

## 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) 符合测试就是检测两个（或几个）信号是否几乎同时到达的一种方法。

用一个时间窗口来判断：如果信号之间的时间差很短（比如几纳秒），就认为它们是“符合”的，输出一个“符合信号”；如果时间差太大，就不输出。

(2) 符合测试的主要目的是从大量杂乱的噪声信号中，挑出真正有关联的有效信号。

① 符合测试可以降低干扰：单个探测器经常自己乱响（环境噪声、热噪声等）。只有两个探测器几乎同时响应，才是真正需要的事件。

② 符合测试能提高信噪比：符合测试可以滤掉绝大部分随机的假信号，让测量结果更干净、更可靠。

③ 符合测试可以判断事件是否真实：例如在医学 PET（正电子发射断层扫描）中，两个  $\gamma$  光子必须同时被两侧探测器收到，才说明体内发生了一次湮灭事件。

(3) 时间分辨率指的是一个系统能分辨两个信号时间差异的最小能力。要测这个分辨率，必须有一个已知的“时间零点”作为参考。符合信号正好提供了这个参考：因为符合测试要求两个信号本该同时到达。如果我们把其中一个信号作为参考，另一个经过待测系统，那么测量这两个信号

的“到达时间差”，其波动就直接反映了系统的时间分辨率。如果只用单个信号：你无法知道它应该什么时间到达，也就没法测量系统的测量误差。

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

朗道效应是指：一个带电粒子穿过薄探测器时，每次损失的能量不是固定的，而是随机涨落的。有时损失能量多，探测器输出的信号幅度就大。有时损失能量少，信号幅度就小。这种涨落遵循朗道分布（不对称、有长尾巴）

对于两层上下排列的探测器，同一个粒子在两层里沉积的能量可能不同，导致两个探测器的输出信号幅度不一致。

### (2) 怎么消除信号幅度不一致带来的误差

当我们用信号超过某个固定电压阈值就计时的方法时，幅度大的信号早过阈值，幅度小的信号晚过阈值。这样，即使粒子真正同时打到两个探测器，两个信号到达计时器的时间也会不一样（一个早一个晚），造成时间游动，使测量的时间分辨率变差。

① 恒比定时（CFD）：不固定阈值，而是检测信号上升到其最大幅

度的某个固定比例（如 50%）的时刻。信号大、上升斜率大，但比例点时刻一致。这样能够几乎完全消除幅度影响，得到与幅度无关的定时信号。

- ② 幅度-时间校正：同时记录信号的到达时间和幅度，然后利用事先测好的“幅度-时间延迟关系”进行软件修正。可以事后补偿，但需要标定曲线。

在探测器信号进入符合电路之前，先经过恒比定时电路，输出恒比定时信号再去做符合。这样就能消除朗道效应导致的幅度不一致，测出的时间分辨率才是真实值。

**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**