

闪烁体荧光衰减长度测量

唐延宇* PB22030853

2025 年 4 月 3 日

摘要

塑料闪烁计数器结构简单, 时间性能好. 一般多用于其它探测器的触发器或飞行时间谱仪的时间基点. 因此它已广泛地应用于粒子物理和高能重离子核物理的实验. 本实验通过测量塑料闪烁体的荧光衰减长度, 进一步理解闪烁计数器的工作方式和特性.

关键词: 闪烁体 荧光衰减长度 塑料闪烁计数器

1 引言

1.1 实验目的

塑料闪烁计数器因其结构简单、响应快, 常用于触发器或飞行时间测量, 在粒子物理和高能核物理实验中应用广泛. 本实验的目的即了解塑料闪烁计数器的结构、性能及应用, 并学习测定塑料闪烁体技术衰减长度的方法.

1.2 实验原理

如图1, 塑料闪烁体由苯乙烯基体加入对联三苯(第一溶质)和 POPOP(第二溶质)制成. 带电粒子激发苯乙烯分子后, 在猝灭前把激发能转给第一溶质对联三苯分子, 其发光衰减时间约为 10^{-9} s. 当第一溶质激发态的分子退激时发出的光几乎全部被第二溶质所吸收, 后者以同样量级(约 10^{-9} s)的发光衰减时间退激并最终¹以 $350 \sim 480$ nm 的光子释放. 整个过程的光衰减时间约 10^{-9} s. 光在塑料闪烁体中传播受材料特性、几何形状及表面处理影响, 典型衰减长度约 $50 \sim 100$ cm.

我们知道, 在吸收介质中, 光强 I 随传输距离 x 呈指数衰减:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

*近代物理系, 19942431972, yanyutang@mail.ustc.edu.cn

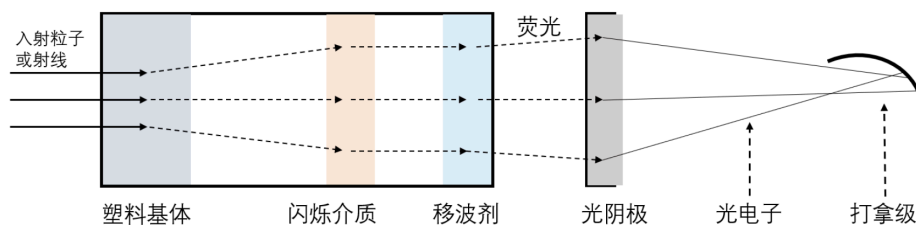


图 1: 塑料闪烁体的荧光过程示意图

取对数得：

$$\ln I = \ln I_0 - \mu x$$

其中 μ 为吸收系数, $1/\mu$ 定义为有效技术衰减长度. 光电倍增管接收光信号后输出电压脉冲 V , 与入射光强 I 成正比:

$$V = V_0 e^{-\mu x}$$

即

$$\ln V = \ln V_0 - \mu x$$

即在半对数坐标下, V 与 x (闪烁体与光阴极之间的距离) 呈线性关系, 斜率的倒数即为衰减长度.

我们的具体测量方法是采用放射源与闪烁体表面保持固定距离, 平行于闪烁体移动源, 改变源与闪烁体一端(近光阴极一端)的距离 x , 对应不同 x 相应的测出积分计数为一定值(本实验减去本底后的纯计数为 2000 个脉冲)的单道分析器的甄别阈值电压 V , 如图2, 以 x 为横坐标, 甄别阈值 V 为纵坐标在半对数坐标纸上即可得到光传输性能曲线, 直线部分斜率的倒数即为有效技术衰减长度.

2 实验装置与步骤

2.1 实验装置

- 单道闪烁能谱仪
- 塑料闪烁体(带探头)
- ^{90}Sr 放射源

2.2 实验步骤

1. 探头检查: 用黑布包裹闪烁体, 接通电源, 预热 12 分钟后开启高压电源; 逐步掀开黑布, 观察本底计数是否增加, 如无异常则光密封性良好, 否则需重新密封.

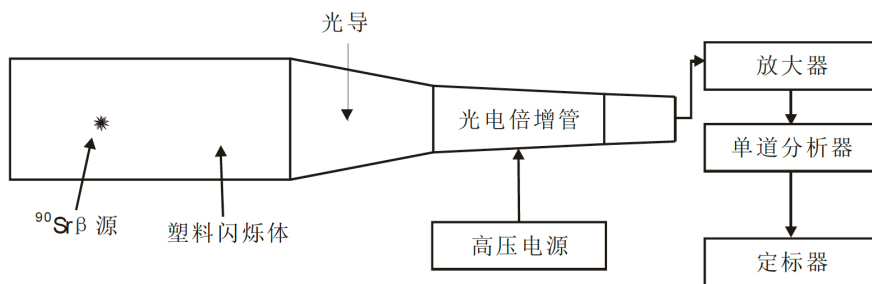
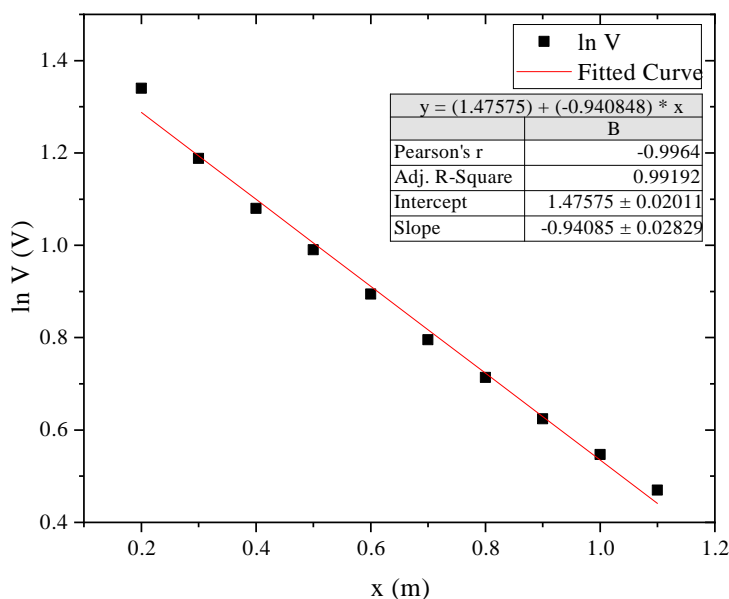


图 2: 实验装置示意图

图 3: $\ln V \sim x$ 拟合曲线

2. 观察光电倍增管的脉冲信号, 测定前沿特性.
3. 衰减长度测定: 选取不同 x , 测量对应的单道分析器甄别阈值 V ; 在半对数坐标纸上绘制 $V - x$ 关系图, 计算斜率倒数, 得出衰减长度.

3 实验结果与讨论

在实验中, 我们逐步改变放射源与光阴极之间的距离, 同时保证单道分析仪的纯计数维持在 2000 ± 40 范围内, 得到此时的阈值电压 V , 重复测量三次放射计数与本底计数, 对测量得到的 V 取对数后与 x 作线性拟合, 结果如图3所示. 根据拟合结果, $\ln V \sim x$ 直线斜率为 $-0.94(3) \text{ V/m}$, 则技术衰减长度为

$$\mu = -\frac{1}{k} = (1.06 \pm 0.03) \text{ m}$$

在一般闪烁体的技术衰减长度范围之内。实验的误差主要来源为单道分析仪的计数存在误差,具体表现为:

- 本实验使用的放射源放射强度较弱,本底相对影响较大;
- 实验中发现,当单道计数仪旁有人经过,或邻近组的放射源存在与否均会影响分析仪读数,因此实际上阈值电压测量存在一定误差.

4 思考题

4.1 改善闪烁体衰减长度方法

1. 选用真空环境:将闪烁体放置在真空环境中可以减少光在介质中的散射和吸收,从而改善衰减长度.
2. 改善介质和实验条件:选择合适的闪烁体材料和介质,以减小光的散和吸收.通过查表,可以给出不同种类闪烁体(如有机闪烁体、塑料闪烁体、气体闪烁体等)适应的工作环境(温度、适度、辐照条件等).适当调节相关参数可以改善衰减长度.
3. 波长位移剂:在闪烁体中加入“波长位移剂”,它可以吸收闪烁光并再发射波长较长的光.这样,发射光谱将更远离吸收光谱,提高闪烁光在闪烁体中的传输效率.

4.2 光导对衰减长度的影响

实验中,通常选取折射率和光阴极窗接近的光导,这样可以使大部分的光可以射到阴极上,避免反射损失.收集到的光子变多,一定程度上可以增大技术衰减长度.

4.3 β 和 α 放射源对测量结果影响

β 粒子相对穿透性更强,在闪烁体中沉积能量损失小,因此在闪烁体中的电离和激发相对较少.这可能导致较短的技术衰减长度;而 α 粒子穿透性很弱,电离能力强,在闪烁体中的能量沉积大,会引起更多的电离和激发,从而产生更多的闪烁光,导致较长的技术衰减长度.当然以上讨论还需要考虑闪烁体类型.如果换用不同类型的闪烁体,在测量结果上的差异在定量上可能有大小之别,但定性上的结论大体相同.

4.4 比较输出电压脉冲前沿大小

G-M 计数管产生的电压脉冲幅度与正离子鞘的总电荷成正比,其测量灵敏度很高,输出电压的前沿脉冲也较大;而 NaI(Tl) 闪烁计数器相对低一些,但灵敏度也较

高, 输出脉冲相对也大些; 塑料闪烁体计数器输出电压脉冲前沿最小, 能量分辨率也很差.

参考文献

- [1] 中国科学技术大学物理实验教学中心. 闪烁体荧光衰减长度测量实验讲义. url: <http://pems.ustc.edu.cn/>