

夸克喷注和胶子喷注硬度特性的研究*

陈刚¹ 刘连寿^{2;1)}

1(中国地质大学物理系 武汉 430074)

2(华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430079)

摘要 用蒙特卡洛模拟方法研究了 Z^0 强子衰变中的三喷注事件. 用 b 标记方法辨别, 得到夸克喷注和胶子喷注. 定义了一个新的物理量——硬度. 分别计算了发射了胶子的夸克喷注和胶子喷注的硬度分布. 通过胶子和夸克喷注的平均多重数和平均横动量对硬度的依赖性以及他们的多重数和横动量在相同硬度区间内的分布情况的计算与比较, 发现夸克喷注和胶子喷注的硬度特性有显著的差别. 夸克喷注的特性几乎与硬度无关, 而胶子喷注的特性与硬度之间存在较强的关联. 当 $H_d > 10\text{GeV}$ 时, 胶子喷注的平均多重数和平均横动量都明显地大于夸克喷注的平均多重数和平均横动量; 而当 $H_d < 6\text{GeV}$ 时, 结果正好相反. 这表明, 只是对于较硬的胶子, 胶子喷注比夸克喷注“胖”的结论才能成立.

关键词 胶子喷注 夸克喷注 硬度 b 标记

1 引言

根据量子色动力学(QCD)理论, 组成物质的基本单元是夸克和胶子. 由于“色禁闭”, 无法直接从实验中观察到自由状态的夸克和胶子, 但是通过理论研究和实验观测, 现在已经有了充分的证据证明它们的存在. 1979 年在 17—30GeV 能区观测到了三喷注事件^[1]. 根据 QCD 理论, 这 3 个喷注中包括有两个夸克喷注和一个胶子喷注: $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$.

QCD 理论预言, 在相同的能量下胶子喷注比夸克喷注有较大的色荷, 因而有较软而宽一些的能量谱, 通常据此说胶子喷注比夸克喷注“胖”. 在三喷注事件中的胶子喷注和夸克喷注内部在性质上究竟具有怎样的差别, 是长期以来喷注研究所关注的一个主要问题^[2]. 在实验上, 胶子和夸克的特性和差别已有一些研究^[3,4], 其结果与 QCD 理论预言基本一致. 最近, 用蒙特卡洛模拟的方法研究了 e^+e^- 碰撞产生的三喷注事件中的夸克喷注和胶子喷注的性

质^[5]和动力学起伏特性^[6], 采用的喷注判定法是改进的角度法则. 进一步细致地研究和比较夸克喷注和胶子喷注的性质, 是对描述强相互作用的理论(QCD)的一种有意义的检验.

本文用蒙特卡洛模拟产生器 Jetset 7.4 产生质心能量为 91.2GeV 的 e^+e^- 对撞三喷注事件样本, 采用 b 标记(b-tag)方法^[3]追踪夸克喷注, 从而更为可靠地辨别出夸克喷注和胶子喷注. 定义了一个新的物理量——硬度. 对发射了胶子的夸克(反夸克)喷注和胶子喷注内部的硬度特性仔细地进行比较和研究, 得到夸克喷注和胶子喷注在性质上存在的差异以及与 QCD 理论预言的符合情况. 采用改进后的角度方法^[7]来辨别夸克喷注和胶子喷注, 进行了同一研究, 并与上述 b 标记法的结果进行了比较.

2 夸克喷注和胶子喷注样本的挑选

首先, 用 MC 模拟产生器 Jetset 7.4 产生 $\sqrt{s} =$

2003-06-27 收稿, 2003-08-29 收修改稿

* 湖北省教育厅重点科研项目, 湖北省高校优秀中青年科技创新项目和国家自然科学基金(10347152, 10375025, 90103019)资助

1) E-mail: liuls@iopp.ccnu.edu.cn

91.2 GeV e^+e^- 碰撞末态粒子的全事件样本. 采用喷注判定法则, 选定适当的截断参数, 从全事件样本中挑选出三喷注事件构成三喷注事件子样本进行研究. 根据量子色动力学理论, 在 e^+e^- 碰撞产生的三喷注事件中, 有两个夸克(反夸克)喷注和一个胶子喷注. 为了研究单个胶子喷注的动力学性质, 还需要从三喷注事件中分别把夸克喷注和胶子喷注挑选出来.

2.1 b 标记方法

目前实验上常用的挑选胶子喷注的方法是所谓的 b 标记方法^[3]. 这种方法是通过选择含 b 和 \bar{b} 的喷注来区分夸克(反夸克)和胶子喷注. 从 Jetset7.4 产生的事件中挑选出含 b 和 \bar{b} 的事件, 用 Durham 喷注判定法则挑选出三喷注事件. 根据 QCD 理论, 3 个喷注中能量最大的喷注(jet-1)是由 b(或 \bar{b}) 夸克强子化产生的, 而另一个 b(或 \bar{b}) 夸克则在发射硬胶子以后, 再强子化为喷注. 因此, 可以从能量较低的两个喷注中标记出由 b(或 \bar{b}) 夸克强子化产生的第二个喷注(jet-2), 而余下的第三个喷注(jet-3)就被认定为是胶子喷注. 如图 1(a) 所示.

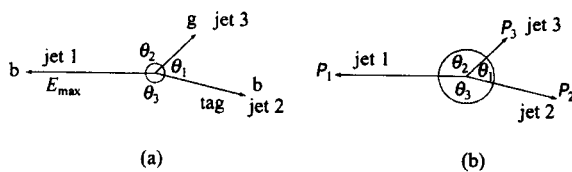


图 1 三喷注事件中 3 个喷注分布的示意图
(a) b 标记方法; (b) 角度方法.

2.2 角度标识方法

历史上曾有实验组^[8,9]用过角度方法来辨别夸克喷注和胶子喷注, 但选择出的喷注纯度不高, 只有 56%. 后来, 对角度方法进行了改进, 使通过 Monte Carlo 模拟选择的夸克喷注和胶子喷注的纯度提高到大于 83%^[10].

假设一个三喷注事件中的 3 个喷注分别由夸克、反夸克和胶子碎裂产生, 根据能-动量守恒的要求, 3 个喷注必位于一个平面上, 如图 1(b) 所示.

用 3 个喷注之间的 3 个角度

$$\vartheta_i = \arccos \frac{\mathbf{P}_j \cdot \mathbf{P}_k}{P_j P_k} = \arccos \frac{P_{j1} P_{k1} + P_{j2} P_{k2} + P_{j3} P_{k3}}{P_j P_k}, (i, j, k = 1, 2, 3), \quad (1)$$

来标识各个喷注. 其中 $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3$ 分别为 3 个喷注的总动量. 最小夹角 ϑ_1 所对的为喷注 1, 中等大的夹角 ϑ_2 所对的为喷注 2, 最大夹角 ϑ_3 所对的为喷注 3.

角度标识方法认为, 在三喷注事件中, 喷注间夹角最小的 ϑ_1 所对的是能量最大的夸克喷注(或反夸克喷注), 夹角最大的 ϑ_3 所对的是能量最小的胶子喷注, 而夹角中等的 ϑ_2 所对应的是已发射胶子的母体夸克(反夸克)喷注. 以下讨论中, 把正反夸克(喷注)统称为夸克(喷注). 发射胶子后的母体夸克与胶子所对的角度往往十分接近, 即 $\vartheta_2 \approx \vartheta_3$, 因此它们之间容易混淆. 为此, 给出一个截断条件: $\vartheta_3 - \vartheta_2 > \vartheta_{\text{cut}}$, 其中取 $\vartheta_{\text{cut}} = 20^\circ$, 这样会去掉大约 35% 的事件, 但挑选纯度大大提高. 另外, 为了保证 3 个喷注位于同一平面内, 也去掉了 $\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3 < 358^\circ$ 的事件. 后一限制去掉了大约 20% 的事件.

3 硬度的定义

在 高能碰撞中, 横动量(或动量转移)大的过程称为硬过程; 而横动量(或动量转移)小的过程称为软过程. 因此, 夸克所发射的胶子的硬、软程度, 依赖于胶子相对于母体夸克的横动量. 为此, 按以下方式定义胶子喷注的硬度.

设在 e^+e^- 对撞中产生一个三喷注事件, 其中第 i 个事件内喷注 k 的第 j 个粒子的能量为 E_{kj}^i , 则该喷注的能量为

$$E_{\text{jet-}k}^i = \sum_{j=1}^{n_k} E_{kj}^i, \quad (k = 1, 2, 3), \quad (2)$$

其中 n_k 为第 k 个喷注中的粒子数. 这样, 第 i 个事件内喷注 k 的硬度 H_d 定义为¹⁾

$$(H_d)_{\text{jet-}k}^i = E_{\text{jet-}k}^i \sin \theta_{\text{jet-}k}^i, \quad (k = 1, 2, 3), \quad (3)$$

其中,

$$\theta_{\text{jet-}k}^i = \frac{1}{2} \min_{k \neq k' \neq k''} (\theta_{k'}, \theta_{k''}), \quad (k, k', k'' = 1, 2, 3). \quad (4)$$

这一定义原本是针对胶子喷注. 它的意义是认为, 胶子是由和它靠得较近(夹角较小)的夸克发射的, 而 H_d 就是胶子相对于母体夸克的横能.

虽然 H_d 是针对胶子喷注定义的, 但是在以下的计算中, 也将这一定义推广应用到夸克喷注上. 粗略地说, 发射了胶子的夸克的“硬度”, 决定于它和

1) Wes Metzger, 私人通信

它所发射的胶子之间的夹角的大小,因而实际上是反映了它所发射的胶子的硬、软程度.

4 夸克喷注与胶子喷注的硬度特性

用 MC 模拟的方法,由 LUND 的蒙特卡洛产生器 Jetset 7.4 产生能量为 91.2GeV 的 e^+e^- 碰撞事件 100 万个. 用 Durham 法则,挑选出三喷注事件,并进一步用 b 标记方法和角度标识法从三喷注事件中挑选出夸克喷注和胶子喷注的事件子样本,便可比较和分析夸克喷注和胶子喷注的各种特性.

4.1 喷注硬度的平均分布

对于一个三喷注事件样本,用 b 标记方法辨别夸克喷注和胶子喷注,根据(3)式分别计算其中 3 个喷注的硬度分布,如图 2(a)所示.

从图 2(a)中可以看出,绝大部分胶子喷注的硬度 $(H_d)_{jet-3}$ 分布在较软的区域,未发射胶子的夸克喷注的硬度 $(H_d)_{jet-1}$ 大部分分布在很硬的区域,而发射胶子后的夸克喷注的硬度 $(H_d)_{jet-2}$ 则分布在中间区域. 这表明,大部分事件中的胶子较软,而大部分事件中的原始夸克较硬,发射硬胶子后的母体夸克则会变得软一些.

同样,用角度方法辨别夸克喷注和胶子喷注,得到的硬度分布如图 2(b)所示. 仔细地比较图 2(a)和(b)可以看出,用两种不同方法辨别夸克喷注和胶子喷注得到的喷注硬度分布在定性上相似,但在定量上有一定的差别.

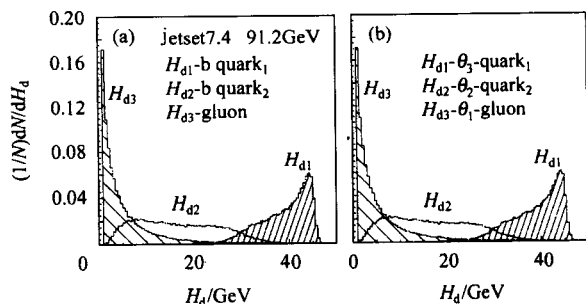


图 2 喷注的硬度分布

(a) 用 b 标记方法判定喷注; (b) 用角度方法判定喷注.

4.2 夸克喷注和胶子喷注的平均多重数和多重数随硬度的分布

从图 2(a)中可以看出,胶子喷注与未发射胶子的夸克喷注几乎分布在完全不同的硬度区域,而发

射胶子后的夸克喷注与胶子喷注的分布区域大部分重叠在一起. 为了清楚地比较两种喷注的特性,以下选取胶子喷注和已发射胶子的夸克喷注来进行比较.

对夸克喷注和胶子喷注的平均多重数和多重数分布,在相同的硬度下,而不是在相同的事件中,进行比较,才有意义. 为了在相同的硬度条件下计算三喷注事件中夸克喷注和胶子喷注的平均多重数及多重数分布,将硬度 $H_d = 1-29\text{GeV}$ 区间均分成 14 个硬度间隔,分别计算胶子喷注和夸克喷注的硬度 $(H_d)_{jet-k}$ 和多重数 N_{jet-k} . 若喷注的硬度落入某一硬度间隔,则在该硬度间隔中统计该喷注的多重数. 对整个三喷注事件样本重复这一过程可得到在各个硬度间隔中该种喷注的平均多重数和多重数分布.

在计算每个硬度间隔内喷注的平均多重数时,分别统计某种喷注在硬度间隔 l 中的总多重数,再除以进入该硬度间隔的喷注数 n_l 就可以得到在该硬度间隔内该种喷注的平均多重数:

$$\langle N_{jet-k} \rangle_l = \frac{1}{n_l} \sum_{m=1}^{n_l} N_{jet-k}^{l,m},$$

$$(k = 1, 2, 3; l = 1, 2, \dots, 14), \quad (5)$$

其中 $N_{jet-k}^{l,m}$ 是硬度间隔 l 中第 m 个 k 类喷注的多重数.

计算得到的三喷注事件中夸克喷注和胶子喷注的平均多重数随硬度的分布画在图 3 上;而在硬度间隔 20.0—24.0GeV 中的夸克喷注和胶子喷注的多重数分布则画在图 4 上. 图 3 中空三角和实心圆点分别是用 b 标记方法辨别夸克喷注和胶子喷注所得到的结果;而虚线和实线则分别是用角度方法辨别这两种喷注得到的结果. 由图可见,用两种不同方法辨别夸克喷注和胶子喷注,得到的平均多重数随硬度的分布存在明显的差异,如图 3 所示;而在选定的硬度间隔内多重数分布的结果都相似,如图 4

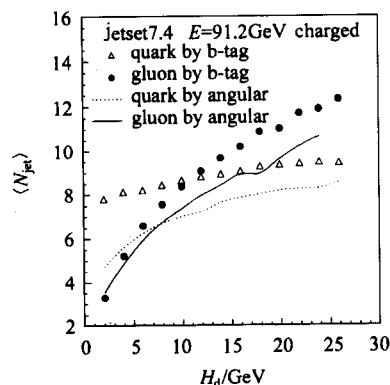


图 3 喷注的平均多重数 $\langle N_{jet-k} \rangle_l$ 随喷注硬度 H_d 的变化

(a)和(b)所示.

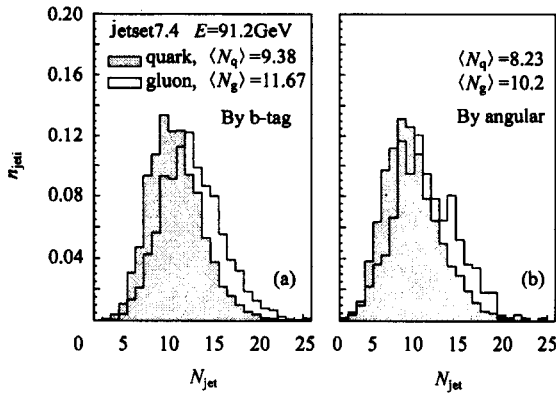


图 4 在硬度间隔 20.0—24.0GeV 内夸克喷注与胶子喷注多重数分布的比较

从图 3 中可以看出,由 b 标记得到的夸克喷注的平均多重数随硬度的变化接近于一条水平直线,而胶子喷注的平均多重数随硬度的变化则呈现为一条上升较陡的凸曲线,即夸克喷注的平均多重数几乎与硬度无关,而胶子喷注的平均多重数与硬度存在着强烈的关联.但是,用角度法得到的夸克喷注不具有类似的性质.这表明,用角度法判定的夸克喷注纯度不够高.

另一方面可以看到,当硬度 $H_d > 10\text{ GeV}$ 时,用两种不同喷注判定法辨别的胶子喷注的平均多重数都大于夸克喷注的平均多重数,即当硬度较高时,胶子喷注比夸克喷注“胖”一些.取 $H_d = 22\text{ GeV}$,由两种不同方法得到的胶子喷注和夸克喷注平均多重数的比值分别为

$$R_b = \frac{\langle N \rangle_g}{\langle N \rangle_q} = 1.24 \quad (\text{b 标记法}),$$

$$R_a = \frac{\langle N \rangle_g}{\langle N \rangle_q} = 1.23 \quad (\text{角度方法}).$$

这一结论和 QCD 的预言及以往实验的结果一致^[11].但是,当硬度 $H_d \leq 8\text{ GeV}$ 时,用两种不同喷注判定法判定得到的胶子喷注的平均多重数都变得低于夸克喷注的平均多重数,即当硬度低时,胶子喷注变得比夸克喷注“瘦”一些.这表明,以往实验和理论公认的“胶子喷注比夸克喷注‘胖’一些”的结论只是对于硬胶子才成立,而对于软胶子或共线胶子不成立.

4.3 夸克喷注和胶子喷注的横动量随硬度的分布

以下计算三喷注事件中夸克喷注和胶子喷注的平均横动量随喷注硬度的分布,并取硬度间隔为 20.0—24.0GeV 计算在该选定的硬度间隔内两种喷

注的横动量分布.喷注的横动量是该喷注内所有粒子的横动量之和,设某一事件中第 k 个喷注的粒子数为 n_k ,则它的横动量为

$$(p_t)_{jet-k} = \sum_{j=1}^{n_k} (p_t)_{k,j}, \quad (k = 1, 2, 3). \quad (6)$$

其中 $(p_t)_{k,j}$ 是这一事件中第 k 个喷注的第 j 个粒子的横动量.

比较夸克喷注和胶子喷注的平均横动量和横动量分布,也应在相同的硬度下进行.将 1—29GeV 的硬度区间均分成 14 个硬度间隔,分别计算每种喷注的硬度 $(H_d)_{jet-k}$ 和横动量 $(p_t)_{jet-k}$ ($k = 1, 2, 3$).若喷注的硬度落入某一硬度间隔 l ($l = 1, 2, \dots, 14$),则在该硬度间隔中统计这个喷注的横动量.对整个三喷注事件样本重复这一过程就得到在各个不同硬度间隔内该种喷注的横动量的分布.

在计算每个硬度间隔内喷注的平均横动量时,分别统计某种喷注在硬度间隔 l 中的总横动量,再除以进入该硬度间隔的次数 n_l 就得到在该硬度间隔内该种喷注的平均横动量.在 14 个硬度间隔中,喷注 k 的平均横动量为

$$\langle (p_t)_{jet-k} \rangle_l = \frac{1}{n_l} \sum_{m=1}^{n_l} (p_t)_{jet-k}^{l,m},$$

$$(k = 1, 2, 3; l = 1, 2, \dots, 14), \quad (7)$$

其中 $(p_t)_{jet-k}^{l,m}$ 是硬度间隔 l 中第 m 个 k 类喷注的横动量.

图 5 给出了三喷注事件中夸克喷注和胶子喷注的平均横动量随喷注硬度的变化.图 6 是在选定的硬度间隔 20.0—24.0GeV 内夸克喷注和胶子喷注的横动量分布.

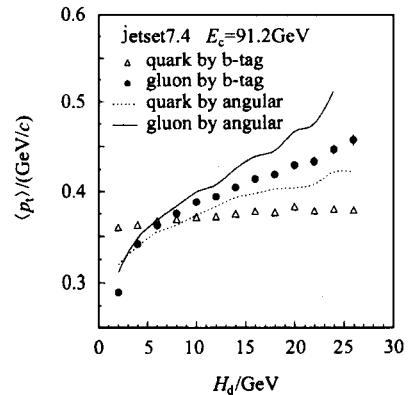


图 5 喷注的平均横动量 $\langle p_{jet-k} \rangle_l$ 随喷注硬度 H_d 的变化

从图中可以看出,用两种不同方法辨别夸克喷注和胶子喷注,在选定的硬度间隔 20.0—24.0GeV

内横动量随喷注硬度的分布是相似的, 且胶子喷注的平均横动量比夸克喷注的平均横动量的分布宽一些, 如图 6(a) 和 (b) 所示; 而平均横动量随硬度的变化则有较大的差别。

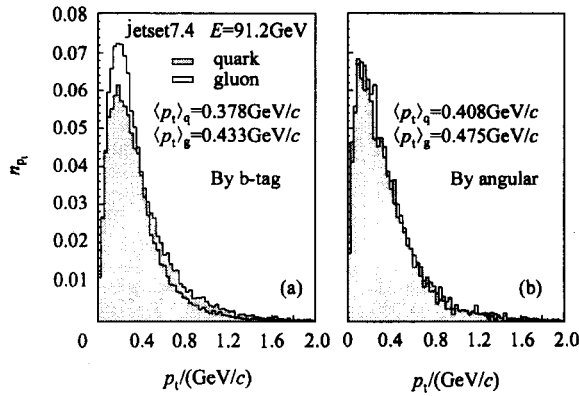


图 6 在硬度间隔 20.0—24.0GeV 内胶子喷注和夸克喷注横动量分布的比较

从图 5 中还可以看出, 由 b 标记得到的夸克喷注的平均横动量随硬度的变化接近于一条水平直线, 而胶子喷注的平均横动量随硬度的变化则呈现为一条上升较陡的凸曲线, 即夸克喷注的平均横动量几乎与硬度无关, 而胶子喷注的平均横动量与硬度存在着强烈的关联。但是, 用角度法得到的夸克喷注的平均横动量不具有类似的性质。这进一步表明, 用角度法判定的夸克喷注纯度不够高。

另一方面, 当硬度 $H_d \geq 6\text{GeV}$ 时, 用两种不同喷注判定法判定胶子喷注得到的平均横动量都大于夸克喷注的平均横动量。这再一次表明, 当硬度较高时, 胶子喷注比夸克喷注“胖”一些。取 $H_d = 22\text{GeV}$, 用两种不同方法得到的胶子喷注和夸克喷注平均横动量的比值分别为

$$R_{b,p_t} = \frac{\langle p_t \rangle_g}{\langle p_t \rangle_q} = 1.15, \quad (\text{b 标记方法}),$$

$$R_{a,p_t} = \frac{\langle p_t \rangle_g}{\langle p_t \rangle_q} = 1.16, \quad (\text{角度方法}).$$

当硬度较低时(对于 b 标记方法当 $H_d \leq 6\text{GeV}$ 时, 对于角度法当 $H_d \leq 3\text{GeV}$ 时), 胶子喷注的平均横动量变得低于夸克喷注的平均横动量, 即当硬度低时, 胶子喷注变得比夸克喷注“瘦”一些。

5 总结与讨论

用 Jetset 7.4 蒙特卡罗产生器产生 91.2GeV e^+e^- 对撞数据, 用 Durham 喷注判定法则挑选三喷

注事件。采用 b 标记方法辨别出夸克喷注和胶子喷注。定义一个新的物理量——硬度来描述夸克喷注和胶子喷注的硬度特性。发现:

1) 夸克喷注与胶子喷注的硬软特性存在较大差别。胶子喷注较软, 即它的大部分粒子分布在较软的硬度区域; 原始夸克喷注较硬, 即它的大部分粒子分布在较硬的硬度区域; 而发射硬胶子后的夸克喷注, 将会变得软一些。

2) 发射了胶子的夸克喷注的平均多重数和平均横动量几乎与硬度无关, 而胶子喷注的平均多重数和平均横动量则随硬度上升较快。注意到发射了胶子的夸克喷注的“硬度”实质上反映了所发射的胶子的硬度, 上述结果表明, 夸克喷注的性质对所发射的胶子的硬度不敏感, 而胶子喷注的性质则强烈地依赖于其硬度。较硬的胶子形成的喷注有较高的多重数和横动量, 而较软的胶子喷注的多重数和横动量较低。

3) 以往一般认为, 相同能量的喷注, 胶子喷注的平均横动量要比夸克喷注的大, 胶子喷注包括的粒子相对于喷注轴的分布要比夸克喷注内粒子的分布宽; 胶子喷注要比夸克喷注包括的粒子多, 即: 胶子喷注的平均多重数应比夸克喷注的高。但是, 从图 3 和图 5 中可以明显地看出, 只有当硬度 $H_d > 10\text{GeV}$ 时, 以上结论才成立。在 $H_d = 22\text{GeV}$ 的硬度区域内, 胶子喷注与夸克喷注的平均多重数(平均横动量)的比值 $R_b = 1.24(1.15)$ 。这一结果与 SLD, OPAL, ALEPH, DELPHI 实验组在 $E_{jet} = 24\text{GeV}$ 能区测得的胶子喷注与夸克喷注的平均多重数的比值^[11,3]一致, 与 QCD 理论的预言相符。另一方面, 当 $H_d < 10\text{GeV}$ 时夸克喷注比胶子喷注的平均多重数高; 当硬度 $H_d < 6\text{GeV}$ 时夸克喷注比胶子喷注的平均横动量大。即, 较软或共线的胶子喷注比夸克喷注要“瘦”一些。这表明, 只是对于发射较硬的胶子, 胶子喷注比夸克喷注要“胖”(即锥角较大)^[11]的结论才成立。

4) 用角度方法和 b 标记方法得到的结果相比较可见, 虽然用两种方法对喷注的一般性质能得到相近的结果, 但是在喷注的平均多重数(平均横动量)和硬度的关系上, 用两种方法得到的结果有很大差异。b 标记方法得到的结果能正确地反映夸克喷注的性质对所发射的胶子的硬软程度不敏感的特征, 而用角度方法做不到这一点。这表明, 用角度方法判定夸克和胶子喷注的纯度不够高, 不能用来对喷注性质作细致的研究。

参考文献 (References)

- 1 Brandelik R et al (TASSO Collab.). Phys. Lett., 1979, **B86**:243
- 2 Abreu P et al (DELPHI Collab.). Eur. Phys. J., 1998, **C4**:1—17
- 3 Buskulic D et al (ALEPH Collab.). Phys. Lett., 1996, **B383**:353
- 4 Acton P D et al (OPAL Collab.). Z. Phys., 1993, **C58**:387; 1995, **C68**:179
- 5 ZHANG Kun-Shi, CHEN Gang, YU Mei-Ling et al. HEP&NP, 2002, **26**:1110 (in Chinese)
(张昆实, 陈刚, 喻梅凌等. 高能物理与核物理, 2002, **26**:1110)
- 6 CHEN Gang, ZHANG Kun-Shi, LIU Lian-Shou. SCIENCE IN CHINA, 2002, **A32**:1088(in Chinese)
(陈刚, 张昆实, 刘连寿. 中国科学, 2002, **A32**:1088)
- 7 YU Mei-Ling, LIU Lian-Shou. A Monte Carlo Study on the Identification of Quark and Gluon Jets. In: Proc. of the XXXI International Symposium on Multiparticle Dynamics. Datong China. Sept. 2001, eds. BAI Yu-Ting, YU Mei-Ling, WU Yuan-Fang, Singapore: World Scientific; hep-ph/0111424
- 8 Derrick M et al (HRS Collab.). Phys. Lett., 1985, **B165**:449
- 9 Derrick M et al (HRS Collab.). Phys. Rev. Lett., 1989, **63**:17
- 10 YU Mei-Ling, LIU Lian-Shou. Chin. Phys. Lett., 2002, **19**:647—651
- 11 Abreu P et al (DELPHI Collab.). Phys. Lett., 1999, **B449**:383

Study of the Hardness Property of Quark and Gluon Jets*

CHEN Gang¹ LIU Lian-Shou^{2,1)}¹(Department of Physics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)²(Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract The 3-jet events from hadronic Z^0 decay is studied using Monte-Carlo simulation. Quark and Gluon jets are identified through the b-tag method. A new physical quantity—hardness is defined, and the hardness distributions of quark and gluon jets are calculated. The dependence of the average multiplicity and average transverse momentum on hardness as well as the multiplicity and transverse momentum distributions in a certain hardness range in the quark and gluon jets are calculated respectively, and compared. It is found that the properties of quark and gluon jets are considerably different in these respects. The properties of quark jets are almost independent on hardness, while those of gluon jets have strong correlation with hardness. When $H_d > 10\text{GeV}$ the average multiplicity and average transverse momentum of gluon jets are higher than those of quark jets; but when $H_d < 6\text{GeV}$ the results are reversed. This indicates that the conclusion on gluon jets being “fatter” than quark jets is valid only for hard gluons.

Key words gluon jet, quark jet, hard degree, b-tag

Received 27 June 2003, Revised 29 August 2003

* Supported by Science Foundation of Education Department of Hubei Province, Sci-tech Innovation for Excellent Young and middle-Aged University Teachers of Hubei Province and NSFC(10347152, 10375025, 90103019)

1) E-mail: liuls@iopp.cnu.edu.cn