

25 MeV / u ^{40}Ar 引起的反应中 碎片同位素分布的研究*

林源根 詹文龙 郭忠言 周建群 赵有雄 刘冠华
王金川 罗永锋 雷怀宏 祁中 张万生 秦礼军

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 本文描述了 25MeV / u $^{40}\text{Ar} + ^{27}\text{Al}$, ^{58}Ni , ^{115}In 反应中在小角区方向测得的出射碎片同位素分布及其产额, 给出了出射碎片的中子数与质子数之比 (N/Z) 和靶核的关系, 并对出射碎片的来源进行了分析.

关键词 碎片产物 同位素分布 N/Z 值

1 引言

从低能重离子深部非弹性碰撞同位素产额分布研究中发现, N/Z 自由度首先达到平衡, 反应产物的 N/Z 值接近于弹核和靶核组成的复合系统的 N/Z 值, 它的弛豫时间约为 10^{-22} / s, 因此同位素产额的分布对反应机制是非常敏感的^[1]. 在高能情况下, 弹核与靶核的作用是快过程, 弹核被擦去一部分, 出射的类弹碎片的同位素分布的 N/Z 值接近弹核的 N/Z 值, 这主要是弹核碎裂过程. 中能区 (10—100MeV / u) 介于平均场起支配作用的低能区 ($< 10\text{MeV} / \text{u}$) 和核子-核子相互作用统治的高能区 ($> 100\text{MeV} / \text{u}$) 之间的过渡区域, 这一区域的反应充分表现出其过渡区的特点. 如 44MeV / u ^{40}Ar 轰击 ^{58}Ni , ^{197}Au 靶, 尽管反应机制比较复杂, 但在擦边角附近测得的结果表明弹核碎裂过程仍然起着主要作用^[2,3].

本文用 25MeV / u ^{40}Ar 轰击 ^{115}In , ^{58}Ni , ^{27}Al 靶, 分别在实验室系 6° , 8.5° 方向测量反应产物同位素产额分布, 计算出射碎片的 N/Z 值, 进而对碎片来源和反应机制进行研究.

2 实验装置

实验是在 HIRFL 的 TR4 终端上进行的, 利用 25MeV / u ^{40}Ar 束流轰击 ^{115}In , ^{58}Ni , ^{27}Al 靶, 靶厚分别为 2.000、1.063、1.000mg / cm², 束流的流强平均为 $\sim 10\text{nA}$. 总的实验探测器布局见文献 [4]. 这里只简单描述一下 6° 、 8.5° 的探测器布局.

1997-06-24收稿

*国家自然科学基金资助项目(19475054号)

在 6° 、 8.5° 各放置一套 TOF 望远镜系统^[5], 用于探测小角区的出射碎片. 6° 的 TOF 系统由起始时间探测器装置和粒子鉴别望远镜构成. 椭球面聚光器、塑料闪烁膜 ($20\mu\text{m}$ NE102A) 和光电倍增管 (XP2020Q) 构成起始时间探测器; 而 Si 1 ($130\mu\text{m}$) + Si 2 ($190\mu\text{m}$) + Si 3 ($300\mu\text{m}$) + CsI(Tl) + PD 构成多叠层粒子鉴别探测器望远镜. 停止时间从 Si 2 取出, 飞行距离 4.53m. 该 TOF 系统的元素分辨 $Z/\Delta Z(\text{FWHM}) = 48$, 质量分辨 $A/\Delta A(\text{FWHM}) = 86$, 时间分辨为 286ps, 能量分辨为 0.78%. 8.5° 的 TOF 系统, 起始时间探测器和 6° 的相同, 纵向场电离室 (IC) 和 Si (Li) (5mm) 构成粒子鉴别望远镜, 停止时间由 IC 前面的平行板雪崩室 (PPAC) 取得, 飞行距离为 3.98m. 元素分辨 $Z/\Delta Z(\text{FWHM}) = 46$, 质量分辨 $A/\Delta A(\text{FWHM}) = 67$, 时间分辨为 344ps, 能量分辨为 0.8%.

3 测量结果和分析

图 1 所示的是在 8.5° 方向测得的 $25\text{MeV}/u$ $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 反应的各种碎片的同位素质量分布.

对于不同反应系统测量的 $\langle N \rangle / Z$ 值和 Z 的关系, 如图 2 所示. 我们定义:

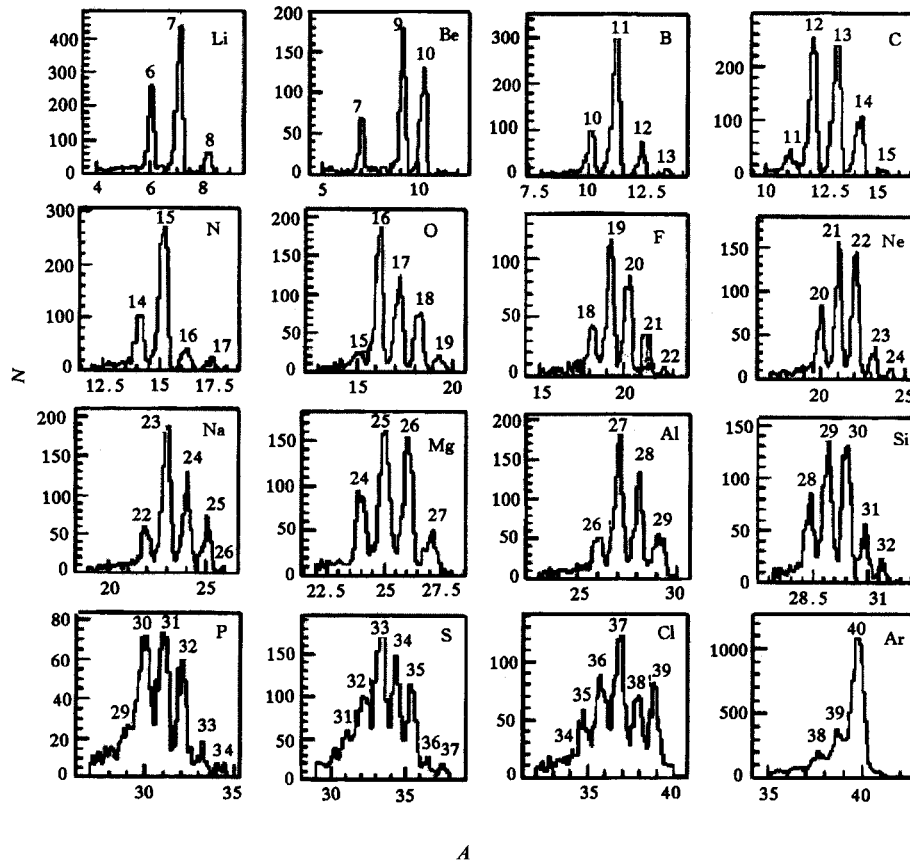


图1 $25\text{MeV}/u$ $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 在 8.5° 方向碎片的同位素 A 分布图

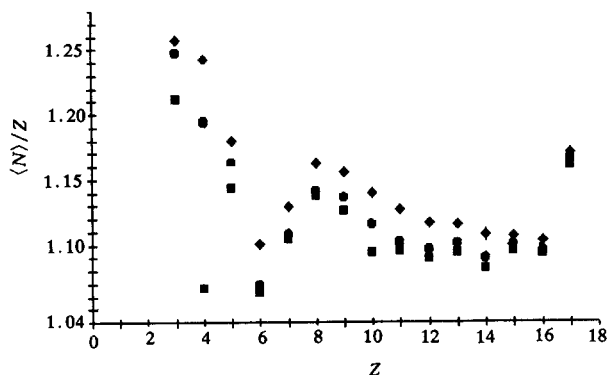


图2 25MeV/u $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 、 ^{58}Ni 、 ^{27}Al 反应在 8.5° 测得碎片的 $\langle N \rangle / Z$ 与 Z 的关系

◆ ^{115}In , ■ ^{58}Ni , ● ^{27}Al .

1) 探测到的 $\langle N \rangle / Z$ 值为各元素中探测到的同位素的产额所决定的 N / Z 值¹⁾, 即:

$$\langle N \rangle / Z = \frac{\sum_{i=\text{det}} \left(\frac{A_i - Z}{Z} \right) \sigma(A_i, Z)}{\sum_{i=\text{det}} \sigma(A_i, Z)}, \quad (1)$$

式中 $\sum_{i=\text{det}}$ 表示对某一元素所有探测到的同位素求和.

2) $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值为同一个 A 值不同元素的产额所决定的 N / Z 值, 即:

$$(A - \bar{Z}) / \bar{Z} = \frac{\sum_{i=\text{det}} \frac{(A - Z_i)}{Z_i} \sigma(A, Z_i)}{\sum_{i=\text{det}} \sigma(A, Z_i)}, \quad (2)$$

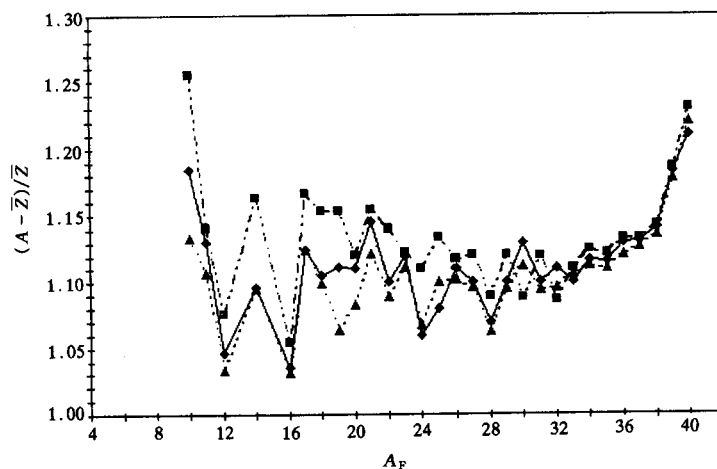


图3 25MeV/u ^{40}Ar 在 ^{115}In 、 ^{58}Ni 和 ^{27}Al 上引起的反应在 8.5° 方向的碎片的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 与 A_F 的关系

—■— ^{115}In ;▲..... ^{58}Ni ; —◆— ^{27}Al .

1) 刘冠华. 博士论文, (1991)

式中 $\sum_{i=\text{det}}$ 表示对某一碎片所有探测到的相同质量碎片不同元素求和. 由图 2 可见, 对于同一弹核在相同的轰击能下, 尽管反应系统的靶核不同, 即 3 个反应系统的中质比不同, 出射碎片的 $\langle N \rangle / Z$ 对 Z 值显示了相同的变化趋势, 即出射碎片的 N / Z 值随着靶核 N / Z 的增大而增大. 这时 3 个系统的电荷不对称自由度在各个不同出射道上已达到平衡.

图 3 给出了出射碎片 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 随碎片质量 A_F 的变化关系. 从图中可看到, 对于不同的靶核, 较轻的碎片其 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值相差较大, 较重碎片的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值相差较小, 随着质量数的增加产物的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值变化越来越小. 这是由于随着碎片质量数的增大, 碎片越来越靠近弹核, 其弹核准碎裂、碎裂过程的贡献越来越多. 弹核碎裂是快过程, 它的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 与靶核无关. 质量数较小的碎片主要来自于深部非弹、一体耗散等慢的弛豫过程, 它与靶核的 N / Z 有一定的依赖关系.

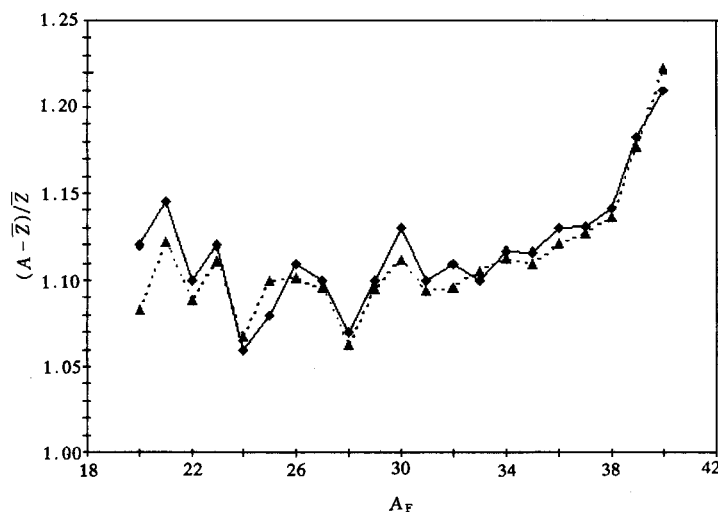


图4 $25\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{58}\text{Ni}$ 在 6° 和 8.5° 的碎片 A_F 和 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 的关系

—◆— 6° ; - -▲- - 8.5° .

对于 $25\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{58}\text{Ni}$ 的反应系统中, 在 6° 、 8.5° 方向测得碎片的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值与 A_F 的关系如图 4 所示, 从图中可以看出, 不管在 6° 或 8.5° , 探测到的碎片 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值均小于弹核的 N / Z 值, 且碎片 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值靠近稳定线, 这是由于粒子蒸发的结果. 图 2 及 3、4 中产物的 $\langle N \rangle / Z$ 及 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 值的变化说明系统由非平衡向平衡的演化^[6]. 总体上看, 对于相同质量碎片, 6° 的 $(A - \bar{Z}) / \bar{Z}$ 比 8.5° 的高, 更接近炮弹的 N / Z 值, 说明 6° 碎裂成份高于 8.5° 的碎裂成份.

参 考 文 献

- [1] Shen Wenqing, Zhu Yongtai, Guo Zhongyan et al. Nucl. Phys., 1987, **A472**:358—380
- [2] Borrel V, Gatty B, Guerreau D et al. Z Phys., 1986, **A324**:205—216
- [3] Suomijarvi T, Berthier B, Lucas R et al. Phys. Rev., 1987, **C36**:181—186
- [4] Guo Zhongyan, Zhan Wenlong, Xi Hongfei et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 1995, **19**(4): 333—340
- [5] Zhao Youxing, Zhan Wenlong, Guo Zhongyan et al. Nucl. Instr. Meth., 1995, **A355**:464—468
- [6] Bacri Ch O, Roussel P, Borrel V et al. Nucl. Phys., 1993, **A555**:477—498

Study of Isotopic Distributions of the Fragments from the 25MeV / u ^{40}Ar Induced Reactions *

Lin Yuangen Zhan Wenlong Guo Zhongyan Zhou Jianqun Zhao Youxiong
Liu Guanhua Wang Jinchuan Luo Yongfeng Lei Huaihong Qi Zhong
Zhang Wansheng Qin Lijun

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract The forward emitted fragments in 25 MeV / u ^{40}Ar induced reactions with ^{27}Al , ^{58}Ni , ^{115}In targets are measured. The isotopic distributions are investigated, and the relation of the targets with the fragments' N/Z is given. Finally the source emitting fragments is briefly analysed.

Key words fragment products, isotopic distribution, N/Z .