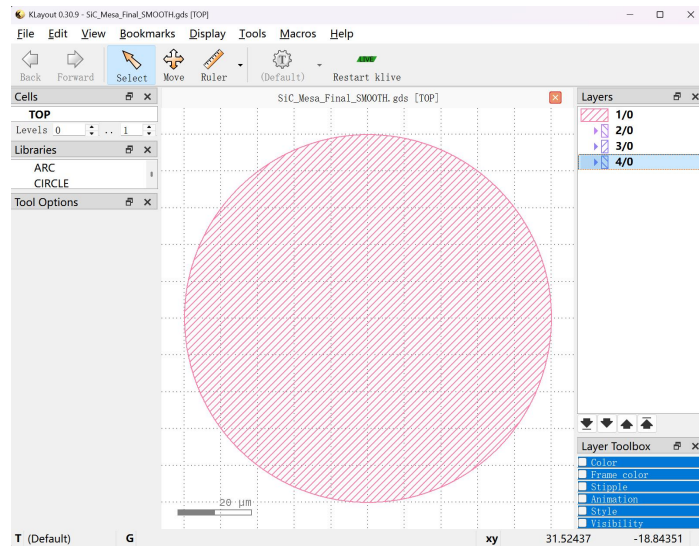
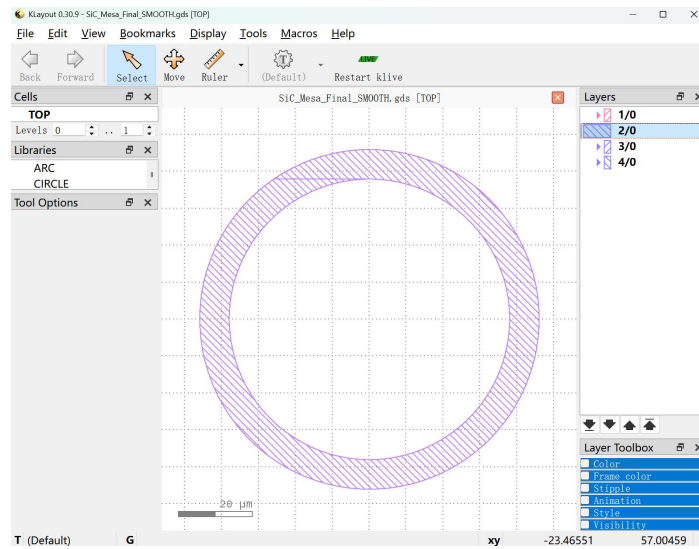


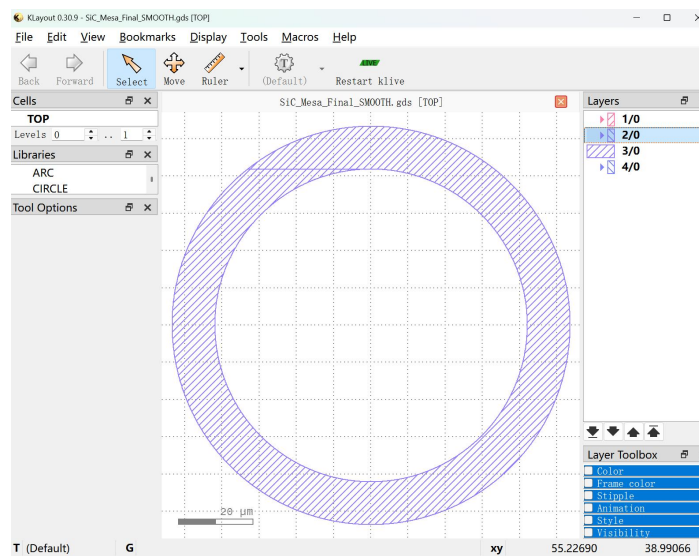
补交上一次作业



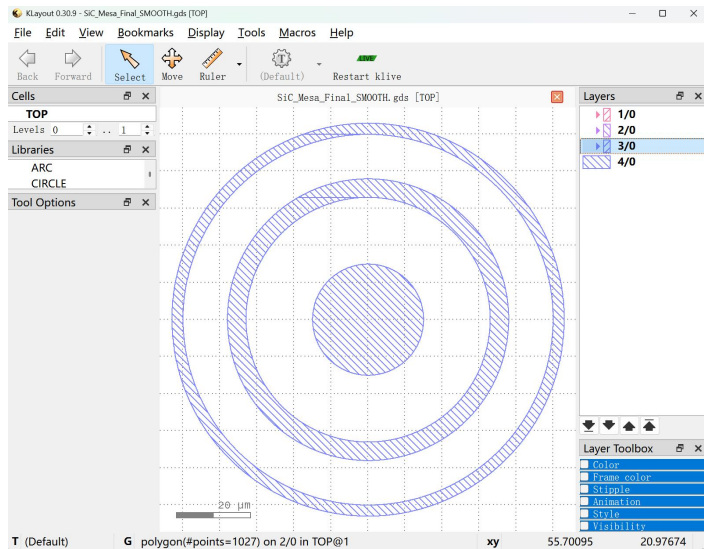
正胶，阴影部分遮光



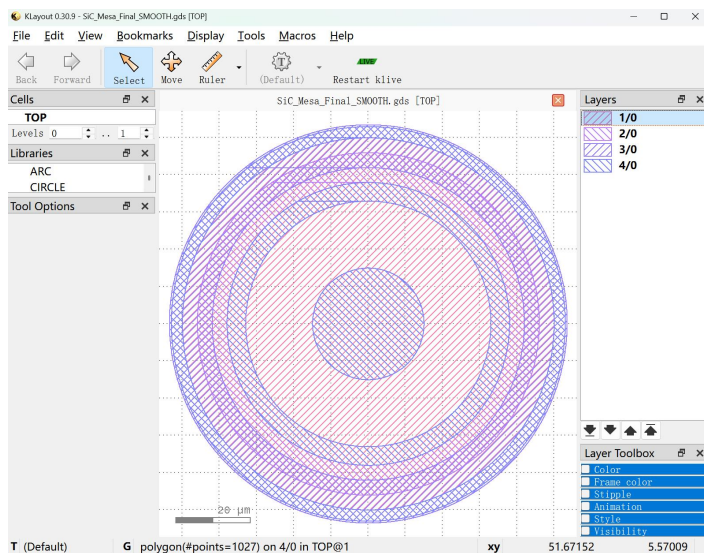
正胶，阴影透光



正胶，阴影透光



正胶，阴影透光



所有版图

本次作业：

1. **符合测试**是核物理与粒子探测实验中的基础信号筛选技术。实验中布置两个及以上探测器，当它们在预设的极短时间窗口（符合时间窗，通常为纳秒量级）内均产生输出信号时，判定这些信号来源于同一个物理事件，记为一次符合事件；若信号时间间隔超出窗口，或仅单个探测器产生信号，则判定为无关联本底事件并剔除。

自己理解：就是在设定时间内，如果传感器同时传来信号，则说明是有用信号，否则就是无用信号

为什么要进行符合测试

压低随机本底，提升信噪比：探测器始终存在热噪声、宇宙射线、环境放射性等随机干扰信号，单探测器无法区分有效事件与本底。符合要求多个探测器同时响应，可将偶然符合的假事件概率压低数个量级，是粒子物理实验中最核心的本底抑制手段之一。

筛选目标物理事例：利用物理过程的时间关联性（如粒子束望远镜、级联衰变产生的多粒子、正负电子湮灭产生的双光子），精准选出符合物理预期的事例，排除非关联过程。

提供事件时间关联信息：通过符合时间窗的宽度和时间差分布，可进一步测量粒子飞行时间、探测器时间性能等参数。

自己理解：降低无用事件的占比，可以为其他需要时间参考的事件提供标准

为什么时间分辨率的测量要用符合信号

时间分辨率表征探测器对同一事件的时间测量精度，其测量本质是统计时间差的涨落，必须依赖符合结构实现：

提供时间参考基准：单个探测器只能输出信号的绝对时刻，无法得到时间差。符合测量采用“起始 - 停止 (Start-Stop)”架构：一个探测器作为时间基准输出 Start 信号，待测探测器输出 Stop 信号，通过 TDC(时间数字转换器) 测量两者的时间差。

保证事件的物理关联性：符合筛选确保所有被统计的事件，都是同一个粒子穿过两个探测器产生的关联事件，时间差的涨落仅反映探测器本身的时间分辨能力，排除随机事件的干扰。

量化时间分辨能力：统计大量符合事件的时间差，得到时间差分布谱，其半高宽 (FWHM) 即为探测器系统的时间分辨率。

个人理解：只通过一个探测器测出来的信号只能看出来当前信号，而不知道这个信号到底准不准确，通过两个探测器测出来的信号进行比较，相差时间的测量就能反推出探测器的时间分辨力；第二个作用就是排除无关时间干扰；然后通过统计有效时间的的时间差分布，取其半高宽作为分辨率，数值越小精度越高

2. (1) 什么是朗道效应

高能带电粒子穿过薄层探测介质（如硅传感器、气体漂移室）时，与介质原子发生库仑电离碰撞的过程具有统计随机性，导致粒子在介质中沉积的能量并非固定值，而是服从非对称的朗道分布。

从微观机制上，带电粒子与介质原子的库仑电离碰撞可分为两类，二者共同决定了朗道分布的形态：

软碰撞：粒子与原子发生远距离库仑作用，每次只转移很小的能量（略大于原子电离能）。这类碰撞发生概率极高、次数很多，是电离能量损失的主体，决定了能损分布的峰位。

硬碰撞：粒子近距离掠过原子，将很大一部分能量传递给某个核外电子，产生具有较高动能的敲出电子（也称 δ 电子 / δ 射线）。这类碰撞发生概率极

低，但单次转移的能量远大于电离能， δ 电子自身还会在介质中继续电离，沉积额外能量。

强非对称性与高能拖尾

分布的低能侧（小能量损失方向）有陡峭的上升沿 —— 能量损失不可能小于 0，也很难出现远低于最可几值的情况；

而高能侧（大能量损失方向）存在一条很长的“拖尾”，延伸到数倍于最可几能损的区域。这条高能拖尾正是由稀有硬碰撞产生的 δ 电子导致：绝大多数事件只发生软碰撞，能量沉积集中在峰位附近；少数事件伴随一次或多次硬碰撞，能量沉积会远高于正常值，且能量越大的事件出现概率越低，在谱形上表现为平滑下降的长尾。

朗道效应直接导致同一粒子在上下两层探测器中沉积的能量存在差异，输出电信号的幅度不一致。

(2) 怎么消除信号幅度不一致带来的误差

信号幅度差异主要通过时间游动（Time Walk）效应引入时间测量误差：若采用固定阈值的前沿定时，幅度大的信号会更早越过阈值，幅度小的信号更晚越过阈值，即使粒子真实到达时间相同，定时输出也会产生偏差。

可从硬件和离线数据两个层面消除该误差：

硬件层面

恒比定时（CFD, Constant Fraction Discriminator）这是消除时间游动的经典方案。将输入信号按固定比例衰减后，与延迟后的原信号做相减运算，得到的过零时刻与信号绝对幅度无关，仅由波形上升沿决定。通过过零点提取定时信息，从原理上消除了幅度变化带来的定时偏移。

快 - 慢符合测量系统 设计两条信号通路：快通道负责高精度时间提取，慢通道负责能量测量与甄别；仅当能量落在预设合理区间的事件，才会被纳入时间统计，从数据采集端剔除幅度过大 / 过小的极端事例。

离线数据处理层面

能量窗筛选（幅度截断）在数据分析中设置能量阈值区间，只选取能量沉积在朗道分布最可几值附近的符合事件，筛除幅度差异过大的极端事例，以牺牲统计量为代价减小幅度涨落对时间分辨的恶化。

时间游动校正（Time Walk Correction）预先标定“信号幅度 - 定时偏移”的对应关系，拟合出时间偏移随幅度变化的函数；对每个事例根据其实际信号幅度，用拟合公式修正时间测量值，定量补偿幅度带来的定时偏差。

打比方便于理解

最基本的定时方式叫「前沿定时」，规则非常简单：电路提前设好一个固定不变的电压阈值，只要信号电压从下往上越过这个阈值，就立刻输出一个定时脉冲，把这个时刻认定为「粒子到达时刻」。两个信号同时开始上升（粒子真实到达时刻完全相同），但幅度一大一小：

大幅度信号：上升沿陡，斜率大，很快就爬到了固定阈值，定时时刻偏早

小幅度信号：上升沿缓，斜率小，要更久才能爬到阈值，定时时刻偏晚

大幅度信号 = 开闸 10 秒，最终注满 10 厘米高的水，水位上升速度是 1 厘米 / 秒 → 碰到 3 厘米刻度线只需要 3 秒

小幅度信号 = 开闸同样 10 秒，最终只注到 5 厘米高，水位上升速度是 0.5 厘米 / 秒 → 碰到 3 厘米刻度线需要 6 秒

两次都是同一时间开的水龙头，就因为最终水位高度（幅度）不一样，停表的时间差了整整 3 秒。这就是时间游动的完整过程。

1. 恒比定时（CFD）

不固定在 3 厘米刻度线了，改成「水位升到最终高度的 30% 就停表」。10 厘米高的水在 3 厘米处停，5 厘米高的水在 1.5 厘米处停。因为注水速度是均匀的，不管最终注多高，升到 30% 高度的时间永远是总时长的 30%，停表时刻永远在开闸后第 3 秒，和最终水位完全无关。

2. 快 - 慢符合系统

设两个岗：

快岗：专门掐表记时间，反应极快，但不管你最终注多少水；

慢岗：专门测最终水位，只有水位在 6~9 厘米之间的正常样本，成绩才算有效。

两者都通过的事件才保留，既保证计时快，又提前剔除了太极端的情况。

3. 能量窗筛选


事后统计的时候，直接把最终水位低于 5 厘米、高于 10 厘米的样本全部删掉，只留中间正常区间的。剩下的样本水位都差不多，停表时间的偏差自然就小了，代价是丢掉一部分数据。

4. 时间游动校正

先做标定实验：拿 1~10 厘米各种高度的注水测试，都从 0 秒准时开闸，记下每一种最终水位对应的停表时间，做成一张「水位 - 偏差对照表」。正式测试时，每一次我们既记下停表时间，也知道最终水位。比如一次最终水位 5 厘米，停表时间是 6 秒，查表就知道它会晚 3 秒，修正后的真实开闸时间 = 6 - 3 = 3 秒。每个样本单独补差，一个数据都不用丢。

```
Claude Code
Microsoft Windows [版本 10.0.26200.8246]
(c) Microsoft Corporation. 保留所有权利。

C:\Users\zzzz>claude
Claude Code v2.1.169

Welcome back!

deepseek-v4-pro · API Usage Billing
C:\Users\zzzz

Tips for getting started
Run /init to create a CLAUDE.md file with instructions for Claude
Note: You have launched claude in your home directory. For the best exper...

What's new
Check the Claude Code changelog for updates

| Opus 4.8 is now available! · /model to switch

>
? for shortcuts · ← for agents · high · /effort
```

