

作业8

罗思翰

2026年7月4日

1 第一题

1.1 什么蒙特卡洛模拟

把所有没法写出解析公式的复杂概率过程，全部转化为随机抽样试验，靠大数定律用海量样本的统计结果逼近真实解。

1.2 为什么我们需要这个

- 现实实验中几乎不可能拿到“绝对真值”：没法知道真实入射粒子的精确位置、动量、能量损失过程，MC模拟可以输出每一步的真值信息，作为数据分析的“标准答案”标尺。
- 探测器的响应非常复杂：粒子和硅传感器、铝支撑、气体层的相互作用有成千上万种随机可能性，没法用简单的解析公式完全描述，蒙特卡洛通过大量随机抽样就能把所有概率性过程都复现出来。
- 可以提前验证算法可行性：在实际探测器还没搭好、或者还没有正式取数的时候，就能用MC先测试你的轨迹重建、能谱拟合算法是否合理，大幅降低实验试错成本。

1.3 探测器的接受度的物理意义

接受度（Acceptance，也叫接收度）描述的是探测器系统，对某一特定种类、特定动量区间的入射粒子，能够成功触发、被有效探测到的几何+物理概率

- 几何接受度：入射粒子的径迹没有对准探测器灵敏区域，直接穿过了探测器的缝隙、边缘盲区，根本就没有碰到灵敏介质的比例
- 物理效率：哪怕粒子已经进入灵敏区域，也可能因为能量沉积太小没越过电子学阈值、或者在灵敏区之前的支撑材料里发生核反应丢失了，这部分的探测成功概率

1.4 如何计算

1.4.1 定义输入粒子的抽样规则

- 入射位置：在完全覆盖你探测器最大外轮廓的平面上均匀抽样，抽样范围要比探测器物理尺寸大20
- 入射角度：在全 2π 立体角范围内均匀抽样
- 动量范围：严格限定在当前要测量的信号粒子动量区间内

1.4.2 第一步计算几何接受度 ε_{geo}

- 追踪每个生成的粒子的径迹方程，计算它是否至少穿过你所有要求的探测层的灵敏区域
- 几何接受度 $\varepsilon_{\text{geo}} = \frac{\text{满足全灵敏层穿过条件的事例数}}{N_{\text{gen}}}$

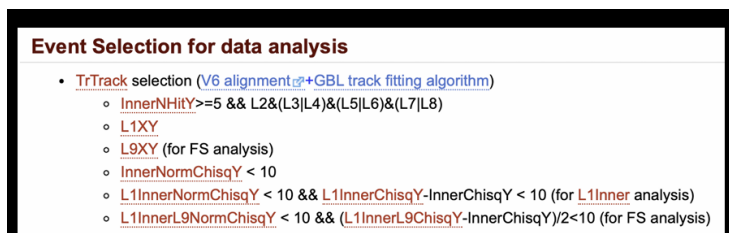
1.4.3 第二步计算物理探测效率 $\varepsilon_{\text{physics}}$

- 给粒子的能量沉积叠加朗道涨落、电子学噪声，模拟真实输出的电荷信
- 施加你实验的所有有效判选条件
- 物理探测效率 $\varepsilon_{\text{physics}} = \frac{N_{\text{pass}}}{\text{几何筛选后的有效事例数}}$

1.4.4 最终总接受度合成

$$A = \varepsilon_{\text{geo}} \times \varepsilon_{\text{physics}}$$

2 第二题



2.1 为什么要加这些筛选条件

2.1.1 $InnerNHitY \geq 5$

直接排除只有2-3个随机噪声中断续拼接出来的假径迹

2.1.2 $L_2 \wedge (L_3 \vee L_4) \wedge (L_5 \vee L_6) \wedge (L_7 \vee L_8)$

要求径迹必须穿过第2层，且在3/4层中至少有一个有效击中、5/6层至少一个、7/8层至少一个，既保证径迹覆盖了中间连续的探测层，又允许个别层出现偶然的读出失效也能通过，不会误杀真实事例。

2.1.3 **L1XY**

作用是直接把径迹的起点锚定在物理顶点区域，彻底剔除从探测器边缘、外部入射的宇宙线本底，以及在内部物质中二次散射产生的低能次级径迹。

2.1.4 **L9XY (for FS analysis)**

FS是「Full Spectrum全谱末态物理分析」的缩写，要求径迹完整穿过最外层第9层的双维灵敏区，保证径迹的全段位置测量信息完整，用来做全动量区间的能谱重建时，不会出现径迹末端信息缺失、动量拟合偏差过大的问题。

2.1.5 $InnerNormChisqY < 10$

NormChisq是归一化卡方，也就是径迹拟合的 χ^2 值除以自由度，阈值设为10直接剔除不符合带电粒子最小电离沉积预期的径迹：比如多个粒子

的击中重叠拼接出来的假径迹、被探测器边缘磁场畸变扭曲的坏径迹，这类径迹的拟合残差会远大于正常粒子的残差分布。

2.1.6 $L1InnerNormChisqY < 10$ & $(L1InnerChisqY - InnerChisqY) < 10$ (for L1Inner analysis)

这是第一层精度校准专用的筛选规则：专门用来做最内层L1层的空间分辨率刻度分析，额外加了一个卡方差值条件：仅保留“把L1层击中加入拟合后的新增卡方贡献”小于10的事例，确保用来刻度的样本全部是在最内层有极可信击中的干净径迹，避免坏击中标定出来的分辨率结果偏差

2.1.7 $L1InnerL9NormChisqY < 10$ & $(L1InnerL9ChisqY - InnerChisqY)/2 < 10$ (for FS analysis)

这是全谱分析的全局质量判选：要求同时加入最内层L1和最外层L9的击中做全局拟合之后，归一化卡方仍然小于10，且两层新增带来的额外卡方增量的平均值小于10，保证整条径迹从顶点区到最外层的全段所有击中的拟合质量都达标

3 第三题

3.1 刚度迁移的修正

- 用探测器的全模拟MC样本，生成一批已知真实动量 p_{true} 的带电粒子，输出重建动量 p_{reco} ，统计不同 p 区间的偏移量： $\Delta(1/p) = \langle 1/p_{reco} - 1/p_{true} \rangle$
- 把统计结果拟合成随动量 p 、入射极角 θ 变化的二维修正查找表
- 对真实数据的每一条径迹，直接查表做减法校正： $1/p_{corrected} = 1/p_{reco} - \Delta(1/p)$