

# 正负电子对撞实验中的本底

郁 忠 强

北京正负电子对撞机中,大约每 0.8 微秒,正负电子束团对撞一次。我们知道不是每次对撞都能产生反应的,一般发生反应的几率很小,要对撞很多很多次才能产生一次反应,得到一个好事件。好事件极其稀少,譬如说,对撞十秒钟才出现一次,也就是说,正负电子束团每碰撞一千万次才产生一次好事件。要记录它和分析它,必须先找到它。要在一千万次中找出一个好事件可不是一件容易的事! 就像你要在全北京市的入口中找到一个朋友一样的麻烦,因为有大批的人很

像你的朋友所具有的某些特征,这就形成了一个庞大而复杂的背景。你必须采取逐步筛选的办法,排除掉那些不合格的候选者,最后才有可能找到你想找的那位朋友。在正负电子对撞实验中,同样要采取判选和逐级筛选的办法,排除掉大量的本底,才能找出被研究的好事件。本底要比好事件

多得多,筛选掉本底时不能将好事件丢掉,最后找到的好事件必须可靠,不是冒牌货,所以任务是十分艰巨的。从一开始设计实验,制造探测设备,运行取数据,到最后分析出物理结果,自始至终贯穿着如何排除掉本底的问题。不能马虎大意。这里,让我们分析一下正负电子对撞实验中本底的来源。

## (1) 束-气体本底

正负电子束和对撞区束流真空管道中的残余气体发生碰撞可能产生本底。这本底的多少正比于束团中

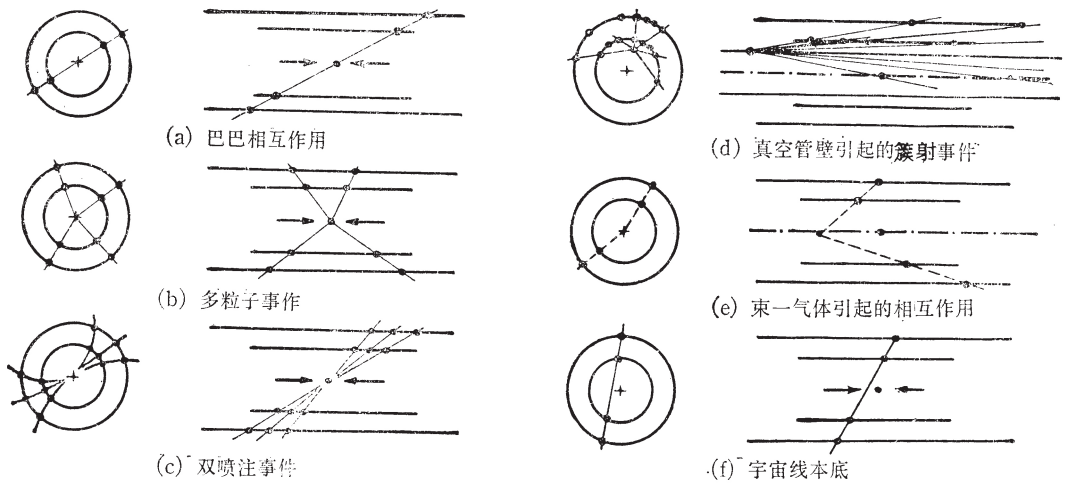


图 1 正负电子对撞实验一些期望的好事件和本底

正负电子的数目和管道中剩余气体的压力，也正比于有效探测器的长度。为了有效地降低束-气体本底，要求在探测器所在的束流管道处达到较高的真空度，一般要求达  $10^{-9}$ — $10^{-10}$  毫米汞水银柱。这种本底有一些特点，可以根据这些特点和好事件加以区别。图 1 给出了三种好事件和三种本底事件的示意图，图 1 (e) 给出的是束-气体本底事件的一个示意图。束-气体本底事件的产生原点不一定在对撞点处，它们是均匀分布在束流方向上。而好事件总是在对撞点产生的。根据这个特征可以非常有效地排除掉大量束-气体本底。另外，当束流和气体中的残余气体碰撞时，很大部分的能量作为残余气体原子或分子的反冲能量，产生的次级粒子在探测器中沉积的能量将是很小一部分，和正负电子对撞的总能量相比要小很多。而好事件的次级粒子在探测器中沉积的能量差不多和正负电子对撞的总能量相等，根据这个特点也能有效地排除大量的束-气体本底。

### (2) 正负电子从束团中的逃逸

束团中的正负电子和真空匣中的残余气体作韧致辐射时，有可能损失掉它的能量的一部分，当它们的动量偏离中心动量较大时，就有可能从束团中逃逸。在贮存环的弯转部分由于受偏转磁铁的作用，大部分偏离中心动量的正负电子被扫出，这对探测器不会引起任何严重的问题。然而，在对撞区的直线段，这种偏离中心动量的正负电子经过四极磁铁后会被过聚焦，直接打在束流管道的管壁上，以很小的角度进入探测器。由于电磁簇射的发展，在径迹室中常常形成类似云团的图象。对于这种类型的本底可以采用贮存环真空匣内的挡板系统加以限制。由于这种类型的本底发生也不是从对撞点出发的，和束-气体本底一样，可以很容易地加以区别。图 1 (d) 给出了逃逸电子在管壁上产生簇射的一个示意图。

当贮存环的束流条件不佳时，这种本底可能很大，引起过高的触发率或在径迹室中产生过大的电流，这将对探测器的正常工作是极其有害的。这种情况下，必须关掉探测器，停止取数据，等待束流条件的改善。

### (3) 同步辐射本底

带电粒子在贮存环中运动，当它在磁场中改变运动方向时要发出同步辐射。在相对论情况下，其辐射沿着运动的切线方向呈很尖锐的锥状，它的半张角很小。在贮存环的弯转部分发出的同步辐射，显然不会对探测器产生明显的影响，只有进入对撞区的直线段的最后一块偏转磁铁中产生的同步辐射会进入到探测器区域，形成探测器的本底事件。在设计贮存环时，为了减小探测器区域的同步辐射本底，对最接近对撞区直线段的偏转磁铁采用低场偏转磁铁，它的磁场值为正常偏转磁铁的几分之一或几十分之一。这样不仅降低了同步辐射的强度，而且可以降低同步辐射的临界

能量，这将大大有利于对同步辐射的屏蔽和消除。在对撞区的直线段，还有一些四极磁铁，带电粒子通过时，也将引起同步辐射，其中有一部分可能进入探测器区域。减小同步辐射对探测器影响的方法首先是采用合适的挡板系统，和上面讨论的减小逃逸本底一起加以考虑。通过计算机的模拟计算和实际调整，找到合理的挡板系统安排，将束团中逃逸电子的本底和同步辐射本底尽可能降到最低限度。然后，再在探测器的束流管道和探测器周围适当采取屏蔽措施，进一步减小同步辐射对探测器的影响。

同步辐射的能量和正负电子对撞的总能量相比甚小，很容易将同步辐射引起的本底事件和好事件区别开来。但是，同步辐射的强度很高，它可以作为好事件的背景出现，这将增加分析上的困难。特别是在径迹探测器中，同步辐射可以产生随机的丝击中，给寻迹和图象识别程序增加很大的困难。这不仅增加计算机运行时间，而且影响到结果的可靠性。当同步辐射特别严重时，可以使寻迹和图象识别程序无法工作。

### (4) 宇宙射线本底

宇宙射线的本底大部分是单个  $\mu$  子，也有一些簇射事件。正负电子对撞机上用的探测器体积较大，线度尺寸达数米，一般探测器上的宇宙线本底可达每秒上千个计数。比好事件要多得多。然而，宇宙线在时间上的分布是随机的，这就提供了正负电子对撞实验中排除大量宇宙线本底的有效方法。我们知道，正负电子对撞有一定的频率，只有在很短的对撞时间内，探测器才能记录到感兴趣的好事件，所以可以采用电子学符合的方法，在正负电子对撞时开一个很短的时间窗。例如北京正负电子对撞机对撞周期为 800 毫微秒，若采用 30 毫微秒的时间窗，就可以排除掉  $\sim 96\%$  的宇宙线本底。另外，宇宙线径迹大多数不通过对撞点（见图 1 (f)）也可以根据这个特点将宇宙线和好事件区分开来。

排除本底的问题是一项严重而复杂的工作，除了在设计贮存环和探测器时必须考虑外，要在触发判选、在线筛选和离线分析中逐级慎重对待。实验能否成功，很大程度上取决于能否有效地解决本底的问题。