

快报

$^{12}\text{C}(15-45\text{MeV}/A) + ^{63}\text{Cu}$ 反应碎块 质量分布与人射能依赖性的统计描述*

戚大海 萨本豪

(中国原子能科学研究院,北京)

摘 要

本文用平衡统计模型成功地描写了中能重离子反应 ($15-45\text{MeV}/A$ $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu}$) 中形成的热复合核的破碎过程, 得到的碎块质量分布随入射能变化的特征, 较好的再现了相应的实验结果。

一、引 言

在入射能量为 $20\text{MeV}/A-200\text{MeV}/A$ 的中能重离子核反应中, 对余核破碎后各种分布(质量分布等)的研究, 不仅能够提供反应动力学由单体平均场机制到核子-核子碰撞两体机制演化的信息, 而且有助于澄清非完全融合的热复合核的形成及其衰变模式。

在文献[1]中我们已经指出, 描写热复合核破碎的平衡统计模型^[1,2], 有可能普遍地用于中能重离子反应, 与具体的入射能关系不大; 虽然热核破碎的各种分布与入射能(通过热核激发能)可能有强烈的依赖性。

本文在 $15\text{MeV}/A-45\text{MeV}/A$ 的能区中系统地研究了重离子 $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu}$ 反应的质量分布与入射能的关系, 得到了与实验^[3,4]相一致的结果; 从而验证了我们的上述论点。

二、平衡统计模型

着眼于反应末态产物的研究, 这里对中能重离子反应的描写分为两步。即初始相互作用与热复合核的形成及其破碎。

1. 热复合核的形成

线性动量转移的实验事实^[5]表明, 中能核-核碰撞中(特别是对于弹核轻于靶核的系统), 由非完全融合形成热复合核。热复合核可描述为由靶核子及弹靶重迭区中弹的核子共同构成。对于给定碰撞参数 b , 热复合核中来自弹核的核子数目为:

本文 1989 年 11 月 20 日收到。

* 国家自然科学基金资助项目。

$$N_p(b) = \rho_0 \int d\nu \theta(R_p - [x^2 + (b-y)^2 + z^2]^{1/2}) \theta(R_T - [x^2 + y^2]^{1/2}), \quad (1)$$

其中 $\rho_0 = 0.16 \text{fm}^{-3}$ 正常核物质密度. θ 为阶梯函数, R_T, R_p 分别为靶与弹核的半径. 碰撞参数 b 可在 $[0, b_{\max} = R_T + R_p]$ 区间根据平方律抽样得到. 用以与实验比较的各种分布均是对碰撞参数平均后的结果.

$N_p(b)$ 中质子数与中子数各为多少是根据: 质子数小于中子数但尽可能接近原则来确定的(适用于弹核轻于 ^{40}Ar 的情形). 这样热复合核系统就完全确定了.

2. 热复合核的破碎

假设初始相互作用后弹旁观体(由弹靶重迭区以外的弹核子构成)以入射速度沿束流方向飞出, 根据非相对论性的动量-能量守恒及质量平衡可导出有效反应能为^[1,2]:

$$E_{\text{v.a.i.}} = E_k + Q, \quad (2)$$

$$E_k = N_p/A_p * \frac{A_T}{A_T + N_p} * E_{\text{in}}, \quad (3)$$

其中, Q 为反应能, E_{in} 为入射总能量, A_T 与 A_p 分别为靶与弹核的质量数.

考虑到热复合核从形成到碎裂态 (freezeout), 要经过膨胀等过程, 消耗掉部分有效反应能, 转化为热核激发能的只是有效反应能的一部分, 若此部分记为 C_f , 则热核激发能为

$$E^* = C_f * E_{\text{v.a.i.}} \quad (4)$$

具有激发能 E^* 和膨胀后半径参数 R_{T0} ($R_{T0} > r_0 = 1.18 \text{fm}$) 的热核立即破碎为带电碎块和中子. 各种各样的破碎状态构成微正则系综. 于是采用建立在微正则系综分布、Monte-Carlo 方法和 Metropolis 抽样技巧上的 MMCSF 程序^[6], 来模拟破碎整个过程, 并得到碎块的各种分布.

三、结果与讨论

在选取 $R_{T0} = 1.90 \text{fm}$, $C_f = 0.73$ 的情形下, 我们用 MMCSF 程序计算了 $15 \text{MeV}/A$ — $45 \text{MeV}/A$ 能区中 $^{12}\text{C} + ^{63}\text{Cu}$ 反应的质量分布(并对碰撞参数进行过平均), 得到如下结果:

图 1 为入射能 $35 \text{MeV}/A$ 时理论质量分布(锯齿线)与实验数据^[3]的比较. 显然在误差范围内, 理论计算很好地再现了实验数据, 从而再次证明平衡统计模型的可靠性.

图 2 给出了理论质量分布曲线与入射能的关系, 它们具有如下特点:

1. 随着入射能的增加, 质量分布曲线逐渐变宽, 而且峰位向低质量区移动.
2. 质量分布曲线的谷区在 $A_f = 30-40$ 之间, 且随入射能的增加, 谷区的位置和深度分别向低质量区移动和减小.
3. 质量分布曲线上中等质量区的曲线斜率随入射能的增加而减小. (见图 3)

这些特点与实验结果^[4]符合得相当好.

综上所述, 平衡统计模型可以很好地描写中能核-核碰撞中形成的热复合核的破碎过

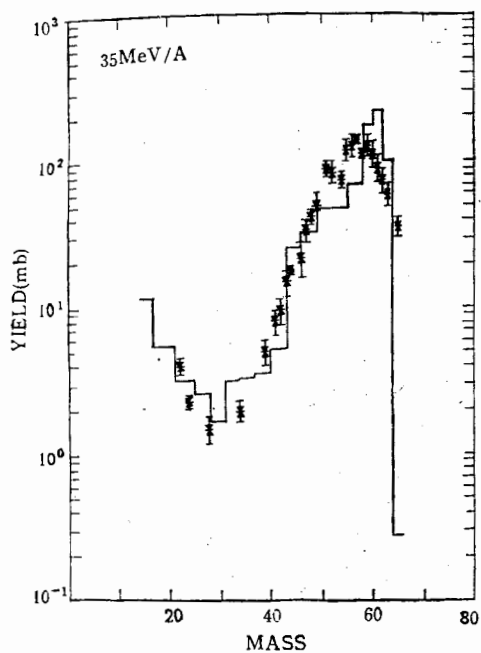


图1 入射能 35MeV/A 理论质量分布曲线与实验比较

✕ EXPERIMENTAL — THEORETICAL

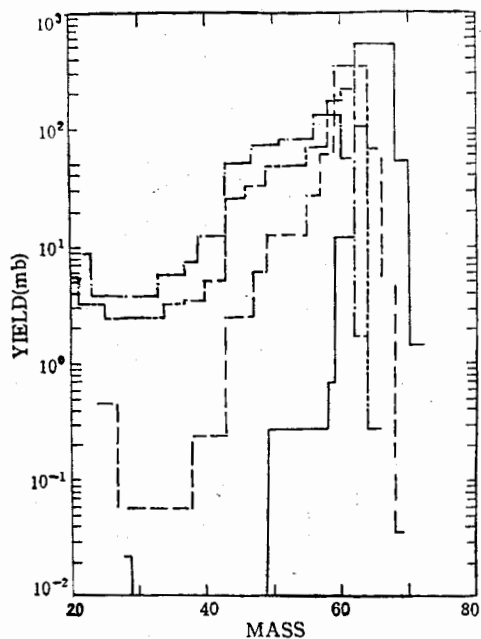


图2 质量分布随入射能变化

— 15MeV/A - - - 25MeV/A
- · - · 35MeV/A · · · 45MeV/A

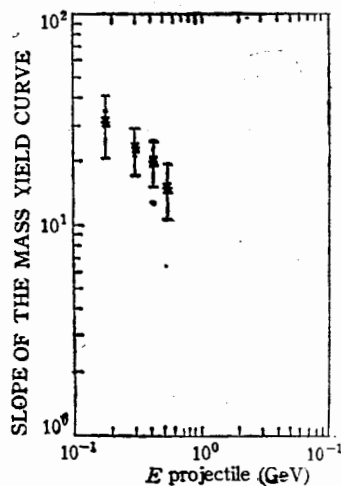


图3 质量分布曲线斜率随入射能变化

✕ EXPERIMENTAL ● THEORETICAL

程。反应产物质量分布与入射能关系的理论结果与实验符合, 表明了热复合核破碎的统计描述与核-核碰撞的入射能关系不大。

必须指出: 以上为节省计算机时间, 是通过调节入射能量为 35MeV/A 的理论质量分布与相应数据的较好符合而得到参数值—— $R_{T0} = 1.90f_m$, $C_f = 0.73$; 然后固定这组

参数而研究质量分布与入射能的关系。倘若对各个入射能量都先调好质量分布（即用不同的参数值），那么质量分布与入射能量关系的实验事实，将被再现得更好。

参 考 文 献

- [1] Sa Ben-Hao et al., To appear in Phys. Rev. C
- [2] Sa Ben-Hao and D. H. E. Gross, *Nucl. Phys.*, **A437** (1985), 643.
- [3] S. Y. Cho et al., *Phys. Rev.*, **C39** (1989), 2227.
- [4] S. Y. Cho et al., *Phys. Rev.*, **C36** (1987), 2349.
- [5] S. Leray, *J. Phys.*, **C4**(1986), 175.
- [6] Zhang Xiao-Ze et al., *Nucl. Phys.*, **A461** (1987), 668.

STATISTICAL DESCRIPTION OF THE INCIDENT ENERGY DEPENDENCE OF MASS YIELD DISTRIBUTION OF FRAGMENTS IN $^{12}\text{C}(15\text{--}45\text{MeV}/A)+^{63}\text{Cu}$ REACTIONS

QI DAHAI SA BENHAO

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

In this paper a statistical model is successfully used to describe the disassembly of hot nucleus created in intermediate energy heavy ion collisions ($15\text{--}45\text{MeV}/A$ $^{12}\text{C}+^{63}\text{Cu}$). The results of the dependence of mass yield distribution of the fragments on the incident energy are consistent with experimental data quite well.