

文章编号: 1007-4627(2003)01-0026-04

## 激发函数中的长程角度关联与量子态叠加\*

王 琦, 董玉川, 李松林, 田文栋, 高 辉

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 在较大的连续角区范围内测量了 $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$ 耗散反应产物的激发函数, 入射束流的能量从 114 MeV 到 127 MeV, 能量步长 200 keV. 分析激发函数的角度关联, 角度相干宽度超过  $40^\circ$ , 各个角度之间反应产物的互关联系数在 0.6 以上. 用宏观条件下的量子态叠加讨论了这种长程角度关联.

**关键词:** 耗散产物; 激发函数; 长程角度关联; 量子态叠加

**中图分类号:** O571.41 **文献标识码:** A

### 1 引言

近年来, 重离子耗散反应激发函数的研究引人注目<sup>[1-3]</sup>. 实验结果表明: (1) 尽管反应中形成的中间双核系统具有高的内部激发以及大量的出射道, 产物激发函数中截面的涨落却不能平滑<sup>[4-6]</sup>. (2) 不同角度反应产物的激发函数之间存在强烈的长程角度关联<sup>[5,6]</sup>. (3) 宏观条件相同的两次独立测量的截面及其涨落有明显的重复迹象<sup>[7]</sup>. 为了拟合或者解释这些新的实验现象, 理论家引入角动量关联<sup>[8]</sup>描述双核系统相干转动的周期性<sup>[9]</sup>, 引入相位随机化描述系统中各种物理量的耗散过程<sup>[10-12]</sup>, 发展了 Ericson 的核反应统计理论. 迄今为止, 理论发展还不够成熟, 实验探索也一直在继续. 本文仅就  $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  实验中耗散反应产物激发函数之间强烈的长程角度关联问题做一些比较深入的讨论.

### 2 实验及其结果

实验是在意大利南方国家实验室(LNS)的串列静电加速器上完成的. 束流  $^{27}\text{Al}^{8+}$  的入射能量从 114 MeV 到 127 MeV, 能量步长 200 keV, 轰击厚度为  $38 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  的  $^{27}\text{Al}$  同位素靶. 探测系统由 3 套 ( $\Delta E-E$ ) 望远镜组成, 鉴别反应产物的电荷数  $Z$ , 整个系统覆盖的探测角度范围在实验室系是连续从  $10.4^\circ$  到  $57.4^\circ$ . 此外, 在  $\theta_{\text{lab}}=5.8^\circ$  装有半导体束流

监测器, 在  $\theta_{\text{lab}}=0^\circ$  装有法拉第筒收集束流电荷.

对类 Al 反应产物能谱的耗散部分积分作出激发函数, 见图 1, 显示了重离子耗散反应产物截面涨落不可平滑的特性. 实验数据按逐个事件、依两体反应运动学从实验室系转换到质心系, 取  $Q$  值从  $-10 \text{ MeV}$  到  $-40 \text{ MeV}$ , 角度分析范围在质心系连续从  $50^\circ$  到  $90^\circ$ , 间隔  $4^\circ$  (质心系角分辨率好于  $4^\circ$ ).

对不同角度的激发函数作角度关联函数分析. 实验结果显示: 从质心系  $50^\circ$  到  $90^\circ$ , 各个角度之间  $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  耗散反应产物的互关联系数大多在 0.6 以上, 表明不同出射角产物的激发函数之间有强烈的关联; 角度相干宽度也超过了  $40^\circ$ ; 角度关联函数相对于中心参考角呈现出明显的非对称性. 表 1 列出了  $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  耗散反应中类 Al 产物激发函数截面涨落的角度互关联系数. 图 2 是角度关联曲线, 误差主要来源于能量有限范围.

反应截面及其涨落在两个角度  $\theta$  与  $\theta'$  之间的角度关联函数定义为

$$C(\theta, \theta') = \left\langle \left( \frac{\sigma(E, \theta)}{\sigma(E, \theta)} - 1 \right) \left( \frac{\sigma(E, \theta')}{\sigma(E, \theta')} - 1 \right) \right\rangle_E, \quad (1)$$

以某个角度作参考角, 相对归一的角度互关联系数为

$$C_n(\theta, \theta') = \frac{C(\theta, \theta')}{[C(\theta, \theta)C(\theta', \theta')]^{1/2}}, \quad (2)$$

收稿日期: 2002-09-12; 修改日期: 2002-11-12

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10175083); 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(G2000077401)

作者简介: 王 琦(1945-), 男(汉族), 甘肃兰州人, 研究员, 从事重离子反应机制实验研究.



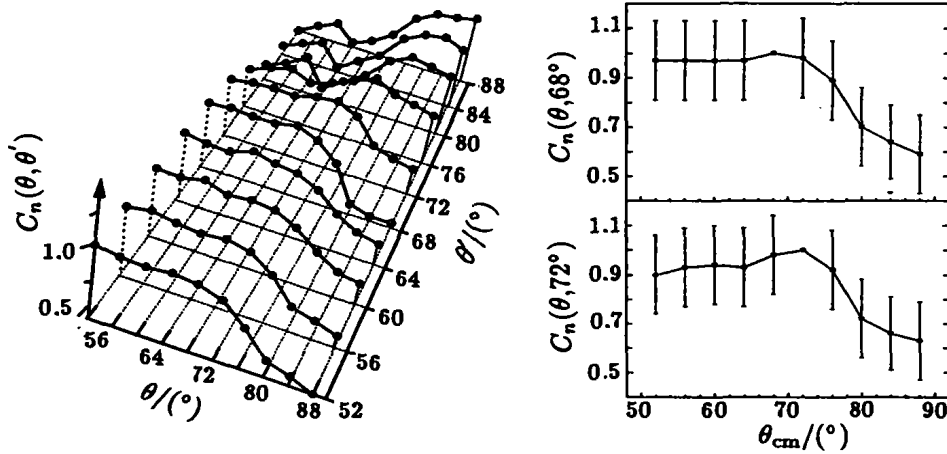


图 2  $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  耗散反应中类 Al 产物的角度关联曲线

### 3 讨论

激发函数通常是在一个固定角度测量不同入射能量下产物的反应截面及其涨落, 研究产物之间的能量关联性质: (1) 从能量关联函数中可以提取复合系统的平均衰变宽度  $\Gamma$ ; (2) 入射能量与反应截面的测量结果通过傅立叶变换可以获得相互作用时间与粒子出射几率之间的关系, 即所谓的时间功率谱, 研究反应系统随时间的演化过程. 重离子耗散反应产物激发函数的基本特征: 截面涨落不可平滑, 说明了双核系统始终处于非平衡的状态; 能量自关联函数有长程的准周期性衰减, 表明了双核系统的有阻尼的宏观转动特性; 时间功率谱呈现出时间-空间的局域化结构, 反映了不同  $l$  分波的分振幅相位之间的干涉.

$^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  耗散反应产物实验的特点是在较大的连续角区范围内测量激发函数, 通过分析角度关联函数而把不同角度下相同入射能量点的能量自关联函数联系了起来. 这样, 分析激发函数的能量关联函数和角度关联函数, 从本来是单举测量的、没有直接联系的、不同角度的产物的反应截面及其涨落中得到了反应的双核系统在同一个时刻向各个不同角度出射的产物的几率及其关联性质. 结果如图 2 所示, 存在强烈的、异常长程角度关联. 对于很小角度之间的关联, 可以用核的相互作用来解释, 其关联角的大小等于擦边角动量的倒数, 在  $^{27}\text{Al}+^{27}\text{Al}$  耗散反应的情况下, 关联角也就是  $3^\circ$  左右; 至于几十度之间大角度的非对称关联, 一种可能的解释就是态的叠加.

量子理论用态叠加原理描述一个系统所处的状态. 按照量子理论, 耗散反应所形成的中间双核系统的衰变产物以各自的几率、在各个方向同时都有出射的可能. 耗散反应产物激发函数之间的长程角度强烈关联具有同一时刻发射、有固定的相位关系、有相对的出射几率之比、有不同的内部组态、有可区分的宏观探测角度以及内部态和可区分的宏观态处于纠缠等特点而体现了双核系统内衰变产物的量子态叠加.

问题是, 实验上能否确定衰变产物在各个方向相对出射几率的大小? 依据能够成功解释重离子耗散反应中截面涨落现象的 Kun 理论<sup>[10-13]</sup>, 在重离子耗散反应的双核系统中存在着反射对称性. 对称性意味着相同的出射几率, 就是说, 双核系统向各个方向出射的衰变产物相对于质心系  $180^\circ$  应该有相同的出射几率以及强烈的关联. 或者说, 在时间功率谱中所显示的一个相干转动周期 ( $360^\circ$ ) 内应该有两次等间隔、等几率的时间-空间的局域性发射, 这就是内部态具有不同自旋、宏观态处于可区分的探测角度的态的量子纠缠. 这在实验上是可以直接观测到的. 换一句话说, 通过分析耗散反应产物激发函数的长程角度关联有可能在宏观尺度(角度)上研究量子态的叠加, 宏观条件下量子态的叠加就是所谓的薛定谔猫. 薛定谔猫的研究对深入理解量子理论, 探讨量子理论与经典理论的关系具有重要的学术意义, 特别是高激发、多体系统中薛定谔猫的实验研究还不多见. 当前, 进一步实验研究的相关准备工作正在积极进行.

## 参 考 文 献:

- [1] 王 琦. 重离子耗散碰撞激发函数的涨落[J]. 原子核物理评论, 1998, 15(27): 74.
- [2] 王 琦, 田文栋, 李松林等. 重离子耗散反应产物激发函数研究的新进展[J]. 原子核物理评论, 2001, 18(2): 72.
- [3] 王 琦, 董玉川, 田文栋等. 低能重离子耗散反应产物的激发函数研究[J]. 物理学进展, 2002, 22(3): 333.
- [4] De Rosa A, Inghima G, Russo V, *et al.* Fluctuation in the Excitation Functions of Dissipative Heavy Ion Collisions[J]. Phys Lett, 1985, B160: 239.
- [5] Suomijarvi T, Berthier B, Lucas R, *et al.* Correlated Fluctuations in the  $^{89}\text{Y}(^{19}\text{F},\text{X})\gamma$  Excitation Functions[J]. Phys Rev, 1987, C36: 181.
- [6] Papa M, Amorini F, Cardella G, *et al.* Fluctuations in the Excitation Functions of Dissipative Collisions Induced on the  $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$  System in the Laboratory Energy Range 114. 2—123 MeV[J]. Phys Rev, 2000, C61: 044614, 1.
- [7] Wang Qi, Tian Wendong, Li Songlin, *et al.* Non-reproducibility of the Cross Sections Measured in the Dissipative Collisions  $^{19}\text{F} + ^{93}\text{Nb}$ [J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2000, 24: 1 060.
- [8] Brink D M, Dietrick K. Ericson Fluctuations in Dissipative Collisions[J]. Z Phys, 1987, A326: 7.
- [9] Pappalardo G, Papa M. Structure in the Excitation Functions of Dissipative Heavy Ion Collision [C]. Proceedings of the Workshop on Multistep Direct Reaction, Singapore; World Scientific, 1992, 89—113.
- [10] Kun S Y. Statistical Reactions with Memory and Thermalized-nonequibrated Nuclear States[J]. Z Phys, 1997, A357: 255.
- [11] Kun S Y. S-matrix Spin, and Parity Decoherence and Damping of Coherent Nuclear Rotation: Quantum chaos in dissipative heavy ion collisions[J]. Z Phys, 1997, A357: 271.
- [12] Kun S Y. Fourier Analysis of Nonself-averaging Quasiperiodic Oscillations in the Excitation Functions of Dissipative Heavy Ion Collisions: Quantum chaos in dissipative heavy ion collisions[J]. Z Phys, 1997, A357: 367.
- [13] Kun S Y. Sensitivity of Nucleus-nucleus Cross Sections and Atomic-electron Effects in Dissipative Heavy ion Collisions [J]. Phys Rev Lett, 2000, 84: 423.

## Long-range Angular Correlation in Excitation Functions of Dissipative Heavy Ion Collision of $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}^*$

WANG Qi, DONG Yu-chuan, LI Song-lin, TIAN Wen-dong, GAO Hui

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

**Abstract:** The excitation functions in dissipative heavy ion collision of  $^{27}\text{Al} + ^{27}\text{Al}$  were measured. The incident beam energies were from 114 to 127 MeV in step of 200 keV. Angular correlation in excitation functions is analyzed, the coherent angle is more than  $40^\circ$ , the cross correlation coefficients are about 0.6. The long-range angular correlation is discussed with the concept of quantum superposition state in macroscopic conditions.

**Key words:** dissipative product; excitation function; long-range angular correlation; quantum superposition

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10175083); Major State Basic Research Development Program (G2000077401)