

# 重离子碰撞中核子交换过程中 的壳效应和质量耗散过程

刘建业 李君清 乔卫民 陈培均 沈文庆 谭南虹

(中国科学院近代物理研究所)

利用带有窗摩擦和墙摩擦以及动力学形变过程的耗散动力学方法<sup>1)</sup>计算了重离子碰撞中的质量、电荷和能量的平均值及其相互作用时间。按照核子交换模型考虑由于核子交换过程而造成初末态Q值的差对于原子核碰撞系统内部激发能的贡献,从而计算各种不同质量组合及不同激发能之间的跃迁几率,利用输运理论<sup>2)</sup>计算质量,电荷的平均值和二次矩并与实验比较,计算结果与实验一致。结果说明壳效应对于质量和电荷的二次矩有明显的影响;而对电荷平均值耗散过程的主要影响来自于质量不对称自由度与能量耗散率之间的耦合造成形变颈自由度的形成过程对于核子交换过程的影响。

在低能重离子碰撞中,为了解释电荷、质量、能量和角动量的弛豫过程,各种扩散模型被用来对广泛的弹核与靶核组合系统的重离子碰撞过程进行了系统地计算和比较。一般各种扩散模型大都能解释质量和电荷的扩散过程,但对于弹核与靶核质量比较大的碰撞系统如 $^{80}\text{Kr} + ^{108}\text{Er}$ , ( $E_{cm} = 464.54\text{MeV}$ ), 在很大TKEL范围内,没有质量漂移,只是在很大的TKEL时才显示出质量和电荷平均值向对称方向漂移的现象,如图2A所示。对于这种质量不漂现象具有不同的理解<sup>3)</sup>。同时对于一些对称的反应系统,如 $^{144}\text{Sm} + ^{144}\text{Sm}$  ( $E_{cm} = 499.68\text{MeV}$ ),  $^{154}\text{Sm} + ^{154}\text{Sm}$  ( $E_{cm} = 485.1\text{MeV}$ ), 如图1所示,在TKEL的很大范围内,

$$\frac{\sigma_{z1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{z1}^2(154\text{Sm})} > 1, \frac{\sigma_{A1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{A1}^2(154\text{Sm})} < 1,$$

只是在TKEL很大时二者接近。

我们首先利用带有窗摩擦和墙摩擦和动力学形变过程的耗散动力学模型计算以上三个反应系统的质量、电荷和能量的平均值及其相互作用时间。考虑带有壳修正和形变效应的Q值计算在核子交换中所引起的碰撞系统内部激发能的变化,最后数值解主方程计算了质量、电荷的平均值及其涨落。其结果如图1所示,上面实线是 $\frac{\sigma_{z1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{z1}^2(154\text{Sm})}$ 随TKEL的变化理论曲线;而下面虚线是 $\frac{\sigma_{A1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{A1}^2(154\text{Sm})}$ 随TKEL变化的理论曲线,图中实心圆点和空心圆点分别是 $\frac{\sigma_{z1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{z1}^2(154\text{Sm})}$ 和 $\frac{\sigma_{A1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{A1}^2(154\text{Sm})}$ 的实验值。可以看出,当TKEL < 160MeV以前 $\frac{\sigma_{z1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{z1}^2(154\text{Sm})} > 1$ ; 而 $\frac{\sigma_{A1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{A1}^2(154\text{Sm})} < 1$ 。

当TKEL再增加时, $\frac{\sigma_{z1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{z1}^2(154\text{Sm})}$ 和

$\frac{\sigma_{A1}^2(144\text{Sm})}{\sigma_{A1}^2(154\text{Sm})}$ 的值接近。这种现象可用壳效应来解释。因为 $^{144}\text{Sm}$ 是中子单闭壳,故当TKEL不是很大时中子交换受到阻碍,而质子交换比较容易,故类弹碎片电荷涨落之比大于类弹质量涨落之比。随TKEL的增加,被激发的核子数增加,壳效应的影响随之减弱最后消失,此时质子和中子交换过程均不受闭壳的影响,故二者的比值相近。

对于 $^{80}\text{Kr} + ^{108}\text{Er}$ 反应,类弹碎片的计算平均值和实验值均在图2a中。图中实心圆点表示实验值而曲线是理论计算值。理论计算

与实验值一致，且与耗散动力学的计算结果相差很小，这就说明这里壳效应对电荷平均值的影响不明显。这里类弹碎片电荷平均值的不漂现象主要与重离子碰撞中颈自由度

的形成过程有关。图2b是 $\sigma_{z1}^2$ 随TKEL的变化情况。与实验结果一致。图3是类弹碎片电荷涨落随相互作用时间的变化。同时在每个交叉点处的数字表明相应的入射轨道角动量

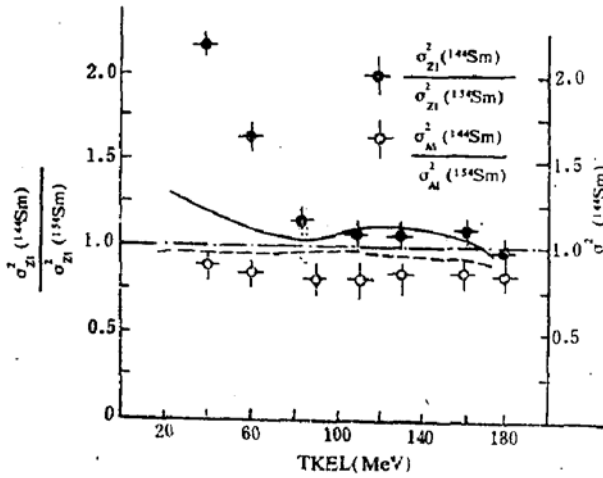


图1. 两个反应系统质量涨落之比及电荷涨落之比随TKEL的变化

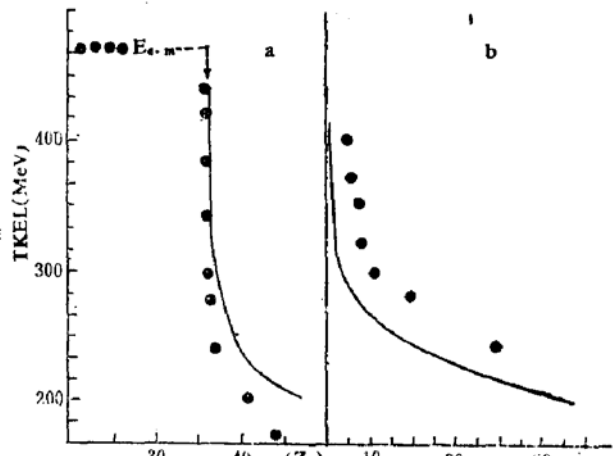


图2. a—类弹碎片电荷平均值随TKEL的变化  
b—类弹碎片电荷涨落随TKEL的变化

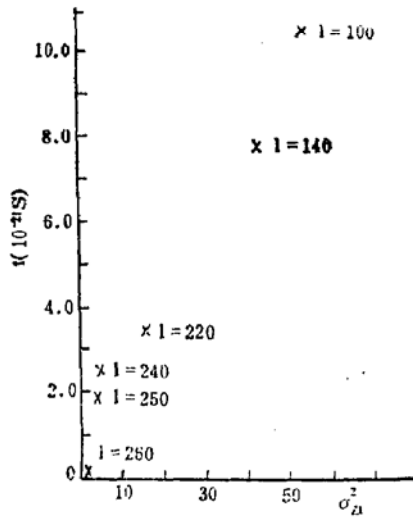


图3. 电荷涨落随相互作用时间的变化

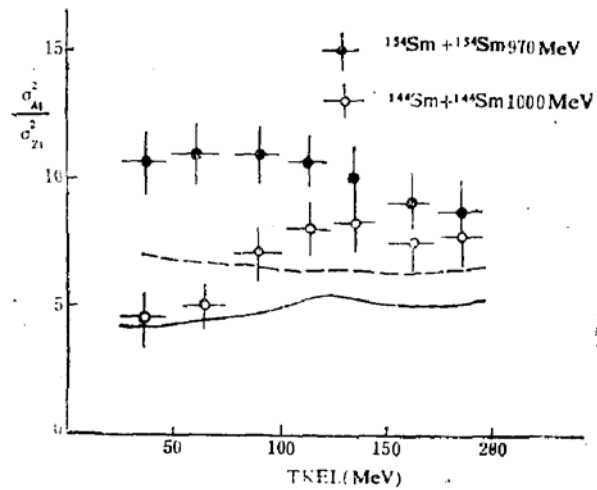


图4. 两个反应系统质量涨落与电荷涨落之比随TKEL的变化

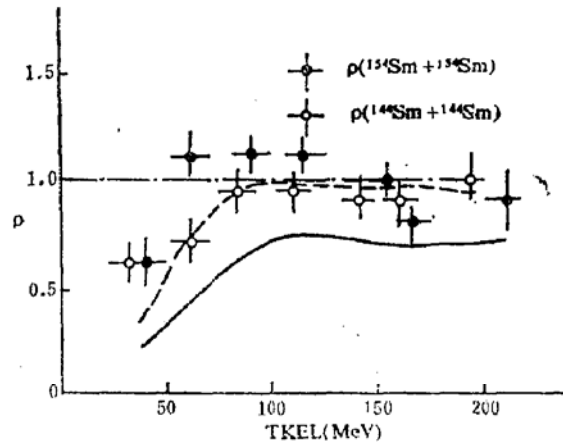


图5. 关联函数 $\rho$ 随TKEL的变化

值。可以看出相互作用时间的数值是合理的，最大弛豫时间是 $10 \cdot 10^{-21}$ 秒。在图4中是 $\sigma_{A1}^2 / \sigma_{z1}^2$ 随TKEL的变化，图中虚线和实线分别是 $^{154}\text{Sm}$ 和 $^{144}\text{Sm}$ 相应的 $\sigma_{A1}^2 / \sigma_{z1}^2$ 理论值，而空心圆点和实心圆点分别是 $^{144}\text{Sm}$ 和 $^{154}\text{Sm}$ 反应系统的实验值。图5是关联函数 $\rho$ 随TKEL的变化，图中虚线和实线分别代表 $^{154}\text{Sm}$ 和 $^{144}\text{Sm}$ 反应系统的理论值，实心圆点和空心圆点分别代表反应系统 $^{154}\text{Sm}$ 和 $^{144}\text{Sm}$ 的关联

函数。理论值与实验值的趋势一致。

### 参 考 文 献

1. H. Feldmier and H. Spangenberg, Nucl. Phys. A433 (1985) 229
2. W. Norenberg, Z. Physik, A274(1975) 241
3. K. Schmidt, Nucl. Phys. A445(1985) 543