

文章编号: 1007-4627(2004)04-0385-03

平均最后通过时间和热核裂变速率*

贾 莹, 包景东#

(北京师范大学物理系, 北京 100875)

摘 要: 提出利用平均最后通过鞍点时间计算热核裂变速率, 结果表明平均最后通过鞍点时间的倒数比平均首次通过断点时间的倒数更接近朗之万数值模拟值.

关键词: 热核裂变; 朗之万模拟; 平均最后通过鞍点时间

中图分类号: O571.43 **文献标识码:** A

1 引言

复合核的热裂变问题一直受到核物理理论和实验工作者的关注. Gontchar 等^[1]和 Hofmann 等^[2]提出用平均首次通过断点时间(MFPT)的概念来研究核的寿命和轻粒子的发射, 但是这要求吸收边界选在远离鞍点的位置. 然而根据 Kramers 理论, 鞍

点在核裂变问题中起着极其重要的作用. 因此本文提出了平均最后通过鞍点时间(MLPT)的概念, 计算表明它的倒数更接近朗之万数值模拟值.

2 暂态核裂变速率

过阻尼情况下核裂变的动力学过程可以描述为

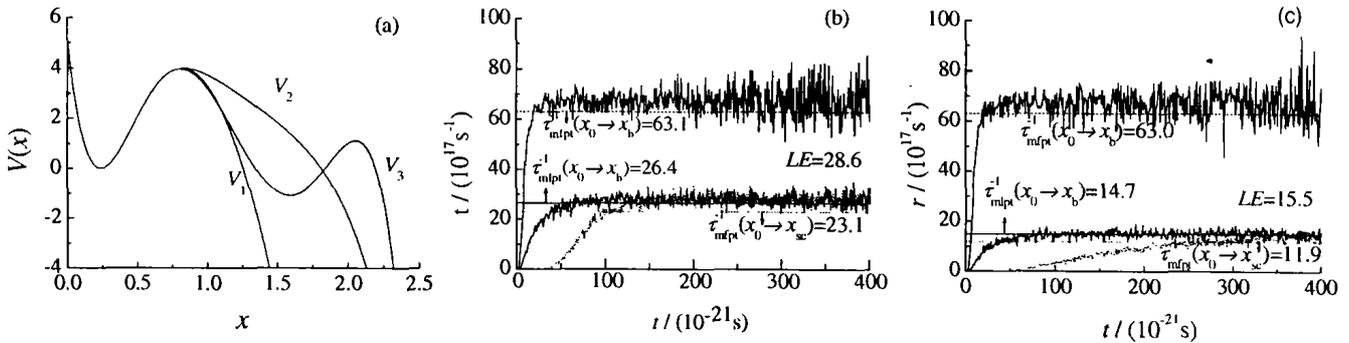


图 1 (a)3 种模型势, V_1 对应于中重核, V_2 对应于重核, V_3 是考虑核的壳结构修正的势; (b)和(c)分别是 V_1 和 V_3 势中核裂变速率的朗之万数值模拟结果; $T=4$ MeV, $\beta=3.4$ MeV/ \hbar , x_0 , x_b 和 x_∞ 分别表示基态坐标, 鞍点坐标和断点坐标, x_∞ 取 2.7.

$$\dot{x}(t) = -\frac{\partial V(x)}{\partial x} + \sqrt{2\gamma T}\xi(t), \quad (1)$$

其中, $x(t)$ 是关于两碎片的质心距 (以球形复合核半径 R_0 为单位), γ 是阻尼, $V(x)$ 是势函数 (见图 1(a)), T 是复合核的温度, 无规力 $\xi(t)$ 遵守 $\langle \xi(t) \rangle = 0$ 和 $\langle \xi(t) \xi(t') \rangle = 2\delta(t-t')$. 用随机龙格-库塔方法求出方程(1)的数值解^[4,5], 并对 1.5×10^5 个实验粒子进行模拟. 每个粒子从基态出发, 当它最后

一次通过鞍点时, 便下滑到断点不再返回鞍点内侧, 故认为受激复合核发生了裂变. 时间有关的核裂变速率定义^[3,4]为

$$r(t) = -\frac{1}{N(t)} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t}, \quad (2)$$

其中, $N(t)$ 是 t 时刻未发生裂变的粒子数, $\Delta N(t)$ 是以实验粒子最后一次通过鞍点来统计的 $t \rightarrow t + \Delta t$ 内发生裂变的粒子数.

收稿日期: 2004 - 08 - 31

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10075007, 10235020), 教育部跨世纪优秀人才资助项目

作者简介: 贾 莹(1967—), 女(汉族), 河南新郑人, 博士研究生, 从事裂变动力学研究; E-mjail: jiaying 317@163.com

联系人: 包景东, E-mail: jdbao@bnu.edu.cn

图 1(b)和(c)中 3 条曲线由上至下分别是粒子首次通过鞍点, 最后一次通过鞍点和首次通过断点的朗之万数值模拟结果. 可以看出, 当考虑粒子在鞍点处的回流时, 裂变速率将减小. 在 3 种模型势中, 平均最后通过鞍点时间(MLPT)的倒数 $\tau_{mlpt}^{-1}(x_0 \rightarrow x_b)$ 比平均首次通过断点时间(MFPT)的倒数 $\tau_{mfpt}^{-1}(x_0 \rightarrow x_{sc})$ 更接近朗之万的数值模拟结果.

由图 2 可以看出, 当温度升高或阻尼减小时, 裂变速率将增加, 而且 $\tau_{mlpt}^{-1}(x_0 \rightarrow x_b)$ 比 $\tau_{mfpt}^{-1}(x_0 \rightarrow x_{sc})$ 更接近于朗之万的数值模拟结果.

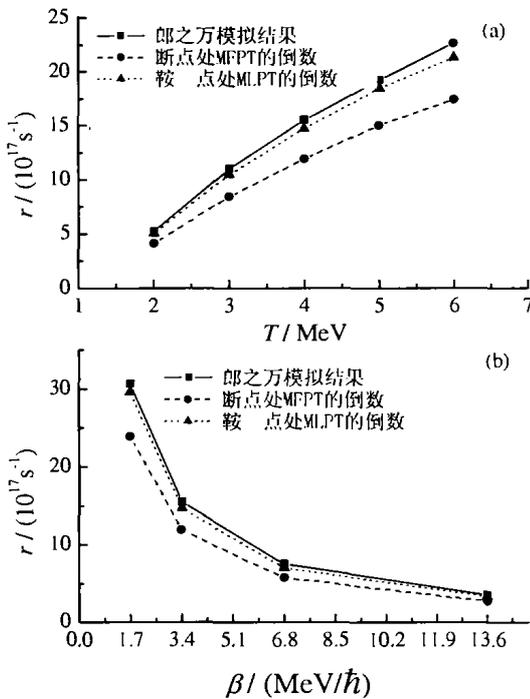


图 2 裂变速率随温度和阻尼的变化
所取的势为 V_3 .

3 平均最后通过鞍点时间

过阻尼情况下, 我们可以给出对任意势都适合的平均最后通过鞍点时间(MLPT)的解析表达式^[5-8]:

$$\tau_{mlpt}(x_0 \rightarrow x_b) = \tau_{mfpt}(x_0 \rightarrow x_{cx}) - \tau_{b \rightarrow cx}, \quad (3)$$

$$\tau_{mfpt}(x_0 \rightarrow x_{cx}) = \frac{\gamma}{T} \int_{x_0}^{x_{cx}} e^{-\frac{V(y)}{T}} dy \int_{-\infty}^y e^{-\frac{V(z)}{T}} dz,$$

$$\tau_{b \rightarrow cx} = \frac{\gamma}{T} \int_{x_b}^{x_{cx}} e^{-\frac{V(y)}{T}} dy \int_y^{\infty} e^{-\frac{V(z)}{T}} dz, \quad (4)$$

核的寿命 $\tau_f = \tau_{mlpt}(x_0 \rightarrow x_b) + \Delta\tau_b + \tau_{b \rightarrow sc}$, 其中 $\Delta\tau_b$ 是粒子在鞍点附近的振荡时间. 对于复合核 $^{254}\text{Cf}^{[9]}$ 的裂变, $V_b = 4 \text{ MeV}$, $\omega_0^2 = \omega_b^2 = 271 \text{ MeV}/R_0^2$ (R_0 是复合核的半径), $\gamma = 10\,922.11 \hbar \cdot \text{fm}^{-1}$. 当 T 取 4 MeV 时, $\tau_{mfpt}^{-1}(x_0 \rightarrow x_{sc})$ 为 $280 \times 10^{-21} \text{ s}$, $\Delta\tau_b$ 为 $295 \times 10^{-21} \text{ s}$, $\tau_{b \rightarrow sc}$ 为 $79.1 \times 10^{-21} \text{ s}$. 这三段时间中, $\Delta\tau_b$ 最大, 因此对于热的重核, $\Delta\tau_b$ 时间内可以发射更多的中子. 而且核越重, 粘滞性越大, $\Delta\tau_b$ 越长.

5 小结

本文提出了平均最后通过鞍点时间的概念. 在计算裂变速率时, 它的倒数比首次通过 MFPT 的倒数更接近朗之万数值模拟结果. 由 MLPT 计算裂变速率时, 断点只起了很弱的作用, 因此我们认为鞍点在计算裂变速率时仍是一个好的参考点, 平均最后通过鞍点时间的概念比首次通过断点时间的概念更好.

参 考 文 献:

[1] Gontchar I I, Frobrich P. Nucl Phys, 1992, **A551**: 495; Frobrich P, Tillack G -R. Nucl Phys, 1992, **A540**: 353.
 [2] Hofmann H, Ivanyuk F A. Phys Rev Lett, 2003, **90**: 132701; Hofmann H, Magner A G. Phys Rev, 2003, **C68**: 014606.
 [3] Boilley D, Suraud E, Abe Y, et al. Nucl Phys, 1993, **A556**: 67.
 [4] 贾莹, 刘玲, 包景东. 高能物理与核物理. 2003, **27**: 610.
 [5] Hofmann H, Nix J R. Phys Lett, 1983, **B122**: 117; Hofmann H, Ingold G -L. ibid. 1991, **264**: 253.
 [6] Nix J R, Sierk A J, Hofmann H, et al. Nucl Phys, 1984, **A424**: 239.
 [7] Grange P, Hassani S, Weidenmuller H A, et al. Phys Rev, 1986, **C34**: 209.
 [8] Carjan N, Sierk A J, Nix J R. Nucl Phys, 1986, **A452**: 381.

(下转第 411 页)

Recommendation of Fission Barrier Parameters and Fission Barrier Parameter Library*

SU Zong-di¹, WANG Shu-nuan¹, FENG Ren-fa¹, ZHOU Jian-ming¹, SHI Shu-mei¹, WANG Bin¹, ZHU Yao-yin²,
LI Zhi-wen², HUANG Zhong-fu³, LIU Jian-feng⁴, DAI Neng-xiong⁵,
WANG Yu-sheng⁵, ZHANG Ben-ai⁶

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;*

2 *Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023, China;*

3 *Department of Physics, Guangxi University, Nanning 530004, China;*

4 *Department of Physics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450004, China;*

5 *Department of Physics, Shaoguan University, Shaoguan 512003, Guangdong, China;*

6 *Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China*)

Abstract: The fission barrier parameters for actinide nuclei were obtained by analysis and calculations of fission cross-sections and complete neutron reaction cross sections. A lot of experimental fission barrier parameters from different authors were collected. A set of fission barrier parameters for 129 nuclei ranging from ¹⁰⁹Cd to ²⁵⁵Fm were recommended after performing comparisons, evaluations and systematics extrapolations for these extracted fission barrier parameters in model calculations of fission cross-sections and collected fission data. In additions, a fission barrier parameter library, Chinese Evaluated Nuclear Parameter Library-Fission Barrier Parameter Library(CENPL-FBPL), was constructed, which consists of seven sets of experimental fission barrier parameters and a set of ones from model calculations.

Key words: fission; fission barrier parameter; parameter library

(上接第 386 页)

Mean Last Passage Time and Nuclear Fission Rate**

JIA Ying, BAO Jing-dong

(*Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: The mean last passage time is introduced to instead of the mean first passage time for studying the decay of an induced-fissioning system. The stationary fission rate determined by the inverse of mean last passage time across the saddle point is agreement with the resulting rate of Langevin simulation and better than that of mean first passage time arriving at the scission point.

Key words: thermal nuclear fission; Langevin simulation; mean last passage time

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (19445005); Foundation of China Academy of Engineering Physics (97021); Chinese National Committee for CODATA; Research Item of the IAEA(7431/RB)

** **Foundation item:** National Natural Foundation of China (10075007, 10235020); Project of Trans-century Training Program Foundation for the Talents, Ministry of Education of China