

弹性共振散射反应的厚靶实验设计*

王友宝¹⁾ 王宝祥 白希祥 郭冰 李志宏 连钢 柳卫平
苏俊 颜胜权 曾晟 江历阳

(中国原子能科学研究院核物理所 北京 102413)

摘要 为了开展次级束引起的弹性共振散射反应的厚靶实验,在北京 HI-13 串列加速器的次级放射性核束装置上建立了一套包含飞行时间和大面积双面硅微条探测器的探测系统,并用 57.0MeV ^{17}F 次级束轰击 $7.66\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 $(\text{CH}_2)_n$ 靶对 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 弹性共振散射反应进行了试测量.

关键词 次级束 弹性共振散射反应 厚靶实验方法 双面硅微条探测器

1 引言

高温天体环境中的核燃烧过程涉及大量短寿命核,实验上确定反应率大都要使用其逆运动学反应.限于现有的放射性束流强等因素,只有极个别的关键反应能够直接测量^[1].次级束引起的弹性共振散射反应的厚靶实验方法目前在国际上颇受重视^[2, 3].该方法使用较厚的固体反应靶,如 $(\text{CH}_2)_n$ 等,使束流的能量全部损失在靶中,在反应靶的下游测量共振散射反应出射的质子;经反应运动学和能量损失修正,可以一次得到较大能量范围内弹性共振散射反应的激发函数.通过对实验的激发函数谱进行拟合可进一步导出共振态的能量、自旋宇称和发射质子的分宽度等共振量子数.此方法的优点是可以用一个能量点的、流强相对较弱的放射性束,一次测量较大能量范围内共振散射反应的激发函数.到目前为止,国际上已用放射性核束的厚靶实验方法进行了许多测量,如 ^6He ^[4], ^{11}C ^[5], ^{17}F ^[6], ^{21}Na ^[7] 等.

北京 HI-13 串列加速器上的次级放射性核束装置能够产生 ^6He , ^7Be , ^8Li , ^{10}C , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{17}F , ^{18}F 等多种次级束.安装 Danfysik 公司生产的速度选择器后,次级束纯度得到大幅度的提高^[8],有条件尝试开展次级束引起的弹性共振散射反应的厚靶实验.为此,我们建立了一套包含飞行时间(TOF)和双面硅微条探测器(DSSSD)的探测系统,并用 57.0MeV

^{17}F 次级束轰击 $7.66\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 $(\text{CH}_2)_n$ 靶对 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 弹性共振散射反应进行了试测量.

2 实验设计

实验设计简图如图 1 所示.在次级反应靶前建立了一套飞行时间系统,用以鉴别次级束,并记录次级束的流强以归一反应截面.数据处理时,用 TOF 对质子谱开门,可排除次级束在 $(\text{CH}_2)_n$ 靶中衰变所产生的 β^+ 本底.

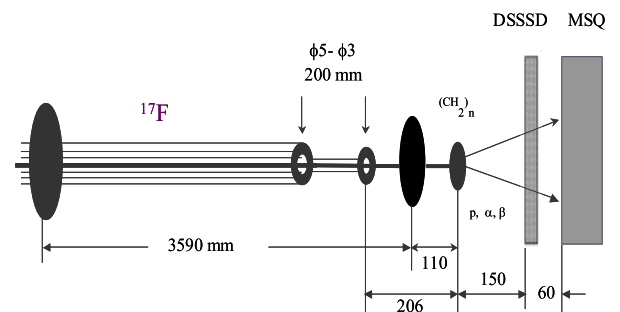


图 1 实验设计简图

该 TOF 系统使用了两个基于塑料闪烁薄膜的定时探测器,塑闪薄膜 BC422 的厚度为 $10\mu\text{m}$,所产生的光子经一个内表面为椭球面的铝制光反射器反射后,聚焦到滨松光电倍增管 R2083 的光阴极.两个定时探测器的间距为 3.59m.

* 国家自然科学基金(10445004, 10575136)资助

1) E-mail: ybwang@iris.ciae.ac.cn

出射质子的角度和能量分辨是实验的关键所在, 为此订制了由 $63\mu\text{m}$ 厚度的双面硅微条探测器和 $982\mu\text{m}$ 厚度的硅探测器(MSQ)的 ΔE - E 组合. 此组合可以探测 $0\text{--}12.5\text{MeV}$ 能量范围的质子. 两个探测器的有效面积均为 $50\times 50\text{mm}^2$, 双面硅微条探测器的位置分辨为 $3\times 3\text{mm}^2$. ΔE - E 组合放置于次级靶 $(\text{CH}_2)_n$ 的下游 15cm 处. 为了进一步提高角分辨, 在 $(\text{CH}_2)_n$ 靶的上游用 $\phi 5\text{--}\phi 3\text{mm}$ 的准直孔对次级束进行准直.

3 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 实验

利用上述实验设计对 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 进行了试测量. ^{17}F 次级束由 $^2\text{H}(^{16}\text{O}, ^{17}\text{F})\text{n}$ 反应产生, ^{16}O 初级束的能量为 96MeV . 实验过程中每隔一定轮次, 用一套硅探测器 ΔE - E 组合对 ^{17}F 次级束进行监控. ΔE 选用厚度为 $19.3\mu\text{m}$ 的ORTEC硅探测器, E 探测器的厚度为 $300\mu\text{m}$, ΔE - E 组合与 $(\text{CH}_2)_n$ 靶及测量本底用的碳膜一同安装在靶架上. 实验期间 ^{17}F 次级束的纯度在 $76\%\text{--}82\%$ 之间, 少数轮次纯度好于 85% ; 流强约 $1000\text{--}2000\text{ions/s}$.

经过速度选择器后, 次级束中各种离子的运动速度大致相同, 飞行时间系统不足以对 ^{17}F 及包含的杂质进行完全的粒子鉴别, 但仍可在线监督束流的纯度变化. ^{17}F 次级束的飞行时间谱如图2所示.

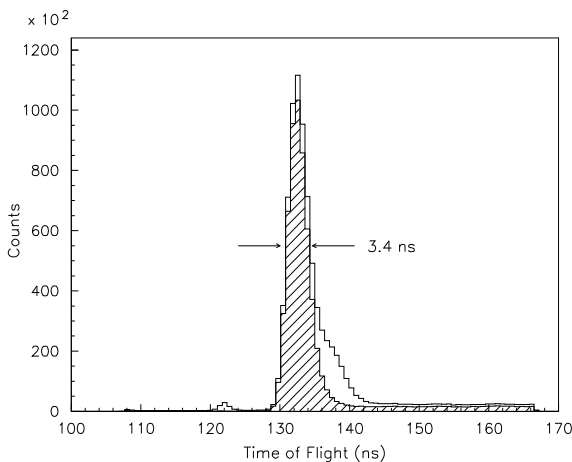


图2 ^{17}F 次级束的飞行时间谱

阴影部分对应 ^{17}F , 纯度为 76% , 杂质主要是经多重散射的初级束 ^{16}O .

图2中 ^{17}F 相应的能量为 64.5MeV , 经过后一个定时探测器 $10\mu\text{m}$ 厚度的BC422闪烁膜后, $(\text{CH}_2)_n$ 反应靶前的能量约 57.0MeV . 实验中TOF的效率为 $82\%\text{--}86\%$. 质子谱的能量刻度采用在线和离线相结合的方法, 在线时用加速的质子束经降能后对DSSSD和MSQ进行刻度, 离线则使用了 α 标准源. 考虑到现有

的数据获取系统的承受能力, 对DSSSD, 我们只利用了中心部分的正反8条, 覆盖的角度范围最大约 5.6° .

4 初步结果

实验的 ΔE (DSSSD)- E_r (MSQ)二维谱如图3所示. 可以看出, 质子事件能被清晰地鉴别出来. $(\text{CH}_2)_n$ 反应靶的厚度为 7.66mg/cm^2 , 碳膜的厚度为 9.56mg/cm^2 . 为了弄清碳实验轮中的质子事件的来源, 又记录了1轮 $^{16}\text{O}+\text{C}$. 对束流归一后, $^{17}\text{F}+\text{C}$ 与 $^{16}\text{O}+\text{C}$ 的质子事件数基本一致, 因此, 这部分质子事件极有可能来源于熔合蒸发反应.

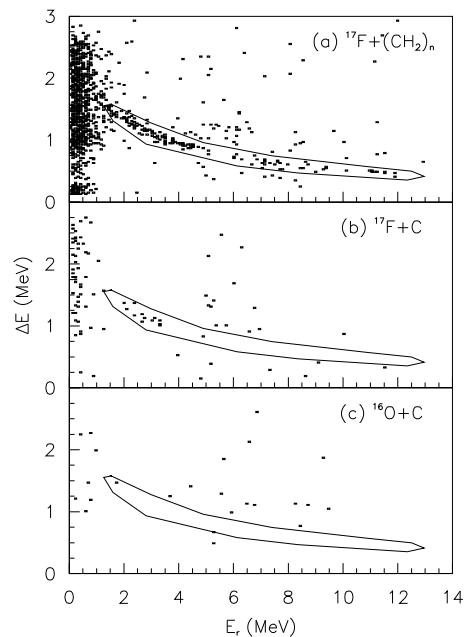


图3 实验的 ΔE (DSSSD)- E_r (MSQ)二维谱

对图3中的质子事件做进一步分析, 得到 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 的激发函数的初步结果如图4所示. 更细致的数据处理及理论分析仍在进行中.

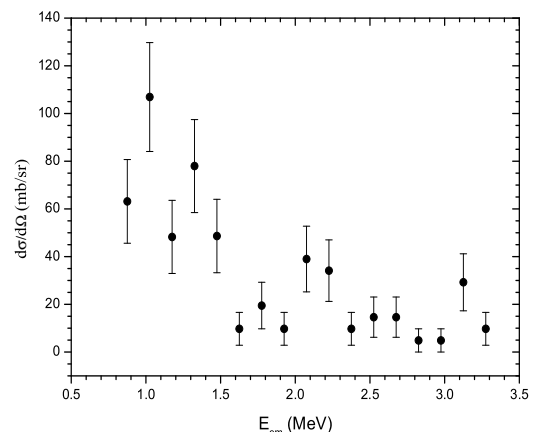


图4 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 的激发函数的初步结果

5 结论

我们建立了一套包含飞行时间和大面积双面硅微条探测器的探测系统, 并对 $^{17}\text{F}+\text{p}$ 弹性共振散射反应进行了试测量, 得到的激发函数谱与文献 [6, 9] 的结果基本相符. 进一步的改进计划主要是要将现有次级

束的流强提高5—10倍. 可采取的措施包括使用冷却的气体靶, 以便在气压不变的情况下增加气体的有效厚度; 以及增大准直孔的孔径等. 此外计划用微通道板替代下游的定时探测器, 改善次级束的能散, 减小能量的不确定性. 只要有效地解决上述问题, 有望开展若干次级束引起的弹性共振散射反应的厚靶实验测量.

参考文献(References)

- 1 Bishop S, Azuma R E, Buchmann L et al. Phys. Rev. Lett., 2003, **90**: 162501
- 2 Kubono S. Nucl. Phys., 2001, **A693**: 221—248
- 3 Smith M S, Rehm K E. Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 2001, **51**: 91—130
- 4 Rogachev G V, Boutachkov P, Aprahamian A et al. Phys. Rev. Lett., 2004, **92**: 232502
- 5 Teranishi T, Kubono S, Shimoura S et al. Phys. Lett., 2003, **B556**: 27—32
- 6 Gómez del Campo J, Galindo-Uribarri A, Beene J R et al. Phys. Rev. Lett., 2001, **86**: 43—46
- 7 Ruiz C, Sarazin F, Buchmann L et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 042801(R)
- 8 LI Zhi-Hong, LIU Wei-Ping, BAI Xi-Xiang et al. HEP & NP, 2006, **30**(suppl. II): 258 (in Chinese)
(李志宏, 柳卫平, 白希祥等. 高能物理与核物理, 2006, **30**(增刊II): 258)
- 9 Galindo-Uribarri A, Gómez del Campo J, Beene J R et al. Nucl. Instrum. Methods, 2000, **B172**: 647—654

A Setup for Resonance Scattering Reactions with Thick Target*

WANG You-Bao¹⁾ WANG Bao-Xiang BAI Xi-Xiang GUO Bing LI Zhi-Hong LIAN Gang
LIU Wei-Ping SU Jun YAN Sheng-Quan ZENG Sheng JIANG Li-Yang

(Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract A setup aiming to measure the resonance scattering reactions with radioactive ion beams in inverse kinematics is installed on the secondary beam line at HI-13 TANDEM laboratory. The setup consists of a beam-monitoring time of flight system, and a $\Delta E-E$ telescope based on large-area Double-Sided Silicon Strip Detector (DSSSD). The thick-target method for excitation function of proton resonance scattering is checked with a 57.0 MeV ^{17}F secondary beam on a 7.66 mg/cm² thick $(\text{CH}_2)_n$ target.

Key words secondary radioactive ion beam, elastic resonance scattering reaction, thick-target method, double-sided silicon strip detector

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10445004, 10575136)

1) E-mail: ybwang@iris.ciae.ac.cn