

正负电子对撞实验中的刻度方法

郁忠强

刻度工作的重要性

人们到市场去买肉、买菜、会发现在售货大厅的醒目位置放有一台“公平秤”。假如你怀疑买的东西不够份量，可以到公平秤上去秤一下，公平秤为什么公平呢？因为它是经过计量单位校验过的，它的刻度是正确的。假如这台公平秤没有被很好的校验过，那么很多顾客就会被它欺骗。在实验上，无论作何种测量都有标准计量和刻度的问题。也就是说，你的测量仪器都必须经过刻度和校正。在作正负电子对撞实验时，我们用一台探测器放在对撞点处，测量正负电子对撞发生的相互作用所产生的次级粒子的物理量，从而研究粒子间相互作用的性质和各种现象。这一台探测器是十分复杂和庞大的装置，由多种类型的成千上万个探测器单元组成，包括漂移室、簇射计数器、 μ 子探测器、飞行时间计数器和它们的电子学线路。从测量到的原始数据得到所需要的物理量，必须知道每一个探测器单元的刻度数据。

在正负电子对撞实验中，我们要求测量的物理量是些什么呢？一般说来，要求知道正负电子对撞发生相互作用产生的次级粒子的种类、所带的电荷、动量大小、空间分布等等，通常称这些量为事例参数。由大量的事例参数可以分析出物理结果，从而研究粒子相互作用的各种性质，发现新粒子和新现象。然而，在探测器上收集到的原始数据是一些电学量，它们是探测器单元所输出的幅度信息（电荷量或电压幅度）或时间信息，它们以数字化的形式被记录在磁带上。从这些原始数据到获得事例参数，要经过一系列的、变换和校正。计算量是很大的，必须在大型计算机上完成。具体地说，从原始数据的时间和幅度信息首先要计算出粒子在探测器中击中点的坐标 (x, y, z) ，再由击中点的位置寻找出次级粒子的径迹，定出径迹参数，包括动量、能量、径迹出射的角度 (θ, φ) 等，然后由一个事件中所有的径迹参数确定事例参数，包括径迹数、总能量、空间分布等。要完成上述的变换和分析，就需要知道各探测器单元的具体响应，即它们的刻度数据。这些相当于测量中的“秤”和“尺子”。可以看出，探测器的刻度工作是实验数据分析中心不可少的重要部分。在探测器运行取数据期间，由于各种原因，例如温度的变化、电源的变化、气体成分的变化等，探测器单元的性能和工作条件可能发生变化，还必须不断地对它们进行校正或重新刻度。这正如商店的秤每

天都要检查和调整一样。

运行前必须提供刻度数据

从物理实验的要求出发，在实验开始前必须提供完整的刻度数据，探测器一旦运行取数据，就要立即利用刻度数据对实验的原始数据进行分析。众所周知，高能物理实验是一门前沿科学，重要的目的是发现新现象和新粒子，在这个领域的竞争是十分激烈的，往往同样的实验由几个实验组同时进行，谁都想首先发现，争夺桂冠。在物理上只有第一才称为新发现，否则只是重复了别人的工作或验证了别人的结果，意义就大不相同了。可以看出，探测器运行前提供一套正确的刻度数据是多么重要！另外，有了刻度数据就可以对原始数据进行迅速而及时的处理，以检查探测器工作是否正常，离线分析的程序是否正确。一旦发现问题，立即排除故障，或改变实验条件，或修改程序。

需要哪些刻度数据

以一个闪烁计数器单元为例，讨论从它的两端所获得的时间和幅度信息确定击中点的位置和能量，从中可以知道需要那些探测器的刻度数据。

设闪烁计数器单元上有一个击中点，它的坐标为 (x_i, y_i, z_i) ，如图 1 所示。坐标 x_i 和 y_i 由该闪烁体的位置决定， z_i 可由两端光电倍增管输出信号的幅度数据和时间数据决定。假定探测器两端所获得的原始的幅度数据和时间数据分别为 A_1, A_2 和 T_1, T_2 。下面先讨论由时间数据 T_1 和 T_2 确定击中点的位置坐标 z_i 。闪烁计数器两端光电倍增管的输出信号经过一系列的电子学线路，包括放大、甄别、时间-数字变换等单元，得到了 T_1 和 T_2 。由于测量时间的线路有定时问题，所以必须减去时间零点。然后对时间的晃动必须进行校正，所谓时间晃动是指输出的时间信息是和

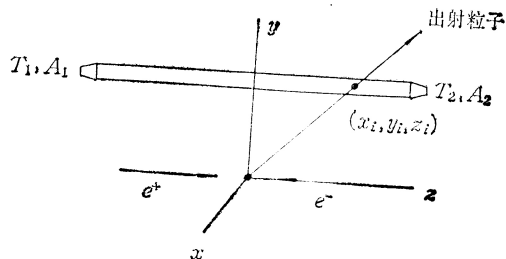


图 1 闪烁计数器单元击中点示意图。

输入的脉冲幅度有关的,时间读出电路总是存在一个甄别阈。脉冲幅度越大,输出的时间信号有一个提前量,对小幅度的信号相当有一个迟后量,设它们的校正量分别为 Δ_1 和 Δ_2 。

经过校正后的时间数据 T'_1 和 T'_2 分别为:

$$T'_1 = (T_1 - t_{01}) - \Delta_1,$$

$$T'_2 = (T_2 - t_{02}) - \Delta_2$$

式中 t_{01} 和 t_{02} 分别为左右两路的时间零点。击中点的 z_i 可由下式计算:

$$z_i = \frac{1}{2} \cdot v \cdot (T'_2 - T'_1)$$

式中 v 为光在闪烁体中的传播速度。

从以上讨论知道,需要以下的刻度数据:

- (1) 时间数字化电路的零点;
- (2) 各路的时间晃动校正值;
- (3) 光在该闪烁体中的传播速度。

从原始的幅度数据 A_1 和 A_2 也可以确定击中点的坐标 z_i ,类似于上面的讨论,知道需要以下的刻度数据:

- (1) 幅度数字化电路的台阶;
- (2) 每路的相对增益;
- (3) 每个光电倍增管的饱和修正因子;
- (4) 光在该闪烁体中的衰减常数。

次级粒子通过该闪烁计数器时,要损失能量,由原始的幅度数据 A_1 和 A_2 可以求出粒子在该闪烁计数器中损失的能量。这里,除要求知道上述校正参数外,还需要知道各种不同的带电粒子在该探测器单元中的能量损失因子。

获取刻度数据的实验方法

获取各种刻度数据的实验方法有以下几种:

- (1) 试验束实验;
- (2) 宇宙线实验;
- (3) 电子学实验;
- (4) 利用实验数据作刻度。

为了得到各探测器单元中沉积能量的信息,给出它们的能量损失因子,最好的办法是做试验束实验。世界上每个高能加速器中心都有自己的试验束,专门用于探测器的发展和试验,它可以提供各种不同种类的粒子,如电子束、 π 束等,可以调节不同能量和方向的束流入射到被试验的探测器上,记录下在不同情况下每个探测器单元所探测到的幅度信息和时间信息。通过对试验束实验数据的分析,算出不同种类的粒子在各探测器单元中沉积能量的比例,根据入射粒子的能量就可以定出各单元的能量损失因子。

试验束的实验常常是取整个探测器装置的一部份,因用于正负电子对撞实验的探测器呈圆柱状,通常选一个 22.5° 或 45° 的斜劈结构进行测试。从试验束的实验数据分析,除得到能量损失因子外,还能得到许

多其它的刻度数据,如光在闪烁体中的传播速度,光衰减常数等等。

当探测器安装到贮存环的对撞点以后,就不可能再做试验束实验了。经过一段时间运行后,由于实验条件的改变或某些不稳定因素等原因,对某些刻度数据必须进行修正或重新刻度,如闪烁计数器的相对增益,这就可以通过宇宙线实验进行。

很多远离高能加速器中心的大学或实验室没有试验束供使用,常常只能采用宇宙线实验对一些探测器进行试验,也可获得一些有用的刻度数据,如漂移室的位置分辨、漂移速度,光在闪烁体中的衰减常数等。

还有一些刻度数据是在实验室中用电子学的测量方法获得的,如闪烁计数器的时间晃动校正因子,光电倍增管的饱和修正因子等等。

上述三种实验方法获取的刻度数据常作为离线数据分析时的初始刻度数据。从实验数据中可以筛选出某些反应(如巴巴事件或 μ 子事件)组成事例集,运用专门的刻度程序可对有些刻度数据进行重新校正,再用这些新的刻度数据分析这些实验数据,将得到比较好的实验结果。这些重新校正的刻度数据包括各路时间-数字变换电路的时间零点,模拟-数字变换电路的台阶和相对增益等。

判别刻度数据的优劣

要获取全部实验数据分析所需要的刻度数据,需要大量的人力和时间,通过各种实验方法得到。其质量的优劣决定于实验方法,更决定于实验工作者的经验和技巧。有时,某种错误的刻度方法使数据分析陷于困境,而刻度方法的改进常使数据分析工作绝处逢生,出现新的生机。如何判别刻度的质量呢?离线分析中常常通过以下的分析方法作出鉴定。

(1) 事件的反应顶点分布。通常在作事件分析时,首先筛选出强子事件,组成事例集,通过程序的分析给出强子事例的顶点分布,进行拟合后,计算出它的均方根宽度,这可以和束流的纵向宽度相比较,好的刻度数据将给出较窄的顶点分布,和束流的纵向宽度是相符合的。

(2) 位置分辨。在径迹室或闪烁计数器中,根据击中点的位置进行寻迹和径迹拟合,可给出各单元的位置分辨曲线。好的刻度数据能给出较好的位置分辨。

(3) 能量分辨。由巴巴事件的事例集或强子事件的事例集,可以给出巴巴事例或强子事例的能谱。由能谱的形状和能量分辨可以判别相应刻度的优劣。

(4) 事件的重建。由原始数据经过分析,寻迹,径迹拟合,得出全部事例参数,最后进行事件的重建。重建的事例可以在图象终端上被显示出来,事件参数都可标注在图上。有经验的物理工作者能从中判断刻度数据的好坏,能及时地发现问题。