

第五次科创作业

1. 什么是“符合”测试，为什么要进行符合测试，为什么时间分辨率的测量要用符合信号来测量？

(1) 符合测试是在核物理和粒子物理实验中，对同一测量系统中多个探测器输出信号进行时间关联分析的电子学测量方法。在高能物理实验中，符合测试的操作是将来自不同探测器的脉冲信号送入符合电路，通过逻辑判断确定两个或多个脉冲是否在设定的分辨时间 τ 内同时到达，类似于时间关系的逻辑“与”。若满足条件，表明事件来源于同一个物理过程，有内在因果关系，称之为“真符合”，之后符合电路输出一个符合脉冲，系统记录一次符合计数。不满足条件，则表明事件来源于不同、独立的事件，但恰好发生在分辨时间 τ 内的虚假信号，称之为“偶然符合”，不输出脉冲不记录。

例如汇报 ppt 中第十页的 β 望远镜测试，就是将待测 LGAD 样品与一个已知参考 LGAD 探测器上下堆叠放置。 ^{90}Sr 发出高能带电粒子依次穿过参考探测器和样品，各输出脉冲送入符合电路和示波器做测试。

另外符合信号是由符合电路输出的逻辑脉冲，当事件满足条件为真符合时，符合电路就会输出一次符合信号，否则不输出。

时间分辨率定义为一个探测器或测量系统，能够区分两个在时间上极其接近的信号或粒子事件的最小时间间隔，与空间分辨率一同被列为探测器的核心性能指标。该指标通常通过统计测量结果来量化，对同一组测量数据的时间差进行统计直方图拟合，其标准差 σ 即代表该系统的时间分辨率。

(2) 可以利用关联时间的时间相关性，将有内在因果关系的信号筛选出来，同时排除无时间关联的偶然符合和背景噪声，提高信噪比；可以排除直接测量中的复杂未知参数，通过参考探测器的已知时间分辨率，进行间接测量，实现绝对活度测量；通过对时间差的测量，可以研究同一粒子在前后两个探测器中产生信号的时间关联，研究其在待测样品中的物理过程；在测量探测器性能参数时，符合测试可以很好地给出结果，如对时间分辨率的测量时，采用符合测量就可实现对影响效应的修正和提取真实的物理信号。

(3) 根据汇报 ppt 中第十页中的 DUT 时间分辨率的分解公式：

$$\sigma_{\text{DUT}}^2 = \sigma_{\text{timewalk}}^2 + \sigma_{\text{TDC}}^2 + \sigma_{\text{Jitter}}^2 + \sigma_{\text{Landau}}^2 + \sigma_{\text{Distortion}}^2$$

上式中的多项误差需要使用符合信号才能有效给出。

- ① Time walk 效应产生的 σ_{timewalk} 来源于信号幅度不同导致定时甄别器在过阈时刻发生偏移，而符合信号提供了参考时间，对 Δt 与脉冲幅度的相关性进行矫正。
- ② 时间数字转换器 TDC 测量的是两个探测器信号之间的时间差，而不是单个信号的绝对时间，其最小时间 bin 的宽度 Δt_{bin} 会引起量化误差，表示为 $\sigma_{\text{TDC}} = \Delta t_{\text{bin}}/\sqrt{12}$ 。用符合信号测量中，TDC 会直接输出 Δt 的数字化值，其分布展宽包含 σ_{TDC} ，可确定此值。
- ③ 由于 Jitter 效应，相关的信噪比和上升沿时间产生 σ_{Jitter} ，使用符合信号测量时结合已知抖动的参考探测器，这个值可以线性地表出。
- ④ 带电粒子在薄硅传感器中能量沉积的统计服从朗道分布，导致信号电荷量差异，产生 σ_{Landau} 。而单路的 DUT 信号无法鉴别朗道效应，通过符合信号的测量，由参考探测器提供同一个粒子的能量沉积，可以对 DUT 中的朗道效应进行近似。
- ⑤ 由于信号在传输途中被干扰导致时间误差，产生 $\sigma_{\text{Distortion}}$ ，而符合信号测试时，参考探测器和 DUT 共用同一类型的电子器件，可通过对参考探测器通路的改变，分离出 DUT 通路中的误差。

2. 由于朗道效应，真实的粒子在器件中的能量沉积不均匀，对于同一个粒子在两层上下排列的两层探测器产生的信号，在进行符合信号来统计时间分辨率时，应该怎么样消除能量沉积不均匀的因素。(1) 了解什么是朗道效应 (2) 怎么消除信号幅度不一致带来的误差

(1) 朗道效应是高能带电粒子在薄层物质中能量损失的能量沉积，概率分布偏离高斯分布、呈现朗道分布的物理现象。其物理本质在于：

- ① 对于厚吸收体，带电粒子能量损失经历大量独立碰撞，中心极限定理适用，能量沉积近似为高斯分布。
- ② 对于薄吸收体，粒子穿过时发生的电离碰撞次数很少，绝大多数碰撞传递的能量很小，但其中极少数单次碰撞传递的能量远大于平均值，导致能量沉积分布出现长的高能拖尾，峰位偏左，不对称，表现为朗道分布。

(2) 在上层参考探测器，下层 DUT 的 β 望远镜符合测量中，同一粒子依次穿过两层，两层信号均存在朗道效应引起的幅度变化。消除幅度不一致误差的核心方法是逐事件测量信号幅度并进行时间-幅度校正。

- ① 采用恒比定时的硬件级消除。恒比定时不依赖于信号过固定阈值的时刻，而是在信号前沿找到与幅度成固定比例的点。这相当于给每个信号自动对齐到相对相同的上升沿位置。对于形状相似的脉冲，该点的时间位置基本与幅度无关。将参考探测器和 DUT 的定时信号均用恒比定时电路提取，再送入 TDC 测量时间差。

- ② 进行离线幅度时间校正的软件级校正。在数据采集后通过离线分析扣除幅度影响，通过记录的信号幅度和时间差 Δt 绘制散点图，拟合函数，进行逐事件校正，统计校正后的分辨率并计算得出想要的 DUT 分辨率。
- ③ 进行能量窗筛选以分析高纯度的事件。设定一个较窄的能量区间，剔除朗道分布的低能拖尾和极高能 δ 射线事件。该方法以牺牲统计效率，换来高纯度的事件样本，从而近似消除时间游走。
- ④ 改用无朗道效应的测试手段。如采用激光 TCT 测试，使能量稳定可控，消除朗道涨落，直接测量时间分辨率。

3. 安装 claude code, 建议使用 deepseekapi, 可以充值五块钱, 写一个小游戏程序玩一下

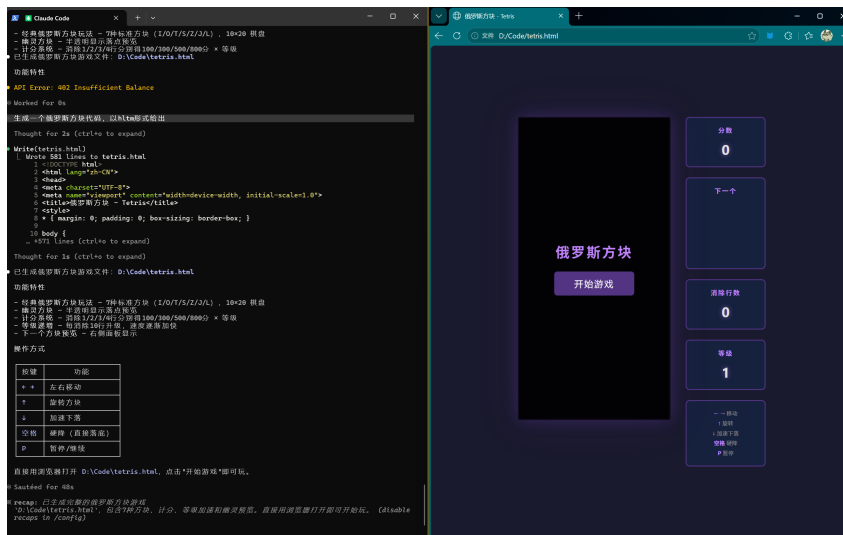


图 1: 相关截图