

重离子核反应类弹产物动量分布宽度的模型分析

吴钟立

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

将弹核与靶核看作动量空间的一对费米球,既考虑碎裂过程,又考虑转移过程,对中能重离子核碰撞实验测得的类弹产物动量分布约化宽度数据做模型分析,拟合效果颇佳.

在重离子引起的核反应中,类弹核产物的动量分布研究已有二十年的历史,并且愈来愈受到研究者的重视^[1,2]. 最初,在用能量超过 100MeV/N 的亚相对论性能量重离子轰击靶核时,发现类弹碎片往向前方向发射,其速度接近于束流速度. 在弹核框架内,类弹碎片动量分布为高斯型,可表达为:

$$\frac{d^3\sigma}{d^3P} = C \exp[-P_{\perp}^2/2\sigma_{\perp}^2] \exp[-(P_{\parallel} - P_0)^2/2\sigma_{\parallel}^2],$$

其中, C 为归一化常数, P_{\parallel} 、 P_{\perp} 分别为平行和垂直于束流方向的动量分量, σ_{\parallel}^2 、 σ_{\perp}^2 分别为相应的均方宽度, P_0 为平均动量偏移.

当画出 σ_{\parallel} 与碎片质量的关系图时,可得到 $\sigma_{\parallel} = K \sqrt{A_F(A_P - A_F)}$, 其中, K 为常数, A_P 、 A_F 分别为弹核和碎片的质量.

许多研究者先后对此作出理论解释,但只有 Goldhaber^[3] 的结果比较成功. 他从快碎裂假说出发,由动量守恒定律导出:

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

其中, σ_0^2 与核子在核中的费米动量相关,

$$\sigma_0^2 = P_F^2/5$$

当用具体的费米动量值代入时得到 $\sigma_0 \approx 112\text{MeV}/c$. 此值虽比某些在亚相对论性能区重离子实验中提取的值稍高一点,但基本上是成功的,得到一致公认.

然而,随着费米能区(约为 $^{10}\text{MeV}/N < E_L/A_P < 100\text{MeV}/N$ 或稍高一些能量,也称作:中等能区)重离子核反应研究工作的开展,从实验中提取的 σ_0 值歧离甚大,情况远较亚相对论性能区复杂,不能用此理论解释. 虽然一些研究者对此理论作了改进,另一些研

究者也提出某些新看法,但均未得到满意结果^[4-6]。

本文作者提出一个简洁的模型,可以统一地解释费米能区和亚相对论性能区的实验数据,并得到了良好的结果。

首先假设:弹核与靶核为动量空间的两个费米球,其半径皆为费米动量 P_F ,球心距 P_R 由入射能量 E_L/A_p 确定(图 1 中两实线球)。两球重叠区域为受泡利原理限制对碎裂过程无贡献的状态空间,从而只有弹核动量球的其余状态空间才对碎裂过程有贡献。一个极限情况是:当 $P_R \geq 2P_F$,两动量球无重叠时,可以在弹核框架内得到:

$$\sigma_{0\max}^2 = \int_{\text{弹核球}} P_{\parallel}^2 g(p) dP^3 / \int_{\text{弹核球}} g(p) dP^3 = P_F^2/5,$$

其中,

$$g(p) = \begin{cases} 1, & P \leq P_F \\ 0, & P > P_F \end{cases}$$

此结果与 Goldhaber 的结果完全一致。这说明此模型完全适用于亚相对论性能区。

另一极限情形是当 $P_R = 0$,亦即 $E_L/A_p = 0$,两动量球完全重叠,无碎裂过程产生。这也是完全合理的。

而在此两极限之间,则为:

$$\sigma_0^2 = \left[\int_{\text{弹核球}} P_{\parallel}^2 g(p) dP^3 - \int_{\text{重叠区}} P_{\parallel}^2 g(p) dP^3 \right] / \int_{\text{弹核球}} g(p) dP^3,$$

从而可以完全用解析方法得到(图 2)中的实曲线。此曲线对应于实验测得的碎裂过程产物动量分布的 σ_0 值。

再考虑弹核的束缚态。取公认的核子在核中的平均结合能 $E_b = 8\text{MeV}$,得到扩大的弹核动量球半径 P_K (图 1 中虚线球)。对转移过程产生的类弹碎片有贡献的动量,空间仅为与靶核动量球无重叠的弹核动量球的球壳部分。同理可得到图 2 中的虚曲线。此曲线对应于实验测得的转移过程产物动量分布的 σ_0 值。在这里,为什么仅考虑弹核动量球的扩展而不考虑靶核动量球的扩展?这是由于某些实验结果显示:类弹碎片的动量分布与靶核无关。

总之,我们从简洁的模型出发,既考虑碎裂过程,又考虑转移过程,就可以在相当宽的能区得到与从实验提取的 σ_0 值一致的解析计算结果,不需再作任何近似或调节任何参量。唯一可供选择的是核子在核中的费米动量值。从已知的一些实验结果看,费米动量值约在 $200-250\text{MeV}/c$ 之间。当针对特定的相碰撞的弹核与靶核,为每者选取合适的费米动量值进行计算,则可得更佳拟合效果。例如:在亚相对论性能区,实验所用的弹核与靶核都很轻或较轻。此时可选用小的费米动量值(特别是对弹核)进行计算,即得到与实验一致的结果。此外,在费米能区低能端,似乎还应考虑其它反应道(例如:类弹核产物跟随衰变、深部非弹性碰撞)的影响。

由本文模型分析的成功还可得到一些推论。其一,这里所作的计算是在最简单的条件下(例如:仅考虑弹核、靶核为等半径的费米球等)完成的,然而与实验数据拟合相当好。这说明此模型的潜力较大。再则,此模型不仅可以用于类弹碎片动量分布宽度的研究,稍作扩展还可用于其它方面。第三,此模型与实验结合可以用来确定核子在核中的费米动量值。

食来
子轰
类弹

别
与常
快

重
称
较
研

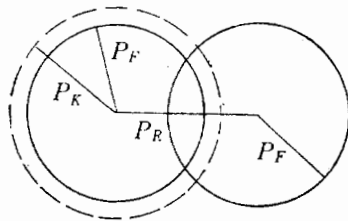


图1 模型简图

左球: 弹核动量球, 右球: 靶核动量球.
 P_F : 实线球半径, P_K : 虚线球半径 P_R : 球心距

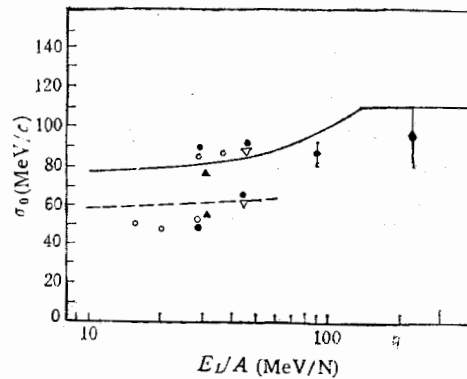


图2 计算结果与实验值比较

计算时, 取 $P_F = 250 \text{ MeV}/c$, $E_b = 8 \text{ MeV}/N$. 实线 相应于碎裂过程. 虚线: 相应于转移过程

实验点: ●参考[7], ○参考[8] ▲参考[9] ▽参考[10]
 ■参考[11] ◆参考[12]

参 考 文 献

- [1] D. Guereau, *Nucl. Phys.*, **A447**(1985), 37C.
- [2] R. Dayras, Proceeding of International Conference on Heavy Ion Nuclear Collisions in the Fermi Domain, Caen, France, (1986), p. C4-13.
- [3] A. S. Goldhaber, *Phys. Lett.*, **53B**(1974), 306.
- [4] G. Bertsch, *Phys. Rev. Lett.*, **46**(1981), 472.
- [5] J. M. Murphy, *Phys. Lett.*, **135B**(1984), 25.
- [6] W. A. Friedman, *Phys. Rev.*, **C27**(1983), 569.
- [7] V. Borrel et al., *Z. Phys.*, **A314**(1983), 191, *Z. Phys.*, **A324**(1986), 205.
- [8] F. Rami et al., *Z. Phys.*, **A318**(1984), 239; *Nucl. Phys.*, **A444** (1985), 325; *Z. Phys.*, **A 327**(1987), 207.
- [9] M. Morjean et al., *Nucl. Phys.*, **A438**(1985), 547.
- [10] R. Dayras et al., *Nucl. Phys.*, **A460**(1986), 29.
- [11] J. Mougey et al., *Phys. Lett.*, **105B**(1981), 25.
- [12] Y. P. Viyogi et al., *Phys. Rev. Lett.*, **42**(1979), 33.

ANALYSIS OF THE MOMENTUM DISTRIBUTION WIDTH OF THE PROJECTILE-LIKE-FRAGMENT FROM HEAVY ION COLLISIONS

WU ZHONGLI

(Institute of Modern Physics, Lanzhou)

ABSTRACT

A model taking into account both fragmentation and transfer process agrees well with experimental data on projectile-like-products momentum distribution resulting from heavy ion collisions in Fermi energy domain and in relativistic energy domain. The resulted reduced widths σ_0 are given for both fragmentation and transfer process respectively.