

# CsI(Tl) 闪烁探测器用于粒子鉴别

王高昇 诸永泰 王晓明 李松林 王琦

(中国科学院近代物理研究所,兰州)

## 摘 要

根据 CsI(Tl) 晶体产生的闪烁光脉冲具有快、慢两种成份这一特性,采用电荷灵敏 ADC 对快、慢成份分别积分的方法,仅用一块 CsI(Tl) 晶体实现了对轻粒子 p、d、 $\alpha$  和 Li 的鉴别与测量,且得到了好的粒子分辨本领.另外,用 CsI(Tl) 晶体与 Si 半导体组成的  $\Delta E-E$  望远镜也很好实现了对轻粒子的鉴别.

## 一、前 言

重离子碰撞过程中轻粒子发射的研究,为人们进一步了解核反应机制提供十分有用的信息.随着入射弹核能量的不断提高,核反应过程中出射轻粒子的多重性增加,出射粒子的能量也大为增加,这就使得通常采用的硅探测器或气体探测器不能满足核物理实验的需要.为此,人们不得不寻找新的探测手段和方法.闪烁探测器具有抗辐射、价格便宜等优点,它在核物理实验中的应用重新受到了人们的重视.近年来,许多新型的闪烁探测器组合望远镜相继出现,如叠层塑料闪烁 phoswich 探测器已成功用于核物理实验<sup>[1]</sup>.与塑料闪烁体相比,CsI(Tl) 晶体不仅具有好的能量分辨率,而且本身具有快、慢两组发光成份.采用类似于叠层塑料闪烁 phoswich 探测器粒子鉴别的方法对 CsI(Tl) 晶体输出脉冲形状进行分析,利用一块 CsI(Tl) 晶体可单独进行粒子鉴别<sup>[2]</sup>.

## 二、CsI(Tl) 晶体用于粒子鉴别的原理

大量实验结果表明:CsI(Tl) 晶体中的形成平均电离密度为  $\rho$  的带电粒子产生的闪烁光脉冲由快、慢两种组分构成. $t$  时刻的闪烁光脉冲可表示为

$$N(t) \approx \frac{N_f(\rho)}{\tau_f} e^{-t/\tau_f} + \frac{N_s(\rho)}{\tau_s} e^{-t/\tau_s}, \quad (1)$$

其中  $N_f(\rho)$ 、 $N_s(\rho)$  分别为一次闪光中快、慢成份所包含的光子数, $\tau_f$ 、 $\tau_s$  分别为快、慢两种成份的衰减时间.

对 CsI(Tl) 晶体而言,快、慢两种成份的比率  $N_f(\rho)/N_s(\rho)$  随着电离密度  $\rho$  的增加

而增加.  $\tau_i$  基本上与电离密度  $\rho$  无关. 而  $\tau_f$  则是电离密度  $\rho$  的函数. R. S. Storey 等人把这种函数关系近似地用下列经验公式表示<sup>[3]</sup>

$$\tau_f(\rho) - \tau_f^{\min} = (\tau_f^{\max} - \tau_f^{\min})e^{-\rho/\rho_0}. \quad (2)$$

当  $\tau_f^{\min} = 0.415\mu\text{s}$ ,  $\tau_f^{\max} = 0.685\mu\text{s}$  时,  $\rho_0$  的取值为  $\rho_0 \approx 95 \pm 15\text{keVmg}^{-1}\text{cm}^{-2}$ . 这里,  $\tau_f^{\max}$ 、 $\tau_f^{\min}$  的取值是实验对  $\alpha$  粒子和电子测量结果的拟合.

由于快、慢成份之比率和光脉冲衰减时间不同, 对于不同种类的带电粒子, 它们在 CsI(Tl) 晶体中产生的光脉冲有着不同的形状. 如果光电倍增管工作在线性区, 阳极得到的电流脉冲应该反映出光脉冲形状的不同, 即阳极的电流脉冲由下式表示

$$I(t) \propto I_f e^{-t/\tau_f} + I_s e^{-t/\tau_s} \quad (3)$$

其中  $I(t)$  是  $t$  时刻总的电流脉冲幅度,  $I_f$ 、 $I_s$  分别是快、慢门对应的最大脉冲幅度.

利用快、慢门对快、慢成份积分, 得到的两种成份的电荷量分别为

$$Q_f = \int_0^{T_f} I(t) dt$$

$$Q_s = \int_{T_f+T_D+T_s}^{T_f+T_D+T_s+T_s} I(t) dt \quad (4)$$

这里:  $t$  代表快门相对于阳极脉冲的延迟时间,  $T_f$  是快门宽度,  $T_D$  是慢门相对于快门的相对延迟时间,  $T_s$  是慢门的宽度.

如前所述, 快、慢成份电荷量之比是平均电离密度  $\rho$  的函数, 即  $Q_f/Q_s \propto F(M, Z, E)$ , 利用这一关系式, 即可实现粒子鉴别. 在实际的电子学线路中, 我们利用电荷灵敏 ADC 实现对阳极电压脉冲快、慢成份的积分, 达到了粒子鉴别的目的.

### 三、CsI(Tl) 闪烁探测器的制作、调试及用作粒子鉴别

#### 3.1 CsI(Tl) 闪烁探测器的制作以及 $\alpha$ 源测试

我们选用的 CsI(Tl) 晶体的几何尺寸为  $10 \times 10 \times 30\text{mm}^3$ , 光电倍增管为 R1213 小型光电管. 由于 CsI(Tl) 晶体的两种光衰减成份之比不依赖于所观察到的 CsI(Tl) 发射谱的波长范围<sup>[4]</sup>, 所以 CsI(Tl) 晶体用 Teflon 带包装后直接与光电管的光阴极相耦合, 两者之间涂以硅油以保证光的传输. 光电倍增管采用负高压供电, 脉冲信号从阳极引出. 在  $-1700$  伏工作电压下所得到的阳极脉冲经快放大器后的波形见图 1. 脉冲上升时间大约为  $50\text{ns}$ , 它明显地显示出由快、慢两种成份组成. 把所得到的脉冲经过线性放大器放大, 对  $^{241}\text{Am}$  源  $5.4\text{MeV}$  的  $\alpha$  粒子所得到的能量分辨率为  $2.3\%$ .

#### 3.2 CsI(Tl) 晶体与硅半导体构成 $\Delta E-E$ 望远镜

$\Delta E-E$  望远镜是常用的粒子鉴别方法. 由于 CsI(Tl) 晶体有好的能量分辨且能量非线性较小, 用它做为能量阻止探测器可以克服半导体  $E$  探测器因厚度不足给测量较高能量出射粒子带来的困难. 我们将  $33\mu\text{m}$  厚的 Si 半导体与制做的 CsI(Tl) 闪烁探测器构成一个  $\Delta E-E$  望远镜, 在  $96\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^3\text{V}$  的反应中进行了实际测试. 探测器安装在前方向  $+5^\circ$  的地方, 前端挡一厚度为  $76\mu\text{m}$  的铝箔用以挡掉计数率太高的弹性散射产物. 所测到的轻带电粒子  $\Delta E-E$  能量关联二维图如图 2 所示. 不难看出, 这个望远

镜对  $\alpha$ 、 $p$  有好的鉴别能力。

### 3.3 CsI(Tl) 晶体单独用于粒子鉴别

根据 CsI(Tl) 晶体荧光的快、慢成份与所探测粒子种类有关这一原理, 我们对用 CsI(Tl) 晶体单独进行粒子鉴别进行了尝试, 得到了满意的结果。测量所采用的电子学框图如图 1 所示。阳极得到的电压脉冲经快放大器 and 电缆延迟后直接送到两个电荷灵敏 ADC, 电荷灵敏 ADC 的两个时间门控信号由门产生器给出。合理调节这两个门的宽度和它们之间的相对延迟时间, 可以实现对快、慢成份的积分。

#### 门宽、相对延迟时间的选取

用 CsI(Tl) 晶体单独进行粒子鉴别时, 除保证阳极信号在脉冲形状不变的情况下进入电荷灵敏 ADC 外, 门宽以及两个门之间相对延迟时间的选取是至关重要的。根据 CsI(Tl) 晶体的发光特性和我们所测得的脉冲形状, 我们选取快门的宽度为  $380\text{ns}$ 。由于 CsI(Tl) 晶体对于电子有较长的发光衰减时间(对快成份而言), 我们对慢门做了延迟, 经过调试, 所选取的延迟时间为  $T_D = 1.2\mu\text{s}$ 。另外, CsI(Tl) 晶体的慢成份有很长的发光衰减时间(大约为  $7\mu\text{s}$ ), 所以, 在慢门宽度的选取上任意性较大。在我们的实验条件下, 慢门的宽度选为  $T_s = 1.0\mu\text{s}$ 。值得注意的是, 为避免脉冲上升时间涨落的影响, 我们把快门也做了  $50\text{ns}$  的延迟。

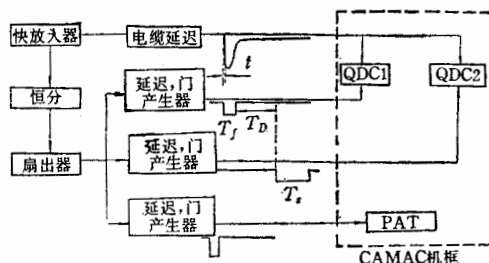


图 1 CsI(Tl) 闪烁探测器阳极脉冲形状以及单独用作粒子鉴别时所采用的电子学线路框图 (QDC 代表电荷灵敏 ADC, PAT 为 CAMAC 系统开始获取的开门信号输入单元)

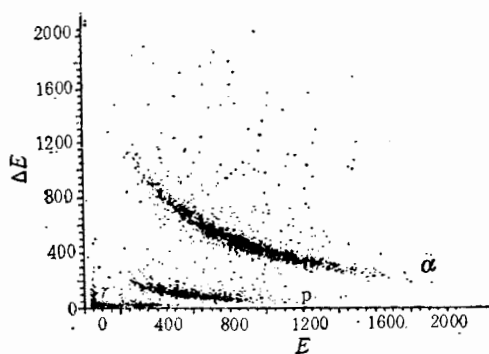


图 2  $96\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^{21}\text{V}$  反应中  $\theta_L = 5^\circ$  发射的轻带电粒子  $\Delta E-E$  能量关联两维图

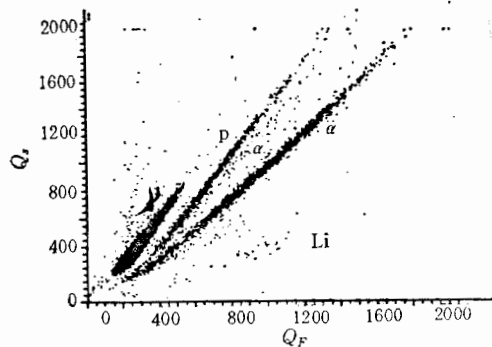


图 3 用 CsI(Tl) 闪烁体单独测到的  $96\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^{21}\text{V}$  反应中  $\theta_L = 5^\circ$  出射轻粒子的粒子鉴别两维关联图

### 调试结果及简单讨论

在上述选定的条件下,对  $96\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^{51}\text{V}$  反应中前方向( $+5^\circ$ )的出射轻粒子进行了测量,得到的粒子鉴别二维关联图见图 3. 在强的  $\gamma$  辐射场条件下,  $\alpha$ 、 $p$ 、 $d$ 、 $\text{Li}$  被清楚地分出来了,且具有好的粒子鉴别能力. 对轻粒子而言,由于快、慢成份之比对于不同粒子的差别较大,利用 CsI(Tl) 晶体可很好地实现对粒子的鉴别. 特别是较高能量下, CsI(Tl) 晶体对每种不同轻粒子的能量响应非线性基本消失,这样大大减少了分析所得数据的困难. 如果将 CsI(Tl) 晶体单独用作低能轻粒子的鉴别和测量,则可避免叠层塑料闪烁体 phoswich 探测器能量阈较高的困难.

我们制作的 CsI(Tl) 闪烁探测器与硅半导体构成  $\Delta E-E$  望远镜以及 CsI(Tl) 晶体单独用作粒子鉴别已成功地用于  $96\text{MeV } ^{16}\text{O} + ^{51}\text{V}$  反应中前方向出射轻粒子的测量与鉴别.

## 四、小 结

利用 CsI(Tl) 晶体快、慢成份之比随着平均电离密度而变化这一特点,采取用不同宽度的时间门对快、慢成份积分的方法,用 CsI(Tl) 晶体可单独完成轻粒子鉴别的任务. 用 CsI(Tl) 晶体做为  $E$  探测器组成的  $\Delta E-E$  望远镜不仅可用于鉴别轻粒子,而且可以用于鉴别较重的核反应产物. 由于 CsI(Tl) 晶体具有较好的防潮性和机械性能,在常温下输出脉冲幅度几乎不随温度的变化而变化等优点,它可以广泛地用于核物理实验. 特别是用于中能轻的带电粒子的测量. 如果再加上一层薄的快塑料闪烁体加强其快成份输出,与 CsI(Tl) 晶体组合成 phoswich 型望远镜,则可实现对较重的反应产物的鉴别.

作者感谢王彦瑜同志在调试过程中给予的热情支持.

## 参 考 文 献

- [1] H. R. Schmidt et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A242**(1985), 111—116.
- [2] J. Alarja et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A242**(1986), 352—354.
- [3] R. S. Storey et al., *Proc. of Phys. Society.*, **72**(1958), 1.
- [4] W. W. Managan, *IRE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-9**(3)(1962), 1.

## A CsI(Tl) SCINTILLATOR DETECTOR USED FOR PARTICLE IDENTIFICATION

WANG GAOSHENG ZHU YONGTAI WANG XIAOMING

LI SONGLIN WANG QI

*(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)*

### ABSTRACT

A CsI(Tl) scintillator, with two different light decay components, is used to detect and identify light particles p, d,  $\alpha$ , and Li with a low energy threshold. The addition of a Si semiconductor in front of the CsI(Tl) scintillator allows the identification of light particles.