

噪声和闪烁光衰减长度测量

宇宙线粒子探测与物理实验

王亚朋 朱宇涛

2024 年 10 月 10 日

1 实验目标

2 实验过程

3 结果分析

4 参考文献

实验目标

在本次实验中我们希望 [1]:

- ① 了解宇宙线的成因与特点;
- ② 掌握探测原理与探测器的使用方法;
- ③ 熟悉数据获取与处理的基本方式;
- ④ 观察噪声特征, 测量闪烁光衰减长度。

实验过程

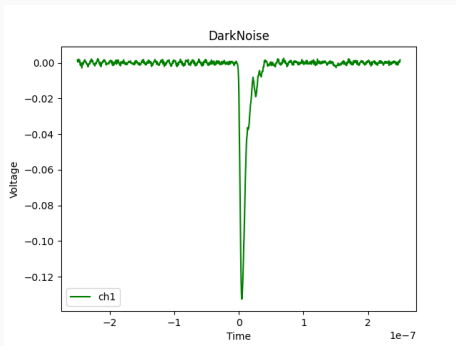


图 1: 暗噪声，根据一组测量数据作图。

通过示波器的频率显示，测量并取平均，得到暗噪声计数率 $n_d \approx 16.02 \text{ s}^{-1}$.



图 2: 电子学噪声。



图 3: μ 子信号。

测量得到信号计数率 $n_s \approx 9.98 \text{ s}^{-1}$.

我们知道，光在闪烁体中传播时按指数衰减：

$$q = Q_0 e^{-\frac{L}{L_0}}, \quad (1)$$

其中 Q_0 为初始光子数， q 为传播距离 L 后的光子数， L_0 是闪烁体的光衰减长度。

为测量 L_0 ，我们对闪烁体两端的光信号作符合测量，分别得到两端信号的触发时间和幅度，进而确定信号的时间差和电荷量之比。

由上推导得到：

$$\ln \frac{q_1}{q_2} = -\frac{c}{nL_0}(t_1 - t_2 + \Delta\text{TOF}), \quad (2)$$

其中 $n = 1.583$. 进而可通过线性拟合实现衰减长度的测量。

闪烁光衰减后信号符合波形

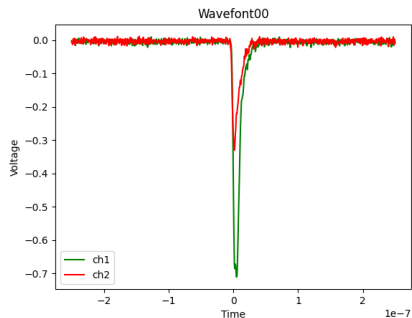


图 4: Wavefont00.

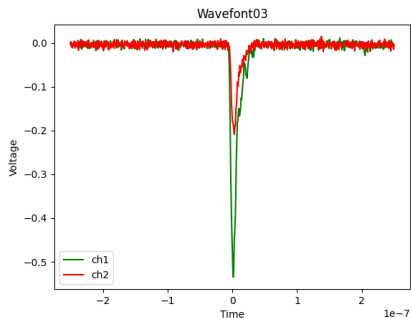


图 5: Wavefont03.

结果分析

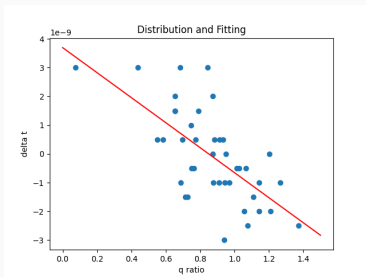


图 6: 电荷比值的自然对数与时间差的分布，以及线性拟合结果。

根据拟合结果可计算得

$$L_0 \approx 0.83 \text{ m.} \quad (3)$$

线性拟合相关系数 $R^2 \approx 0.442$, 相对统计不确定度为 0.180.

系统不确定度

考虑系统不确定度，主要分为荧光光子衰减，光电子倍增，示波器的时间分辨与电压分辨率几部分：

忽略光电子倍增与电荷分辨的不确定度，光子衰减的相对不确定度为

$$\sigma_{\text{photon}} = \sqrt{\frac{2p_1(1-p_1)}{N} + \frac{2p_2(1-p_2)}{N}}, \quad (4)$$

其中 p_1, p_2 分别为两端的光子幸存率， N 为事例产生的总光子数。

假设总光子数 100, 估计相对不确定度为 0.100。

示波器的时间分辨率为 $\Delta t = 0.5\text{ns}$, 将时间分布视为均匀分布，时间差的不确定度为 $\frac{\Delta t}{\sqrt{6}}$ 。

对应的相对不确定度为 $\sigma_t = \frac{\Delta t c}{\sqrt{6} n L_0} = 0.047$ 。

最终得到衰减长度为 $0.83 \pm 0.09_{\text{sysm}} \pm 0.15_{\text{stat}}$ 。

参考文献

[1] 高能宇宙线粒子探测实验.

<https://hep.tsinghua.edu.cn/training/cosmicRay/>.