

## 快报

14.7MeV/u、19.2MeV/u  $^{20}\text{Ne}$  诱发反应中  
转移和碎裂反应过程的竞争

诸永泰 胡晓庆 沈文庆 李松林 詹文龙 张震 祝翔

(中国科学院近代物理研究所,兰州)

## 摘 要

对于在 14.7MeV/u、19.2MeV/u  $^{20}\text{Ne} + ^{58}\text{Ni}$  反应中出射的类弹碎片,比较其单举动量分布和与前方向 20 个塑料闪烁体中带电粒子符合的动量分布,区分来自于碎裂过程和转移反应过程的贡献,并研究随束流能量变化时这两种过程的竞争.

## 一、引 言

在重离子核反应中,炮弹的碎裂(Fragmentation)是一个从低能区到相对论能区都存在的一种反应机制<sup>[1]</sup>,其特征是在束流前方向观测到一组质量轻于炮弹、速度接近束流速度的碎片.在低能区( $E/A < 10\text{MeV/u}$ ),周边碰撞导致转移反应和弹性裂开过程<sup>[2]</sup>,而在高能区( $E/A > 100\text{MeV/u}$ ),碎裂成为一种主要反应过程.出射的类弹碎片的动量可用高斯分布描述:

$$\frac{d^3\sigma}{dP^3} \propto \exp\left(-\frac{(P_{\perp})^2}{2\sigma_{\perp}^2}\right) \exp\left(-\frac{(P_{\parallel} - P_0)^2}{2\sigma_{\parallel}^2}\right).$$

其中, $P_{\perp}$ 、 $P_{\parallel}$  分别为碎片垂直和平行于束流方向的动量, $P_0$  为相应于束流速度的碎片动量. $\sigma_{\perp}$ 、 $\sigma_{\parallel}$  分别为垂直和平行动量分布宽度.对于高能区的碎裂, $\sigma_{\parallel}$  只与碎片质量有关并可由费米运动来解释<sup>[1]</sup>:

$$\sigma_{\parallel}^2 = \frac{A_F(A_P - A_F)}{(A_P - 1)} \sigma_0^2, \sigma_0^2 = \frac{1}{5} P_F^2$$

上式中  $A_F$ 、 $A_P$  分别为出射碎片和炮弹的质量, $P_F$  为费米动量.实验中对高能区的碎裂  $\sigma_0$  约为  $90\text{MeV}/c$ .

近些年来,从低能到高能过渡区( $10-100\text{MeV/u}$ ) 引起了人们的研究兴趣<sup>[3]</sup>.在中能区,碎裂产生的类弹碎片不再象在能区那样具有纯高斯形的动量分布, $\sigma_0$  随束流能量变化,并且加入了转移反应的竞争.本文通过分析在  $14.7, 19.2\text{MeV/u } ^{20}\text{Ne} + ^{58}\text{Ni}$  反应

中擦边角附近出射的类弹碎片的动量谱(单举的及符合的), 给出竞争的两个反应过程的贡献大小及不同的动量分布宽度.

## 二、实验及结果

实验是在荷兰 KVI 研究所回旋加速器上进行的. 加速器提供的 294MeV 和 384MeV 的  $^{20}\text{Ne}$  束流打到  $1.5\text{mg}/\text{cm}^2$  厚的  $^{58}\text{Ni}$  靶上, 在束流前方向放置 20 个塑料闪烁体迭层探测器, 探测 H、He 等轻带电粒子, 其覆盖角区范围为在平面  $\pm 20^\circ$ 、出平面  $\pm 10^\circ$ . 类弹碎片用一块  $50\mu\text{m} \times 5000\mu\text{m}$  的硅半导体探测器望远镜测量. 实验数据逐个事件获取并记录在磁带上, 离线分析是在近物所 VAX 8350 计算机上完成的.

类弹碎片探测器放在尽可能前方向的擦边角附近( $6^\circ$ ). 因为在转移反应中, 假如炮弹  $^{20}\text{Ne}$  中的一个  $\alpha$  粒子转移到靶中, 则在前方向同时测到一个  $^{16}\text{O}$  及  $\alpha$  粒子或其它带电粒子的可能性很小. 因此, 为了排除转移反应的贡献, 我们挑选与任何一个塑料闪烁体探测到的任何一个带电粒子符合的类弹碎片. 这种碎片的高能部分主要来自于碎裂过程, 而其低能部分主要来自于耗散过程. 图 1 显示在  $14.7\text{MeV}/u$   $^{20}\text{Ne} + ^{58}\text{Ni}$  反应中出射的  $^{16}\text{O}$  的速度谱. “o” 表示单举测量的 (Inclusive)  $^{16}\text{O}$  速度谱, “+” 表示符合测量的 (Exclusive, 即排除转移贡献的)  $^{16}\text{O}$  速度谱. 因为图中的单举谱与符合谱中的低速度部分谱形相近, 为了进行比较, 调节符合谱的垂直标度, 使两个谱的低速度部分相重合. 然后, 从单举谱中减去符合谱, 这样我们便在束流速度附近得到一个高斯分布速度谱. 因符合谱只是排除了转移反应的贡献, 所以该高斯分布速度谱应主要来自于转移反应的贡献. 对符合谱中高速度的一端部分及转移反应速度谱(图中“ $\Delta$ ”所示谱)进行高斯拟合, 分别得出相应于碎裂过程和转移反应过程的约化动量宽度  $\sigma_0$  为  $42\text{MeV}/c$  和  $31\text{MeV}/c$ 、其截面之比约为 2.5:1.

对其它类弹碎片也以同样方法进行了分析. 对  $^{19}\text{F}$ , 转移反应占贡献的主要部分, 这

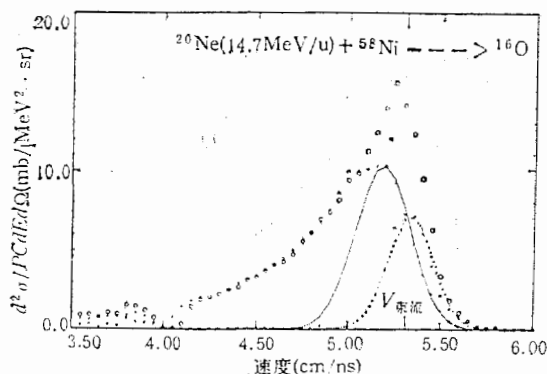


图 1  $^{20}\text{Ne}(14.7\text{MeV}/u) + ^{58}\text{Ni}$  反应中出射的  $^{16}\text{O}$  速度谱

○ ○ ○ 单举速度谱 + + + 符合速度谱(实线——对符合速度谱高速度部分的高斯拟合) × × × 转移速度谱(虚线----对转移速度谱的高斯拟合)

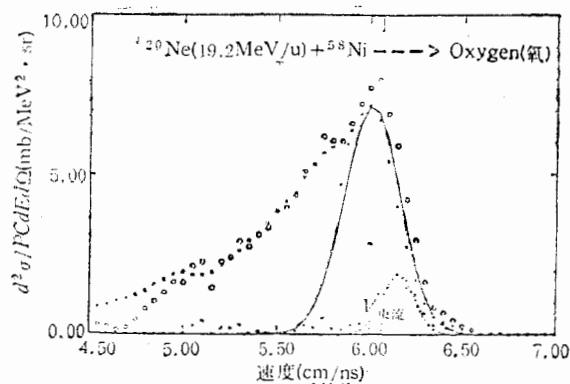


图2  $^{20}\text{Ne}(19.2\text{MeV/u}) + ^{58}\text{Ni}$  反应中出射的氧的速度谱  
(图例说明同图1)

是因为转移一个质子到靶中比较容易。而对 Li、Be、B、C、N 等元素，因转移几个核子或多步转移过程的几率较小，转移反应的贡献很小，单举与符合谱形状基本相似。这类弹碎片的速度分布的高速度一端呈高斯分布形状，极大值位于束流速度附近，这些都显示了在中能区碎裂反应的特征。

图2显示的是当束流能量提高到  $19.2\text{MeV/u}$  时出射的类弹碎片氧元素的速度谱。以相同的方法分析比较单举谱与排除转移贡献的符合谱。结果表明碎裂的贡献在此能量下已占很大比例，而转移反应的贡献则小得多。这两种贡献之比约为  $7.2:1$  (测量角度为  $6^\circ$ )。

### 三、分析与结论

将弹核和靶核考虑为在动量空间中的两个半径为费米动量  $P_F$  的费米球<sup>[4]</sup>(图3)。球心的距离为两核相对运动动量。炮弹碎裂的几率和碎片的动量分布离散取决于与靶核动量球无重叠的(泡利不相容原理的限制)的弹核球的动量空间。而转移反应的几率及碎片的动量分布离散取决于与靶核束缚态动量空间外壳与弹核球动量空间相重叠的动量空间。

因此，随着炮弹入射能的增加，两球球心距离增大，碎裂几率增大，而转移反应几率相对减小。并且对动量积分的结果也表明，动量分布的宽度不论是对碎裂还是转移都随入射能增大而增大。我们的实验结果证实了这种动量费米球的假设，并且与其它测量结果相符(见图3)。

因此，我们得出结论：在重离子核反应中，中能区的低端( $10-20\text{MeV/u}$ )，类弹碎片的产额来自于三种贡献。一是速度分布中心接近束流速度的转移反应贡献，它随炮弹的入射能量的增加而减小且主要贡献于炮弹附近的类弹碎片。二是速度分布中心稍小于束流速度、宽度随炮弹入射能量增加而增加的碎裂反应贡献，这种反应机制将是中能区主要反应机制。三是耗散的贡献，类弹碎片能谱的低能端主要来源于耗散反应。

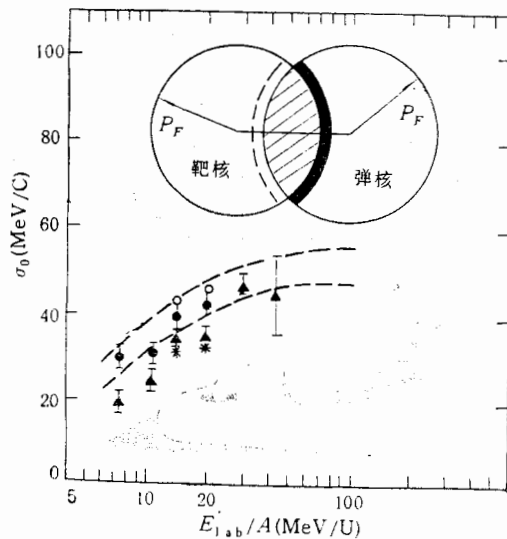


图 3 动量空间中的两个费米球和约化动量宽度

●▲ 其它工作(炮弹为 <sup>20</sup>Ne) ○○ 本工作中碎裂约化宽度 \*\* 本工作中转移约化宽度

### 参 考 文 献

- [ 1 ] R. Dayras, *J. de Physique*, C4(1986), 13.
- [ 2 ] K. W. McVoy et al., *Z. Physik*, A295(1980), 177.
- [ 3 ] C. Grégoire & B. Tamain, *Ann. Phys.*, 11(1986), 323.
- [ 4 ] G. Bizard, *J. de Physique*, C4(1986), 35.

## THE COMPETITION BETWEEN TRANSFER AND FRAGMENTATION PROCESSES IN <sup>20</sup>Ne (14.7, 19.2MeV/u) INDUCED REACTION

ZHU YONGTAI HU XIAOQING SHEN WENQING LI SONGLIN  
ZHAN WENLONG ZHANG ZHEN ZHU XIANG

(Institute of Modern Physics, Lanzhou)

### ABSTRACT

Inclusive momentum spectra of projectile-like fragments are decomposed to several components including a fragmentation contribution and a transfer contribution in the <sup>20</sup>Ne (14.7, 19.2 MeV/u) induced reaction. The competition between these two reaction mechanisms with increasing beam energy is studied.