

一、实验目的

1. 学会正确使用数字示波器来分析闪烁计数器的输出脉冲波形。
2. 学会根据记录的波形了解闪烁体的时间特性。

二、实验原理

闪烁计数器是一种粒子探测器，由闪烁体、荧光光子检测器两个基本元件组成。

1. 闪烁体：塑料闪烁体以及各种无机闪烁晶体。将通过闪烁体的粒子 ($\alpha, \beta, \gamma, \mu$ 子等) 沉积的能量转换成闪烁荧光光子。

2. 荧光光子检测器：各种光电检测器，最常用的是光电倍增管。将闪烁体输出的荧光光子转换成光电子，并对原初光电子进行倍增，最后在光电倍增管的阳极输出回路形成一个与输入的荧光脉冲相对应的电流脉冲。过程如图。

在图中：

图1：粒子通过闪烁体，并与闪烁体原子、分子发生相互作用，沉积能量。过程持续时间为皮秒量级，响应可以近似为 $\delta(t-t_0)$ 函数。

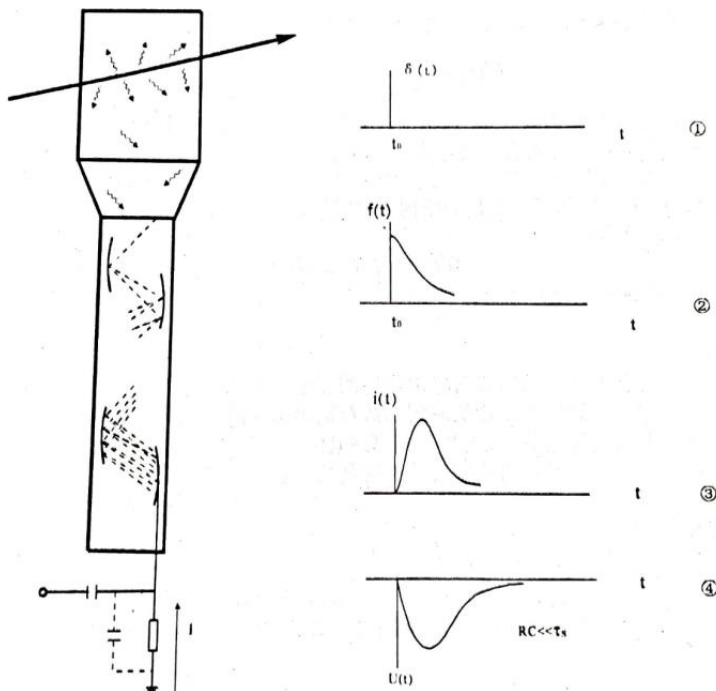


图 2: 沉积的能量激发形成闪烁荧光发光中心, 之后发光强度随时间变化近似指数衰减, 衰减常数 τ 与闪烁体荧光发射机制相关。若光在闪烁体中的传输和手机时间忽略不计, 则 τ_0 约等于 τ 。

图 3: 光电倍增管阳极单位时间收集电子数随时间的变化。实际上光阴极光电转换过程和各打拿极的倍增过程存在时间晃动和时间延迟, 单位时间电子数脉冲仅近似为荧光脉冲形状, 前沿由于渡越时间的分散而上升缓慢, 后指数衰减, 衰减常数近似为 τ , 携带了闪烁体荧光时间特性的信息。因此实

际上, 这就是荧光时间分布在时间轴上移动了 t_0 后与光电倍增管单光子度越时间分布函数的卷积。

图4: 光电倍增管的输出电压脉冲波形。是电流脉冲 $i(t)$ 在光电倍增管的输出 RC 回路上形成的。为得到波形, 可以求解电路方程。对于给定的电流脉冲波形, 精确解为:

$$U(t) = \frac{Q_0 R}{RC - \tau_0} \left(e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right)$$

其中 RC 为输出回路时间常数, Q_0 为收集的总电荷, τ_0 为荧光脉冲的衰减时间常数。通过已知衰减时间常数的晶体得到的输出波形, 可以通过拟合求得输出回路的 RC 。标定系统的 RC 后, 对于未知晶体, 可以根据测得的波形, 利用以上公式来拟合, 就可以得到闪烁体的荧光时间特性。在 $RC \ll \tau_0$ 时, 公式式退化为:

$$U(t) = \frac{Q_0 R}{\tau_0} \left(e^{-\frac{t}{\tau_0}} - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

输出脉冲最大幅度为 QR/τ_0 , 脉冲时间衰减常数约为 $2.3\tau_0$ 。

实际上还有其他观测闪烁体荧光衰减的方法。将图中的闪烁体以下的部分看成是一个系统, 用契伦柯夫辐射作为光源直接照射光阴极, 记录输出脉冲波形, 该脉冲波形就是系统对

deleca 光源的响应函数。用闪烁体取代奥伦柯夫辐射体 (有机玻璃), 设闪烁体的荧光时间分布为 $f(t)$, 则输出波形为:

再进行退卷积, 就可以求得闪烁体的荧光时间分布。

$$W(t) = f(t) \odot \delta(t)$$

三、实验装置

- 1、记录单次脉冲的数字存储示波器。
- 2、可切换闪烁体的闪烁计数器系统, 包括高压电源。
- 3、奥伦柯夫辐射体 (有机玻璃), NaI(Tl) , CsI(Tl) , 塑料闪烁体, 氧化铈晶体 (CeF_3)

四、实验内容

- 1、观测闪烁体荧光时间特性对输出波形的影响, 辨认快慢闪烁体。
- 2、观测光电倍增管输出回路的时间常数对输出脉冲波形的影响。
- 3、用 deleca 光源测定光电倍增管的响应函数。
- 4、分析记录不同闪烁体荧光衰减时间常数 τ_0 。

五、实验步骤

1. 选择1#样品有机玻璃, 设定光电倍增管输出回路。
2. 加光电倍增管高压至规定值。
3. 在数字示波器上记录宇宙线通过样品产生的脉冲波形, 记录存储10个示例的波形。
4. 分别置入其他样品, 同样记录存储10个波形。
5. 置入NaI(Tl)晶体, 改变输出回路的负载电阻, 在每种参数下记录5个波形。

苗立扬

PB19000132