

符合测试与时间分辨率测量

1. 什么是"符合"测试?

"符合"测试是一种时间关联判选技术，用于判断两个或多个探测器信号是否来源于同一个物理事件。其核心是对信号到达时间的精确比对。

设两个探测器分别输出信号的时间为 t_1 和 t_2 ，系统设定一个时间窗宽度 Δt 。当满足条件：

$$|t_1 - t_2| \leq \frac{\Delta t}{2}$$

时，系统判定为一次符合事件。

2. 为什么要进行符合测试?

符合测试主要用来抑制随机本底噪声。两个独立探测器随机计数率分别为 R_1 、 R_2 ，在时间窗 Δt 内虚假符合概率为：

$$P_{\text{random}} = R_1 \cdot R_2 \cdot \Delta t$$

例如 $R_1 = R_2 = 100 \text{ Hz}$ ， $\Delta t = 1 \text{ ns}$ ，则 $P_{\text{random}} = 10^{-5} \text{ Hz}$ ，本底被压低 10^5 倍。

3. 为什么时间分辨率测量要用符合信号?

单探测器触发时刻受幅度-时间游动影响，近似有：

$$t_{\text{trig}} \propto \tau \ln\left(\frac{A}{A - V_{\text{th}}}\right)$$

单探测器时间涨落： $\sigma_{\text{single}}^2 = \sigma_{\text{phys}}^2 + \sigma_{\text{elec}}^2$ ，无法分离。

符合测量记录时间差：

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (t_0 + \delta_2) - (t_0 + \delta_1) = \delta_2 - \delta_1$$

若 δ_1, δ_2 独立且同分布 σ ，则：

$$\sigma_{\Delta t} = \sqrt{2} \sigma, \quad \sigma = \frac{\sigma_{\Delta t}}{\sqrt{2}}$$

时间差分布用高斯拟合：

$$f(\Delta t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\Delta t}} \exp \left[-\frac{(\Delta t - \mu)^2}{2\sigma_{\Delta t}^2} \right]$$

半高宽：FWHM = $2\sqrt{2\ln 2} \sigma \approx 2.355 \sigma$

朗道效应与信号幅度不一致误差的消除

1. 什么是朗道效应？

带电粒子在薄吸收层中经历有限次碰撞，单次能量转移服从 $d\sigma/dQ \propto 1/Q^2$ ，总能量损失 ΔE 服从朗道分布：

$$f(\lambda) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} e^{s\lambda + s \ln s} ds$$

其中 $\lambda = \frac{\Delta E - \overline{\Delta E}}{\xi} - \beta^2 - \ln \xi - 1 + C$ ， $\xi = \frac{2\pi N_A e^4 z^2 \rho Z}{m_e c^2 \beta^2 A} l$ ，最可几损失满足：

$$\Delta E_{\text{mp}} \approx \overline{\Delta E} - \xi(\ln \xi + 1 - C)$$

2. 消除幅度不一致误差的方法

CFD（恒定分数甄别法）

双极性信号：

$$V_{\text{CFD}}(t) = pV(t) - V(t - t_d)$$

过零点对应脉冲幅度 pV_{max} 处，与幅度大小无关，消除幅度-时间游动。

过零定时法

$$V'(t) = \frac{dV(t)}{dt}$$

过零点对应原脉冲最大斜率处，与幅度无关。

数字波形采样

线性插值:

$$t_{\text{trig}} = t_1 + \frac{V_{\text{th}} - V_1}{V_2 - V_1} (t_2 - t_1)$$

采样率极限: $\sigma_t \approx \frac{1}{\sqrt{12} f_s}$, 如 $f_s = 1 \text{ GS/s}$ 时约 0.29 ns 。

双参数修正法

$$\Delta t(E) = a + b \cdot E^{-c}, \quad t_{\text{corr}} = t_{\text{meas}} - \Delta t(E)$$