

现在,蒙特卡罗方法,对于包括高能物理在内的许多科学领域,都不是一个陌生的名字了。而这种方法却得名于世界闻名的赌城、欧洲摩纳哥国的首都蒙特卡罗。

光怪陆离的赌城,难道与严格的科学研究会有什么因缘吗?是的,谁说“赌博”之中没有一点科学呢?

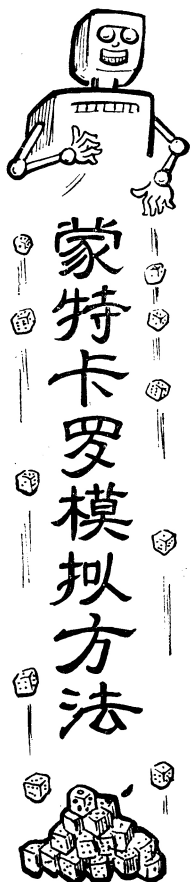
让我们先从一个赌徒的故事说起。十七世纪时法国有一个赌徒,嗜赌如命。他长期玩掷骰子的赌博,发现一颗骰子掷四次至少出现一次六点的机会略大于二分之一,而一对骰子掷二十四次至少出现一对六点的机会略小于二分之一。当然,今天略知概率论的高中生,可以用几分钟或几十分钟的时间严格地求出这两个概率的准确值来。可是那个赌徒对此是一窍不通的。他用来得到这两个数值的方法,不是数学,而是大量次数的赌博。

掷一次骰子,作一次“赌博”,就是做了一次科学试验(请读者恕我如此地亵渎科学这个圣洁的名词),所获得的是一个随机的数值。大量重复这种随机试验,统计所获得的结果,就可能得出问题的解来。这种方法因此被称为统计试验法,但更多的人因为它与“赌博”如此类似,更愿意把它叫做蒙特卡罗方法。

法国赌徒的故事已经告诉我们,一个不懂数学的笨蛋,想要解决什么难题,不妨用蒙特卡罗方法去试试。科学家中间自然不乏精通数学的聪明人,不过大自然似乎喜欢捉弄聪明人,老是将没完没了的愈来愈难的问题提到他们面前。在一些新问题面前,科学家们熟悉的严格的分析方法往往束手无策,这时,“笨蛋”无意之中用过的蒙特卡罗方法便登上了科学的大雅之堂。

蒙特卡罗方法毕竟是一种笨办法,要投入实用并不那么轻而易举。做随机试验是要代价的,那个法国赌徒倾其一生的精力才模糊地估计出两个数值便是明证。做随机试验需要随机数,随机数可以掷骰子得到,不过那样太慢了。有人将预先产生的随机数列成表,方便了一些,也快不了多少。直到四十年代甚至五十年代初,人们还是查表来获得随机数。那时,人们视蒙特卡罗计算若畏途,不到万不得已,是不敢尝试的。

蒙特卡罗方法的大量使用,还是在高速电子计算机愈来愈普及之后的事情。人们发展了有效地产生高质量随机数的算法,电子计算机又会以极高的速度来实现这种算法,产生随机数,并进行其他运算和统计。法国赌徒一生中赌过的次数,计算机几秒钟就“赌”完,于是,用骰子做的试验就改用计算机来做了。本来,蒙



王泰杰

特卡罗方法是笨而慢,现在变成笨而快了。即使有些严格分析方法解决得了的问题,也愿意拿蒙特卡罗方法去处理了,因为笨而快足以和聪明而慢相匹敌。与其消耗宝贵的人脑时间,不如用掉便宜的计算机时间,随着计算机愈来愈便宜,持这种观点的人愈来愈多,蒙特卡罗方法也就愈来愈深入到各个科学领域中去。

蒙特卡罗方法用到高能物理实验中,就成了用计算机做高能物理实验。粒子与粒子相互作用产生终态,终态的各种粒子又与探测器发生相互作用,这些都是随机过程,都与“赌博”具有共性。用蒙特卡罗方法把种种随机过程模拟出来,复杂昂贵的高能物理实验就仿佛被搬进计算机中去进行了。如果要做的一个是对撞机上的实验,也许就是在我国将要建造的 BEPC 上进行的实验,物理学家们已经大体设计了一个具有圆柱几何形状的谱仪,也许就和将在 BEPC 上运行的北京谱仪类似,其中有一层飞行时间计数器,它们应当用若干块平板形的闪烁体构成(图1)。这时,争论发生了。有人主张每块闪烁体应当做得窄些,这样就难得会有两个以上的粒子击中同一块闪烁体,不至产生漏记或混淆不清;也有人坚持闪烁体不能太窄,要知道一块闪烁体要胶上两根光导,连上两个光电倍增管,配上两道高压电源,接上四根电

缆,占用两套电子学线路,闪烁体愈窄,花钱就愈多,更不用说闪烁体太窄了也不好加工。这时就得请蒙特卡罗方法来帮忙了。首先,随机地产生一个模拟“事例”,就好象实验已经开始,发生了一次对撞,产生了一个含有若干粒子的终态。不过这个“事例”只是一串由计算机产生的随机数,它们分别表示终态有几个粒子,是些什么粒子,每个粒子的能量、动量是多少,等等。然后,让这些粒子在计算机内“运动”——计算出它们的运动轨迹,再统计有多少粒子飞出了谱仪,多少粒子击中了闪烁体,多少粒子击中了同一块闪烁体等等。如是重复模拟大量事例,就可估计出因闪烁体太宽造成的漏

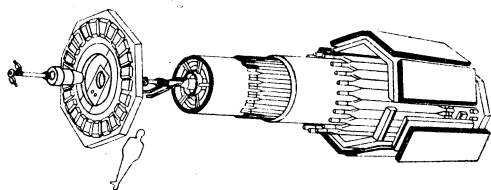


图1 一个圆柱形谱仪

记或混淆不清有多少。

假如借助于蒙特卡罗模拟,找到了一个折衷的闪烁体宽度,采用这个宽度,同时击中造成的损失尚可忍受,而花钱又不太多。物理学家们皆大欢喜,探测器设计于是定型,负责硬件的人们开始购置设备材料、加工制作,准备数据分析程序的软件工作者也在计算机上忙起来了。

软件方面马上就会提出问题来,他们准备的程序是为了分析实验数据用的,程序是否正确无误要用实验数据来调试。可是在探测器造好之前,哪里有实验数据呢?

解开这个死结的办法是蒙特卡罗模拟,在开始制作探测器的同时,也用计算机“造”一个模拟探测器,就是用计算机程序来模拟探测器内发生的种种随机过程:粒子在飞行过程中可能衰变,衰变产物可能五花八门;粒子可能在物质内受到散射,略为偏离原来的轨道;粒子还可能损失能量,能量损失的大小也有随机涨落……。这些都要蒙特卡罗模拟。粒子击中探测器留下的信号,要经过电子学线路的放大、甄别等处理,自然也得尽可能逼真地加以模拟。最后,真正的实验数据送进计算机去的时候都已变成数字形式,在蒙特卡罗模拟中也同样做模拟-数字转换。总而言之,一个完整的蒙特卡罗模拟所输出的数据,从外形上看与探测器送进计算机的原始数据一模一样,简直是“以假乱真”。

软件工作者拿到假数据,就可以开始调试分析数据的程序了。假数据毕竟是假数据,它并不能告诉人们物理世界的真实奥秘,惟其是假数据,在某些方面又胜过真数据,确是“假作真是真亦假”。在调试的初期,软件工作者希望面临的问题简单一些,那么蒙特卡罗会给出简化数据:一个事例只有一两个粒子,它们不那么密集,它们可以走直线或规整的螺旋线,等等。待到软件工作者对自己的程序颇有信心,蒙特卡罗又可以给出与未来的实验结果相仿佛的数据。甚至于,软件工作者可以让蒙特卡罗产生一些比最复杂的真实数据还要复杂的数据,用来考验自己心爱的软件产品,看看可以“忍受”多重的“负荷”。

曾经有人将科学家对未知世界的探索比作大侦探福尔摩斯侦破案件。处理假数据决没有侦破一件凶杀案那么严肃,倒有点象福尔摩斯的好朋友华生臆想出一件案子来为难他。福尔摩斯应该找出破案的线索,但他知道并没有什么凶手在东躲西藏,答案就在华生的口袋里。处理假数据的好处之一是有一份标准答案存在,要知道处理的结果在多大程度上正确,可以和各项进入探测器以前的数据作比较。

有了蒙特卡罗模拟的假数据,软件工作者如虎添翼,软件生产得以与探测器硬件制作齐头并进。终于,这个实验进入了获取并分析数据的阶段。

通常,蒙特卡罗模拟提供给物理学家一些必要的的数据,这些数据不可能从直接分析实验原始数据得到。如果实验的目标是测量重轻子的产生截面,需知实验装置对于重轻子事例的“接受度”,即有多大比例的重轻子事例进入探测器被记录下来并为分析数据的程序所发现。接受度是由蒙特卡罗模拟计算得来的。

蒙特卡罗模拟还帮助物理学家解决更加微妙的问题。高能粒子相互作用的图象可说相当复杂,而高能物理实验装置又是如此错综庞大,把本已相当复杂的图象弄得更加眼花缭乱了,要把实验结果与一种理论明确地联系起来并不容易。1979年在西德的正负电子对撞机上发现了三喷注,从而证实了胶子存在,这个实验的数据分析相当困难。因为喷注本是一种集团现象,若干个粒子沿着大体相同的方向运动,就形成一个喷注。喷注的“胖”“瘦”也有随机的涨落,一个三喷注事例,也可以解释为含有一个“瘦”喷注和一个特别“胖”的喷注的两喷注事例。要排除这种模棱两可必须有更加“颠扑不破”的依据。图2是作为依据之一的“海鸥图”。要是人为地认为所有事例全是两喷注的,并区分出一“胖”一“瘦”,选择一个喷注的总动量和平均横动量为两个座标,每个两喷注事例可以在图2的左右两半各确定一个点,“胖”喷注相应的点位置较高。同时,采用不同的理论模型(两喷注的和三喷注的),蒙

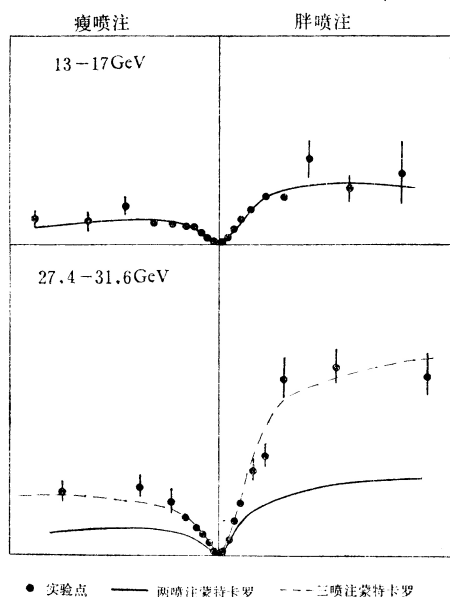


图2 海鸥图

特卡罗模拟绘出两条形状不同的海鸥曲线。图2清楚地告诉物理学家,在较低能量下,两喷注模型与实验符合,此时喷注的“胖”“瘦”只是一种涨落。而在高能量下,喷注变胖的程度远远超出了涨落范围,这是由于第三个喷注造成的。蒙特卡罗模拟在这儿成了裁决哪个模型正确的公正法官。