

形变对 $10.6\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}$ 反应裂变前 粒子发射的影响*

叶巍¹ 沈文庆²

1(东南大学物理系 南京 210096)

2(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 研究了形变效应对 $10.6\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}$ 反应中断前粒子发射的影响. 发现通过测量的裂变前粒子多重性提取的裂变延迟时间将因此从 $20 \times 10^{-21}\text{s}$ 减少到 $5 \times 10^{-21}\text{s}$, 表明增强的断前粒子发射有一部分来自形变效应的贡献.

关键词 裂变延迟时间 形变 轻系统 粒子多重性

1 引言

实验发现在高激发能情况下,断前中子^[1]、轻带电粒子^[2]以及 γ 射线^[3]相对于统计模型的值增强发射,这种现象被认为是由裂变延迟效应引起的. 裂变延迟时间由两部分组成:系统的裂变率达到它的准稳态值所需要的暂态时间(用 τ_d 表示),以及系统从鞍点演化到断点的时间(用 τ_{sc} 表示). 目前,裂变的时间标度是用实验上测量到的粒子多重性来估计的,忽略了其它因素的影响. 裂变作为一种大尺度的集体运动,形变对粒子发射的影响是明显的. 在文中我们考虑了形变效应对裂变延迟时间提取的影响. 因为测量的断前粒子可以在鞍点前,也可能在鞍点后发射,从实验上来区分这两部分的贡献也十分困难. 对于重系统($A \approx 200$),鞍点后发射对裂变前粒子多重性有很大的贡献,因此在拟合断前粒子多重性时,需要 τ_d 、 τ_{sc} 和形变的量度 Z_{axis} (定义为椭球的半长轴与同体积的球的半径的比)3个参数,而对于轻系统($A \approx 110$)的情形,因其断点构型接近鞍点而限制了鞍点后的发射^[4],故只需要 τ_d 和 Z_{axis} 两个参数就可以了.

2 计算结果和讨论

在 $10.6\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}$ 反应中,测量到的断前轻带电粒子多重性多于统计模型的估计,表明了暂态效应的存在. 此外,为了符合¹¹¹In核发射的质子和 α 粒子的能谱,它们的

1999-09-08 收稿

* 东南大学基金资助(9207022024)

发射位垒必须降低 1 个 MeV, 这被认为是由形变效应引起的. 文献[5]在仅考虑裂变延迟效应贡献的情况下, 提取了 20×10^{-21} s 的裂变延迟时间.

因为形变不仅影响质子和 α 粒子的发射位垒, 而且对它们的结合能也有影响, 这两个因素都能影响粒子的发射, 因此在本文中, 除裂变延迟效应以外, 也包括了形变效应对粒子发射的影响.

在液滴模型中, 粒子结合能的表达式包括很多项, 但是其中只有库仑能项和表面能项是形变的函数. 形变能可以表示为

$$E_{\text{def}} = \left[\frac{2}{5} E_c^{(0)} - \frac{1}{5} E_s^{(0)} \right] \frac{5}{4\pi} \beta_{\text{def}}^2, \quad (1)$$

这里, $E_c^{(0)}$ 和 $E_s^{(0)}$ 分别是球形核情况下的库仑能和表面能, β_{def} 是形变参数, 它可以用半长、短轴分别为 a 和 b 的椭球形核的表达式来计算. 半长轴 a 可以表示为

$$a = R_0 \left(1 + \sqrt{\frac{5}{4\pi}} \beta_{\text{def}} \right), \quad (2)$$

这里 R_0 是与椭球形核具有一样体积的球形核的半径. 液滴模型预计 ^{111}In 核发射的中子、质子和 α 粒子的结合能分别为 9.988, 5.328 和 2.408 MeV.

图 1 展示了这些粒子的结合能作为长对称轴归一化长度 Z_{axis} 变化的函数. 随着形变的增加, 中子结合能减少, 而质子和 α 粒子的则增加, 并且质子结合能增加的速度要快于 α 粒子的增加.

在本工作中, 利用轻粒子发射的方位角分布和方位角关联的方法估计了核的形变大小. 对 $10.6\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}$ 反应中与碎片符合的 α 粒子的方位角分布^[6] 和轻粒子发射的方位角关联^[7,8] 数据分析表明: ^{111}In 核的各项异性度 $\beta \approx 1.5$, 小于球形情况下的 $\beta \approx 3.0$. 各项异性度定义为^[9]

$$\beta = \frac{I_n^2}{2TJ} \frac{\mu R^2}{\mu R^2 + J}, \quad (3)$$

这里 I 和 T 分别是母核的角动量和温度, μ 是发射粒子和子核的约化质量, R 是位垒半径^[10], 而 J 是母核系统的转动惯量, 非常敏感于核的形变. 对一个长、短轴分别是 a 和 b 的椭球形状的核, 其转动惯量 $J = M(a^2 + b^2)/5$, 这里 M 是系统的质量. 我们假设当核形变时, 体积守恒, 即 $4\pi R_0^3/3 = 4\pi ab^2/3$. 利用实验上测量的 β 值以及 β 的公式(3), 可以获得关于核形变的信息. 这样最终得到的 a 和 b 值分别为 8.723 和 4.748 fm. 因此椭球形核的半长轴与同体积的球形核半径之比 a/R_0 约为 1.5. 从图 1 中可以得出在这个形变值处, 中子、质子和 α 粒子的结合能相对于球形时值的变化分别为 $-0.2625, 0.2718$ 和 0.0482MeV .

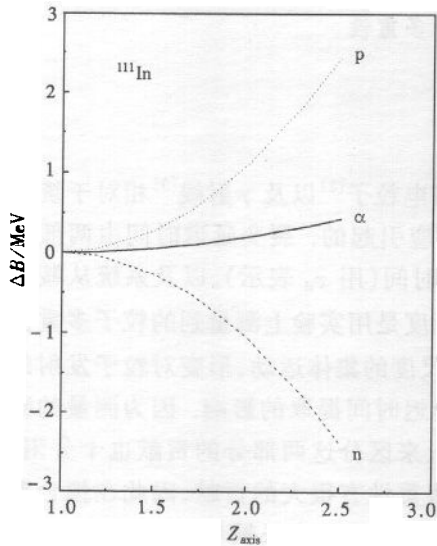


图 1 ^{111}In 核的中子、质子和 α 粒子的结合能相对于球形核时的变化作为形变的函数

在用统计模型程序 GEMINI^[11] 计算时,除计入了形变对轻粒子发射的结合能和发射位垒的影响之外,其余的条件,如 In 核的激发能 200MeV、最大熔合角动量 $L(80 \hbar)$ 、两体衰变所对应的角动量区间 $65 \hbar < L < 80 \hbar$ 、能级密度参数 $a = A/10$ (A 是系统的质量数)以及它在鞍点处与基态球形处的比值 $a_t/a_v = 1$,都与仅考虑裂变延迟效应时用的完全一样.从图 2 中可以看出,在包括形变效应以后,只需要 $5 \times 10^{-21} \text{ s}$ 的裂变延迟时间就能很好地拟合¹¹¹In 核非对称裂变和对称裂变情况下断前质子多重性的实验数据.这个值小于没有考虑形变效应时的 $20 \times 10^{-21} \text{ s}$ ^[5,6].这个结果表明当从裂变前粒子多重性数据来提取裂变延迟时间时,必须考虑形变效应的影响.同时也表明对轻系统¹¹¹In,形变效应有利于粒子发射,原因是因形变而导致的质子和 α 粒子发射位垒的降低超过了它们的结合能随形变增加的缘故.这与重系统的情况不同,其形变效应抑制了粒子发射^[12,13].

必须指出,虽然形变效应的引入可以减少裂变延迟效应的贡献,但是仅有形变效应并不能完全解释实验数据,这一点可以从图 2 中看出来.在这个意义上,我们可以认为,裂变延迟效应仍然是理解断前粒子增强发射的关键.

3 结论

形变效应对轻系统¹¹¹In 断前粒子发射影响的研究表明,该效应对裂变前粒子增强发射的现象有一定的贡献,并使通过测量的粒子多重性提取的裂变延迟时间从 $20 \times 10^{-21} \text{ s}$ 减少到 $5 \times 10^{-21} \text{ s}$.这表明在拟合¹¹¹In 核的裂变前粒子多重性时,不需要用到大的裂变延迟时间.

参考文献(References)

- 1 Hinde D J et al. Phys. Rev., 1992, C45:1229—1259
- 2 Lestone J P et al. Phys. Rev. Lett., 1991, 67:1078—1081
- 3 Paul P, Thoennessen M. Annu. Rev. Nucl. Part. Sci., 1994, 44:65—108
- 4 YE W et al. Z. Phys., 1997, A359:385—389
- 5 Nakagawa T et al. Nucl. Phys., 1995, A583:149—152
- 6 Yuasa - Nakagawa K et al. Phys. Rev., 1996, C53:997—1000
- 7 YE W et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1997, 21(1):417—423

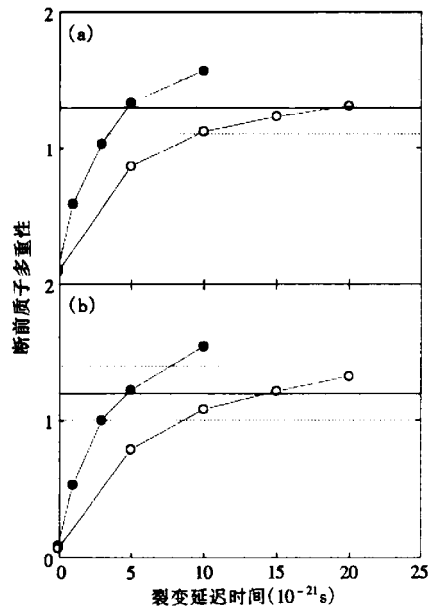


图 2 (a)¹¹¹In 核非对称裂变($20 < A < 40$)和(b)对称裂变($40 < A < 60$)断前质子多重性作为裂变延迟时间的函数.实验结果用实线和两侧的虚线表示;○ 没有考虑形变效应,取自文献[6];• 形变值 $Z_{max} = 1.5$ (见文中的定义)时的结果.

- 8 SHEN W Q et al. Phys. Rev. , 1997, **C56**:1996—2002
- 9 Schad L et al. Z. Phys. , 1984, **A313**:179
- 10 Simbel M H. Z. Phys. , 1984, **A313**:311—317
- 11 Charity R J et al. Nucl. Phys. , 1988, **A483**:371—405
- 12 Lestone J P. Phys. Rev. Lett. , 1993, **70**:2245—2248
- 13 Chatterjee A et al. Phys. Rev. , 1995, **C42**:3167—3173

Effect of Deformation on Precission Particle Emission in the Reaction of 10.6 MeV/u $^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}^*$

YE Wei¹ SHEN WenQing²

1(*Department of Physics, Southeast of University, Nanjing 210096, China*)

2(*Shanghai Institute of Nuclear Research, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800, China*)

Abstract Effect of deformation on precission particle emission was studied. The fission delay time extracted from the measured precission light charged particle multiplicity of fission of light system ^{111}In , produced in 10.6MeV/u $^{84}\text{Kr} + ^{27}\text{Al}$ collision, is reduced to 5×10^{-21} s from 20×10^{-21} s, if including deformation effect, which indicates that part of the excess of precission particle emission comes from the deformation effect contribution. The reason is that deformation of the system leads to a decrease of the barriers for proton and α particle emission even larger than the increase of their binding energies.

key words fission delay time, deformation, light system, particle multiplicity

Received 8 September 1999

* Supported by The Foundation of Southeast of University (9207022024)