

文章编号: 1007-4627(2002)04-0387-03

丰中子核 ${}^6\text{He}$ 在 ${}^{28}\text{Si}$ 靶上的反应总截面测量*

陈志强, 肖国青, 詹文龙, 郭忠言, 孙志宇, 李加兴, 王 猛, 田文栋,
王建松, 王武生, 毛瑞士, 白 洁, 胡正国, 陈立新, 李 琛
(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 实验测量了 20—40 MeV/u 的轻丰中子核 ${}^6\text{He}$ 在 Si 靶上的反应总截面, 并且结合 ${}^6\text{He}$ 的高能实验数据, 采用双参数 HO 密度分布形式用 Glauber 模型计算得到较好的拟合. 与 Warner 的实验数据比较, 反应总截面数据系统性好, 并与能量有明显的依赖关系.

关键词: 丰中子核; 反应总截面; Glauber 模型

中图分类号: O571.42 **文献标识码:** A

1 引言

利用奇异核次级束流进行核反应研究已经发现了一系列新的物理现象, 如中子晕(中子皮)、质子晕(质子皮)等原子核奇异结构^[1-4]. 1985 年 Tanihata 小组通过放射性束流的相互作用截面测量发现 ${}^{11}\text{Li}$ 的中子晕现象^[5]. 通过对核反应总截面的测量可以推测核的物质密度分布, 提取核的均方根半径, 从而提供核结构方面的信息.

${}^6\text{He}$ 是被研究最多的 Borromean 核系统, 基态是 $(1p_{3/2})^2$, 双中子分离能 973.4 keV. Tanihata 等^[5]利用 ${}^{11}\text{B}$ 弹核碎裂产生次级束, 测量了 790 MeV/u ${}^6\text{He}$ 与 C, Be, Al 靶的相互作用截面. Kobayashi 等^[6]测量了 790 MeV/u ${}^6\text{He}$ 与 C 靶的相互作用截面, 从实验测量结果推测出了 ${}^6\text{He}$ 核物质密度分布, 并提取了相互作用半径^[7]. Cortina-Gil 等^[8]利用 $E=41.6$ MeV/u $p({}^6\text{He}, {}^6\text{Li})n$ 反应找到了 ${}^6\text{He}$ 晕结构的特征. Warner 等^[9]测量了低能区 20—60 MeV/u ${}^6\text{He}$ 在 Si 上的反应总截面、30—60 MeV/u ${}^6\text{He}$ 在 Pb 上的反应总截面, 并且用 Glauber 模型进行了理论分析. Warner 等从他们的实验数据发现, ${}^6\text{He}$ 的反应截面缺乏能量依赖, 这明显与所有的理论推算相矛盾. Korshennikov 等^[10]在 ${}^1\text{H}({}^6\text{He}, {}^6\text{He})$, $E=800$ MeV/u 反应研究中发现了 ${}^6\text{He}$ 的扩展的中子密度分布. 但是,

Karataglidis 等^[11]从 ${}^6\text{He}$ 在 H 上散射实验数据, 用微观重叠模型分析, 没有发现 ${}^6\text{He}$ 有晕的证据. 因此, 尽管多数研究者认为 ${}^6\text{He}$ 是中子晕核, 但仍有一些实验结果得出与之不同的结论.

本文采用了与文献[9]相同的方法, 在中国科学院兰州重离子加速器的放射性束流线(RIBLL)测量了 20—40 MeV/u ${}^6\text{He}$ 在 ${}^{28}\text{Si}$ 靶上的反应总截面, 并且和 Warner 数据进行比较. 我们的测量结果是能量依赖的, 并能用 Glauber 模型较好拟合.

2 实验过程

实验是在 RIBLL^[12]终端上进行的. 由兰州重离子加速器(HIRFL)提供的 60 MeV/u、流强为 50 enA 的 ${}^{13}\text{C}$ 初级束流, 在 RIBLL 初级靶室轰击 4 mm 厚的 Be 靶, 弹核碎裂产物经过 1 mm 厚楔形 Al 降能器和磁刚度($B\rho$)选择, 磁铁偏转、聚焦, 入射如图 1 所示的探测器系统, 选择出来的 ${}^6\text{He}$ 纯度为 76%. T_1 和 T_2 分别为飞行时间起始时间和终止时间探测器, 它采用具有椭球面聚焦的快塑料闪烁薄膜(BC-400)时间拾取探测器, 获取放射性束流经过的时间 t_1 与 t_2 , 厚度为 200 μm , 面积为 50 mm \times 50 mm 的闪烁膜中心位于椭球的一个焦点, 光电倍增管 R2083 的光阴极中心位于椭球的另一个焦点. 该 TOF 装置的时间分辨好于 200 ps. $\phi 8$ mm 光阑

收稿日期: 2001-12-17; 修改日期: 2002-09-12

* 基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(19825115); 973 国家重点基础研究发展基金资助项目(G2000077401, G2000077404); 国家自然科学基金资助项目(19804012, 19735051)

作者简介: 陈志强(1977-), 男(汉族), 福建漳浦人, 硕博连读研究生, 从事核物理研究.

用于束流的准直. 多叠层望远镜系统由 7 片全耗尽金硅面垒半导体探测器与 CsI(Tl) 阻止型探测器组成. 7 片金硅面垒半导体探测器 $\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3, \Delta E_4, \Delta E_5, \Delta E_6$ 和 ΔE_7 厚度分别为 1 000 μm , 700 μm , 2 000 μm , 1 000 μm , 1 000 μm , 2 000 μm 和 700 μm , 有效面积均为 150 mm^2 . CsI(Tl) 厚度为 10 mm, 面积为 70 mm \times 70 mm. 次级束流 ^6He 穿透 7 片半导体探测器, 最后阻止于 CsI(Tl) 中. 前 6 片 Si 探测器既作为探测器同时作为靶子, 前面探测器依次作为后续探测器的 Si 靶, 反应产物用 ΔE - E 粒子鉴别. 实验数据被记录在数据获取计算机磁盘上, 并用 PAW 程序离线分析处理.

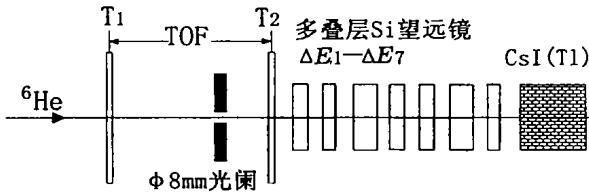


图 1 反应总截面测量探测器布局

3 实验结果与讨论

实验采用透射法测量反应总截面, 核反应总截面 σ_t 的表达式

$$\sigma_t = \frac{1}{N_t} \ln\left(\frac{N_0}{N_1}\right),$$

其中 N_t 为单位面积靶的粒子数, N_0 为入射于靶的总的粒子数, N_1 为在该靶上未发生反应的粒子数. 首先在如图 2 所示的 ΔE_1 -TOF 二维谱上鉴别出 ^6He , 得到入射于靶的总粒子数 N_0 , 同时作为条件在 ΔE_2 - E 二维谱上投影, 区分出在 ΔE_2 上未发生反应的粒子数 N_1 , 其余各片探测器以此类推, 从而得到在各片 Si 靶上的反应总截面 σ_t , 结果列于表 1.

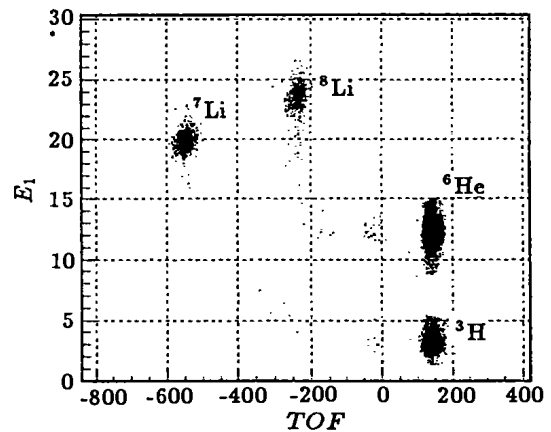


图 2 ΔE_1 与 TOF 的二维谱

表 1 ^6He 在 Si 上的反应总截面 σ_t 测量结果

$E_{in}/(\text{MeV} \cdot \text{u}^{-1})$	36.5 ± 0.7	33.7 ± 2.1	30.4 ± 1.2	28.0 ± 1.2	24.0 ± 2.8	20.1 ± 1.1
σ_t/mb	$1\ 625 \pm 70$	$1\ 655 \pm 75$	$1\ 669 \pm 80$	$1\ 650 \pm 80$	$1\ 678 \pm 80$	$1\ 720 \pm 100$

图 3 为实验测量的 ^6He 在 ^{28}Si 靶上反应激发函数, 图中也给出文献 Warner 的数据点和拟合曲线以便比较. Warner 给出的实验点能量误差较大, 主要是其探测器厚度较厚. 我们选择了较薄的探测器厚度, 6 个实验点能量误差较小. 从图 2 可以看出, 测量的 6 个能量点可以用 Glauber 模型较好拟合, Warner 数据 2 个中间能量点也刚好落在拟合曲线上. 我们采用了文献 [10] 给出的库仑修正 Glauber 模型, 并考虑了有限程修正, 对于弹核 ^6He 的密度形式仍然与 Warner 引用文献 [7] 中的 HO 密度分布一样, 而靶核 ^{28}Si 密度形式我们采用了文献 [13] 给出的高斯密度分布, 发现这种计算结果更能较好拟合我们的测量结果. 看来 Glauber 模型在描述反

应总截面上仍然是一个有效的工具.

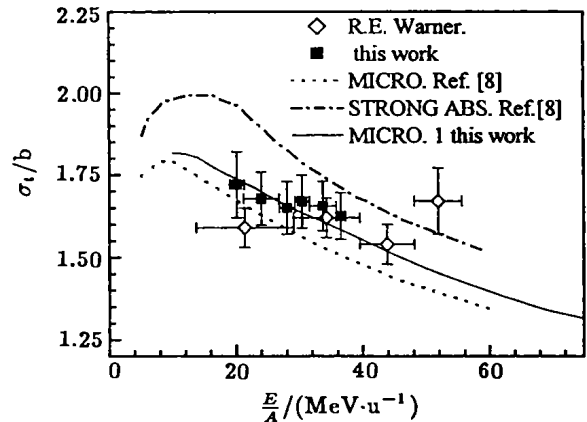


图 3 ^6He 在 ^{28}Si 靶上的反应总截面与能量二维谱 ■ 为本次实验测量结果, 一为 Glauber 模型拟合结果.

Warner 的 ${}^6\text{He}$ 反应总截面实验曲线缺乏能量依赖, 这与所有理论模型计算结果相矛盾^[9]. 我们

的实验结果与拟合曲线是能量依赖的, 分析结果进一步表明 ${}^6\text{He}$ 是一个双中子晕核.

参 考 文 献:

- [1] Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O, *et al.* Measurements of Interaction Cross Sections and Nuclear Radii in the Light p-shell Region [J]. *Phys Rev Lett*, 1985, **55**: 2 676.
- [2] Tanihata I, Kobayashi T, Yamakawa O, *et al.* Measurement of Interaction Cross Sections Using Isotope Beams of Be and B and Isospin Dependence of the Nuclear Radii [J]. *Phys Lett*, 1988, **B206**: 592.
- [3] Warner R E, Kelley J N, Zecher P, *et al.* Evidence for a Proton Halo in ${}^8\text{B}$: Enhanced total reaction cross sections at 20 to 60 MeV/nucleon [J]. *Phys Rev*, 1995, **C52**: 1 166.
- [4] Chulkov L, Kraus G, Bochkarev O, *et al.* Interaction Cross Sections and Matter Radii of $A=20$ Isobars [J]. *Nucl Phys*, 1996, **A603**: 219.
- [5] Tanihata I, Hamagaki H, Hashimoto O, *et al.* Measurements of Interaction Cross Sections and Radii of He Isotopes [J]. *Phys Lett*, 1985, **B160**: 380.
- [6] Kobayashi T, Yamakawa O, Omata K, *et al.* Projectile Fragmentation of the Extremely Neutron-rich Nucleus ${}^{11}\text{Li}$ at 0.79 GeV/nucleon [J]. *Phys Rev Lett*, 1988, **60**: 2 599.
- [7] Tanihata I, Hirata D, Kobayashi T, *et al.* Revelation of Thick Neutron Skins in Nuclei [J]. *Phys Lett*, 1992, **B289**: 261.
- [8] Cortina-Gil M D, Roussel-Chomaz P, Alamanos N, *et al.* Search for the Signature of a Halo Structure in the p (${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$)n Reaction [J]. *Phys Lett*, 1996, **B371**: 14.
- [9] Warner R E, Mckinnon M H, Shaner N C, *et al.* Total Reaction and Neutron-removal Cross Sections of (30—60) A MeV He and Li Isotopes on Pb [J]. *Phys Rev*, 2000, **C62**: 024608, 1.
- [10] Korshennikov A A, Kuzmin E A, Nikolsky E Yu, *et al.* Elastic and Inelastic Scattering of Exotic Nuclei [J]. *Nucl Phys*, 1997, **A616**: 189c.
- [11] Karataglidis S, Dortmans P J, Amos K, *et al.* Alternative Evaluations of Halos in Nuclei [J]. *Phys Rev*, 2000, **C61**: 024319, 1.
- [12] Zhan Wenlong, Guo Zhongyan, Liu Guanhua, *et al.* Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou [J]. *Science in China (Series A)*, 1999, **42**(5): 528.
- [13] Charagi S K, Gupta S K. Coulomb-modified Glauber Model Description of Heavy-ion Reaction Cross Sections [J]. *Phys Rev*, 1990, **C41**: 1 610.

Measurement of Total Reaction Cross Section of ${}^6\text{He}$ on ${}^{28}\text{Si}^*$

CHEN Zhi-qiang, XIAO Guo-qing, ZHAN Wen-long, GUO Zhong-yan, SUN Zhi-yu,
LI Jia-xing, WANG Meng, TIAN Wen-dong, WANG Jian-song, WANG Wu-sheng,
MAO Rui-shi, BAI Jie, HU Zheng-guo, CHEN Li-xin, LI Chen
(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Total reaction cross section (σ_t) was measured for neutron-rich nuclei ${}^6\text{He}$ on ${}^{28}\text{Si}$ target from about 20 to 40 MeV/u and compared with Warner's experimental data. It is found that the total cross section of ${}^6\text{He}$ on ${}^{28}\text{Si}$ depends on the energy and it can be fitted well by Glauber model using two-term HO density distribution from high energy data of ${}^6\text{He}$.

Key words: neutron-rich nuclei; total reaction cross section; Glauber model

* **Foundation item:** National Natural Science Fund for Distinguished Young Scholar (19825115); Major State Basic Development Program(G20000077401, G200077404); National Natural Science Foundation of China(19804012, 19735051)