

α 粒子在塑料探测器中的能量响应

李松林 诸永泰 胡晓庆

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

在重离子核反应机制研究的实验中, 我们用一个总覆盖角为 $\Theta_L = \pm 20^\circ$, $\varphi_L = \pm 9^\circ$ 由 20 个快慢塑料闪烁体单元构成的 ΔE - E Phoswich 探测器系统对重离子反应中前方向出射的轻带电粒子进行了测量, 并利用从加速器引出的 α 束流, 在不同厚度的铝箔中降能后, 对该探测器系统进行了能量刻度. 借助一个简单的关系式成功地拟合了我们的数据. 得到的 α 粒子能谱与硅探测器望远镜测得的 α 粒子能谱符合得很好.

一、引 言

在重离子物理发展的早期, 半导体与气体探测器在实验中扮演着重要的角色. 但随着中能重离子加速器的建成与使用, 需要探测粒子的种类增多、能量提高、多重性增加、动态范围变宽. 在这种情况下, 半导体探测器遇到了严重的困难, 例如: 灵敏层厚度不足以阻止高能的带电粒子, 而且价格昂贵. 气体探测器对于轻荷电粒子的阻止本领低而不能满足实验的要求. 总之, 传统的技术已难以满足多参数、大立体角的测量, 从而使人们对闪烁探测器有了新的兴趣. 其中, 塑料闪烁探测器具有较高的光产额、发光衰减时间短、允许在高计数率场合使用、抗辐照能力强、机械加工性能好、价格便宜等优点, 因此在重离子物理实验中逐渐得到广泛的应用. 但带电粒子进入塑料闪烁体后的光输出与能量间存在着非线性关系, 特别在低能或重离子情况下. 与所有其它类型的闪烁探测器一样, 这个问题迄今还未能从理论或实验上得到完全的解决. 本文介绍了塑料闪烁探测器的光输出与能量间的一个简单的表达式, 并用该表达式拟合了我们的数据, 拟合的结果是令人满意的.

二、实验与实验装置

实验是在荷兰格罗宁根大学 KVI 研究所完成的. 利用 384MeV 的 ^{20}Ne 轰击 ^{58}Ni 靶, 研究一种可能的非完全深部非弹性碰撞^[1]. 20 个单元的快慢塑料闪烁体构成的 ΔE - E Phoswich 探测器阵列^[2]在距靶心约 60cm 处对称排列在束流的前方向. 每个单元呈矩形, 前表面面积为 $6.5 \times 6.5\text{cm}^2$, 由 0.1cm 厚的快塑料闪烁体 (NE102) 和 10cm 厚

的慢塑料闪烁体 (NE115) 组成。快慢塑料闪烁体之间采用热压方式直接耦合, 以去除使用光耦合胶所带来的死层。后面经过一个光导与光电倍增管 (EMI9814B) 联接。

当荷电粒子穿过快闪烁体并阻止在慢闪烁体时, 光电倍增管呈现两种不同衰减成份的输出信号, 快成份来自 NE102 闪烁体, 慢成份来自 NE115 闪烁体。通过开两个不同的时间门 (70ns 和 350 ns) 对这两种成份分别进行电荷积分, 因此, 可得到粒子在相对应的闪烁体中的能量损失 ΔE 和总能量 E , 从而达到鉴别粒子的目的。

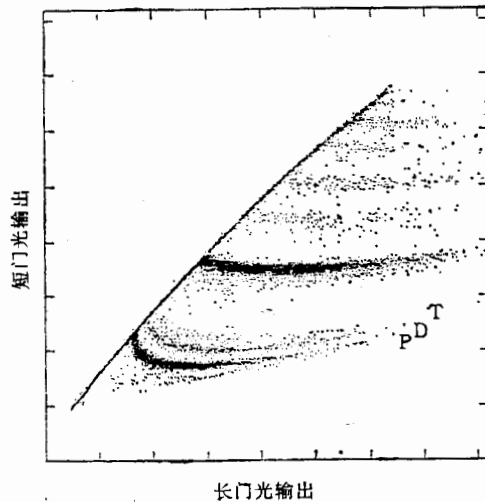


图 1 384MeV $^{20}\text{Ne} + ^{58}\text{Ni}$ 反应中, 一个典型的塑料 Phoswich 探测器光输出谱

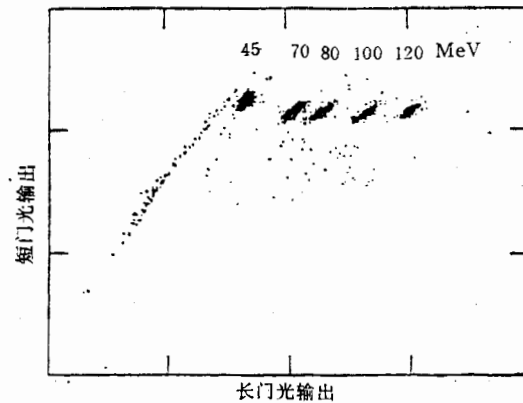


图 2 用不同能量的 α 粒子对塑料 Phoswich 探测器的能量刻度谱

在 384MeV 的 ^{20}Ne 轰击 ^{58}Ni 反应中, 一个典型的粒子鉴别谱表示在图 1。图中散点集中分布形成的带代表一种元素, 图下部三条散点带分别表示氢、氦、氖。可见, 直到 $Z = 8$ 尚能对产物进行清晰的鉴别, 而且氢的同位素也分开了。

三、能量刻度

在 $10\text{MeV}/A - 50\text{MeV}/A$ 能量范围内, 在确定粒子电荷 Z 的情况下, 光输出与能量的依赖关系^[3,4]可表示成:

$$E \propto F(Z) \cdot I^\gamma, \quad (1)$$

其中, E 表示粒子的能量, I 是从慢塑料闪烁体的光输出强度, $\gamma = 0.8 + 0.4/Z^{1.6}$, $F(Z)$ 与电荷 Z 的依赖关系为:

$$F(Z) = c_1 Z^2 - c_3, \quad (2)$$

其中, c_1, c_2, c_3 为拟合系数。

我们利用加速器提供的 $120\text{MeV}\alpha$ 束流在四种不同厚度的铝吸收片中降能后的 α 粒子, 其能量分别为 45MeV, 70MeV, 80MeV, 100MeV 对已测得的 α 粒子数据进行了能量刻度, 见图 2。在图 2 中, 谱线的转折点对应的 α 粒子能量为 36MeV, 是由于 0.1cm 厚的快塑料闪烁体带来的能量截止阈。

在数据拟合过程中,探测器的光输出与粒子能量间完整的表达式^[3]为:

$$E(\text{MeV}) = G(A)(c_1 Z^{c_2} - c_3) \cdot I^r, \quad (3)$$

其中, A 和 Z 分别为粒子的质量数和电荷数, 拟合系数 c_i 的取值分别为 $c_1 = 0.877$, $c_2 = 0.718$, $c_3 = 0.748$. 与粒子质量数相关的因子为:

$$G(A) = 1 + \frac{A - A_0}{6A^{0.7}}, \quad (4)$$

其中, A_0 是产物的最丰同位素的质量数, 其因子 $G(A)$ 是作为 $A \neq A_0$ 时光输出的修正. 由于本工作仅拟合了 α 粒子的数据, 故 $G(A) = 1$.

利用等式(3), 我们拟合了实验室 0° 对称的四个塑料 Phoswich 单元的能量响应, 见图 3. 计算结果与实验测得的光输出在 $\pm 5\%$ 误差范围内符合.

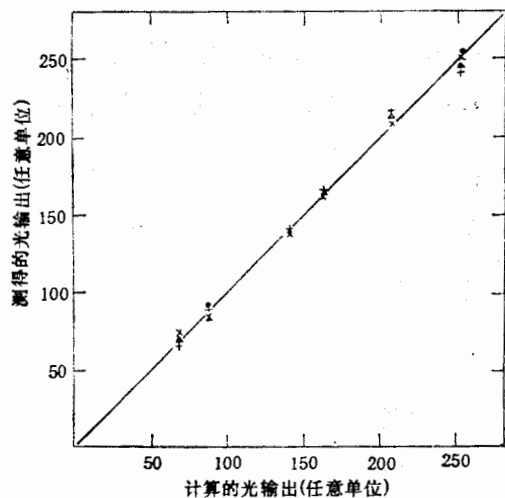


图 3 实验测得的光输出与利用公式(3)计算结果的比较
“○、+、△、×”分别表示四个塑料 Phoswich 单元的结果

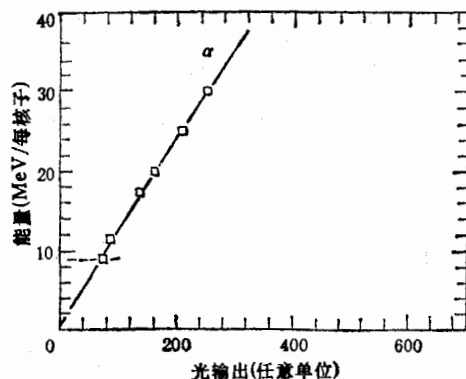


图 4 塑料 Phoswich 探测器对不同能量 α 粒子的光输出响应
“□”表示数据点, “—”表示用公式(3)计算的结果, “---”表示 0.1cm 厚的快塑料闪烁体对应的能量阈

图 4 表示塑料 Phoswich 探测器对不同的 α 粒子能量的光输出响应. 图中的虚线表示 0.1cm 厚的快塑料闪烁体带来的能量截止阈、实线是利用公式(3)拟合的结果.

为了进一步验证拟合的结果, 我们利用一个硅半导体 ΔE - E 望远镜 (ΔE 厚度为 $50\mu\text{m}$, E 为 5mm) 在实验室 6° 测得的 $384\text{MeV } ^{20}\text{Ne}$ 轰击 ^{58}Ni 反应中前向角出射的 α 粒子能谱与塑料 Phoswich 探测器在该角度测得的光输出谱, 用等式(3)拟合, 经计数相对归一后的 α 粒子能谱进行比较, 表示在图 5. 图中虚曲线表示塑料 Phoswich 探测器得到的 α 粒子能谱, 实曲线为硅半导体望远镜测得的结果. 两曲线在低能端的不一致是由于两种探测器系统不同的 ΔE 厚度产生的不同的能量截止阈, 在高能端的偏离是由于硅半导体望远镜的厚度不足以停阻这样高能的 α 粒子而引起的能量截断. 能谱的峰位以及高能尾巴的斜率基本重叠, 符合得很好.

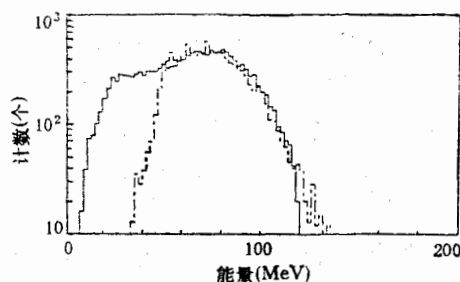


图5 用塑料 Phoswich 探测器和硅半导体望远镜得到的 α 粒子能谱比较

四、结 论

我们已利用塑料 Phoswich 探测器探测较高能量的轻带电粒子。这个装置提供了大立体角、多重事件的测量。由于本工作仅对 α 粒子数据感兴趣,对测得的其它粒子并未从实验上进行能量刻度,所以,无法对等式(3)适用的 Z 值范围作结论。但从本工作已拟合的 α 粒子能谱来看,还是令人满意的。

本工作的实验结果是在荷兰 KVI 加速器上获得的。H. W. Wilschut 和 E. E. Koldenhof 博士给我们提供了实验的仪器和设备并参加了本实验工作,加速器运行组为我们提供了很好的 ^{20}Ne 和 ^4He 束流。本研究得到了中国自然科学基金会、中国科学院、荷兰 FOM 基金会的资助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Zhu Yongtai et al., 3-rd International Conference on Nucleus Nucleus Collision, St. Malo, France, Invited Talk (1988). (to be published in Nucl. Phys. A).
- [2] E. E. Koldenhof. K. V. I Annual Report, (1986), p. 132.
- [3] Y. D. Chan et al., Symposium for Nuclear Instrumentation, ACS Meeting, April 1987, Denver, Colorado.
- [4] F. D. Bechetti, C. E. Thorn and M. J. Levine, Nucl. Inst. & Meth., A138(1976), 93—100.
- [5] J. Pouliot, Y. Chan et al., Nucl. Inst. & Meth., A270 (1988), 69—73.

ENERGY RESPONSE OF A PLASTIC DETECTOR ARRAY FOR α -PARTICLES

LI SONGLIN ZHU YONGTAI HU XIAOQING

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

In heavy ion reaction mechanism experiment, a phoswich array consisting of 20 ΔE - E elements has been used for the measurement of light charged particles emitted at forward angles. The full angular coverage is about $\Theta_L = \pm 20^\circ$, $\varphi_L = \pm 9^\circ$. Different α -particle energies were obtained by degrading the beam with aluminium foils of appropriate thickness for energy calibration. Our experimental data were fitted well by using a fairly simple expression. The obtained α -particle energy spectrum is in good agreement with that, measured by a silicon detector telescope.