

束流望远镜方案

一、 背景介绍

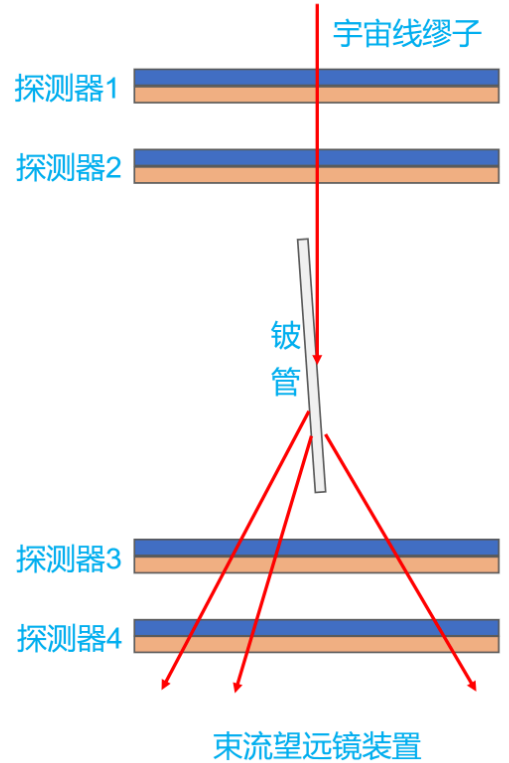
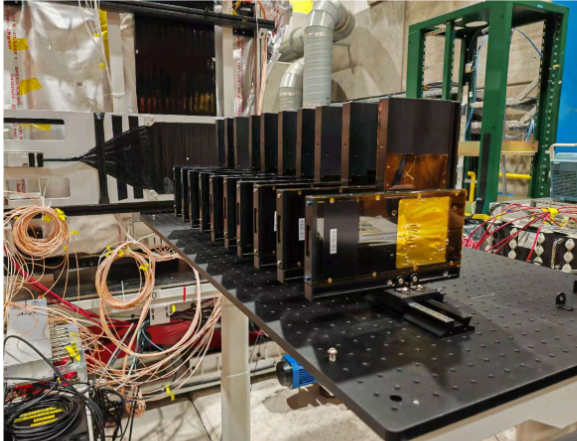
Lumical是CEPC束流亮度探测器，用于探测在对撞前向区域以小角度散射的正负电子，进而推算正负电子瞬时对撞亮度，设计测量精度可达0.01%。目前该探测器处于预研阶段。

二、 实验目的

研究小角度宇宙线（缪子）经铍管多次散射后径迹改变情况。根据真实测量结果修正模拟仿真结果。

三、 实验方法

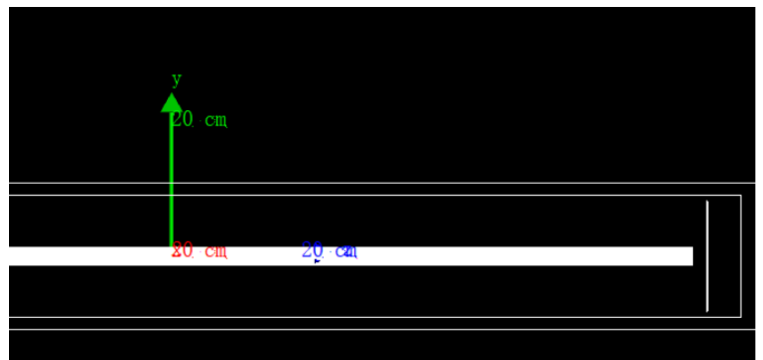
本实验共需8块硅微条探测器，两两垂直紧贴放置。探测器1和2用于测量宇宙线初始径迹，探测器3和4用于测量宇宙线经铍管散射后径迹信息。研究散射后角分布。



四、 准备情况

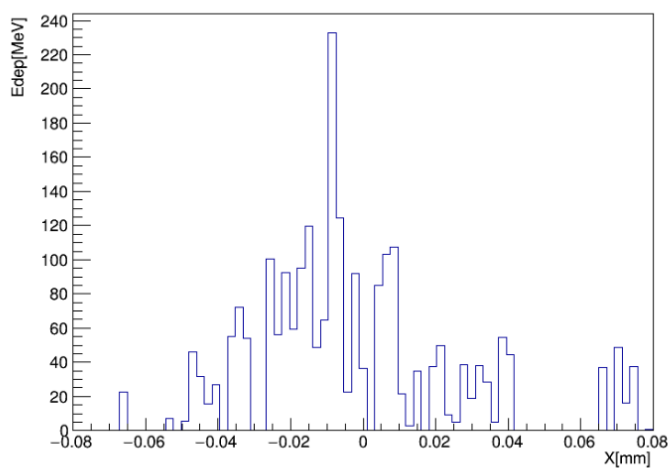
1. GEANT4模拟多次散射情况

- Be圆柱管
- 放置一薄 (1mm) Si板作为接收板，放在第一层LYSO处 ($z=658.5\text{mm}$) 模拟收集打到此处的粒子击中位置和击中时能量与能量沉积
- 入射角度取 0.0471rad



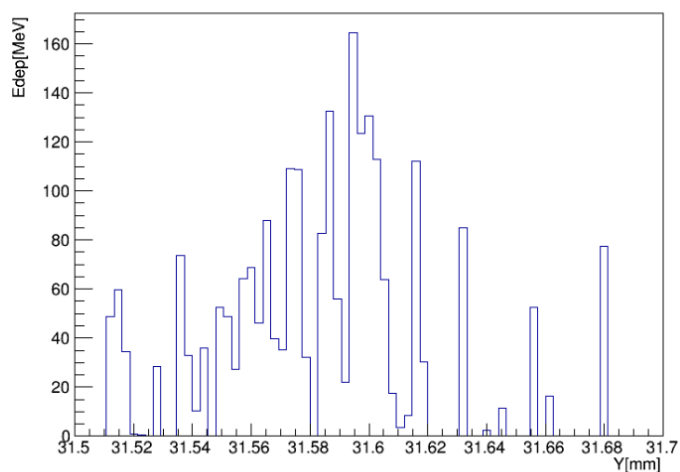
击中位置分布 (运行100次事例)

Energy Deposition Distribution of X axis



击中位置沿x轴分布

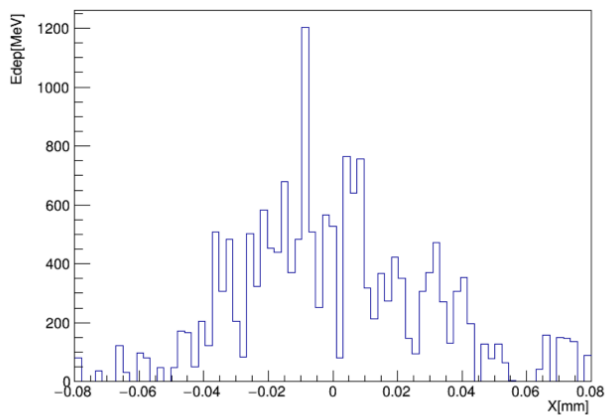
Energy Deposition Distribution of Y axis



击中位置沿y轴分布

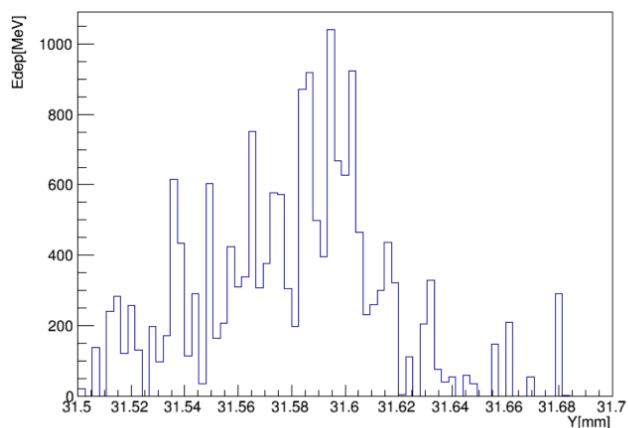
击中位置分布 (运行250次事例)

Energy Deposition Distribution of X axis



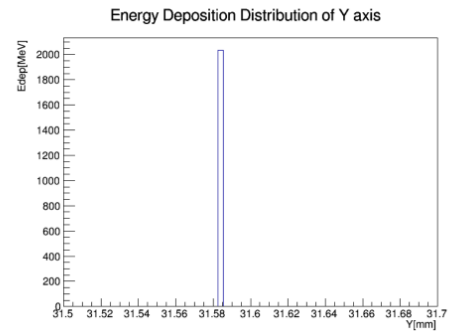
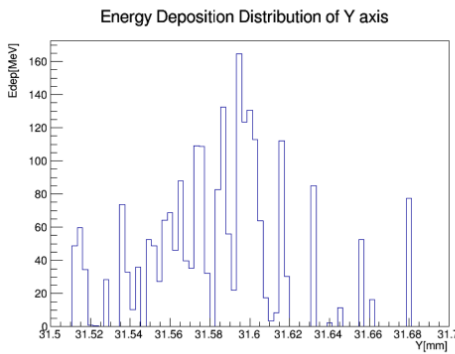
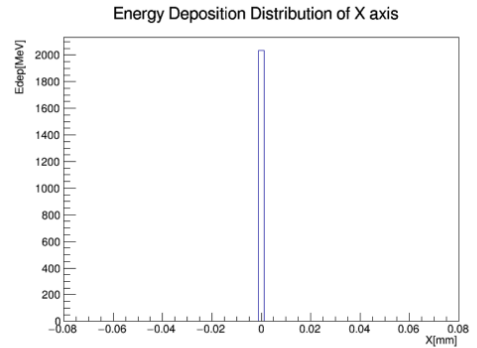
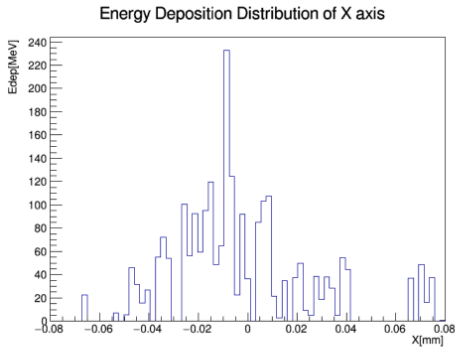
击中位置沿x轴分布

Energy Deposition Distribution of Y axis

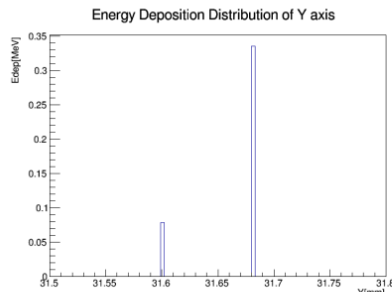
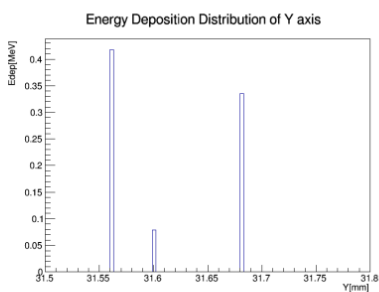
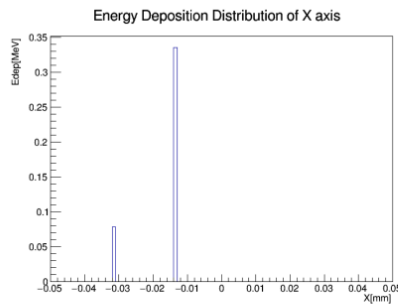
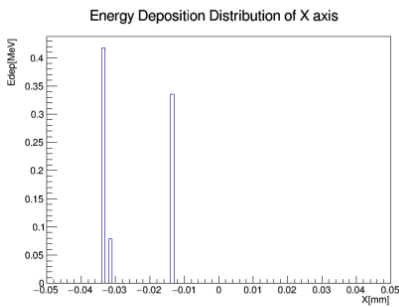


击中位置沿y轴分布

对照（左侧为有Be管运行，右侧为无Be管）



单次运行分析



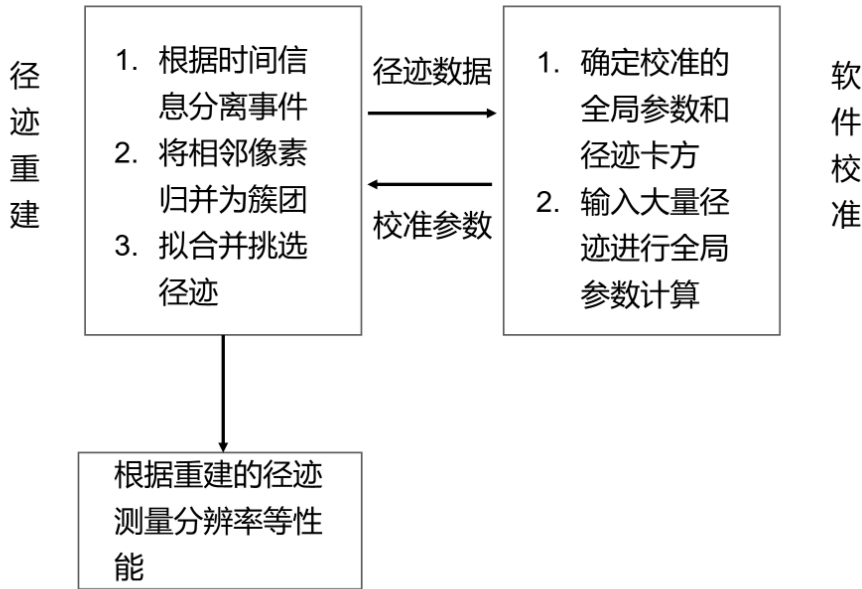
N=3

N=2

发现n比较小时，特别n = 2时（参考前面单独提前所有n = 2事例的统计图，也有相似现象），击中位置会偏离总体情况时的集中最集中位置（重建位置）甚至与预测的直线径迹的truth位置偏差较大
对于单次运行粒子采集的数据来说，这样的情况十分不利于依据于此进行的重建的准确度

2. 束流实验径迹分析软件准备情况

径迹重建软件分为两个主要部分



软件校准详细介绍

束流实验径迹分析中最核心的算法是软件校准：

对于分辨率远高于平台安装位置误差的探测器，使用软件校准是最为简单且高效的校准方案。该套校准软件已经在分辨率高达7um的Taichu3中得到了检验。在使用该软件前先引入几个定义

本地参数：每条径迹都有自己的斜率和截距，称为本地参数；相应的由芯片直接得到的坐标被称为本地坐标 (x_{local}, y_{local}) 一般层级结构探测器提供的是二维本地坐标。

全局参数：每个探测器都有自己在空间中的位置，每组探测器理论上对应了六个维度（中心位置以及旋转角），这些在径迹拟合时作为常数出现的坐标称为全局参数；相应的将本地坐标通过全局参数转化为空间中的坐标被记作全局坐标

$(x_{global}, y_{global}, z_{global})$ ，全局坐标才能被拿来来进行直线拟合。

假设A层探测器的中心位置为 $(0, 0, 5)$ ，没有旋转角度，在其xy平面得到 $(1, 1)$ 的全局坐标即为 $(1, 1, 5)$

击中点在芯片平面的 $(1, 1)$ 位置



探测器中心位置
 $(0, 0, 5)$

$$\chi^2 = \sum_{i \in \text{Hits}} r_i^T r_i$$

$$\chi^2 = \sum_{j \in \text{Tracks}} \sum_{i \in \text{Hits}} r_{ij}^T(g, l_j) V_{ij}^{-1} r_{ij}(g, l_j)$$

$$r_i = (\text{res}X / \text{sigma}X, \text{res}Y / \text{sigma}Y)$$

但全局参数会因为安装时的位置误差和理想位置产生偏移，一般一个方向上会偏移约100um的数量级

在考虑全局坐标时径迹的卡方是由本地参数和全局参数共同构成的

只要最小化径迹的总卡方，理论上就能得到全局参数的偏移值

使用Millpede算法包可以将复杂的解矩阵过程简化，专注求解全局坐标

<https://git.nju.edu.cn/HYM/alignment> 参考代码在该链接

- 使用软件校准软件的几个必要内容：
- 输入数据：需要在径迹重建软件中先给出较多的径迹数据，每个径迹需要提供在每层芯片上的击中位置（本地坐标）。径迹的数据必须来自目标粒子（排除掉由其他因素造成散射的径迹）
- 卡方计算公式：在校准软件中需要给定卡方计算公式才能得到最小化的目标，该卡方计算公式中包含本地坐标 (x_i, y_i) ，径迹本地参数 (k_x, k_y, b_x, b_y) ，以及全局坐标（每个探测单元的六组参数）
- 对于8块硅微条探测器，将两个正交的硅微条视为一组，一组硅微条共享中心位置 (X_i, Y_i, Z_i) ，但有各自的旋转角度，根据之前实验的经验，旋转角度的影响不是很明显，可以先从平动偏移做起。
- 击中点全局位置可以表示为 $(x_{i_loc} + X_i, y_{i_loc} + Y_i, Z_i)$ ，此时输入的全局坐标为理想的位置。每个径迹会提供四组全局位置进行拟合以及卡方计算。在经过上万条径迹的填充后，软件会自动给出 (X_i, Y_i, Z_i) 的校准位置

- 校准后将校准的全局坐标代入径迹重建软件中重新进行重建
- 此时得到的径迹卡方和探测器分辨率符合，可以进行后续的分辨率测量
- 移动了平台就需要重新进行校准

五、计划安排

- 1、按照紫金山天文台已做过实验确定的方案，复现操作流程，熟悉软硬件使用原理方法
- 2、在紫金山天文台专家指导下进行束流望远镜硬件搭建，并开展软件测试
- 3、数据分析：位置、能量及角度校准刻度
- 4、根据宇宙射线角分布、探测器面积大小及铍管长度确定探测器空间位置及实验时长（1000个事例），预估7-10天。
- 5、不放任何物质-->铝块-->铝管-->铜块-->铜管-->铍块（管）