

45MeV/A¹²C 和 ¹⁸¹Ta 相互作用 中余核的研究*

李文新 李云生 孙儒林
孙彤玉 吴定清 赵莉莉

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

郑玉明 戚大海 萨本豪

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘 要

用厚靶-厚收集箔技术测量了 45MeV/A¹²C 和 ¹⁸¹Ta 相互作用中余核的生成截面和反冲性质, 并将实验得到的质量产额分布与统计碎裂模型进行了比较。根据前向平均反冲射程计算了线性动量转移, 在与我们以前工作相比较后指出, 在 45MeV/A¹²C 离子引起的反应中, 中心碰撞的线性动量转移随靶质量而增加, 并与引导粒子模型计算结果很好相符。

我们曾研究了中能 ¹²C 离子和 Cu、⁹³Nb 相互作用中余核的质量产额分布和线性动量转移^[1-3], 作为该系列工作的一部分, 本文给出了 45MeV/A¹²C 离子和 ¹⁸¹Ta 相互作用的研究结果。

照射在近代物理研究所重离子加速装置 HIRFL 上进行。靶子是厚为 51.6mg/cm² 纯度为 99.999% 的 ¹⁸¹Ta 箔。¹⁸¹Ta 靶两侧分别覆盖 10.5mg/cm² 的 Mylar 膜, 用来作为前后向反冲收集箔。从 HIRFL 引出的 47MeV/A¹²C 离子在 ¹⁸¹Ta 靶中心的能量为 44.8MeV/A, 照射持续 30 小时, 总积分束流为 746μC 或 7.8 × 10¹⁴ 个 ¹²C 离子。照射结束, 前后向收集箔和 ¹⁸¹Ta 靶上的 γ 活性分别用 HPGe 探测器测量, 测量持续两个月。实验细节以及数据处理方法已在另文描述过^[4]。

本工作共测定了 81 个反应余核的生成截面。根据高斯电荷分布假设,

$$\sigma(Z, A) = \sigma_A (2\pi\sigma_z^2)^{-1/2} \exp\{-[Z - Z_p(A)]^2 / 2\sigma_z^2\}^{[1]},$$

在每个小质量区间内调节作为质量数 A 函数的最可几电荷 Z_p(A) 以及电荷分布宽度参数 σ_z, 使得从实验测定截面计算得到的独立产额 σ(Z, A) 能合理地符合电荷分布的高斯函数, 从而确定一定质量链的质量产额 σ_A, 由此得到的余核的质量产额曲线如图 1 所示。在质量数略低于靶质量处可以看到中能 ¹²C 离子与非裂变靶核相互作用所共有的重余核峰^[1,3], 但是在略低于靶质量数一半处出现另一个小峰, 这归结于类靶碎片的对称裂

本文 1990 年 11 月 26 日收到。

* 中国科学院七五重大课题和国家自然科学基金资助项目。

变。这些产物与重余核相比有相当大的反冲射程和小得多的前后向发射比 F/B 也证明了这个结论。

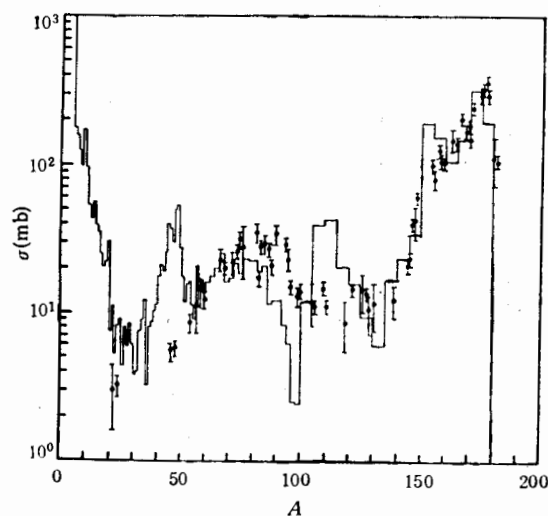


图 1 $45\text{MeV}/A^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ 反应中实验测定的余核质量产额曲线
与统计碎裂模型比较

描述中能重离子碰撞产生的热核衰变的统计碎裂模型曾成功地再现了 $35\text{MeV}/A^{12}\text{C} + \text{Cu}^{[4]}$, $44\text{MeV}/A^{12}\text{C} + \text{Cu}^{[1]}$ 和 $46\text{MeV}/A^{12}\text{C} + ^{93}\text{Nb}^{[3]}$ 反应中余核的质量分布。对于本工作 $45\text{MeV}/A^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ 反应, 理论计算结果在图 1 中以矩形图形式给出。从图可以看到, 计算结果能相当好地再现重余核区的质量分布。此外, 理论计算看来也再现了裂变区的质量分布, 虽然计算得到的峰位向低质量方向移动了几乎近 10 个质量单位。但是理论计算结果在 A 为 45 和 A 110 处出现两个实验所没有的峰。这个分歧可能应归结于该模型高估了壳结构效应的影响, 说明为了更好地描述中能重离子与能裂变靶核的相互作用, 统计碎裂模型需要做进一步的改进。

本工作用厚靶反冲技术测量了余核的前向投影平均反冲射程 FW , 这里 F 为前向收集箔中一定核素活性占该核素总活性的相对份数; W 为靶厚。通过惯用方法将 FW 值转

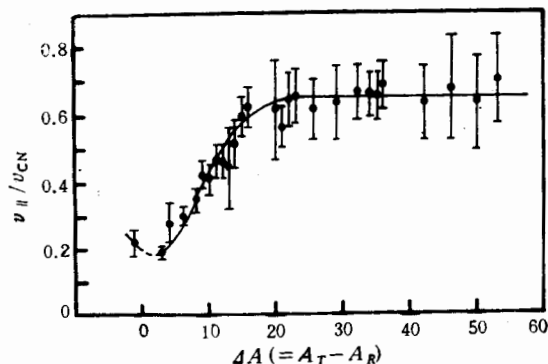


图 2 相对速度 v_{II}/v_{CN} 随靶质量损失 ΔA 的依赖关系

化成余核在束流方向的平均反冲速度 $v_{||}^{[1,5]}$ 。计算中由于粒子蒸发对余核反冲速度的影响可以忽略,角分布影响未被考虑.与质量数为 A 的余核生成有关的相对速度 $v_{||}/v_{CN}$ 对靶核质量损失 ΔA 作图(见图2),这里 v_{CN} 为假设形成全熔合核的反冲速度; ΔA 为靶质量 A_T 与余核质量 A_R 之差,即 $\Delta A = A_T - A_R$ 。从图2可以看到,随着 ΔA 增加, $v_{||}/v_{CN}$ 值从近靶产物的大约20%增加到 ΔA 为20时的64%。当 ΔA 进一步增加时(不到裂变区),相对速度保持为常数,对轻产物形成了 $v_{||}/v_{CN}$ 的坪. $v_{||}/v_{CN}$ 与 ΔA 的依赖关系在形状上与中能重离子和较轻的非裂变靶核相互作用中测量结果相似^[1,2,6]。如果把 ^{12}C 和 ^{181}Ta 的初始相互作用看作一个非完全熔合过程,未和靶核熔合的那部分总质量为 Δm 的核子以束流速度从 0° 方向逃逸.当 Δm 远小于假想全熔合核质量时,相对速度 $v_{||}/v_{CN}$ 近似为初始碰撞中的线性动量转移.因此图2中坪所对应的 $v_{||}/v_{CN}$ 值为一定轰击能量下最大线性动量转移,并记作 $p_{||}^{\text{max}}$ 。有理由认为 $p_{||}^{\text{max}}$ 和重离子中心碰撞有最紧密的联系^[1,2,6]。换言之, $p_{||}^{\text{max}}$ 值就是在裂变碎片角关联实验中得到的最可几

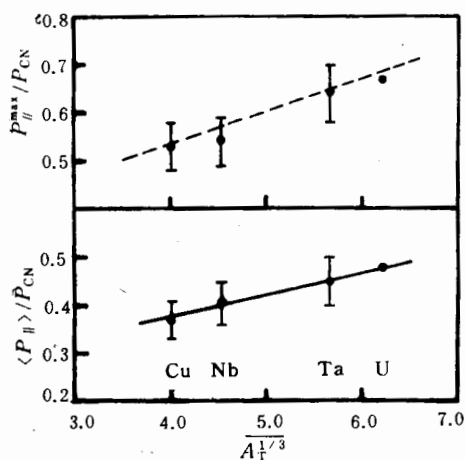


图3 45MeV/A ^{12}C 引起反应中 $p_{||}^{\text{max}}$ (上图)和 $\langle p_{||} \rangle$ (下图)与靶质量依赖关系.虚线为理论计算结果^[6]

线性动量转移 $p_{||}^{\text{max}}$ 。将各个质量数余核的 $v_{||}/v_{CN}$ 值经质量产额曲线权重平均得到线性动量转移平均值 $\langle p_{||} \rangle$ 为 0.45 ± 0.05 。它反映了从中心到周边各种碰撞参数的积分平均结果。

线性动量转移和靶质量依赖关系能提供研究重离子碰撞中弹-靶相互作用资料.已有某些迹象表明线性动量转移随靶质量而增加,但是这些数据涉及两个不同的质量区,即中等质量区和易裂变的重质量区.这两个质量区采用了不同实验技术,所以由此引起的系统偏离不能被排除.本工作使用反冲射程测量技术将测量结果拓广到 $A = 181$ 的重质量区,因此有可能在较宽范围内观察线性动量转移与靶质量的依赖关系.图3分别给出了 45MeV/A ^{12}C 离子引起反应中 $p_{||}^{\text{max}}$ 和 $\langle p_{||} \rangle$ 与靶质量的依赖关系. Cu 和 ^{93}Nb 结果引自我们以前结果^[1,2], U 的数据引自文献 [7], 对入射能的微小不同做了修正,最大情况下修正量小于 2%。从图3可以看到,在同样的人射离子下, $p_{||}^{\text{max}}$ 和 $\langle p_{||} \rangle$ 两者都与靶质量有强烈依赖关系, $p_{||}^{\text{max}}$ 随靶质量增加而增加,与根据核子-核子碰撞的引导粒子模型计算结果很好相符^[6]。尽管目前尚无理论描述 $\langle p_{||} \rangle$ 与靶质量的依赖关系,但本工作实验结果和 Batsh 等人得到的结论相一致,即 $\langle p_{||} \rangle$ 也随靶质量而增加,并把测量范围拓广到更重质量区。

参 考 文 献

- [1] 李文新等,高能物理与核物理, 14(1990), 746.
- [2] 李文新等,高能物理与核物理, 14(1990), 1110.
- [3] 孙彤玉等, "46MeV/A ^{12}C 离子与 ^{93}Nb 相互作用中靶碎片的质量和电荷分布研究", 核化学与放射化学,

(待发表).

- [4] 萨本豪等, 高能物理与核物理, **13**(1989), 1117. 和 *Phys. Rev.*, **C40**(1989), 2680.
[5] T. Batsch et al., *Phys. Lett.*, **B189**(1987), 287.
[6] J. Jastrzbski et al., Proc. of Third Inter. Conf. on Nucleus-Nucleus Collision. France (1988), p. 62.
[7] M. Fatyga et al., *Phys. Rev. Lett.*, **55**(1985), 1376.
[8] J. B. Natowitz et al., *Z. Phys.*, **A325**(1986), 467.

Study on Target Residues From the Interaction of ¹⁸¹Ta with 45MeV/A ¹²C Ions

LI WENXIN LI YUNSHENG SUN RULIN SUN TONGYU WU DINGQING ZHAO LILI

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

ZHENG YUMING QI DAHAI SA BENHAO

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

ABSTRACT

Cross sections and recoil properties were measured for target residues from the interaction of ¹⁸¹Ta with 45MeV/A ¹²C ions using thick target-thick catcher foil techniques. The mass yield distribution measured experimentally was compared with a statistical multi-fragmentation model. A comparison of the linear momentum transfer calculated from the average forward recoil ranges with our previous results indicates that in 45 MeV/A ¹²C-induced reactions the linear momentum transfer in central collisions increases with target mass, which is in good agreement with calculations on the basis of leading particle models.