

BaF₂ 晶体用于中能重离子核反应 中的粒子鉴别*

刘冠华 郭忠言 詹文龙 诸永泰
胡晓庆 郝鸿飞 周建群 冯恩普

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘 要

将 BaF₂ 晶体与半导体探测器组成的望远镜用于 ¹²C(46.7MeV/u)入射核反应中前方向产物的测量,用 $\Delta E-E$ 方法和快慢成分关联方法进行了粒子鉴别. 同时还研究了 BaF₂ 晶体对多种离子的响应.

一、引 言

在中能重离子核反应的产物鉴别中, $\Delta E-E$ 技术得到广泛的应用. 一般用硅半导体作 ΔE 探测器,闪烁体则用来作剩余能量探测器,因为它阻止本领大^[1],并且可以加工成大尺寸的探测器. BaF₂ 晶体的特点在于它具有两种不同的发光成分^[2]: 快成分波长为 220nm,发光衰减时间为 600ps;慢成分波长为 310nm,发光衰减时间为 620ns. 我们可以利用其快慢成分之比来鉴别高能的轻带电粒子. 与 CsI(Tl) 相比, BaF₂ 晶体的能量分辨及粒子鉴别能力都要差一些,但其时间特性好,可承受较高的计数率,适于核反应中前方向出射产物的测量.

BaF₂ 晶体具有以下几个特点^[1]:

- (1) 响应快,时间分辨可做到 $\sim 100\text{ps}$ ^[3];
- (2) 密度大,探测效率高,其密度 $\rho = 4.88\text{g/cm}^3$;
- (3) 机械性能好,易加工成大尺寸探测器;
- (4) 不潮解,抗辐射损伤能力强^[4],并且无自吸收.

BaF₂ 的这些特点决定了它在核物理探测装置中的重要地位,它既能作时间测量,也能作能量测量. 迄今为止, BaF₂ 晶体主要用于 γ 探测中^[5]. 近年来,也有一些工作研究 BaF₂ 晶体对不同离子的响应,并利用 BaF₂ 的快慢成分关联来鉴别轻带电粒子^[4,6-8]. 本工作的目的是测量 BaF₂ 晶体对多种轻重带电粒子的响应,并尝试用快慢成分方法鉴别高能轻带电粒子.

本文 1991 年 11 月 1 日收到

* 国家自然科学基金资助项目.

二、BaF₂ 探测器

我们使用的 BaF₂ 晶体为圆柱形,直径为 40mm,长度为 20mm,四周抛光。在其侧面包裹一层 Teflon 带、入射面覆盖一层薄的铝箔(厚约 6μg/cm²),后面通过 Silicone KE 103 硅油与 XP2020Q 型光电倍增管耦合。根据实验需要设计、调整分压电路,使其增益合适,测量动态范围大,线性好。

用该 BaF₂ 晶体对 662keV 的 γ 射线进行测量,能量分辨约 13%。在真空中对 8.78 MeV 的 α 粒子进行测量,能量分辨约 8%^[9]。

我们用该 BaF₂ 晶体和两片厚度均为 100μm 的 Si 半导体组成望远镜,以进行中能重离子核反应中的产物鉴别。实验中半导体所加高压分别为 100V 和 170V,光电倍增管所加高压为 -2300V。将 BaF₂ 晶体望远镜置于与束流方向成 9° 角处,距靶心 115cm,其前面的光栏直径为 8mm。实验中采用的电子学线路框图如图 1(a) 所示,触发信号由第二片 Si 半导体给出。对应于快慢成分的快慢门的选取如图 1(b) 示,快门宽度为 45ns,慢门宽度为 240ns,快慢门之间的间隔为 150ns。这样选取快慢门是为了得到幅度适中的输

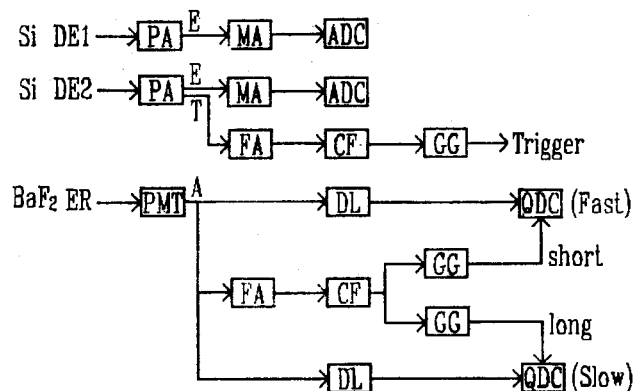


图 1(a) BaF₂ 晶体望远镜电子学线路框图

PMT: 光电倍增管 PA: 前置放大器 MA: 主放大器
 FA: 快放大器 CF: 恒分甄别器 DL: 延迟放大器
 GG: 门产生器 ADC: 模数变换器 QDC: 电荷数字变换器

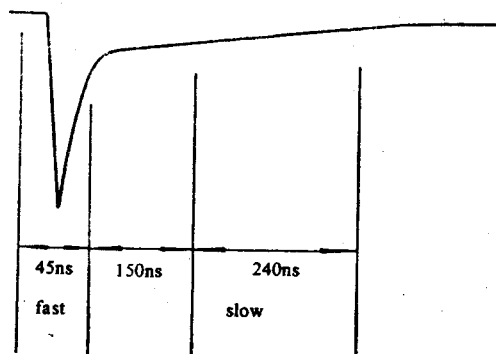


图 1(b) 快慢门的选取

出,并使快慢成分关联谱的晃动较小,从而得到较好的分辨。

三、测试结果

1. 粒子鉴别

按传统的 $\Delta E-E_1$ 望远镜方法,得到如图 2(a) 示的 ΔE -Slow 散布图。下面我们将

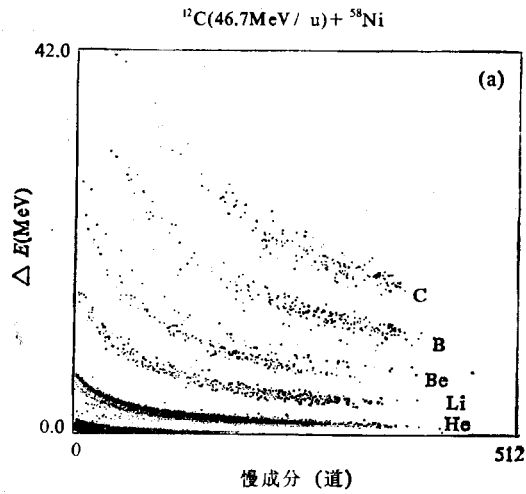


图 2(a) ΔE -Slow 散布图

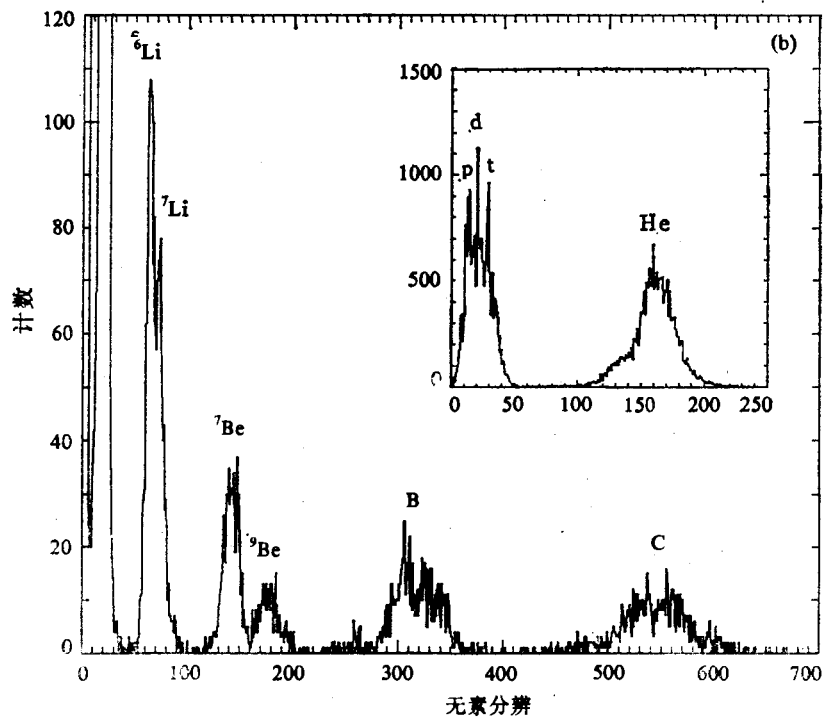


图 2(b) 图 2(a) 经线性化后的 Z 谱

看到,在所测的大部分能量范围内, BaF₂ 晶体的光输出的慢成分正比于阻滞在其中的能量,因而可以用它代表能量。图 2(b) 给出了相应的经过线性化后的 Z 谱。不同的元素可以分得很清楚,即使对低能的 p、d、t 也能分开。但是对具有较高能量的轻带电粒子,这种方法不能鉴别。

为了解决这个问题,我们采用快慢成分关联方法。测得的 fast-slow 散布图如图 3(a) 示,质子带左边的带子是由于高能轻带电粒子穿过 BaF₂ 而造成的回弯,因为 BaF₂ 晶体的长度仅 20mm。相应的 Z 谱示于图 3(b)。由图 3(b) 可看出,高能轻带电粒子可以得到很好的鉴别。

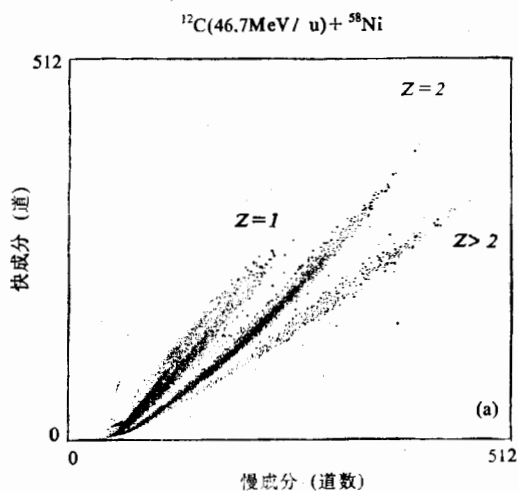


图 3(a) 测得的 fast-slow 散布图

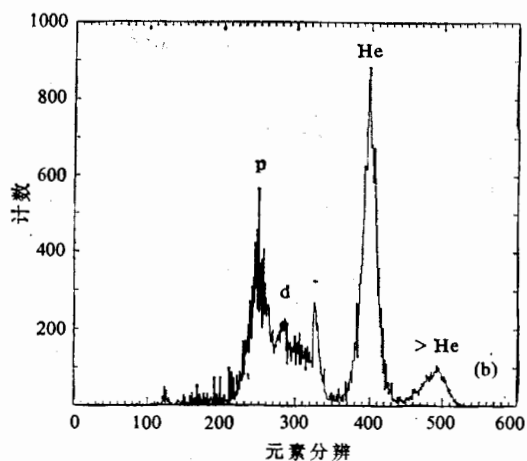


图 3(b) 经线性化后的 Z 谱

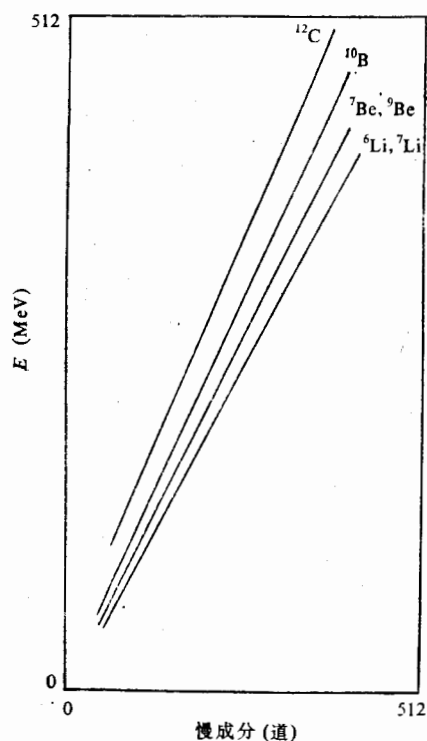


图 4 BaF₂ 晶体对多种离子的响应

2. BaF₂ 晶体对多种离子的响应

对 BaF₂ 晶体的能量刻度采用下面的方法,首先用精密脉冲产生器给 Si 半导体的

前置放大器输入一定的电荷量,以刻度 ΔE , 得到 ΔE 的能量后,再根据能损表来推知 BaF_2 中停阻的能量。这样得到的 BaF_2 对各种离子的响应曲线如图 4 示。 BaF_2 对较重的离子的响应曲线表明:入射离子越重,则相同能量的离子所引起的光输出越小,这与目前所得到的普遍结果是一致的^[4]。当入射离子的能量较高 ($>10\text{MeV/u}$) 时, BaF_2 的响应是线性的,而更低能量时则存在非线性。目前关于 BaF_2 对重离子的响应的研究还较少,以后我们将用 BaF_2 晶体与较厚的半导体组合起来进行研究。

四、结 论

我们用 BaF_2 望远镜测量了 $^{12}\text{C}(46.7\text{MeV/u})$ 入射核反应中前方向的产物,用 $\Delta E-E$ 方法和快慢成分方法进行了粒子鉴别。结果表明, $\Delta E-E$ 方法适用于重离子和低能轻带电粒子的鉴别,而快慢成分方法则特别适于高能轻带电粒子的鉴别。同时,还研究了 BaF_2 晶体对多种离子的响应。我们的结果表明对于较重的离子 ($>\text{He}$), 离子越重,则相同能量的离子在 BaF_2 中引起的光输出越小。当入射粒子的能量高于 10MeV/u 时, BaF_2 的响应是线性的,低能时则存在非线性。

参 考 文 献

- [1] Harshaw/Filtrol SCINTILLATION PHOSPHOR Catalog, 1984.
- [2] M. Laval et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **206**(1983), 169.
- [3] G. Tzanakos et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-**37**(1990), 1599.
- [4] T. Murakami et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A253**(1986), 163.
- [5] F. A. Beck, in *Instrumentation for Heavy Ion Nuclear Research*, Ed. D. Shapira (Harwood Academic Publishers, 1985) Vol. 7, p. 129.
- [6] E. Dafni, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A254**(1987), 54.
- [7] S. Kubota et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-**34**(1987), 438.
- [8] A. L. Boonstra et al., GSI Scientific Report, (1989), 290.
- [9] Liu Guanhua et al., IMP Annual Report (1990).

BaF_2 Used for Particle Identification in Intermediate Energy Heavy Ion Reactions

LIU GUANHUA GUO ZHONGYAN ZHAN WENLONG ZHU YONGTAI
HU XIAOQING XI HONGFEI ZHOU JIANQUN FENG ENFU

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

ABSTRACT

A detector telescope consisting of a BaF_2 crystal and Si detectors is used to measure forwardly emitted products in $^{12}\text{C}(46.7\text{MeV/u})$ induced heavy ion reactions, both $\Delta E-E$ method and fast-slow correlation method are adopted in the particle identification. The response of BaF_2 to various incident ions has been studied.