

$^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 耗散产物反应时间的提取*

王琦 田文栋 李松林 卢俊 江中和 胡鹏云

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

F. Amorini^{1,3} M. Cabibbo^{1,3} G. Cardella² P. Figuere¹ A. Musumarra^{1,3}

M. Papa² G. Pappalardo^{1,3} F. Rizzo^{1,3} S. Romano¹ S. Tudisco¹

1(Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy)

2(Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Catania, Italy)

3(Dipartimento di Fisica, Università di Catania, Italy)

B. Heusch

(Centre de Recherches Nucleaires, Strasbourg, France)

摘要 用发展了的 Ericson 统计理论,从 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 碰撞的耗散产物的激发函数提取了反应的相互作用时间约 4.3×10^{-21} s.

关键词 耗散反应 截面涨落 相互作用时间

1 引言

重离子深部非弹性碰撞,亦称耗散反应,是介于直接过程与复合核形成之间的一种反应机制.自70年代以来,已经进行了广泛而有成效的研究.这一反应基本上是由两体过程,是从非平衡态向平衡态过渡的弛豫过程.反应中所形成的双核系统存在着一定的记忆,产物的典型角分布是在擦边角附近成峰,或者在前后角区明显地呈现出两种不同的斜率.双核系统随时间的演化,尤其是相互作用时间的确定一直是人们感兴趣的研究课题之一.通常采用的办法是借助一定的理论近似,从分析产物的能谱、角分布、电荷分布等提取出耗散反应的特征时间.

近年来,由于重离子深部非弹性碰撞激发函数中涨落现象的发现^[1],使耗散反应的研究又一次引起了核物理学界的关注^[2-4].涨落现象的分析也提供了确定反应的相互作用时间的一种新方法.本文就是用这种方法,即从激发函数中提取能量相干宽度 Γ ,再通过测不准原理而得到 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 耗散反应产物的平均寿命 $\tau = \hbar / \Gamma$.然后,与从角分布提取相互作用时间的方法进行比较和讨论.

1998-01-19收稿

* 国家自然科学基金(19775057),中国科学院以及意大利国家南方实验室资助

2 实验及其结果

最近在意大利国家南方实验室的串列静电加速器上完成了 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 的实验研究. 束流 $^{27}\text{Al}^{8+}$ 的入射能量为 114—127MeV, 能量步长 200keV; 靶厚为 $38\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 流强约 50nA, 按逐个事件进行获取, 连续测量 300h, 以保证充足的统计计数.

实验的探测系统安排了 3 套 ΔE - E 望远镜. ΔE 探测器是气体电离室, 充有气压为 40mb 的 C_4H_{10} 气体, 剩余能量 E 沉积在厚度为 1000μ 的位置灵敏半导体 Si 探测器之中. 在实验室系整个系统的探测范围为 10.4° — 57.4° . 此外, 在 $\theta_1 = 5.8^\circ$ 装有一个半导体束流监测器; 在 $\theta_1 = 0^\circ$ 装有法拉第筒以收集束流电荷.

按两体运动学计算而得到的 Q 值的范围, 仅对所测能区的能谱的耗散部分进行积分, 并逐个事件地对数据进行从实验室系到质心系的转换. 图 1 给出了类 Al 产物的角分布, 截面的变化在 65° 以前迅速下降, 65° 以后则平坦得多. 图 2 是耗散反应产物的激发函数, 展现出截面的特征涨落结构.

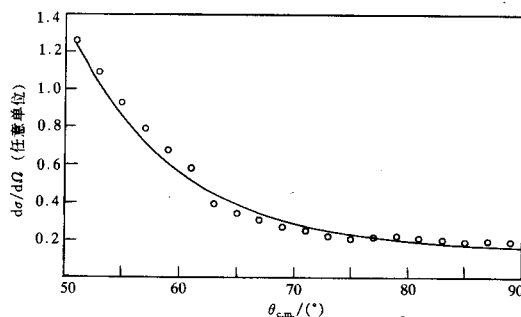


图 1 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 耗散反应类 Al 产物角分布

$\hbar\omega = 2.0\text{MeV}$; $\tau_1 = 5.1 \times 10^{-23}\text{ s}$; $\tau_2 = 6.6 \times 10^{-22}\text{ s}$.

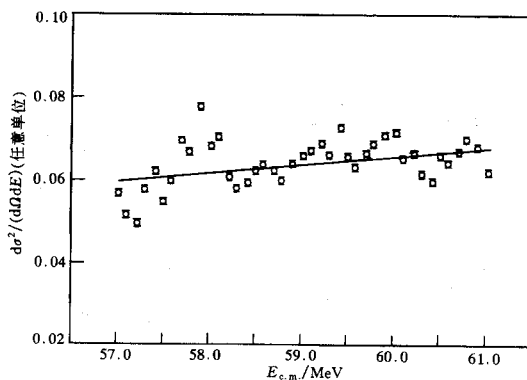


图 2 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 耗散反应类 Al 产物在质心系 60° 的激发函数

3 反应时间的提取

3.1 从角分布的斜率提取反应时间

依据深部非弹性碰撞的经典图象, 寿命为 τ 的双核系统以角速度 ω 转动, 反应产物的角分布表达式为

$$\langle \sigma(E, \theta) \rangle_E = \text{const} [\exp(-\theta / \omega\tau) + \exp(-(2\pi - \theta) / \omega\tau)], \quad (1)$$

这里, $\tau = \hbar / \Gamma$ 是衰变的双核系统的平均寿命, Γ 是对应的衰变宽度. 对于前后角区有两组截然不同斜率的情况, 实验数据的拟合则可以用两个不同的寿命 τ_1 和 τ_2 的线性组合^[5]. 于是, 整个角分布为

$$\langle \sigma(E, \theta) \rangle_E = k_1 \langle \sigma(E, \theta) \rangle_E \Big|_{\tau=\tau_1} + k_2 \langle \sigma(E, \theta) \rangle_E \Big|_{\tau=\tau_2}, \quad (2)$$

调节 k_1 和 k_2 可得到最佳拟合.

按照公式 (1) 和公式 (2), 对于我们的情况, 拟合曲线如图 1 中的实线所示, 其所对应的 $\tau_1 = 5.1 \times 10^{-23}$ s, $\tau_2 = 6.6 \times 10^{-22}$ s.

3.2 从激发函数提取反应时间

截面的统计性质通常是由关联函数来表述的, 而广泛应用的是相对的能量自关联函数. 对一个固定的出射道, 其定义为

$$C(\varepsilon) = \frac{\langle \sigma(E) \sigma(E + \varepsilon) \rangle}{\langle \sigma(E) \rangle \langle \sigma(E + \varepsilon) \rangle} - 1, \quad (3)$$

这里的 ε 是能量步长, $\langle \rangle$ 表示对测量能区求算术平均. 图 3 给出了 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 反应中类 Al 产物在 $\theta_{\text{c.m.}} = 60^\circ$ 所得到的能量自关联函数 $C(\varepsilon)$, 其误差为有限能量范围内的取样误差^[6].

根据 T. Ericson 的理论预言^[7], 复合核的能量自关联函数 $C(\varepsilon)$ 应该呈现 Lorentzian 型, 即满足下面的表达式

$$C(\varepsilon) = \frac{1}{N_{\text{eff}}} \frac{\Gamma^2}{\Gamma^2 + \varepsilon^2}, \quad (4)$$

其中的 $N_{\text{eff}} = 1 / C(0)$ 是系统的有效出射道的道数; Γ 是能量相干宽度, 可以从函数 $C(\varepsilon)$ 的极大值 $C(0)$ 的半高宽处提取. D.M. Brink et al. 将 Ericson 的理论发展到了对深部非弹性碰撞激发函数的分析之中, 得到了形式上类似的表达式^[8]. 对于我们的实验数据进行拟合而得到的 Lorentzian 曲线示于图 3 之中. 由图可以看出, 前面的几个实验点完全落在理论曲线上, 就是说, 从这里依然可以比较合理地提取衰变宽度 $\Gamma \approx 135$ keV, 其所对应的双核系统的平均寿命 $\tau \approx 4.3 \times 10^{-21}$ s. 然而, 从图 3 还可以明显地看到, 实验得到的能量自关联函数 $C(\varepsilon)$ 的形状已经不再是复合核中所表现的纯粹的 Lorentzian 型, 而是有结

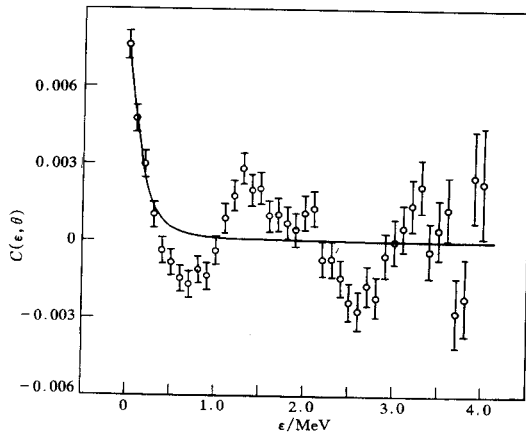


图 3 $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ 耗散反应类 Al 产物在质心系 60° 的能量自关联函数
——Lorentzian 拟合曲线。

构的。这是因为耗散过程所形成的双核系统处于非平衡态,其中还存在不同于 Ericson 涨落的长程的能量关联^[9]。

4 讨论

从角分布的斜率提取反应时间的公式(1)源自 S 矩阵元的 Regge-pole 表达,最初是用来描述直接反应机制中产生的碎片的分立能级的低位激发的,后来发展到了对少数核子的转移反应的分析之中。也就是公式(1)和(2)适合于那些内部自由度变化不大、相互作用时间比较短的反应过程。而在深部非弹性碰撞中,内部自由度发生了相当大的

变化,复合系统的能级也达到了相互重叠的区域,相互作用时间比较长,因此,从角分布的斜率提取反应时间的方法是不灵敏的。

从反应产物激发函数的能量自关联函数中提取的反应时间,结果比较合理,为 10^{-21}s 的量级;同时也具有明确的物理意义;在耗散反应中所形成的中间双核系统的衰变宽度 $\Gamma \approx 135\text{keV}$, 平均寿命 $\tau = \hbar / \Gamma$ 约为 $4.3 \times 10^{-21}\text{s}$ 。

总之,重离子耗散碰撞激发函数中的截面涨落是近年来发现的一种普遍现象,通过对其相应的能量自关联函数的分析,提供了确定耗散反应的相互作用时间的一种新的行之有效的办法。

参 考 文 献

- 1 De Rosa A et al. Phys. Lett., 1985, **B160**:239—242
- 2 Pappalardo G. Nucl. Phys., 1988, **A488**:395c—408c
- 3 Rizzo F et al. Z. Phys., 1994, **A349**:169—175
- 4 Wang Qi et al. Phys. Lett., 1996, **B388**:462—467
- 5 Mermaz M C et al. Nucl. Phys., 1986, **A456**:186—204
- 6 Richter A. in Nuclear Spectroscopy and Reactions, ed. J. Cemy Part B(1974)343
- 7 Ericson T. Ann. Phys., 1963, **23**:390—414
- 8 Brink D M, Dietrick K. Z. Phys., 1987, **A326**:7—20
- 9 Kun S Y. Phys. Lett., 1991, **B257**:247—253

Extraction of Reaction Time in the $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ Dissipative Collision *

Wang Qi, Tian Wendong, Li Songlin, Lu Jun, Jiang Zhonghe, Hu Pengyun

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

F. Amorini^{1,3} M. Cabibbo^{1,3} G. Cardella² P. Figueri¹ A. Musumarra^{1,3}

M. Papa² G. Pappalardo^{1,3} F. Rizzo^{1,3} S. Romano¹ S. Tudisco¹

1(*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy*)

2(*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Catania, Italy*)

3(*Dipartimento di Fisica, Università di Catania, Italy*)

B. Heusch

(*Centre de Recherches Nucleaires, Strasbourg, France*)

Abstract Interaction time $\sim 4.3 \times 10^{-21}\text{s}$ of the dissipative products in the collision $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$ is extracted from the measurement of excitation functions by using the developed Ericson statistical theory.

Key words dissipative reaction, cross section fluctuation, interaction time

Received 19 January 1998

* Supported by the National Natural Science Foundation of China (19775057), The Chinese Academy of Sciences and the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy