

一、蒙特卡洛模拟和探测器接受度

蒙特卡洛模拟是啥

其实就是用计算机扔骰子来模拟实验。粒子物理里你没法直接看到粒子真实动量、能量，只能看到探测器上的信号。蒙特卡洛就是模拟粒子从产生到被探测的整个过程，帮你建立真实物理量和探测器看到的東西之间的对应关系。

探测器接受度

接受度

$$A = \frac{N_{\text{重建}}}{N_{\text{生成}}}$$

就是生成的事例里有多少能被探测器抓到并重建出来。

物理上它包含了几个东西：一是探测器几何覆盖，不是所有方向都有探测器，有些角度粒子飞出去就漏了；二是触发效率，电子学系统有时候没触发，信号没记下来；三是重建算法效率，软件从原始数据里能不能把径迹找出来。

算的时候就是在 MC 里生成一堆事例，过一遍完整的探测器模拟和重建流程，看看最后剩多少。

二、事例筛选和背景

为什么要加筛选条件

实验里信号往往被背景淹没，不加筛选难以看出。常见的几个：

电荷筛选——区分正负粒子，比如用 $\frac{dE}{dx}$ 或 TOF 把质子和 π 分开。

径迹质量要求——去掉拟合失败的垃圾径迹，比如多径迹重叠、散射太厉害的。

顶点约束——确认粒子是从对撞点出来的，不是宇宙线或者束流本底。

能量/动量守恒——检查反应是否完整，有没有能量被中子之类的带走了。

TOF 匹配——粒子鉴别，结合动量 p 和速度 $\beta = \frac{pc}{E}$ 区分不同粒子。

主要背景有哪些

宇宙线：天上来的高能粒子，方向随机，跟束流时间没关系。

束流本底：束流 halo、跟残余气体散射，跟着束流时间走。

误鉴别：比如把 π 当成质子，动量一样但质量不同，可以用 TOF 或 $\frac{dE}{dx}$ 卡掉。

次级产物：粒子在探测器材料里又发生反应，能量损失异常、顶点位置不对。

堆积：多个事例挤在一个时间窗口里，电子学分不开了，会看到多个顶点。

三、Unfolding (解谱)

问题在哪

探测器分辨率有限，测到的值会偏也会糊。真实分布 $f(x)$ 和测到的分布 $g(y)$ 之间有个响应矩阵 $R(y|x)$ 连着：

$$g(y) = \int R(y|x) f(x) dx$$

Unfolding

从测到的 $g(y)$ 反推真实的 $f(x)$ 。

常用方法

矩阵求逆：

$$f = R^{-1} g$$

Bayesian 迭代:

$$\frac{f_{(n+1)}(x) \propto \int (R(y|x) f_n(x))}{\int R(y|x') f_n(x') dx'} g(y) dy$$

Tikhonov 正则化:

最小化 $\chi^2 + \lambda \cdot (\text{平滑项})$

抑制统计涨落带来的振荡。

正则化参数 λ : 太小会振荡, 太大会把真实结构抹平。