

探索重离子反应角动量转移 的一个简化方法

王正大

(中国科学院近代物理研究所)

摘 要

本文初步从理论上探索了重离子反应中能量转移, 动量转移与角动量转移之间的关系。

一、引 言

现在已经有不少工作探索重离子反应中角动量转移问题。实验上关于 γ 多重性测量是研究这个问题的直接有效方法; 理论上基本上有四种方法研究角动量转移: 粘住模型、经典动力学模型、扩散模型、粒子转移引起的角动量转移^{[1][2][3]}。目前是从不同角度探索角动量转移机制, 并没有把不同机制有机地联系起来考虑。本文从动量转移这个角度出发来探索角动量转移, 并初步把能量转移、动量转移与角动量转移关联起来考虑。

二、动量转移与角动量转移

在入射离子 A_p 与靶核 A_t 碰撞中(图 1), 我们站在质心系观察这个问题, 如果炮弹上有一个核子的动量转移到靶核, 炮弹损失 $1/A_p$ 的动量。根据动量守恒, 因为炮弹与靶核的动量大小相等方向相反, 于是靶核也有 $1/A_p$ 的动量损失, 我们知道系统的轨道角动量正比于炮弹与靶核的动量, 因此轨道角动量损失也就是 $1/A_p$ 。当然上面作了突然近似, 即在交换动量瞬间冻结了两个核距离, 并把核子无规运动对动量损失与角动量损失平均考虑为零。同样, 如果靶核有一个核子的动量转移到炮弹, 得到两核动量损失与系统轨道角动量损失也就是 $1/A_t$ 。最好是考虑炮弹转移一个核子的动量给靶核, 同时靶核又转移一个核子的动量给炮弹, 这样两核损失的动量与系统损失的轨道角动量都是

$$\frac{1}{A_p} + \frac{1}{A_t} = \frac{1}{\mu},$$

μ 是折合质量的数值。我们规定初始轨道角动量 l_i , 残余轨道角动量 l_f , N_p 为炮弹转移给靶核动量的平均粒子数, N_t 为靶核转移动量给炮弹的平均粒子数, 于是可以得到

$$l_j = l_i \left(1 - \frac{1}{A_p}\right)^{N_p} \times \left(1 - \frac{1}{A_t}\right)^{N_t} \quad (1)$$

这里包含了一个假定，就是前次交换动量必须达到统计平衡之后，才进行下一次动量交换。如果放弃这个假定，炮弹有 N_p 个核子的动量转递给靶核，靶核有 N_t 个核子的动量转递给炮弹，而且是同时发生的，可以得到

$$l_j = l_i \left(1 - \frac{N_p}{A_p} - \frac{N_t}{A_t}\right) \quad (2)$$

因为我们实际计算与实验比较是在入射粒子与出射粒子相同的情况下进行的，因此存在如下关系

$$N_p = N_t = N.$$

在 N 与 μ 相比， N 比较小的情况下，上面两种情况是近似相等的。

$$l_j = l_i \left[\left(1 - \frac{1}{A_p}\right) \left(1 - \frac{1}{A_t}\right) \right]^N \approx l_i \left(1 - \frac{N}{A_p} - \frac{N}{A_t}\right) = l_i \left(1 - \frac{N}{\mu}\right) \quad (3)$$

从上面讨论可以知道，上面公式要求 A_p 和 A_t 比较大， N_p 和 N_t 比较小，并没有考虑相对角动量转变为双核体系的整体转动，有一定的近似条件。

我们规定 M_γ 是 γ 多重性， S_p 和 S_t 分别为炮弹与靶核的内部角动量，通常只考虑 E_2 跃迁，有如下关系：

$$S_p + S_t = 2M_\gamma \quad (4)$$

根据角动量守恒，损失的系统轨道角动量在上述的近似下转变为炮弹与靶核的内部角动量

$$2M_\gamma = l_i \{1 - e^{N[\ln(1-\frac{1}{A_p}) + \ln(1-\frac{1}{A_t})]}\} \approx l_i (1 - e^{-\frac{N}{\mu}}) \approx l_i \left(\frac{N}{\mu}\right) \quad (5)$$

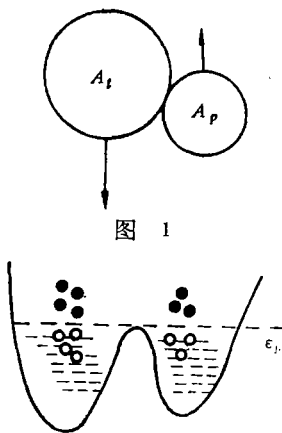


图 1

图 3

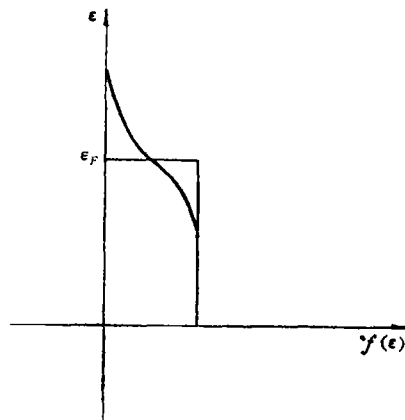


图 2

三、激发能与激发粒子数

核子是费米子,根据平衡态量子统计理论,应服从费米统计分布^[4],分布函数(图 2).

$$f(\epsilon) = 1/(1 + e^{b\epsilon}). \quad (6)$$

这里把费米面定为零点 $\epsilon_F = 0$, 激发能 E^* 为

$$E^* = 2 \int_0^\infty g_F \cdot f(\epsilon) \cdot \epsilon d\epsilon = \frac{\pi^2}{6} g_F \frac{1}{b^2}. \quad (7)$$

g_F 是费米面平均单粒子能级密度,

$$g_F = 0.076 A/\text{MeV},$$

激发到费米面上的粒子数

$$N_F = \int_0^\infty g_F \cdot f(\epsilon) d\epsilon = \ln 2 \cdot g_F/b, \quad N_F = \frac{\ln 2}{\pi} (6g_F)^{\frac{1}{2}} E^{*\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

重粒子碰撞形成的中间结构可以用一个双心位垒描述(图 3), 我们可以假定彼此交换动量的粒子数正比于激发到费米面上总的粒子数,

$$N = C_0(N_F^p + N_F^t). \quad (9)$$

在假定激发能 $E_{\text{总}}^*$ 按质量分配的情况下:

$$E_{\text{总}}^* = E_p^* + E_t^*, \quad E_p^*:E_t^* = A_p:A_t, \quad (10)$$

于是可以得到

$$2M_\gamma = l_i(1 - e^{-cE_{\text{总}}^{*\frac{1}{2}}}), \quad (11)$$

$$C = C_0 \frac{\ln 2}{\pi} \left[\left(6g_{Fp} \frac{A_p}{A_p + A_t} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(6g_{Ft} \frac{A_t}{A_p + A_t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \left[\ln \left(1 - \frac{1}{A_p} \right) + \ln \left(1 - \frac{1}{A_t} \right) \right].$$

四、计算结果与理论分析

本文计算了 514 MeV Kr⁸⁶ 粒子轰击 Er¹⁶⁶ 和 Sn¹²⁰ 两个反应道的 γ 多重性与总能损关系曲线,也就是 $M_\gamma - E_{\text{总}}^*$ 曲线^[5]. 理论曲线与实验曲线基本符合(图 4、5). 本文计算 $C_0=1$, 对上述两个反应得到的初始轨道角动量平均值分别是 105 \hbar 和 75 \hbar . 本文初步探索了能量转移, 动量转移与角动量转移在重粒子反应中的关系. 由于只考虑费米面附近粒子动量

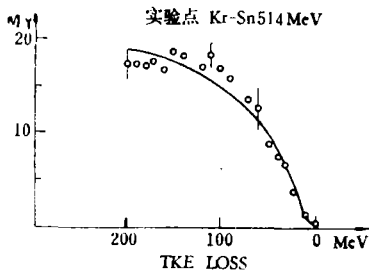


图 4

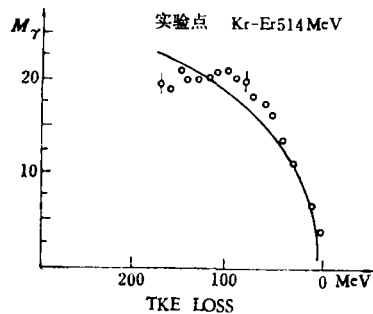


图 5

转移,冻结了其它粒子动量转移,收到了类似粘住模型得到的角动量转移存在一个粘边极限的效果.对于 $\text{Er}^{166} + \text{Kr}^{86}$ 和 $\text{Sn}^{120} + \text{Kr}^{86}$ 两个反应,得到的初始平均角动量值,前者比后者大 $30\hbar$,可能是 Er^{166} 的基态变形比 Sn^{120} 大的原因造成的.本文中取的能级密度值,与通常

$$E_{\text{级}}^* = \frac{A_c}{8} T^2 - T$$

对应的能级密度基本一致.这里 A_c 是总的质量数, T 是核温度.

参 考 文 献

- [1] C. Riedel, G. Wolschin, W. Nörenberg, *Z. Physik*, A290 (1979), 47—55.
- [2] G. Wolschin and W. Nörenberg, *Z. Physik*, A294 (1978), 209—216.
- [3] J. S. Sventek, L. G. Morotto, *Phys. Rev.*, 40 (1978), 697.
- [4] A. Bohr and B. Mottelson, *Nuclear Structure*, Vol. 1, p. 152.
- [5] A. Olmi, H. Sann, D. Pelto, Y. Eyal, A. Gabbi, W. Kohl, V. Lyneu, G. Rudolf, H. Stelrer, R. Bock, *Phys. Rev. Lett.*, 41 (1978), 688.

A SIMPLE METHOD OF STUDYING TRANSFER OF ANGLAR MOMENTUM IN HEAVY ION REACTION

WANG ZHENG-DA

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This paper has explored the relations among the energy transfer and the linear and anglar momentum transfer in heavy ion reaction from the theoretical point of view.