

时间分辨的仿真

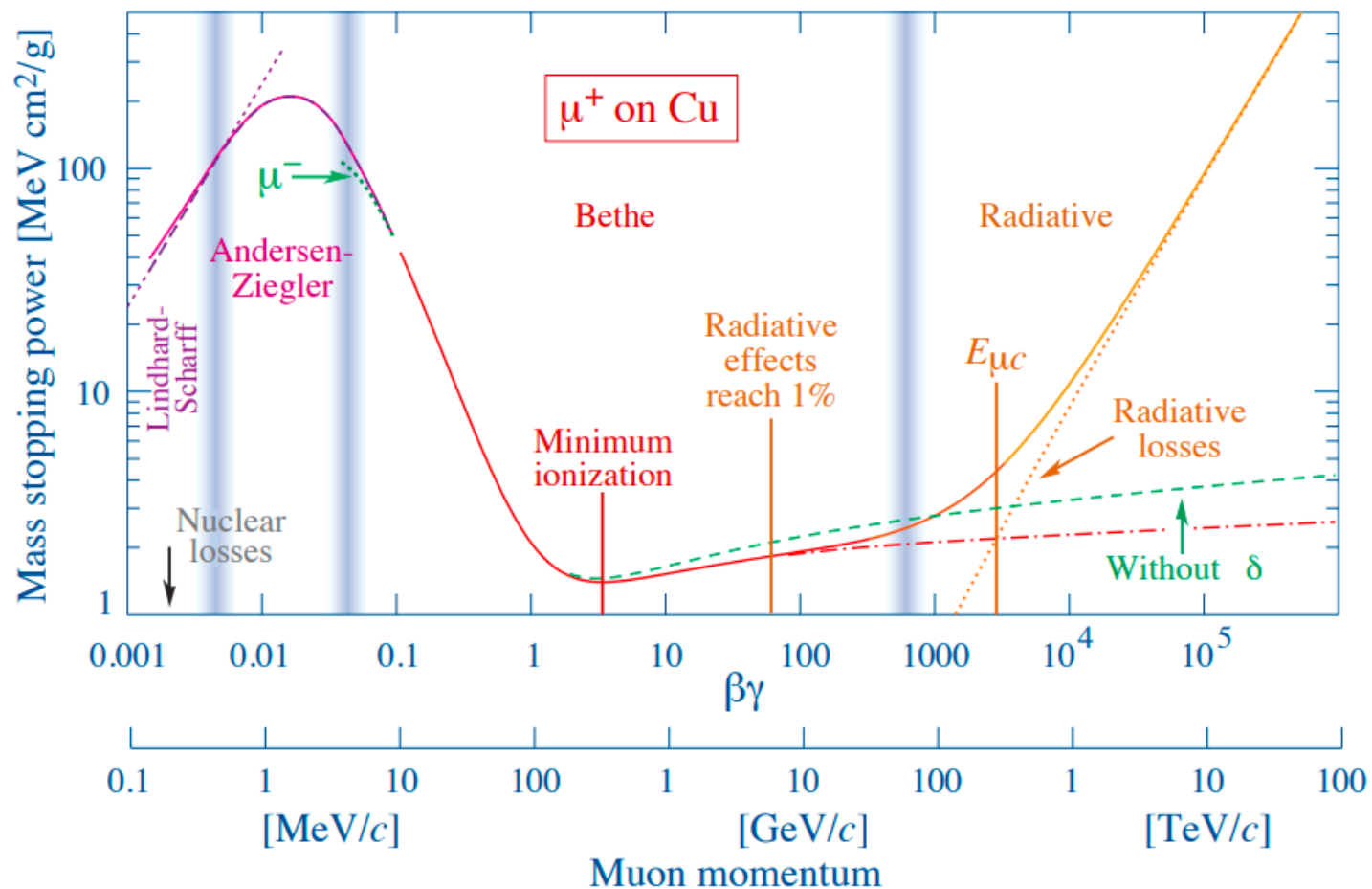
汇报人：王科琪

2024.07.12

最小电离粒子

高能物理中要测的粒子——最小电离粒子 (Minimum Ionizing Particle, MIP)

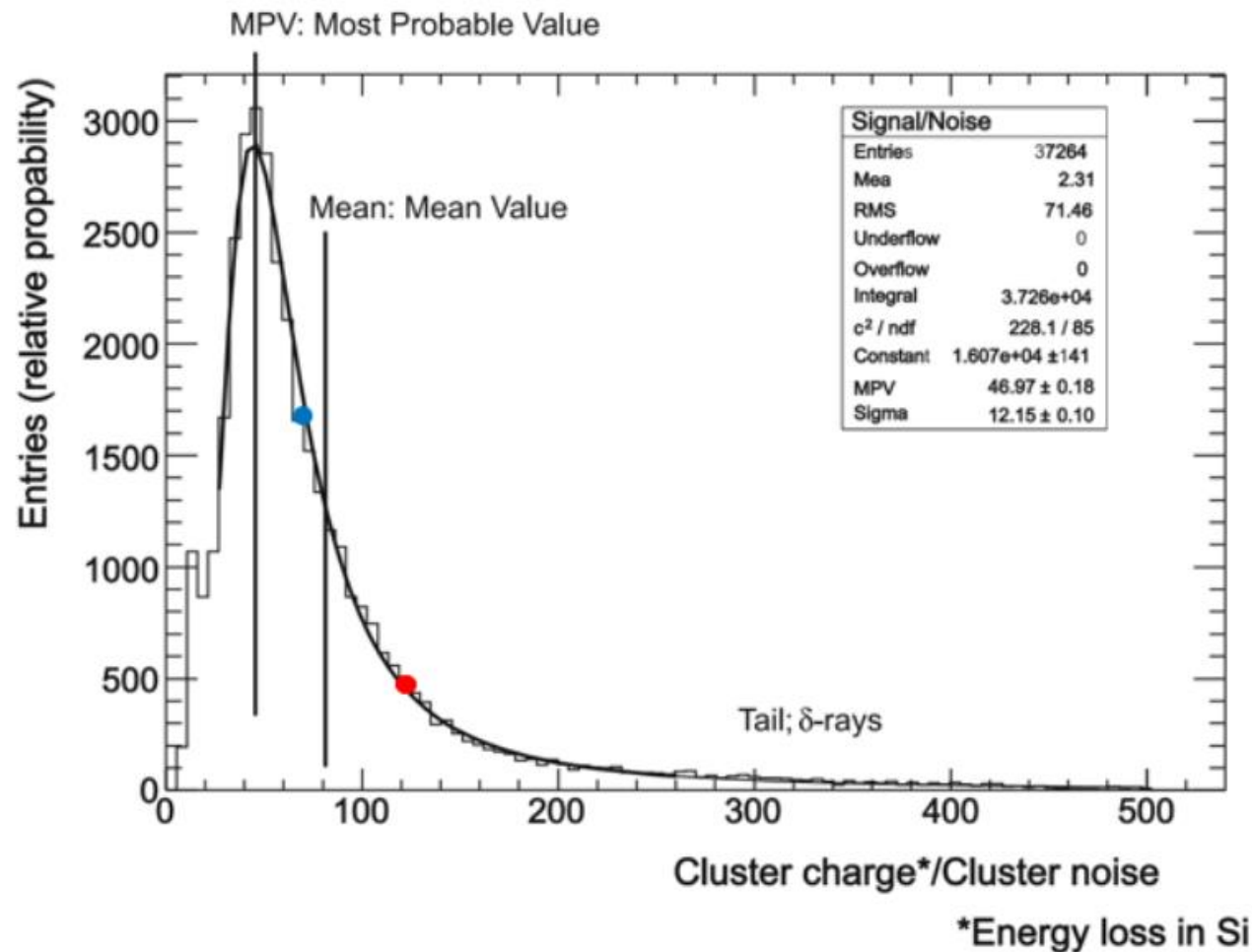
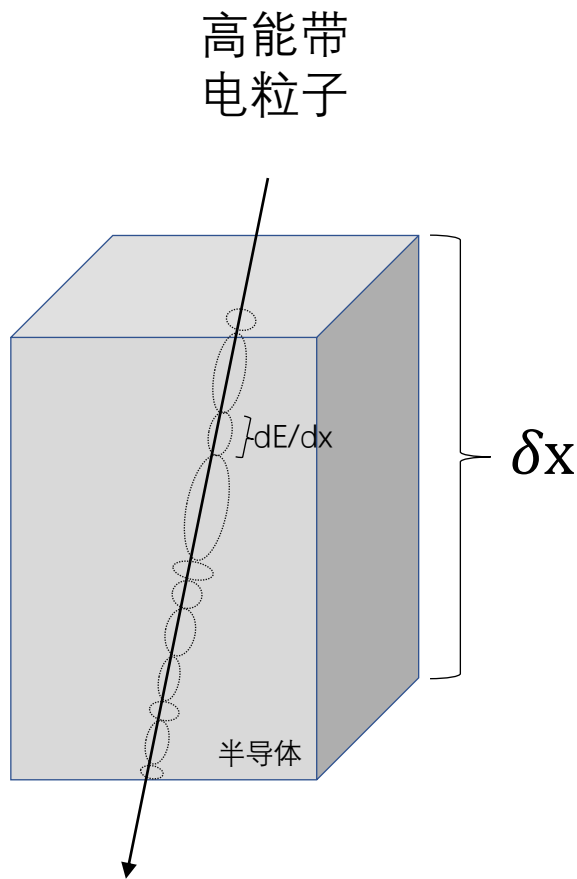
- 最小电离粒子(Minimum Ionizing Particle)具有最小的平均电离能, 即 $\langle dE/dx \rangle$ 最小;
- 最小电离粒子的动量 $\sim 300\text{MeV}/c$, 高能对撞机实验中绝大多数的带电粒子都可以认为是最小电离粒子。



不同动量的 μ^+ 在铜中的电离能损变化

最小电离粒子在介质中的能损有统计涨落

- 最小电离粒子在有限厚度 δx 的介质中的总电离能损 $\langle dE/dx \rangle \cdot \delta x$ 具有统计涨落
- 介质很薄时，电离能损的统计分布很宽且不对称，为朗道(Landau)分布



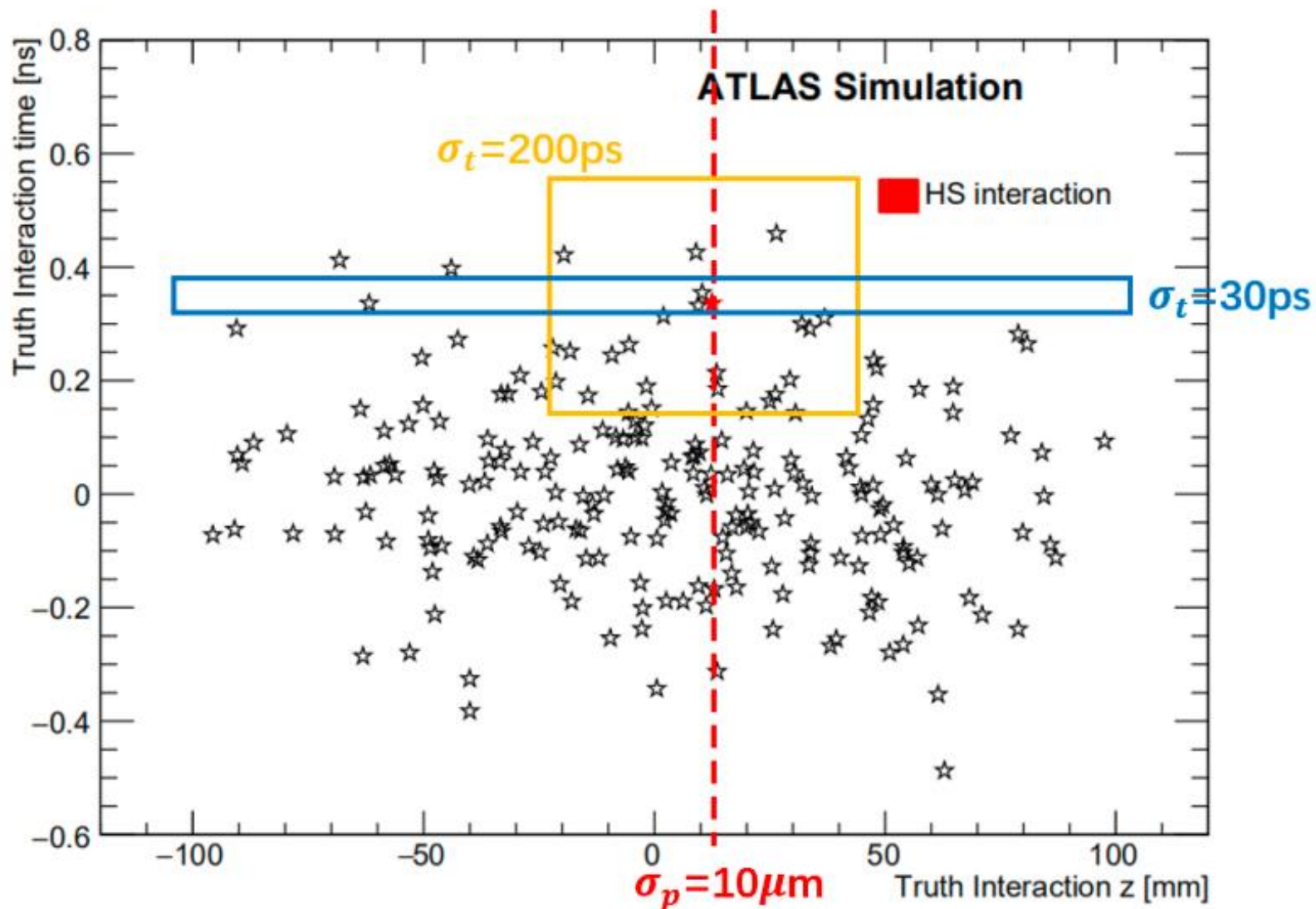
时间分辨

什么是时间分辨？

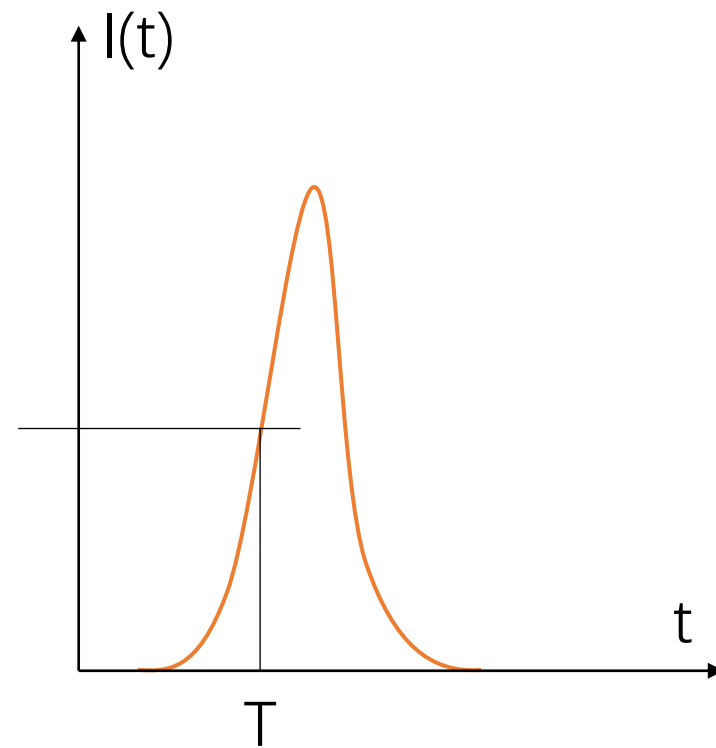
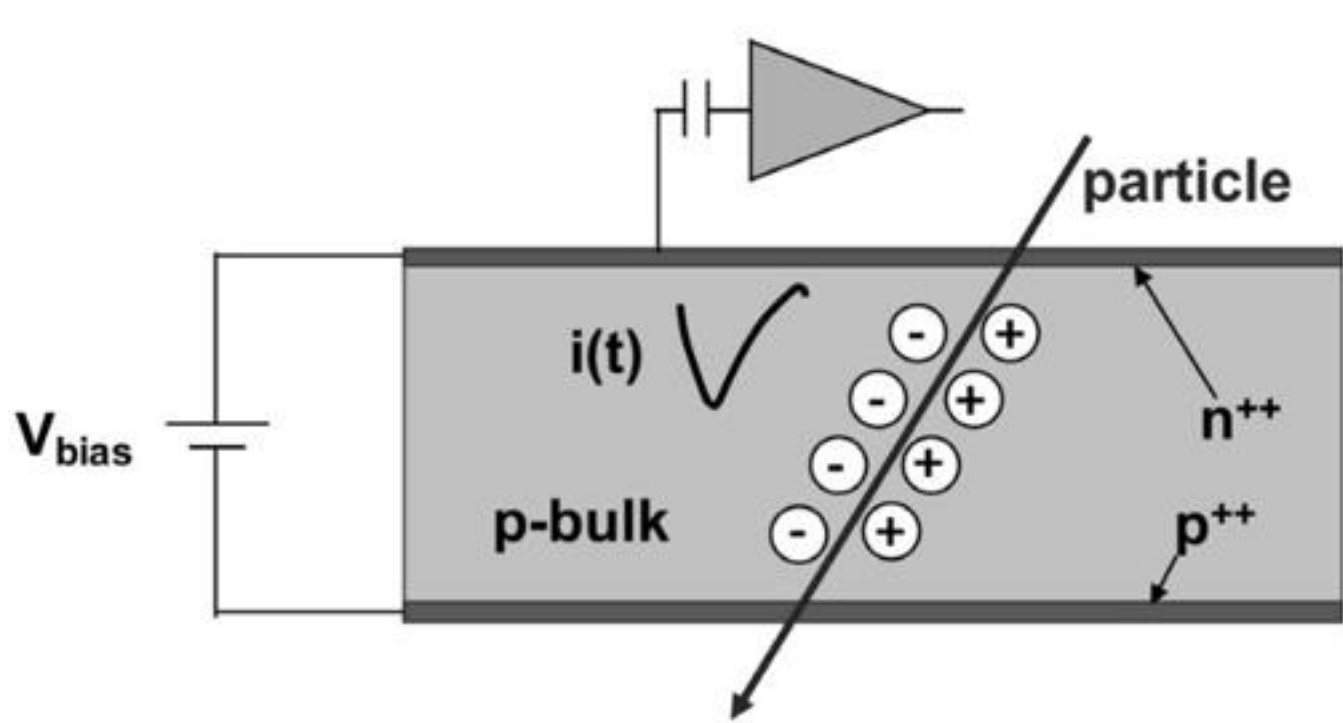
它表示一个系统或仪器能够在多快的时间尺度上捕捉到或检测到变化

为什么要测时间分辨？

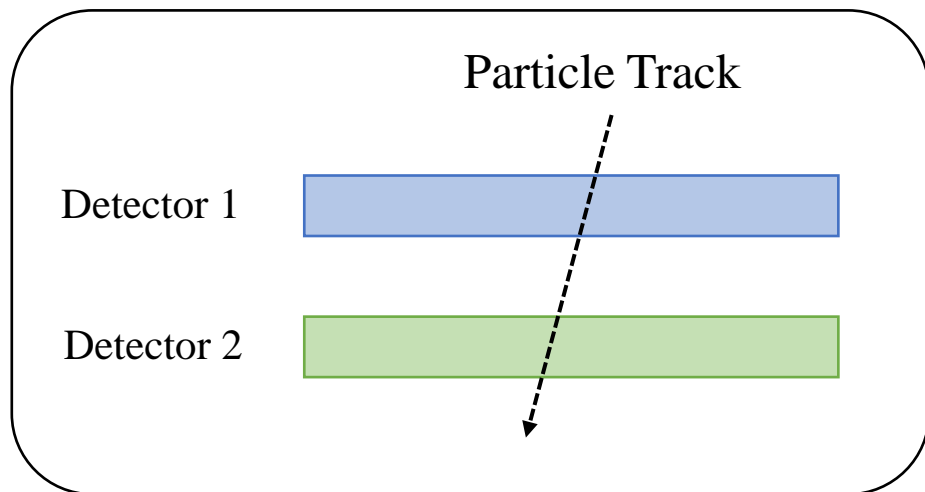
时间维度信息用于区分在空间维度无法区分的对撞事例，避免的事例堆积的影响。



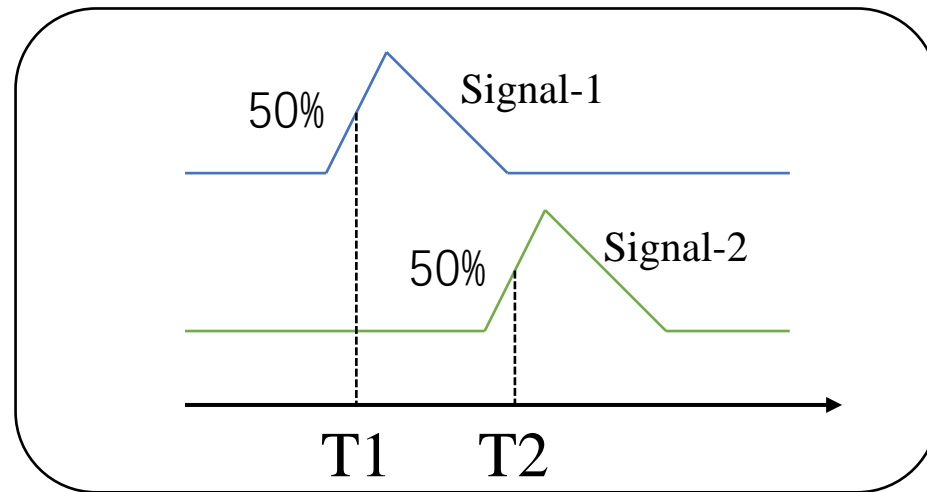
如何得到时间信息



如何确定带电粒子击中探测器的时间



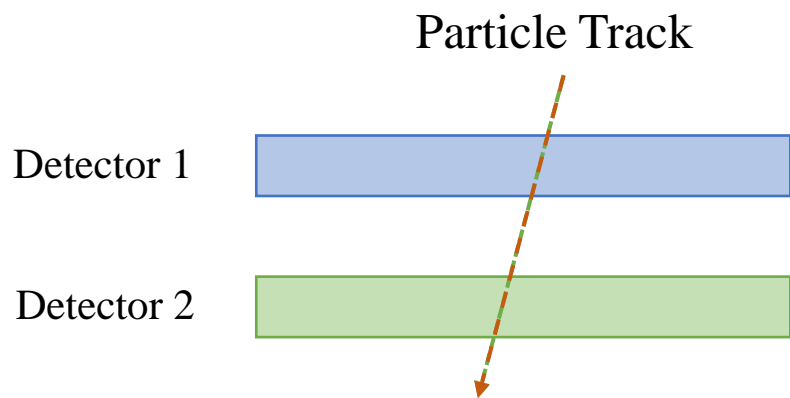
Electronics



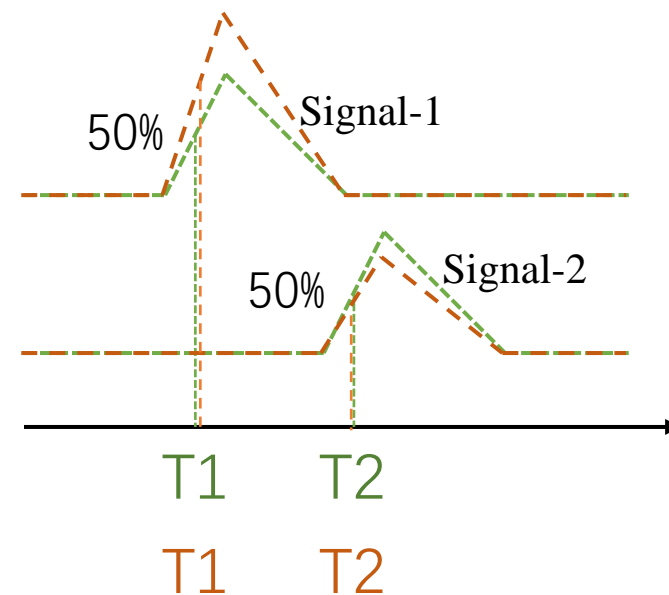
- 参考的自然时间: T_1
- 测量的自然时间: T_2
- 测量得到的相对时间: $T_2 - T_1$

思考：两次相同状态的带电粒子穿过探测器探测得到的 $T_2 - T_1$ 会变化吗？

多次测量得到的时间信息



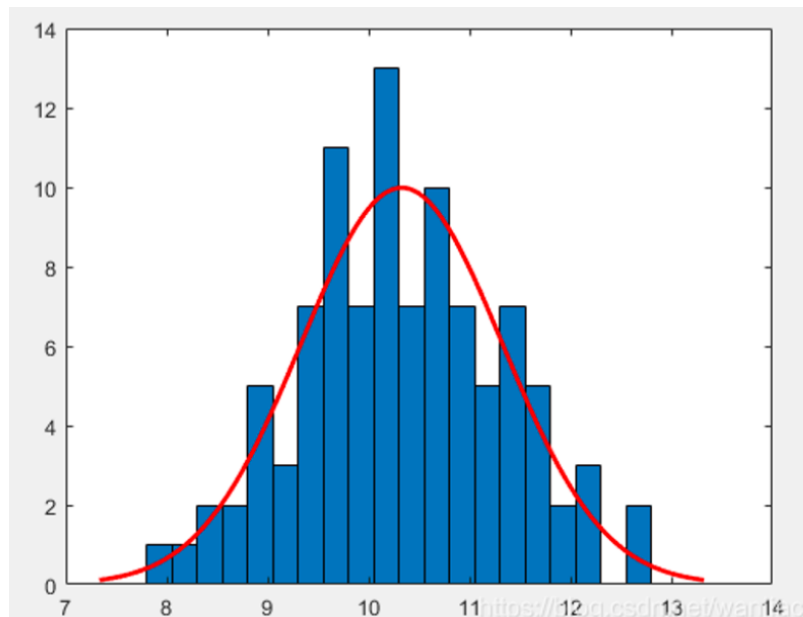
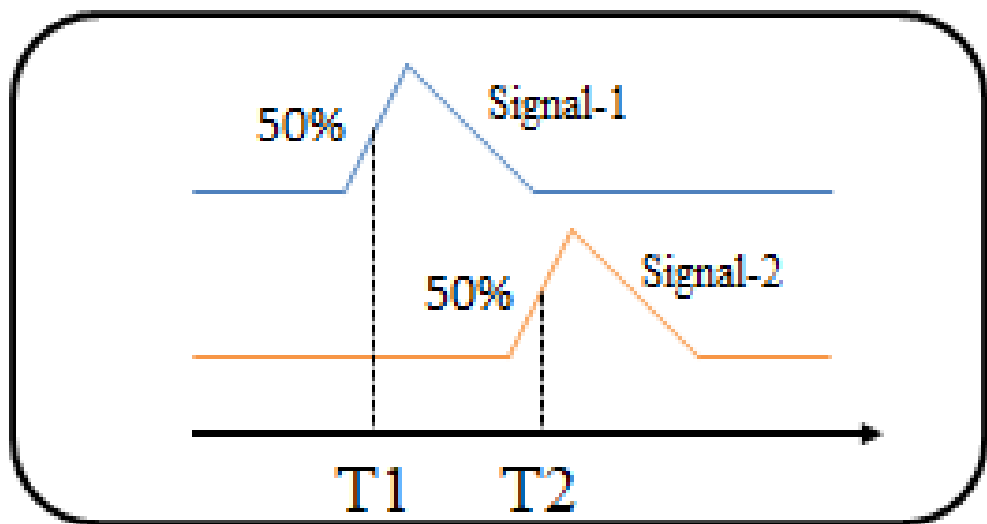
Electronics



$$T2-T1 \neq T2-T1$$

时间分辨

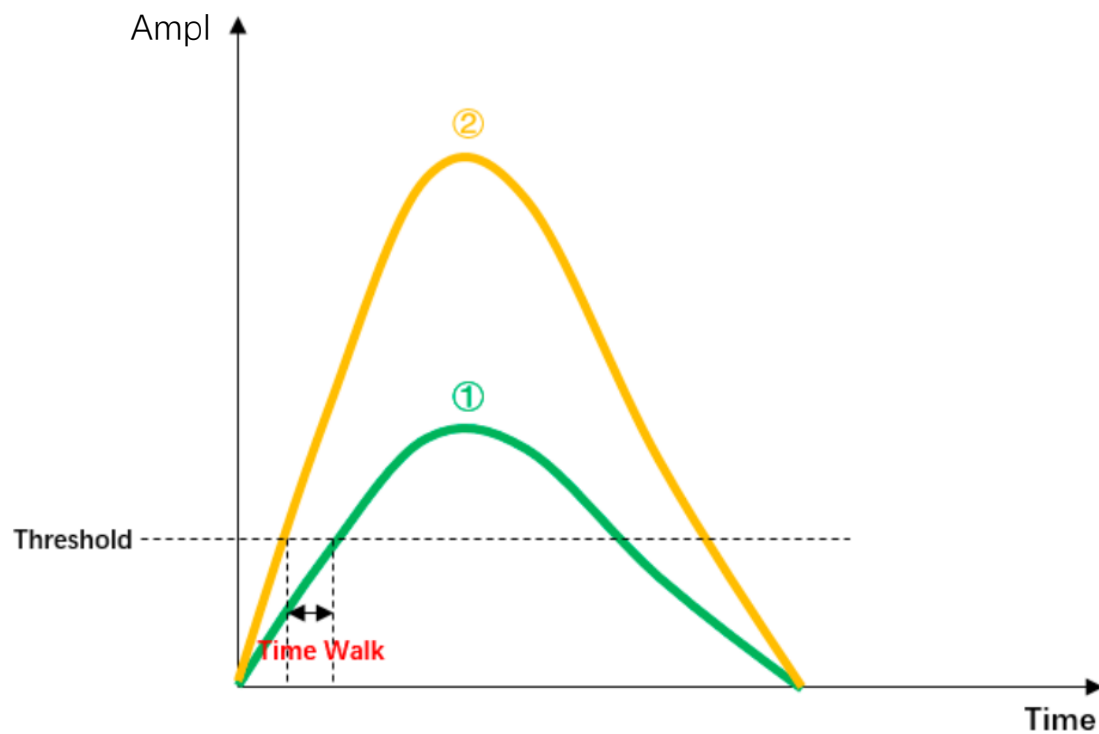
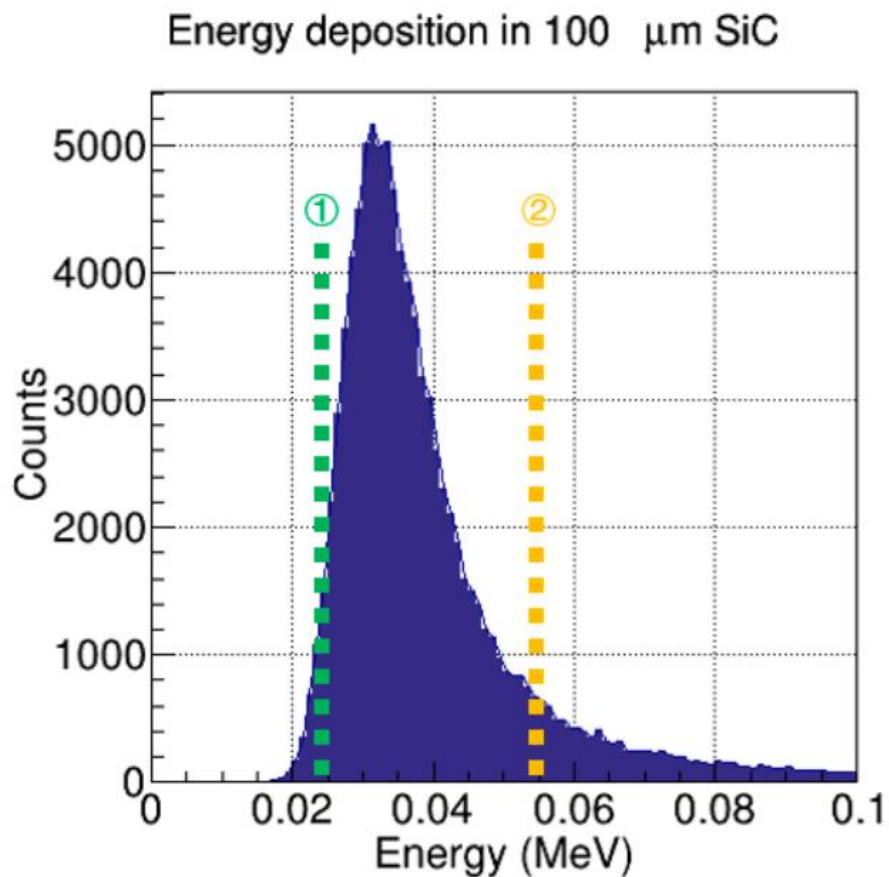
- 即测量时间的不确定性;
- 测量很多次相同粒子的入射行为得到的 T_2-T_1 并未完全一样, 其统计分布近似为高斯分布;



造成这种不确定性的原因是什么?

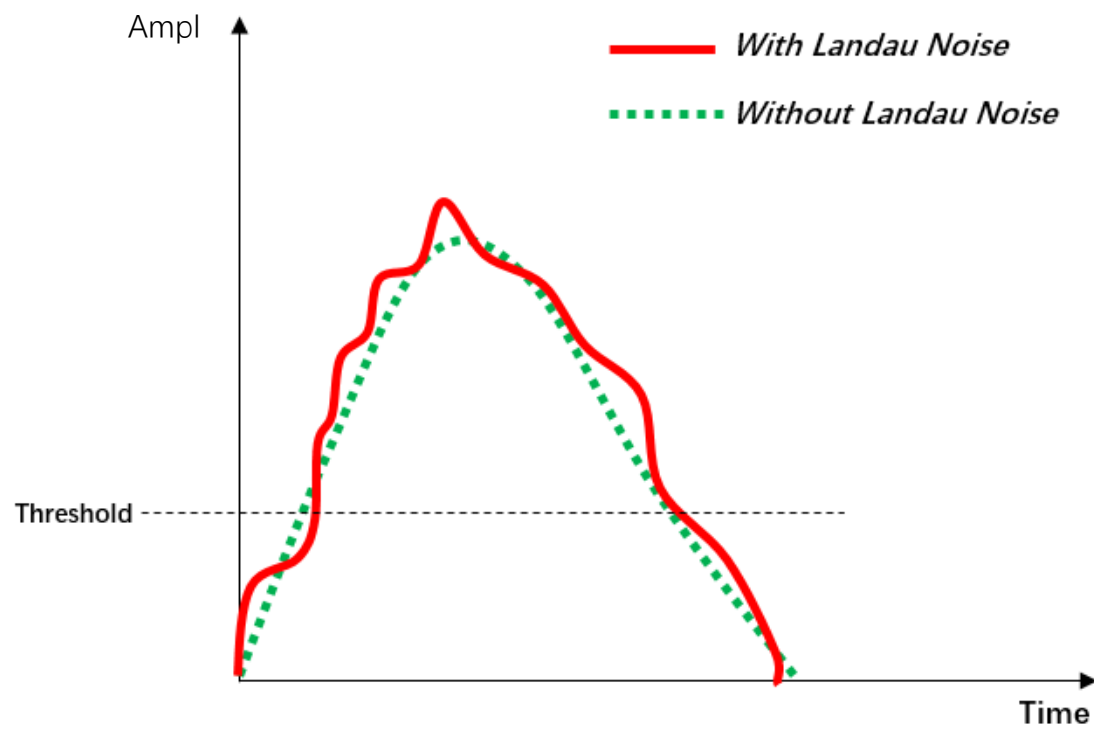
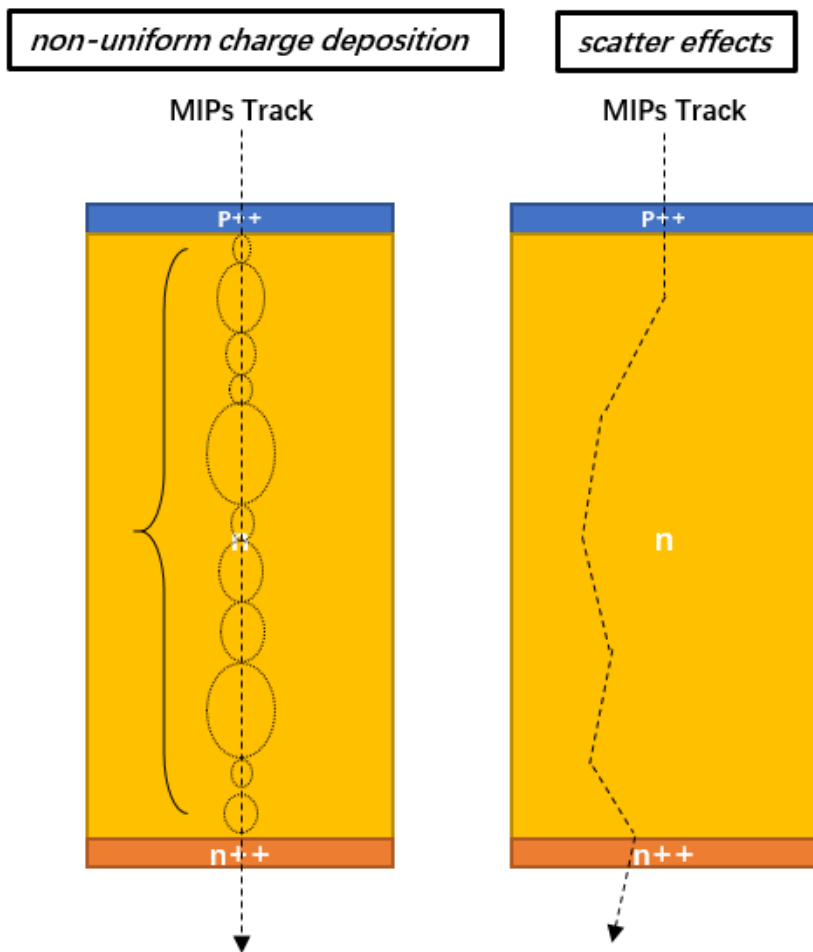
时间信息误差的来源

- ✓ 原因一：MIPs粒子穿过探测器时电离产生的信号大小是变化的，即总电离能损有统计涨落。



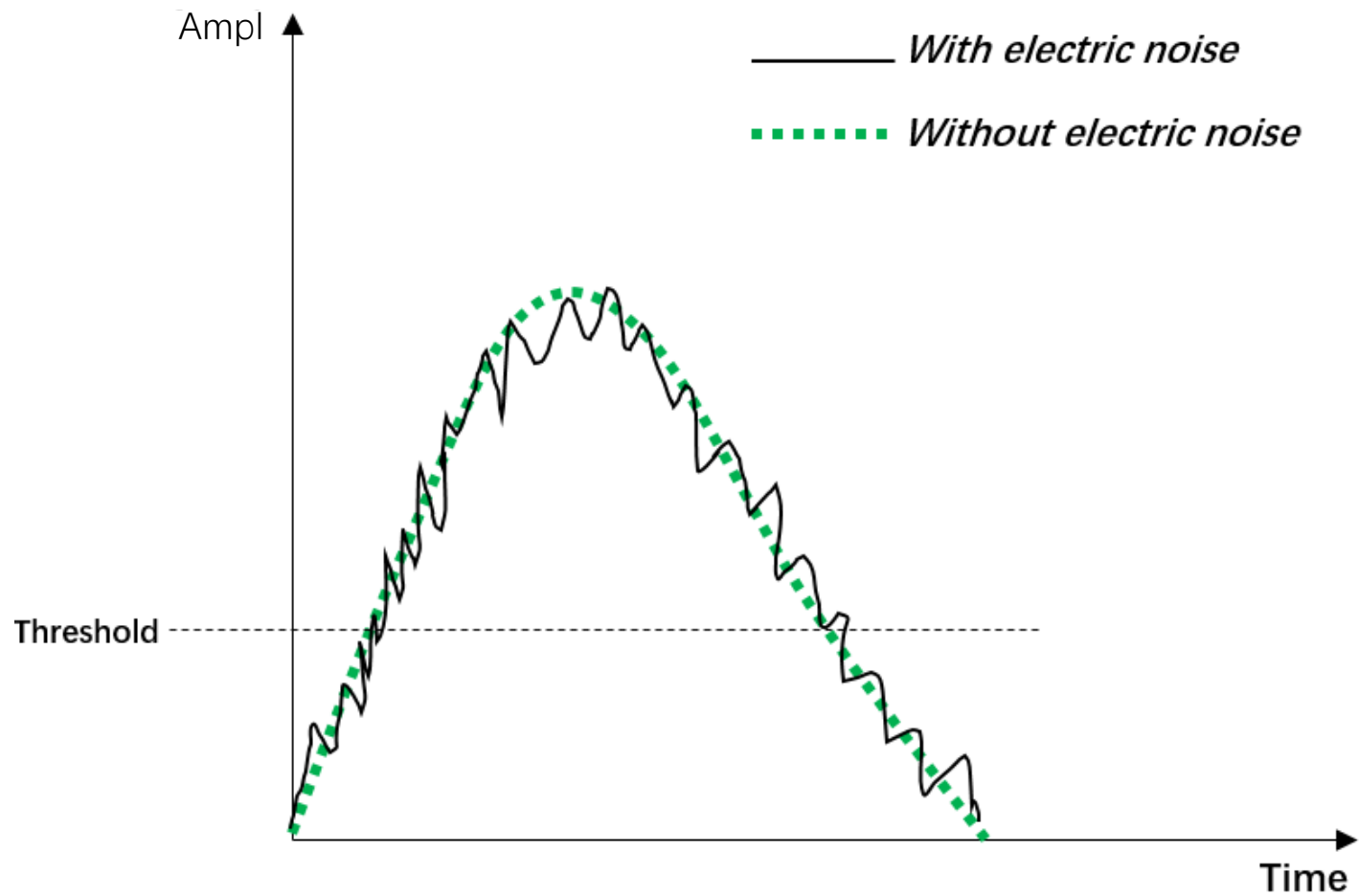
信息误差的来源

- ✓ 原因二：粒子穿过探测器时电离的不均匀和散射导致信号波动



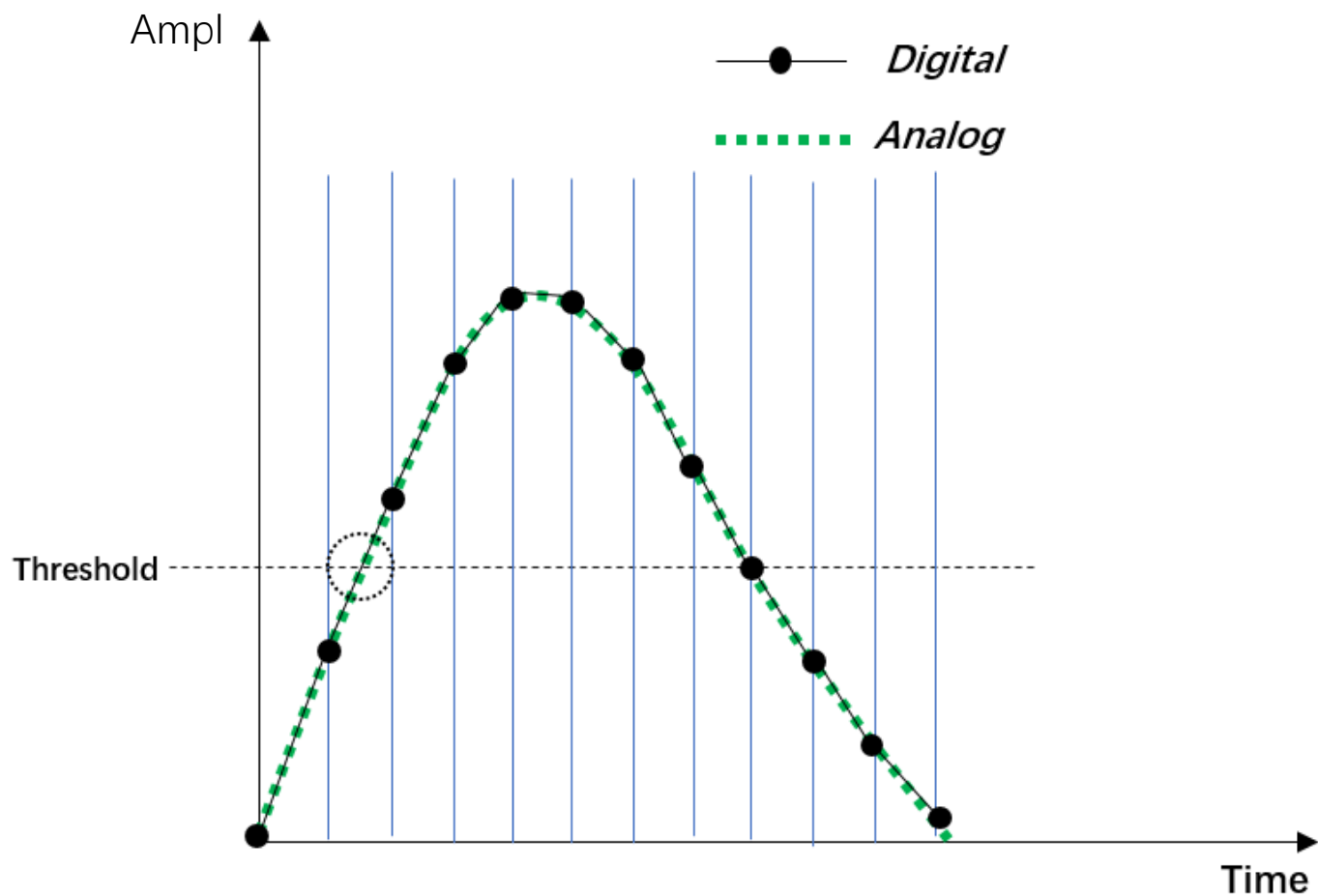
信息误差的来源

- ✓ 原因三：来自噪声的贡献



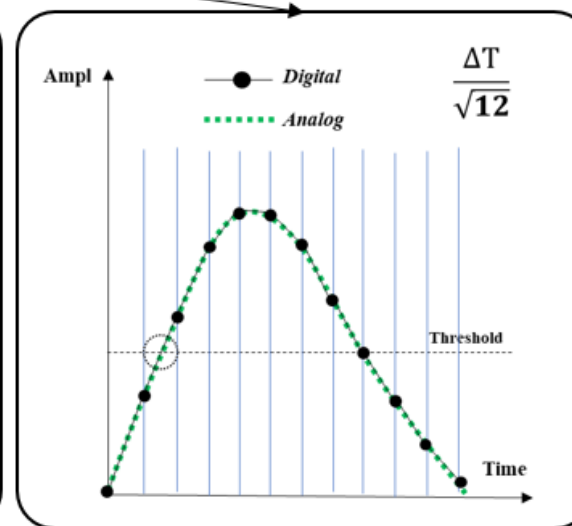
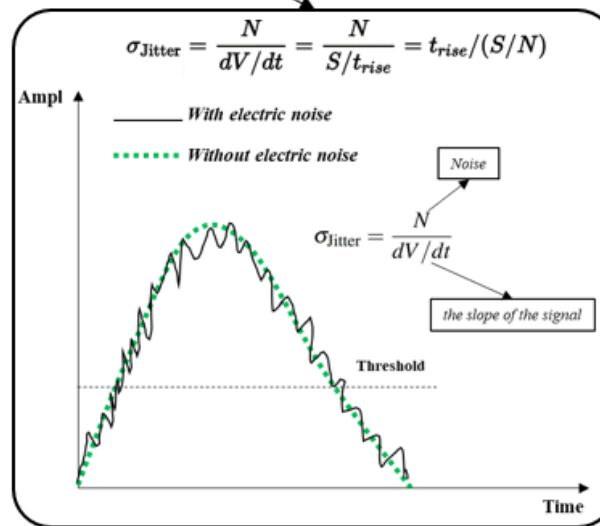
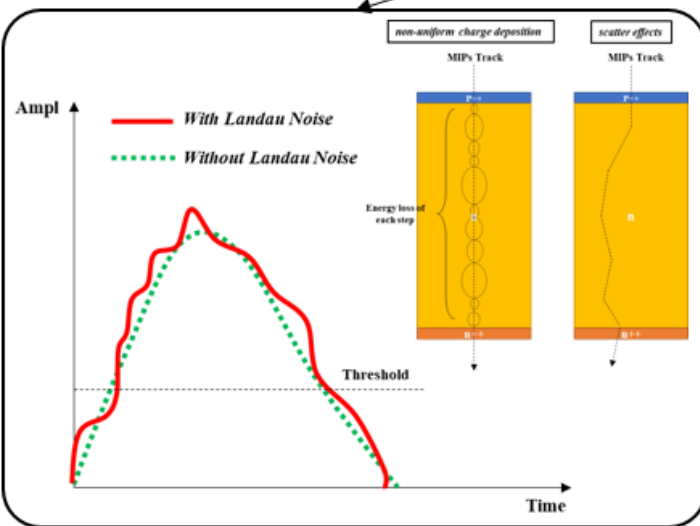
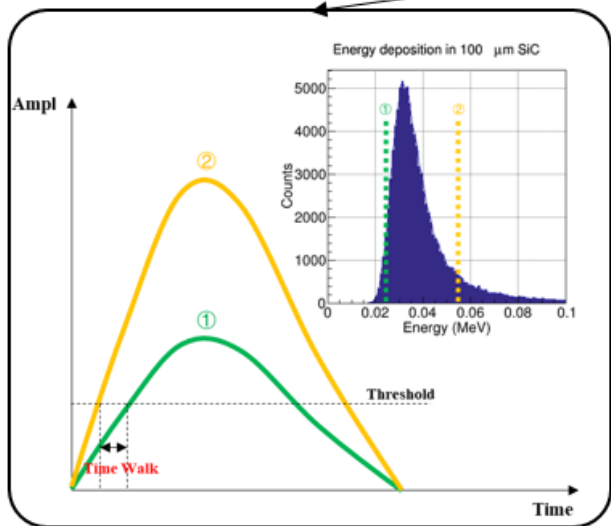
信息误差的来源

- ✓ 原因四：数模转化后引入的误差



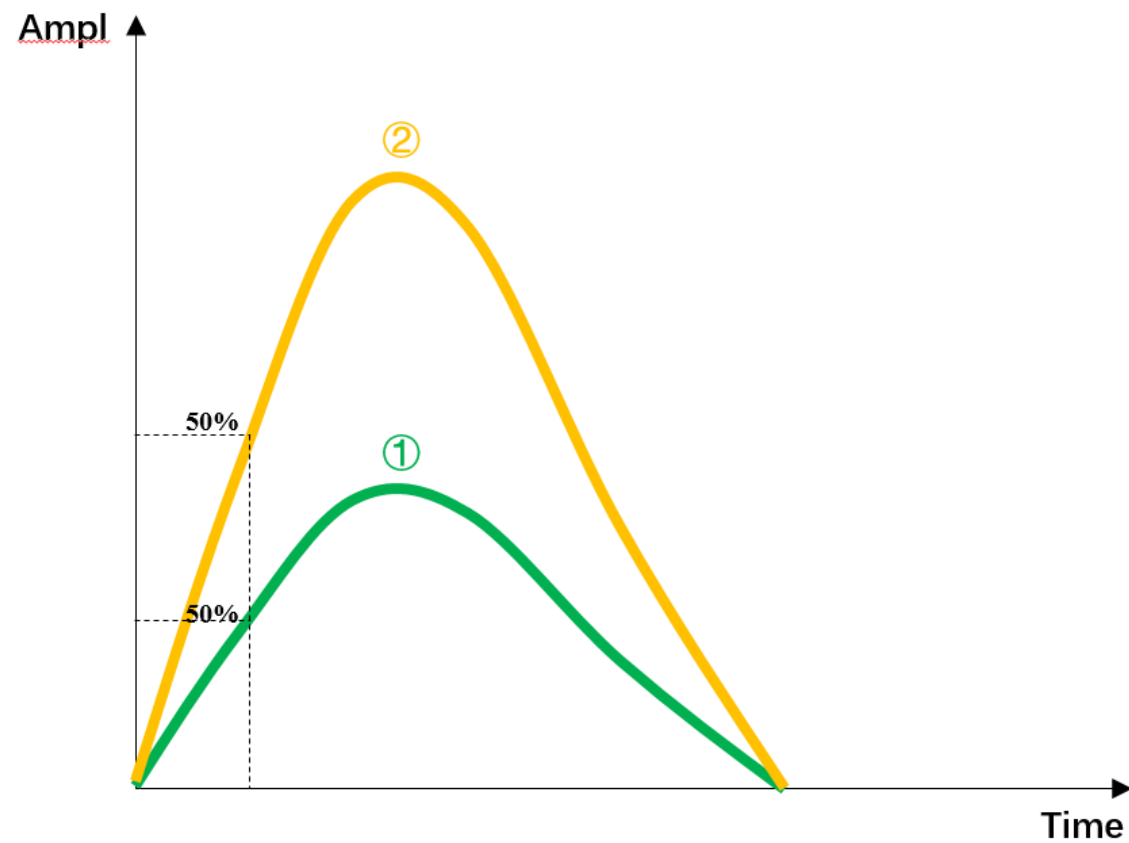
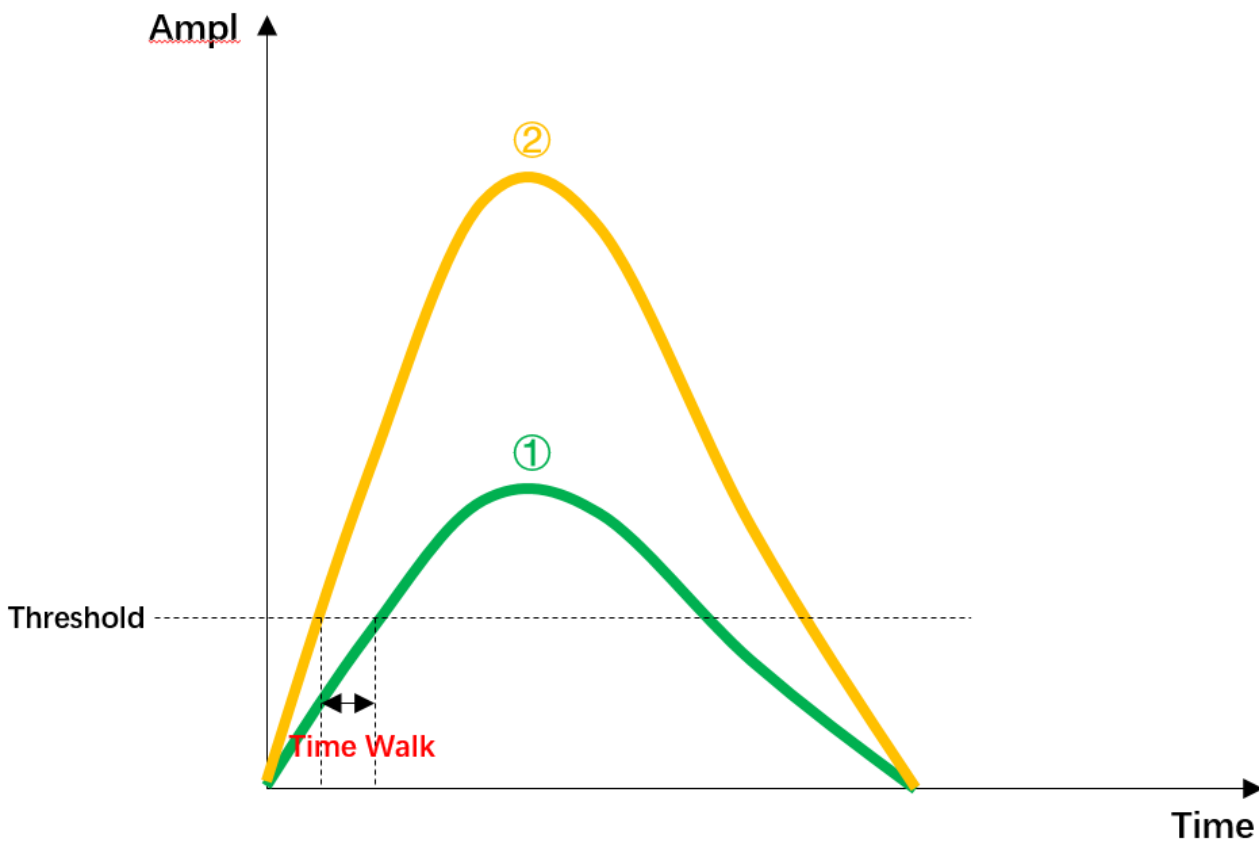
导致时间测量不确定性的四种原因：

$$\sigma_t^2 = \sigma_{\text{Time Walk}}^2 + \sigma_{\text{Landau Noise}}^2 + \sigma_{\text{Jitter}}^2 + \sigma_{\text{TDC}}^2$$



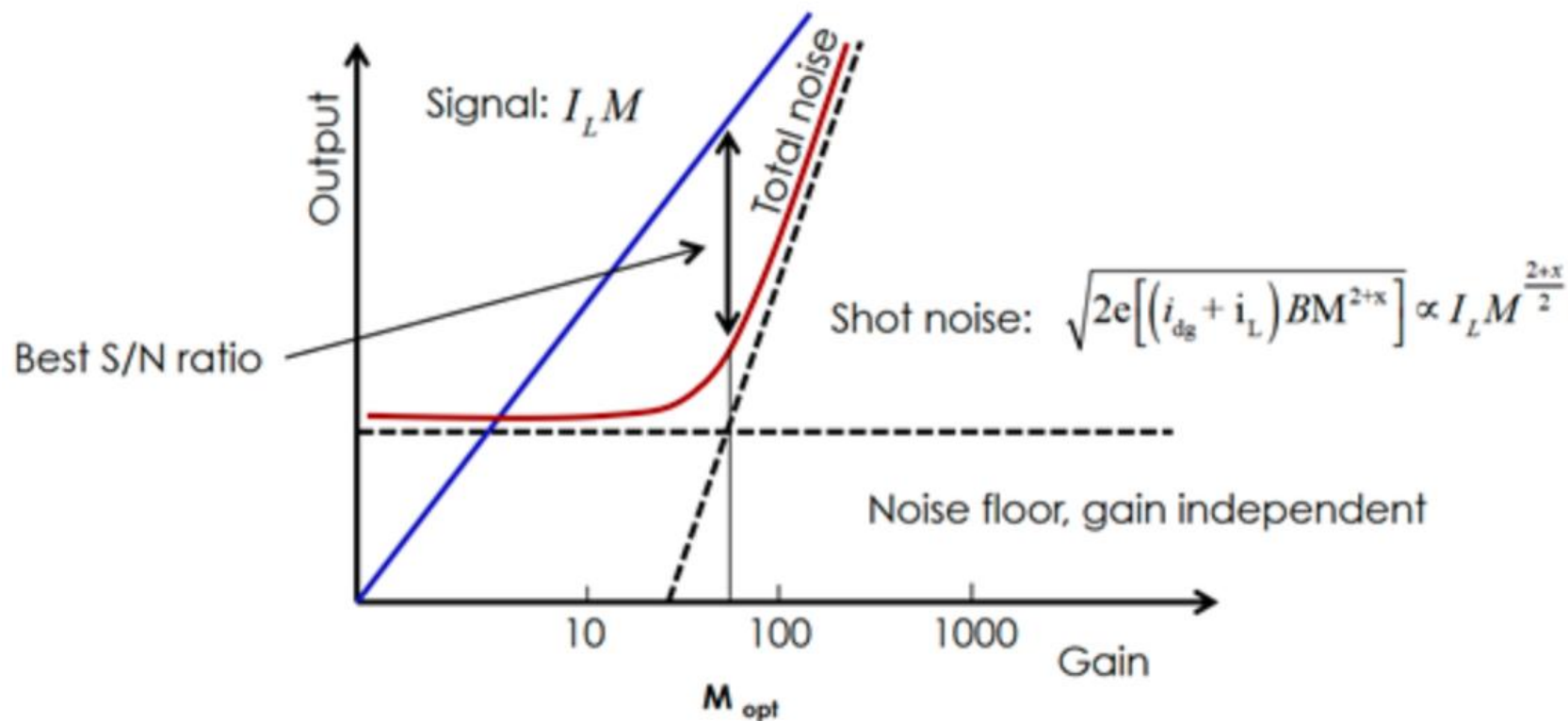
如何才能减弱或消除其中某一种的影响来提高时间分辨？

横比定时法消除时移:



提高信噪比减弱噪声的影响:

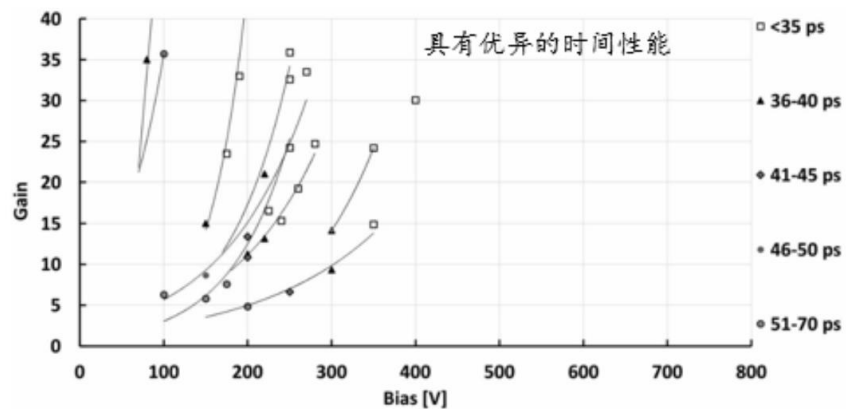
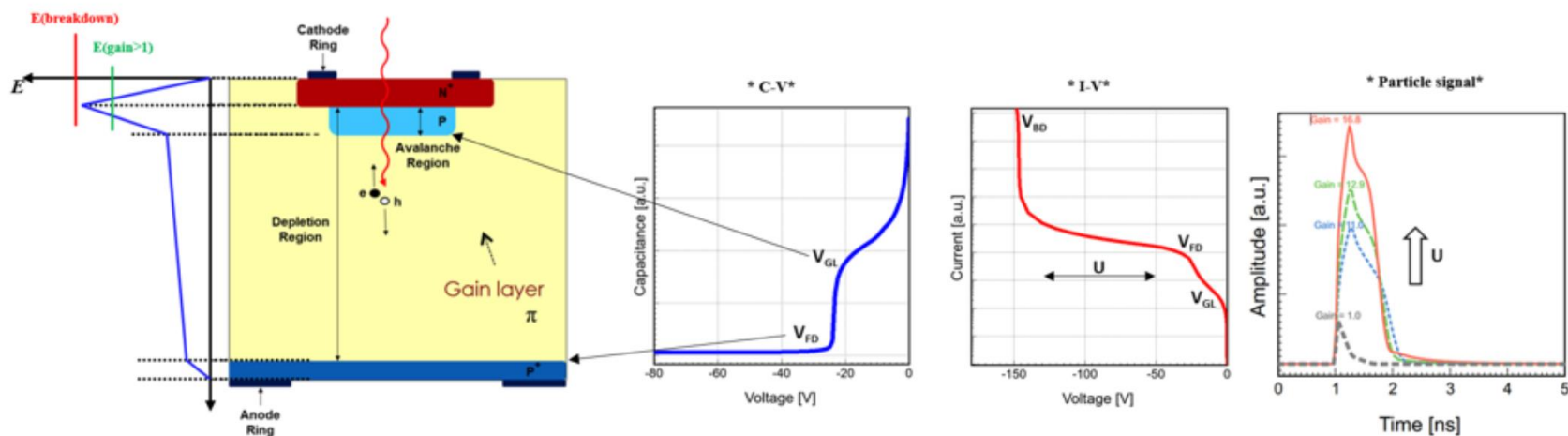
$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{(I_L M)^2}{2e[(i_{dg} + i_L)M^2 FB] + i_{NonGain}^2} = \frac{(I_L M)^2}{2e[(i_{dg} + i_L)M^{2+x} FB] + i_{NonGain}^2}$$



获得最好的信噪比需要一个低增益器件

低增益雪崩探测器：

- 低增益雪崩探测器（LGAD）在工作电压区间内具有10-100的增益
- 其增益层的电场位于无增益和击穿电场之间



下载文件

- time_resolution.json, HPK-Si-LGAD.json, BB.json
- 下载地址
 - IHEPBox <https://ihepbox.ihep.ac.cn/ihepbox/index.php/s/e7g3ZrpVZj8oegz>
 - 夸克网盘 <https://pan.quark.cn/s/5ecbcbe9ef3e>

打开Windows PowerShell使用scp命令 (scp <windows_path> raser@<IP>:<linux_path>) 将文件

- time_resolution.json 复制到虚拟机 ~/tutorial/setting/absorber/ 文件夹下
- HPK-Si-LGAD.json 复制到虚拟机 ~/tutorial/setting/detector/ 文件夹下
- BB.json 复制到虚拟机 ~/tutorial/setting/setting/electronics/ 文件夹下



程序代码

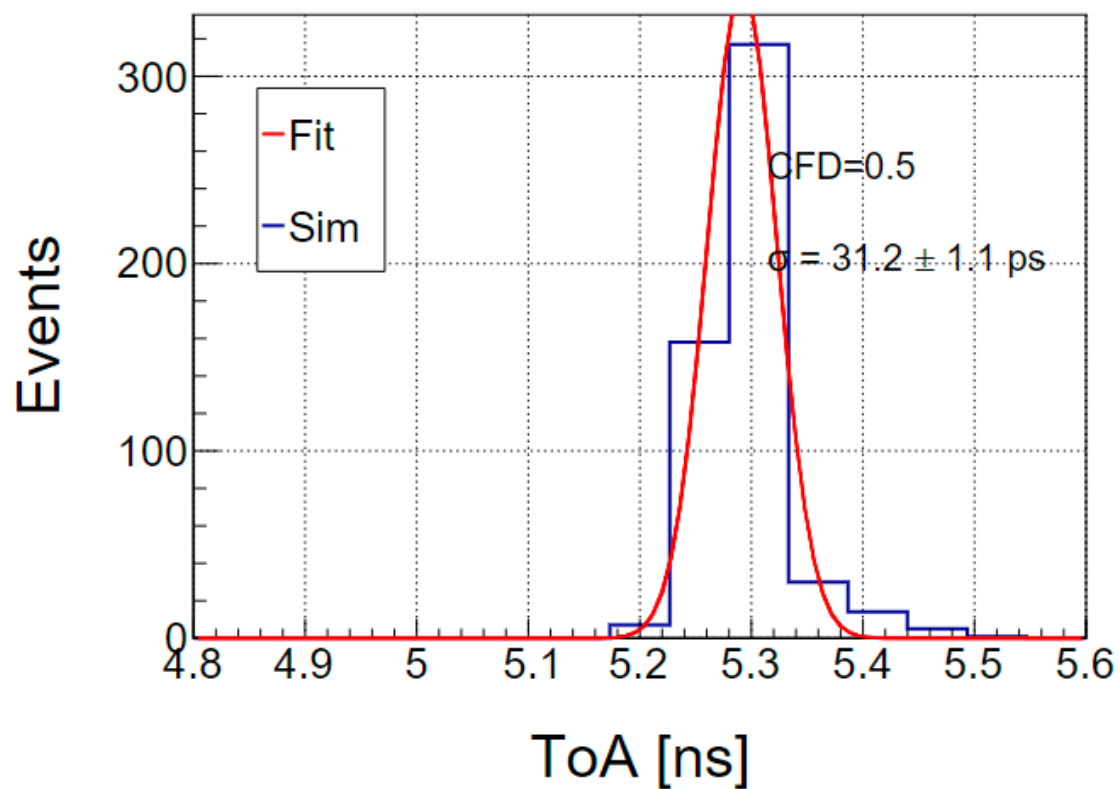
- ✓ `cd ~/tutorial/raser`
- ✓ `git pull`
- ✓ `cd ~/tutorial`
- ✓ `source cfg/setup.sh`

- ✓ `raser field HPK-Si-LGAD`
- ✓ `raser gen_signal HPK-Si-LGAD -s 1`
- ✓ `raser timeres HPK-Si-LGAD`

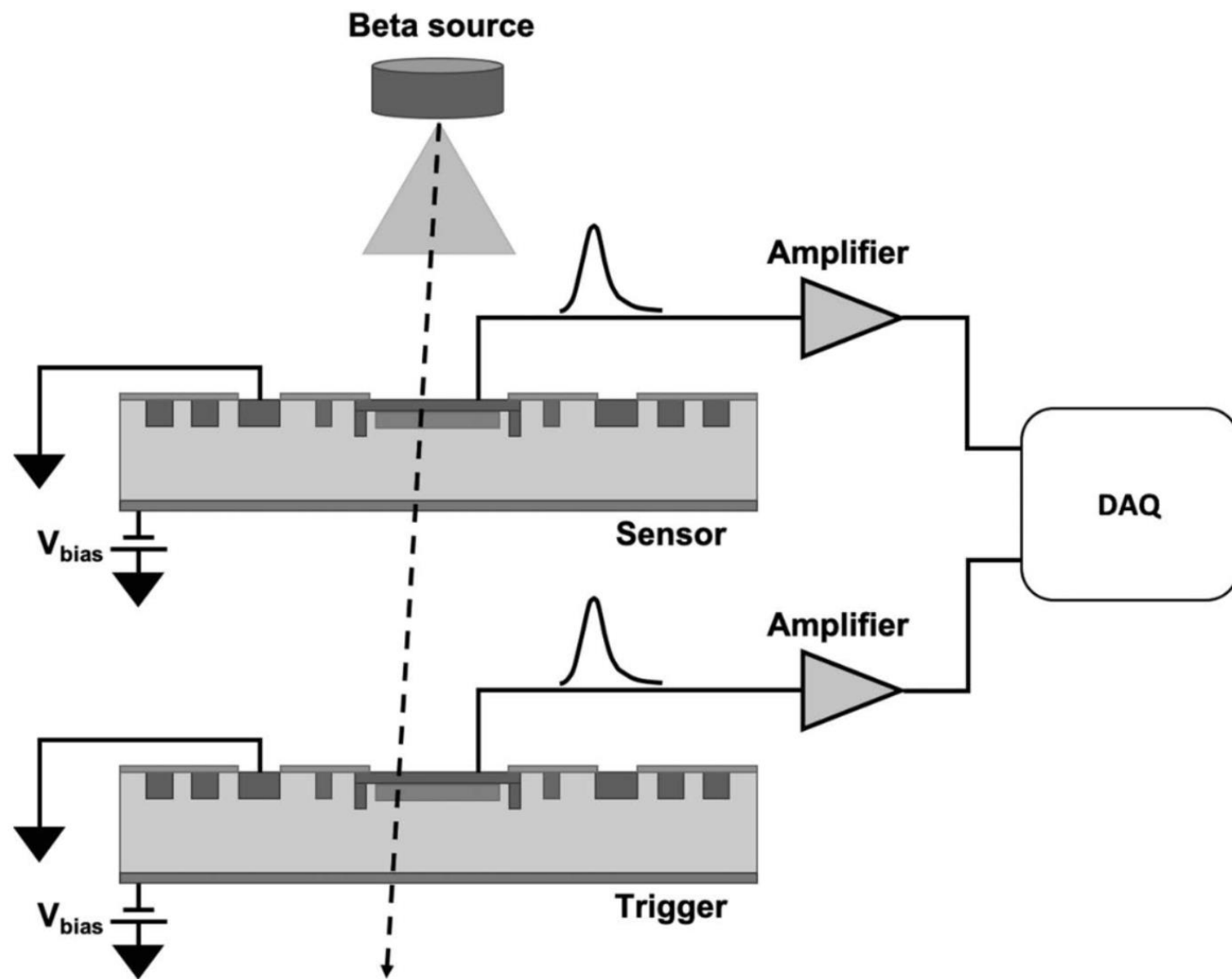


仿真结果

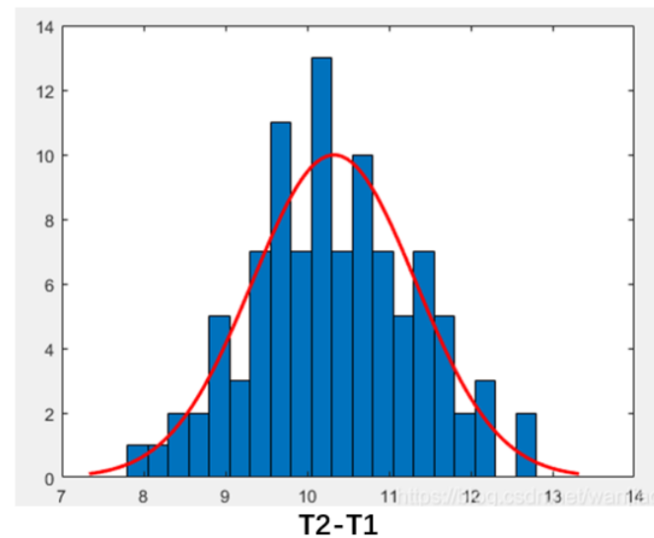
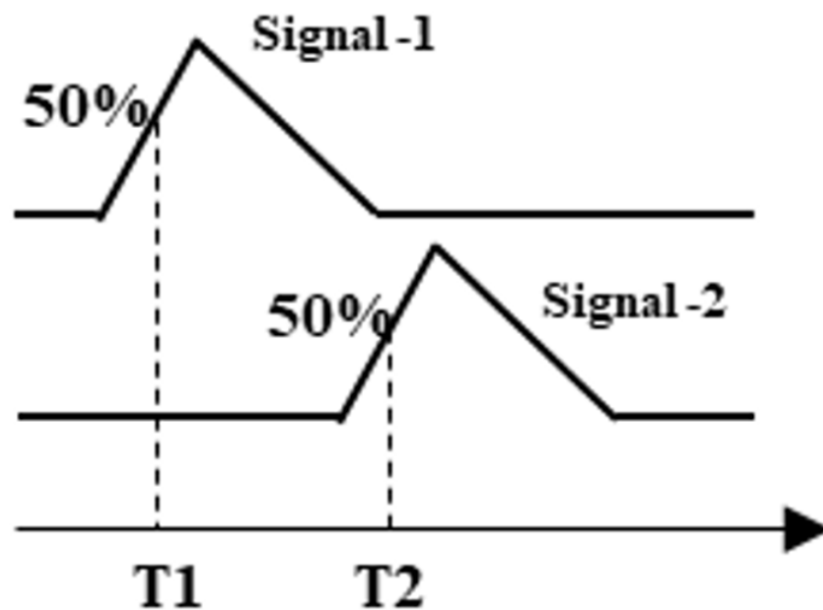
结果所在路径: ~/tutorial/output/timeres/HPK-Si-LGAD/time_resolution.pdf



时间分辨的测量



时间分辨的测量



$$\sigma(T2 - T1) = \sqrt{\sigma^2(T1) + \sigma^2(T2)}$$

$\sigma(T1)$ is the time resolution of Detector-1.

$\sigma(T2)$ is the time resolution of Detector-2.