨克逊势。

为计算变形能 ΔD_1 ,从质量公式^[2]导出与壳效应有关的表面张力部分

$$\sigma_{SM}(\theta) = -\frac{5}{8\pi r_0^2 A^{2/3} \alpha_0^2} S(N, Z) e^{-\theta_0^2} e^{-\xi(\theta-\theta_0)} \quad (2)$$

其中 S 是壳效应因子,变形参数 θ 与 α 的关系为 $\alpha = \alpha_0 \theta$, α_0 是常数。 θ_0 是基态变形, $e^{-\theta_0^2}$ 是描述变形使壳效应弱化的因子。为了使碎块在大变形下壳效应仍能合理地保存,我们用一个较慢的弱化因子 $e^{-\xi(\theta-\theta_0)}$, ξ 是可调参数。从公式(2)可得碎块相对于基态的变形能

$$\Delta D_i = E_i(\theta_i^2 - \theta_{0i}^2) - F_i(\theta_i^3 - \theta_{0i}^3) + \frac{2}{\xi^2} S(N_i, Z_i) e^{-\theta_{0i}^2} \cdot \left\{ e^{-\xi(\theta_i - \theta_{0i})} \left[\xi(\theta_i - \theta_{0i}) + 1 - \frac{\alpha_{0i}}{7\xi} (\xi^2(\theta_i - \theta_{0i})^2 + 2\xi(\theta_i - \theta_{0i}) + 2) \right] - 1 + \frac{2\alpha_{0i}}{7\xi} \right\}, \quad (3)$$

其中有关因子从文献[2]得到。

势能 $V(X)$ 相对于 θ_1 和 θ_2 求极小可定出断点 X_s 。各中间点的变形则由 $V(X)$ 相对任一变形参数求极小得到。图 1 中 E 是裂变释放能，也即碎块系统总能量。断裂前，核子迅速重排会产生内部激发能 ϵ_{ex} ，但其定量计算较困难。我们先从能量关系定出 X_s 点激发能 $\epsilon_{ex}^0 = E - (V_{cs} + \Delta D_{1s} + \Delta D_{2s})$ ，然后用一指数函数描述裂变后阶段激发能迅速上升的特点 $\epsilon_{ex}(X) = \epsilon_{ex}^0 [1 - e^{-\frac{(X-X_0)^4}{4}}]$ 。应指出，上式的选定多少有些任意性，我们仅用它反映激发能产生过程的特点。如用其他形式的快上升函数，结果无明显变化。对相对运动说来，内禀激发是耗散，但它比 E 小一个数量级以上，因此可唯象地把它看作有效势垒 $\tilde{V}(X)$ 的一个附加项，即 $\tilde{V} = V + \epsilon_{ex}$ 。

用裂变波弹性散射和强吸收边界条件法^[4]计算势垒穿透因子。 (X_0, X_s) 区间中波函数满足含 \tilde{V} 的薛定谔方程。边界条件在图 1 中给出。在小于 X_0 的区域中势阱的细节对 $T(m)$ 影响极小，为简单计取 $V = 0$ 。

对 ^{235}U 热中子诱发裂变作了数值计算。核势中，取 $V_0 = 40\text{MeV}$ ，力程 $a = 1$ 。 ξ, r_0 作可调参数，计算表明，当 $\xi = 0.25, r_0 = 1.39$ 时，质量和动能分布与实验符合较好（图 2、3，其中黑点是实验值）。我们用了过于简化的参数化模型，没考虑颈参数，也未考虑八极变形，比通常值略大的半径参数可看作是对这些因素的部分补偿。

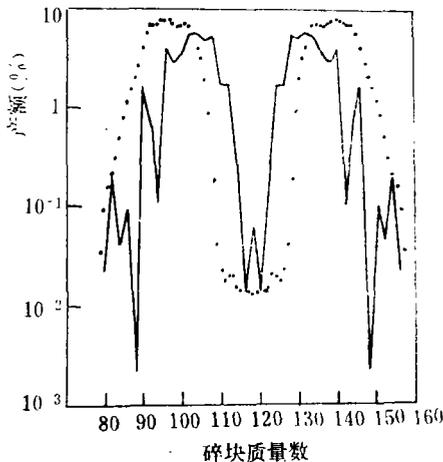


图 2 碎块质量分布

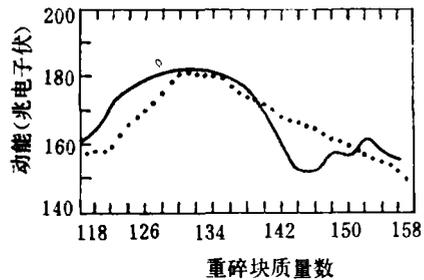


图 3 碎块动能分布

参 考 文 献

[1] W. Brunner and H. Paul. *Ann. Physik*, 6 (1960) 267; B. Block et al. *Ann. Phys.*, 62 (1971), 464.

- [2] W. D. Myers and W. J. Swiatecki, UCRL—11980.
[3] B. T. Geilikman, Proc. of 2nd Geneva Conf.(1958), V. 15, p. 273.
[4] B. B. Back et al., *Nucl. Phys.*, A165 (1971), 449.

A MODEL OF FISSION

QIU XI-JUN SONG HONG-QIU
HUANG WEI-ZHI WANG ZI-XING

(Institute of Nuclear, Academia Sinica Shanghai)

ABSTRACT

Mass and kinetic energy distribution of fragments in thermal-neutron induced fission of ^{235}U are calculated by a α decay-like model. Besides Coulomb and nuclear interactions, the deformation and intrinsic excitation energies of fragments are also taken into account.