

97MeV ^{16}O 轰击 ^{51}V 靶出射 α 粒子的 测量与理论分析

王高昇 王琦 诸永泰 吴国华
王小明 李松林 胡晓庆 殷旭
徐珊珊 范国英* 冯恩普 宋世战**
吴钟立 尹淑芝 张震

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

用不同类型的粒子望远镜测量了 $97\text{MeV}^{16}\text{O} + ^{51}\text{V}$ 反应中出射的 α 粒子。得到了单举 α 粒子能谱、角分布、 $E-\theta$ 平面内的 $d^2\sigma/dEd\Omega$ 截面等高图及速度平面内的 $d^2\sigma/PCdEd\Omega$ 截面等高图。区分了复合核蒸发的 α 粒子与直接机制发射的 α 粒子。用激子模型对预平衡发射的 α 粒子贡献进行估计, 得到的预平衡发射和复合核蒸发分别在 α 粒子总产额中所占的比份。

引 言

在低能重离子碰撞过程中, 常常伴随着大量的 α 粒子发射。这些出射 α 粒子的发射机制大体上可以分为两类, 即复合核蒸发和直接机制的 α 粒子发射。对复合核蒸发 α 粒子的分析, 可以提取能级密度参数、分析临界熔合角动量^[1,2]。直接机制的 α 粒子发射是一个相当复杂的问题, 虽然人们在这方面进行了大量的实验, 提出了许多有关直接机制 α 粒子发射的图象, 如预平衡发射、弹核破裂、非全熔合等等^[3,4], 但这些都不足以完善地解释所观察到的实验现象。有关直接机制 α 粒子发射问题的研究, 还需要进一步的实验研究和理论分析。在我们的轰击能条件下, 我们选用较轻的 ^{51}V 靶, 希望有较大的几率产生预平衡发射。由于靶核较轻, 角动量效应对蒸发 α 粒子也有较大影响。同时, 由于 ^{16}O 的 α 集团结构可能使得直接机制的 α 粒子更加复杂。在我们的实验中, 强调了对来自于预平衡发射和其它直接机制 α 粒子的测量, 这将为进一步研究 α 粒子发射机制和理论分析工作提供更多的实验资料。

* 北京师范大学低能物理研究所, ** 兰州大学现代物理系。

本文 1988 年 5 月 13 日收到。

实验及结果

实验是在中国科学院近代物理研究所 1.7 米回旋加速器上进行的。加速器引出的束流经过隔油镍箔及准直光栏后打到靶子上，束流强度大约为 50nA。靶子为纯的无衬 ^{21}V 靶，靶厚为 $1.6\text{mg}/\text{cm}^2$ 。我们用了九组望远镜完成了对 α 粒子及其与类弹碎块的符合测量，所采用的探测器布局如图 1 所示。图中 HI 是一微型电离室望远镜，用来探测类弹产物； Ha_1, Ha_2 是两个新型的电离室望远镜^[1]； Ha_3, Ha_4 是两个柱型的电离室望远镜，它们可同时用于探测 α 粒子和类弹产物； $\alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$ 是三组半导体 $\Delta E-E$ 望远镜； α_8 是由半导体硅 ΔE 与 CsI(Tl) 晶体组成的望远镜系统。为挡住强烈的弹散计数，在 α_7, α_8 两个望远镜的前面分别挡以 $68\mu, 76\mu$ 的铝箔。另外，在束流两侧放置了两个检验器用做截面归一。用上述不同的望远镜系统测量了实验室角 $\pm 5^\circ, +8^\circ, +13^\circ, +17^\circ,$

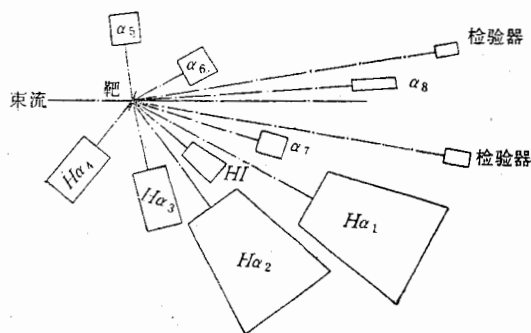


图 1 $97\text{MeV}^{21}\text{O} + ^{21}\text{V}$ 反应中探测器布局

$+24.5^\circ-33.5^\circ, +46.5^\circ-59.5^\circ, +86^\circ, +91^\circ, +128^\circ, +136^\circ, -95^\circ, -105^\circ, -40^\circ,$ 和 -50° 的 α 粒子(定义与类弹碎片探测器 HI 在束流同侧的角度为正角)。通过电子学线路可实现粒子鉴别。实验中所有的探测器讯号通过电子学线路和近物所的多参数数据获取系统 (MOLDAS1) 以事件方式记录在磁带上,实现了 42 参数同时获取。

实验数据在 VAX/11-780 计算机上用 PAX 数据分析程序进行离线分析。在处理过程中,对 ΔE 探测器造成的能量损失修正、半靶厚修正以及探测器前所挡铝箔引起的能量修正均以事件方式进行。所得到的实验室系 α 粒子单举能谱在两体假设的前提下转入质心系后,用线性插值程序进行插值,从而得到质心系中的 α 粒子能谱、角分布、 $E-\theta$ 平面内的 $d^2\sigma/dEd\Omega$ 截面等高图和速度平面内的 $d^2\sigma/PCdEd\Omega$ 截面等高图。由于擦边角内的望远镜前挡了铝箔,造成了前角几个角度能谱切断($5^\circ, 8^\circ, 13^\circ, 17^\circ$)。为了得到角分布曲线,根据大角度 α 粒子能谱的形状,对这几个角度的能谱进行了外推,这样会对角分布带来一定的误差。角分布的相对误差为 6%,截面值的相对误差估计为 11%。

图 2 给出了插值后的质心系 α 粒子能谱。图 3 显示了 $E-\theta$ 平面内的 $d^2\sigma/dEd\Omega$ 和 $d^2\sigma/PCdEd\Omega$ 截面等高图。不难看出;在相当大的角度范围内, α 粒子的最可几能量接近于 9.5MeV ,这个值和用 $R_0 = 1.36(A_1^{1/3} + A_2^{1/3}) + 0.5(\text{fm})$ 作半径计算的库仑排斥能接近;小角度和大角度的 α 粒子截面值都大于 90° 的截面值。从图 4 的角分布曲线上也可看到这一点,即角分布非 90° 对称,大角度的 α 粒子产额高于 90° 的产额,小角度的产额有很大加强。仔细分析小角度的能谱发现有高能尾巴特征存在。能谱和角分布的这些特征表明: α 粒子大部分来源于复合核蒸发,由于角动量效应使得大角度 α 粒子截面增大,在小角度有直接机制的 α 粒子发射存在。

束衬符类离电粒体与档远另故则，、子女里至、i 1

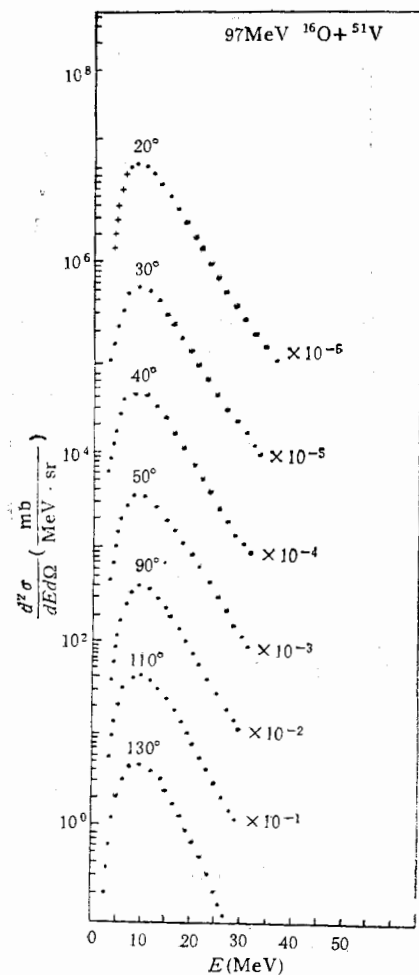


图 2 质心系典型的 α 粒子单举能谱

• 实验值 + 外推值

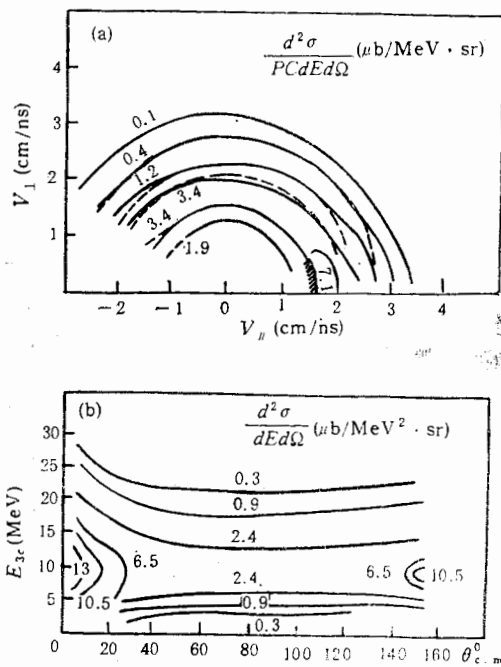


图 3 $E-\theta$ 平面内 $\frac{d^2\sigma}{dE d\Omega}$ 和速度平面

$\frac{d^2\sigma}{PCdEd\Omega}$ 截面等高图

假定大角区的 α 粒子主要来源于复合核蒸发的贡献, 根据角分布的 90° 对称性, 我们把 α 粒子角分布分解为直接机制的 α 粒子和复合核蒸发的 α 粒子角分布, 所得角分布外推至 0° 和 180° 后对角度进行积分, 得到的来源于直接机制和复合核蒸发 α 粒子的截面分别为 144 mb 和 670 mb. C. Gerschel 等人^[3]给出的以 $V/C = \left[\frac{2(E_{cm} - V_c)}{\mu C^2} \right]^{1/2}$ 为能量标度的直接 α 粒子截面 $\sigma_{\alpha \text{直接}}$ 与全熔合截面之比 $\sigma_{\alpha \text{直接}}/\sigma_{C.F}$ 的实验结果见图 5. $E_{c.m}$ 是质心系的轰击能, μ 是折合质量, V_c 是入射道的库仑能. 将我们的结果画在图上发现, 我们的实验结果基本符合上述系统性, 但 $\sigma_{\alpha \text{直接}}/\sigma_{C.F}$ 值落在偏小的方向. 这可能是计算所用的全熔合截面偏大造成的影响.

能较高, 系统较轻, 加之 ¹⁶O 炮弹的 α 粒子集团结构的影响, 使得出射 α 粒子机制更为复杂. 采用快粒子激子模型理论对实验数据分析表明, 激子模型仅可给出出射 α 粒子的主要反应机制, 并不能拟合全部实验数据. 导致这种实验与理论偏离的原因是由于除了复合核蒸发和预平衡发射外还有其它反应机制的存在, 如弹核破裂 (break-up)、类弹产物的跟随发射等等. 综合实验和理论分析结果, 我们认为: ¹⁶O + ⁵¹V 反应中 α 粒子主要来源于复合核蒸发; 直接机制中预平衡发射机制 α 粒子是直接机制产额的主要成份, 除外, 还有其它直接机制对此有贡献.

参 考 文 献

- [1] J. Galin et al., *Phys. Rev.*, **C9**(1974), 1113, 1126.
 [2] G. Liggett et al., *Phys. Rev.*, **C3**(1971), 167.
 [3] C. Gerschel, *Nucl. Phys.*, **A387**(1982), 297.
 [4] Z. Sujkouski, *International Winter Meeting on Nuclear Physics, Bormio, Italy, (1982), 737.*
 [5] 李松林等, 高能物理与核物理 **12**(1988), 529.
 [6] 吴国华等, 内部资料.
 [7] 缪容之等, 高能物理与核物理, **10**(1986), 82.
 [8] M. Blann, *Nucl. Phys.*, **A235**(1974), 221.
 [9] I. Ribansky et al., *Phys. Lett.*, **45B**(1973), 318.
 [10] 谢元祥等, 高能物理与核物理, **9**(1985), 71.

THE MEASUREMENT AND THEORETICAL ANALYSIS OF
 INCLUSIVE α -PARTICLE EMISSION IN 97MeV
¹⁶O + ⁵¹V REACTION

WANG GAOSHENG WANG QI ZHU YONGTAI WU GUOHUA WANG XIAOMING
 LI SONGLIN HU XIAOQING YIN XU XU HUSHAN FAN GUOYING FENG ENPU SONG
 SHIZHAN WU ZHONGLI YIN SHUZHONG ZHANG ZHEN
(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

The inclusive α -particles were measured with different kinds of telescopes. The energy spectra, angular distribution, the contour plot of $d^2\sigma/dEd\Omega$ in the $E-\Theta$ plane and of $d^2\sigma/PCdEd\Omega$ in velocity plane are obtained. The α -particles coming from the evaporation of compound nucleus are distinguished from the ones of direct mechanism. With a calculation of Exciton Model, the contributions from the preequilibrium and equilibrium α -emission are determined respectively. A small contribution comes from other reaction mechanisms.