

第一题

1. 什么是蒙特卡洛模拟

蒙特卡洛模拟是一种依赖随机抽样的数值计算方法。在空间粒子探测实验中，该方法利用计算机完整复现从粒子碰撞产生、粒子在探测器中输运、与探测介质相互作用，到探测器收集信号、电子学读出这一整套完整的物理过程。程序会批量生成海量符合物理规则的虚拟粒子事例，从而全面还原真实实验中可能发生的各类情况。

2. 实验研究为什么需要蒙特卡洛模拟

1. 效率与接受度修正：真实探测器无法完整捕捉所有粒子，部分粒子可能飞出探测区域、信号过弱丢失或重建算法识别失败。蒙特卡洛模拟能够量化这些损失，为效率修正提供依据。

2. 本底扣除：实验采集的数据中混杂着大量无关干扰事例。模拟能够独立生成目标信号过程和背景过程，用于区分信号与背景，并辅助背景扣除。

3. 响应矩阵建立：探测器测量存在分辨率限制和系统性偏差，会扭曲粒子的真实分布。模拟可建立真实粒子物理量与探测器测量值之间的响应关系，用于修正测量偏差。

4. 性能评估：可用于计算探测器对粒子的探测效率、几何接收度以及各环节的有效工作概率。

5. 理论与实验对比验证：将不同理论模型预测的粒子产生谱输入模拟，并与真实实验数据对比，从而检验理论模型是否符合实验观测。

3. 探测器接收度的物理意义

接收度描述的是单纯由探测器几何外形和空间覆盖范围所决定的几何筛选比例。其物理意义为：在所有真实产生的目标粒子中，运动轨迹恰好落入探测器灵敏区域、且几何上能够击中探测元件的粒子所占的比例。该定义仅考虑空间几何限制，不包含电子学噪声、信号阈值、径迹重建失败等探测器响应层面的效率损失。若粒子沿探测器缝隙飞出而未击中任何灵敏元件，则不计入接收度。

4. 接收度怎么计算

接收度通过蒙特卡洛模拟生成的海量虚拟粒子样本进行统计计算。具体方法为：统计模拟中总共生成的目标粒子总数，再统计其中径迹落在探测器灵敏区域内的粒子数量，后者除以前者，即可得到接收度的数值。

第二题

一、筛选条件的作用

1. InnerNhits > 5 (内层探测器击中点数下限)

可靠的径迹重建需要足够多的空间击中点来约束拟合参数。击中点过少的径迹多源于电子学噪声随机组合产生的虚假信号，可信度极低。该条件可有效剔除此类无效径迹，减少假事例。

2. InnerNhitsChi2 < 10 (内层径迹拟合卡方上限)

真实粒子穿过探测器产生的击中点与拟合轨迹偏差较小，对应较低的卡方值；而噪声或无关信号拼接出的虚假径迹拟合偏差通常很大，卡方值较高。设置卡方上限可将拟合质量较差的虚假径迹予以剔除。

3. LXY < 10 (次级顶点横向距离限制)

本分析的目标是束流对撞瞬间产生的原初核子。远离对撞顶点（横向距离较大）的粒子通常来自长寿命粒子的衰变或宇宙射线等外来过程。该条件可有效筛选出在对撞顶点产生的目标事例，排除无关粒子污染。

4. InnerNormChi2 < 10 (归一化卡方约束)

该条件进一步约束径迹在二维横向平面上的拟合精度，有效压低宇宙射线以及电子学噪声随机组合产生的无物理意义的虚假径迹，从而降低误重建率。

二、数据分析中主要的背景来源

1. 物理类背景（真实存在的粒子，但非目标信号过程）

- 本底强子：对撞过程中产生的大量低能无关强子，属于软粒子干扰。
- 轻子污染：产生的电子、缪子等轻子不属于本次分析的核子目标。
- 宇宙射线：来自太空的高能带电粒子随机贯穿探测器，与实验对撞事件无关。
- 束流相关本底：束流中的杂质粒子，或束流与管壁相互作用产生的散裂粒子。

2. 仪器类背景（非真实粒子，由探测器设备本身产生）

- 电子学热噪声：探测器读出电路自身产生的虚假噪声信号。
- 堆积效应：多组对撞事件的信号在时间上叠加，造成事例混淆。
- 虚假径迹：无物理关联的噪声信号在空间中随机组合，被重建算法误拟合为不存在的粒子径迹。