

## 3.4 高能物理实验中蒙特卡洛方法的应用

### 一、实验设计中的蒙特卡洛方法的应用

#### 1. 实验装置性能的研究

高能粒子反应的终态粒子在探测器中的输运是个很复杂的过程。探测器是通过终态粒子在其中穿行过程中，留下的时间信息和（或）能量沉积信息来决定终态粒子的物理参数，如能量、动量、运动方向和粒子种类等。例如要确定带电粒子的动量，通常可以从测量该粒子在磁场中径迹的曲率来得到。

$$p = 3 \times 10^{-2} BZ\rho(\text{GeV} / c),$$

其中  $p$  为粒子动量， $Z$  为该粒子电荷（以电子电荷为单位）。 $B$  为磁场强度，用 KGS 为单位。 $\rho$  为径迹曲率，以 m（米）为单位。该曲率是通过沿径迹取很多点的坐标测量值计算出来的。这样计算出的动量实际上包含了探测器对径迹空间的有限分辨率引起的误差，还包括了粒子的径迹穿过的探测器内时，在其中各种材料上的多次散射造成的误差。

这些效应具有随机性。它们可以直接用蒙特卡洛的计算方法来确定这些效应的数值。

一般情况下，模拟计算得到的动量分辨率是粒子动量的函数。但是如果模拟某个探测装置的动量分辨率值很大，则探测装置的这部分设计就应当做修改。例如：提高磁场强度、重新安排探测器以测量更多的空间坐标参数、改进探测器位置测量精度、

或者减小该装置中材料的密度等等。

实际上，在对实验装置进行设计的阶段，需要对探测器做大量的类似上面介绍的模拟研究，以了解该装置中各个探测器的响应，并进一步判断该装置是否能满足各项指标的要求以及探测器的安排和设计是否合理。

## 2. 实验方案可行性研究

高能物理实验的目的之一是要检验某种理论或假说的正确性，并排除一些可能的理论和假说。因而在对实验装置进行评估时，判断它能否实现对理论或假说的检验是很必要的。

例如我们想要利用某个实验装置判断一个共振态的自旋。

事实上当今所有的大型高能物理实验的建议书都毫不例外地包括了大量的蒙特卡洛模拟计算。这样才能使主审委员会和从事该实验的所有成员相信该实验方案是可行的。

## 二、实验数据分析中的蒙特卡洛模拟方法的应用

在高能物理实验中，常常用一些大型、复杂的程序来分析实验数据和对实验数据进行筛选分类。为了检验这些程序的可靠性，可以采用输入一些已知数据格式的蒙特卡洛数据，以检验该程序能否总是成功地重建输入数据。这种方法非常有用。特别是在实验装置运行之前，采用蒙特卡洛模拟数据来检验程序就更为必要。

在实验装置获取数据之前，编制、检验和准备分析程序的工作步骤。

要从分析程序的结果中，得到所要研究的反应过程的全截面，除了要算出该过程的探测效率外，还必须求出每一个污染过程对所研究的过程所造成的本底。事实上为了尽可能地压低本底背景，在实验测量和分析中要采取许多措施。其中包括对电子学方面的触发选择、在线判选等等，以及在离线分析中广泛地采用对一些物理量的截断作为对各种反应过程的判选条件。但是即使使用了多种判选条件，某些本底过程的事例并不能完全排除。在粒子物理实验中，蒙特卡洛程序可以根据过程的理论规律，产生出主过程和本底过程事例，由此给出末态粒子的所有径迹参数。然后再将这些径迹参数输入到分析程序中就可以算出该装置的探测效率和本底过程对全截面测量的影响。

探测器本身所具有的鉴别粒子类型的特性，也导致一个与本底过程所产生的相似问题。

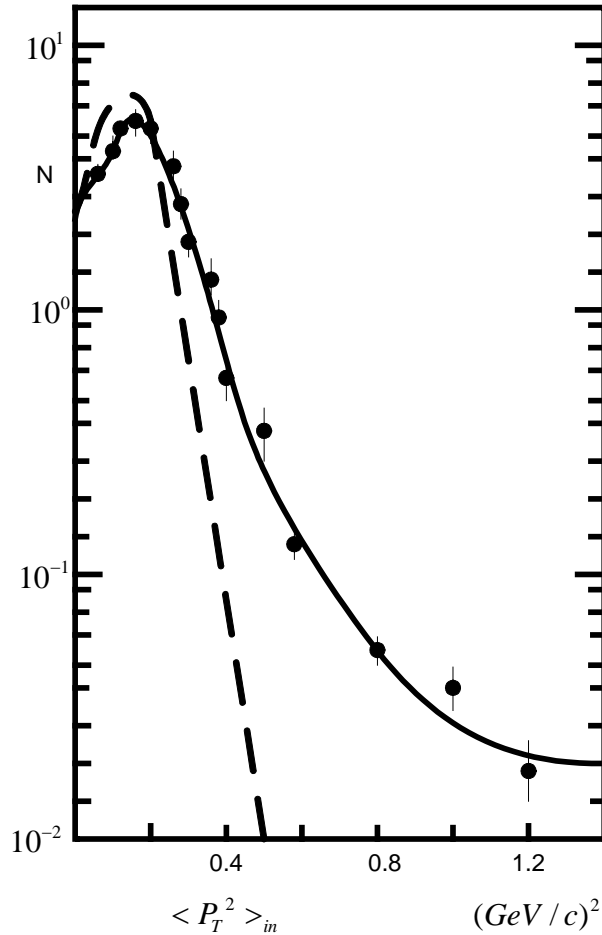
例如，胶子存在与否的实验数据分析就是基于这种对比的分析。在正负电子具有 30GeV 以上的质心系能量的对撞机上，强子产生的机制之一为过程

$$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow q\bar{q}.$$

$q$  和  $\bar{q}$  为夸克和反夸克。它们碎裂后成为强子。TASSO 实验组的实验数据点以及按此机制所绘制的蒙特卡洛计算曲线不相符。但是我们加上

$$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow q\bar{q}g.$$

过程（该过程除产生夸克对外，还有一个胶子。夸克对、胶子碎裂后均成为强子）。这样得到的蒙特卡洛计算曲线与实验点符合很好。这就证明了胶子的存在。



（虚线对应于由  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  机制的蒙特卡洛计算结果。实线对应于计算  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  加上  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$  机制的蒙特卡洛计算结果。  $p_T$  为仅在“事例平面”上的带电强子，垂直于喷注轴的动量分量。关于喷注轴和事例平面的定义见文献——M. Al thoff et al. Z. Fuer Physik, C22(1984) p307。  $\langle p_T^2 \rangle_{in}$  为  $p_T$  平方的平均值。）