



高能强作用中的大横动量现象

在一次高能强相互作用中可以产生若干个次级粒子,次级粒子的横动量 $P_t = P \sin \vartheta$, P 为粒子的动量, ϑ 为它与原初粒子的夹角。横动量在实验室系与质心系的转换中是一个不变量,在实验上比较容易测定。从测不准关系式 $\Delta P \Delta x \sim \hbar$, 更大的横动量与强子更小尺度的性质相联系,因此强作用中横动量的研究受到人们普遍的重视。在能核作用中对次级粒子横动量的研究从五十年代就开始了,那时在宇宙线实验中得到了能量高于 10^{12} eV 的核作用多重产生事例,即在一次作用中产生几个到几十个次级粒子,相应地产生了一些理论,对实验中观察到的这种现象加以解释。1954 年胡宁给出的理论模型就能解释实验中观察到次级粒子横动量为 200—300 MeV/c 的特征。1956 年日本的西村指出高能核作用次级粒子横动量的平均值接近于常数,其值约为 0.4 GeV/c, 后来的边缘碰撞模型也给出了这个数值,以后的宇宙线实验证实了这一点。宇宙线实验还给出了次级粒子横动量分布具有 $P_t \exp(-aP_t)$ 的形式。在 30 GeV 的加速器实验中,当 P_t 达到 4 GeV/c, 此时次级粒子的产生截面已经降低了 8 个量级,但实验结果与上述分布仍符合得很好。

但在五十年代进行的更高能区的宇宙线实验中,即广延大气簇射观测中得到一种多心结构事例,它与 P_t 分布很窄、平均值接近于常数的观点相矛盾。因为 P_t 值若是常数,动量大的次级粒子集中在小角度内,与碰撞剩余的带头粒子一起形成簇射的中心;而大角度粒子则动量很小,散布在四周,难于形成另外的中心。两个以上的中心,似乎表现出存在着大横动量次级粒子。七十年代西欧中心的 30 GeV 质子-质子对撞机和美国费米实验室的 400 GeV 质子加速器运行后,实验测出强作用产生的大横动量次级粒子比预期的数量大。图 1 示西欧中心质子对撞机测得的一组数据,测量在质心系 90° 方向发射 π^0 的 P_t 值分布,在 $P_t \leq 1$ GeV/c, 可以用 e^{-aP_t} 很好地拟合,当 $P_t > 3$ GeV/c 以上,实验值比 e^{-aP_t} 分布高若干个数量级,而且随初能增加差别

越大。实验分布可以拟合为 $P_t^{-n} F(x_t)$ 的形式,其中 $x_t = 2P_t/\sqrt{s}$ 。当 $x_t < 0.25$ 时有 $n \simeq 8$; 当 $x_t > 0.3$ 时有 $n \simeq 6$ 。

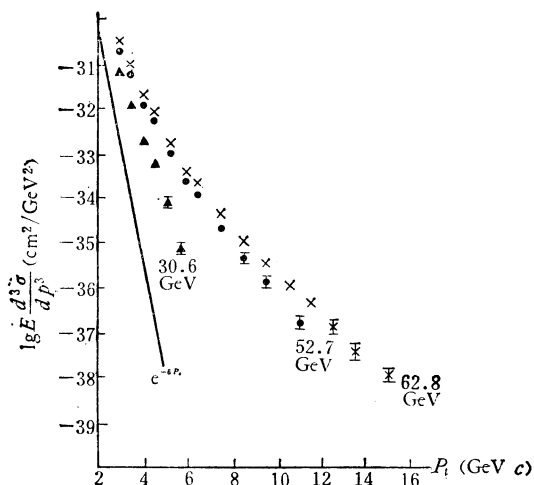


图 1 ISR 得到的一组 $P_{T\pi^0}$ 分布

有很多模型试图解释高能作用中的大横动量现象,类比卢瑟福散射,大横动量散射意味着是强子内存在着更小的组成成分在起作用。一般认为强子由层子组成,胶子传递层子间的相互作用。高能强子间的相互作用可以由于这些更基本的东西之间的弹性散射(硬散射)产生大横动量粒子。由图 2(a) 所示, A, B 二个强子相互作用时有 $a+b \rightarrow c+d$ 的弹性散射, a, b, c, d 可能是层子,也可能是胶子,产生 c, d 后碎裂成强子喷注(jet);在这个过程中 A, B 还产生近于原方向的两个喷注,即一次作用中总共产生四个喷注。图 2(b) 示在质心系中的四喷注作用图象(在质子-质子对撞机上可以直接观察到这种图象)。对于大横动量现象的硬散射过程可以用量子色动力学(QCD)作近似计算,计算结果可以和实验相符。计算表明,当能量足够高时分布 $P_t^{-n}/(x_t)$ 的 n 值会降到 4, 现在实验已测到随

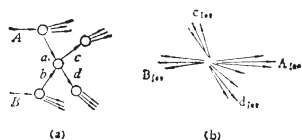


图 2

初能增高 n 值继续下降的趋势。喷注的图象在实验中可以直接反映,如图 2(b) 所示:在质心系中应有两个接近于相反方向的喷注,表现在快度 $y = \ln \frac{E + P_z}{E - P_z}$ 的分布上出现两个峰的结构,这类似于宇宙线实验中观察到的双火球结构;从方位角分布上也有接近于对称的相反方向的极大值。当然,高能核作用是个多体产生问题,图象十分复杂,理论上与实验上都还有很多工作可做。此外,层子或胶子产生喷注的图象在 e^+e^- 对撞实验中也观察到了。在 e^+e^- 对撞实验中,不存在 A, B 两个喷注,一般情况只有两个喷注(在能量足够高时由于产生胶子喷注,也有三个以上喷注的现象)。在轻子—强子的深度非弹性散射实验中,给出了强子里面的层子和胶子的分布函数,用这些分布函数来计算强子—强子散射的大横动量分布,也得到了与实验符合的结果。上述几个方面的研究结果都互相支持,加深了人们对于组成强子的层子与胶子性质的认识。

有兴趣的是对更高能区强作用的预测。八十年代,加速器能量在碰撞质心系中可达 1000 京电子伏,量子色动力学计算表明,在这个能区大横动量现象会更加突出。在这个能区有希望能产生中间玻色子,它可以衰变为一对正反层子,层子又碎裂成强子喷注。

中间玻色子衰变的强子喷注的特点是在 $P_T \sim M_{W^0}/2$ 处有一个峰的分布, M_{W^0} 为中间玻色子的质量。但此时强子—强子作用中直接产生的大横动量喷注很可能会把这个峰淹没掉。

目前,只有宇宙线实验达到质心系为 1000 京电子伏能区(即 10^{15} eV 能区的超高能作用事例)。前述广延空气簇射中的多心结构事例很可能是一种大横动量现象。在七十年代得到发展的大面积高山乳胶室以及飞机乳胶室的研究,观察到了更明显的多心结构现象。乳胶室放置的高度高,多次作用的积累效应比较小,再加上乳胶室的空间分辨远优于广延空气簇射探测器,所以不少人认为乳胶室观察到的多心结构事例正是反映出次级粒子的大横动量现象。在 10^{15} eV 能区,这种事例的比例高达 10% 以上,初步分析表明产生 $P_T \sim 10$ GeV/c 的大横动量事例的截面可能在 mb 量级(mb 是 10^{-27}cm^2)。按量子色动力学计算,产生单个大横动量粒子的截面是很小的,要用千分之一 mb 来计量,但产生横动量为几个 GeV/c 的喷注截面可达 mb 量级,因而作为整个喷注的集体效应可能形成部分多心结构事例,这儿涉及到自由层子能否产生的问题,如果自由层子产生了,产生几个 GeV/c 横动量自由层子的截面可达 mb 量级,因此如果确实有如此大的大横动量粒子产生截面,就很可能包含着自由层子的产生。当然宇宙线原初成分复杂,重核与空气核作用碎裂后也可能形成一些多心结构事例;又由于宇宙线事例常常经过大气中的多次作用。所以必须积累更多的事例,同时进行大量的蒙特卡罗模拟计算,才能对大横动量次级粒子的产生截面得出进一步的结果。(况浩怀)