

北京谱仪上宇宙线 μ 样本的选择

顾建辉 郁忠强

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1995-02-14 收稿

摘 要

通过对北京谱仪 (BES) 所记录到的宇宙线事例的挑选和校正重建, 得到了 BES 上数量很大、动量分布宽广的高纯度的 μ 样本. 所得样本已经用于 D_s 物理研究.

关键词 宇宙线, μ 样本, 重建, 北京谱仪.

1 引 言

北京谱仪 (BES)^[1] 是北京正负电子对撞机 (BEPC) 上的一台大型通用谱仪, 用以研究 τ -charm 物理. 而 τ 轻子、c (charm) 夸克的一个重要的衰变道就是轻子衰变, 如 $\tau^- \rightarrow l^- \bar{\nu}_l \nu_\tau$, $c \rightarrow l^+ \nu_l \bar{s}$ 等, 且轻子动量谱是连续分布的. 研究这些衰变道需要有好的轻子判别效率和好的强子排斥比, 这样就需要有一个样本量大、纯度高、动量分布宽广的轻子样本来对轻子的重建、刻度进行仔细的研究.

对于电子, 可以用辐射 Bhabha 事例 $e^+e^- \rightarrow \gamma e^+e^-$ 或四电子事例 $e^+e^- \rightarrow \gamma e^+e^-$ 作为电子样本. 这个样本量很大, 并可以挑选得很纯, 并且动量谱也是连续的. 但对于 μ 子, $e^+e^- \rightarrow \gamma \mu^+\mu^-$ 事例数太少, 而且非辐射过程 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ 产生的 μ 是单能的, 都不适合作 μ 样本. 而其它产生 μ 的物理过程则更少. 但 BES 记录的宇宙线事例率约为 1Hz, 并且绝大部分是 μ 粒子, 故 μ 样本可从宇宙线中挑选.

2 用宇宙线作为 μ 样本的问题和解决办法

BES 所记录的宇宙线的表现特征: 在主漂移室和中心漂移室 (MDC、CDC) 中两个动量“相等”电荷相反的带电径迹、两个背对背的飞行时间计数器 (TOF) 击中、簇射计数器 (BSC) 中两团簇射、多个 μ 计数器的击中. 按宇宙线真实的飞行方向, 以 BES 中心为基点, 可分为向内径迹和向外径迹:

向内径迹: μ 计数器 \rightarrow BSC \rightarrow TOF \rightarrow MDC \rightarrow CDC \rightarrow 束流管;

向外径迹: 束流管 \rightarrow CDC \rightarrow MDC \rightarrow TOF \rightarrow BSC \rightarrow μ 计数器,

正负电子对撞产生的带电粒子的径迹均为向外径迹. 对探测器来说, 宇宙线的向外径迹与正负电子对撞产生的径迹没有本质的区别. 从电子学的角度看, 宇宙线和正负电子对撞产生的径迹的差别在于记录的时间起点 T_0 和位置起点不同. 所以对电子学记录信息作适当校正, 宇宙线的向外径迹就有可能与正负电子对撞产生的径迹具有相同的性质. 而宇宙线的向内径迹所穿过物质层的顺序与对撞产生的径迹相反, 并且其穿过谱仪磁铁和簇射计数器时能量损失又相当大, 故不能作为正常的 μ 样本. 但是当其进入主漂移室后, 它所穿过的物质质量厚度较小, 可以忽略不计. 所以对电子学信息经行适当地校正后, 其在 MDC 中的动量重建值还是可以相信的, 可用它来检验另一条径迹的动量重建是否合理.

下面的两个表列出了从正负电子对撞产生和从宇宙线来的 μ 径迹的差别. 表 1 列出了正负电子对撞产生的 μ 与宇宙线的向外径迹的区别; 表 2 列出了正负电子对撞产生的 μ 与宇宙线的向内径迹的区别. 径迹重建时产生的问题以及解决办法也列于表中.

对于顶点, 则选择离 BES 几何中心不太远的径迹. 由蒙特卡罗模拟得知在径迹的产生点偏离 BES 中心几厘米时, 径迹动量的重建仍是很准确的.

表 1 宇宙线的向外径迹与对撞产生的 μ 径迹的区别

电子学	区 别	影 响	径迹重建的问题	解决办法
CDC-TAC, MDC-TAC	初始漂移时间 T_0 不同	所有的信号漂移时间都差 T_0	径迹的定位会错, 而造成动量重建错误	用 TOF 测量的时间作 T_0 校正: $T_0 = (T_1 + T_2)/2$
CDC-dE/dx, MDC-dE/dx, BSC, μ 计数器输出幅度	初始漂移时间 T_0 不同	有些信号到达信号丝的时间可能会在时间窗外	MDC、BSC、CDC、 μ 计数器的电子学记录的信号幅度偏低, 测量到的能量沉积比真正的低	用 TOF 给出的 T_0 作选择, 使最早和最晚到达的信号都在时间窗内
TOF	对宇宙线, 飞行时间是随机的	有的 TOF 击中在时间窗外	TOF 信息丢失	选择 TOF 击中信息不丢失的径迹
ESC	暂时不用			

注: T_1 、 T_2 分别为宇宙线击中的两个 TOF 的时间.

表 2 宇宙线的向内径迹与对撞产生的 μ 径迹的区别

电子学	区 别	影 响	径迹重建的问题	解决办法
MDC-TAC	初始漂移时间 T_0 不同, 一条径迹的不同单元的信号丝击中顺序不同	不同的信号丝漂移时间起点不同	径迹的定位会错, 而造成动量重建错误	用 TOF 测量的时间作 T_0 校正, 并假设宇宙线在 MDC 中的飞行速度没变, 对不同的单元, 作不同的 T_0 校正
TOF	对宇宙线, 飞行时间是随机的	有的 TOF 击中在时间窗外	TOF 信息丢失	选择 TOF 击中信息不丢失的径迹
CDC-TAC, dE/dx, BSC, μ 计数器, ESC	暂时不用			

3 从宇宙线中选择 μ 样本

3.1 宇宙线事例初选

从重建后的数据中挑选宇宙线事例。首先事例中的径迹数满足：带电径迹数目为 1 或 2；中性径迹数目小于等于 1；并且带电的和中性的径迹总数大于等于 2。然后要求 μ 计数器的原始数据记录长度大于等于 3；BSC 沉积总能量小于 1.5 GeV（去除 Bhabha 事例）；并且只有一条径迹在 φ 大于 π 区间内（BES 的下半部），这条径迹还要满足：a) TOF 重建比较可靠，并且时间在 10—30 ns 之间；b) 在 xy 平面内（与束流轴垂直平面）顶点偏离中心小于 10 cm， z 向（束流管的方向）偏离中心小于 30 cm；c) 动量小于等于 5.0 GeV/c。这样选出的事例是很纯的宇宙线事例（或 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ 事例）。

3.2 T_0 校正重建

对于正负电子对撞产生的径迹，其经过对撞点（或者说 BES 的中心，两者相差很小）的时间 $T_0=0$ ，而对于宇宙线， T_0 一般不为 0，利用 TOF 测得的时间可求出 T_0 为 $T_0=(T_1+T_2)/2$ 。在作宇宙线重建时，用 T_0 对 MDC 的漂移时间进行校正，校正分两部分：1) 按照宇宙线的天顶角分布^[2]，宇宙线向外径迹的 $\varphi > \pi$ ，它在 MDC 中击中的漂移时间

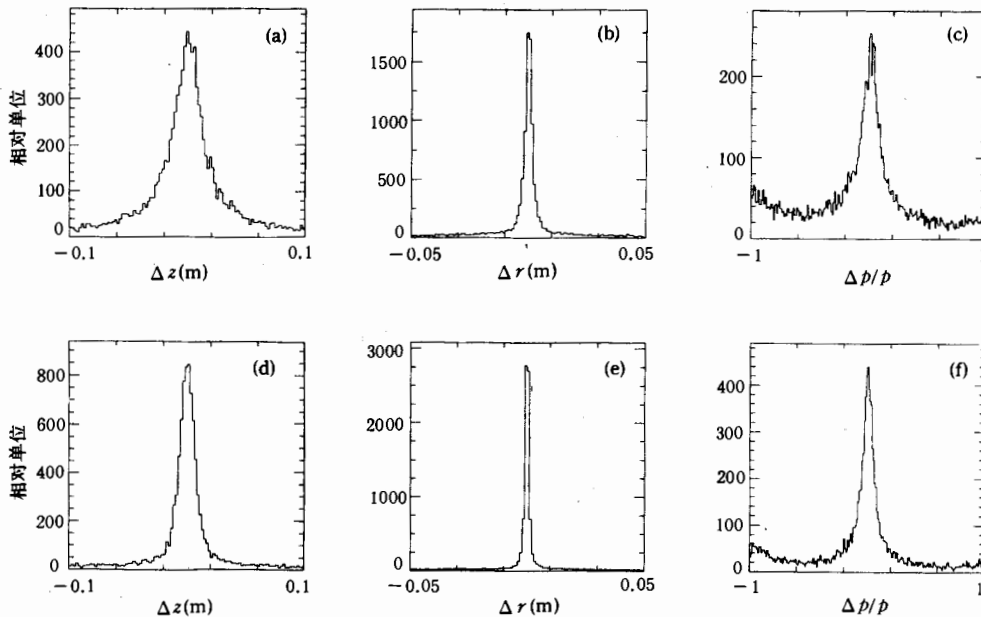


图 1 宇宙线事例在校正重建前后的比较

(a)、(b)、(c) 是校正重建前的情况，(d)、(e)、(f) 是校正重建后的情况。其中 $\Delta z = z_1 - z_2$ 是两径迹 z 向顶点之差； $\Delta r = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ 是它们在 xy 平面内顶点之差； $\Delta p/p = (p_1 - p_2)/2(p_1 + p_2)$ 是它们的动量之差。

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{meas}} - T_0,$$

2) 对 $\phi < \pi$ 的宇宙线向内径迹, 它在 MDC 中击中的漂移时间

$$T_{\text{corr}} = T_{\text{meas}} - T_0 + \left| \frac{T_1 - T_2}{11} \right| \times (N_L + 1),$$

其中 T_{meas} 为测量到的漂移时间, T_{corr} 为校正后的漂移时间, N_L 为信号丝所在的 MDC 的层号, 这里近似地认为中心漂移室相当于 MDC 的一层, 并且同一层的不同信号丝的校正相同。

图 1 是两个 μ 径迹的部分参数差在校正重建前和校正重建后的比较. 可见, 校正重建后, 各参量有较大的改善, 拟合校正重建后的两径迹的动量差得:

$$\frac{\sigma_{p_1 - p_2}}{(p_1 + p_2)/2} = 3.0\% \sqrt{1 + ((p_1 + p_2)/2)^2},$$

其中, σ 为动量分辨, p_1 、 p_2 为两径迹的动量, 单位为 GeV/c . 这相当于单径迹的动量分辨率为 $2.1\% \sqrt{(1 + p^2)}$, 和对撞事例的单径迹动量分辨一致. 这说明, 校正后 MDC 对宇宙线径迹的动量重建是正确的。

3.3 校正重建后选择 μ 样本

对校正重建后的事例再作如下选择:

- 1) 带电径迹数目为 2, 中性径迹数目为 0;
- 2) 在 ϕ 大于 π 区域只有一条径迹;
- 3) 宇宙线击中的两块 TOF 的时间差在 5 至 12 ns 间, 以去掉双 μ 事例;
- 4) 重建出的两条径迹的顶点在 xy 平面内距离小于 3 mm, z 向距离小于 25 mm;
- 5) 重建出的两条径迹的动量满足: $\frac{|p_1 - p_2|}{p_1 \sqrt{1 + p_1^2}} \leq 0.1$ (3σ 的动量选择);

6) 对 ϕ 大于 π 的单径迹, 进一步要求 MDC 的击中数大于等于 25; 径迹与束流轴线方向的夹角 θ 满足 $|\cos(\theta)| < 0.7$; MDC 径迹外推位置与 BSC 簇射起点位置相匹配, 即满足: 在 xy 平面两者相距小于 25 mm, 在 z 向两者相距小于 100 mm; 径迹拟合质量 MFIT 等于 2, 动量小于等于 $3.0 \text{ GeV}/c$; 径迹拟合的顶点在 xy 平面内小于 5.0 cm, z 向距离小于 30 cm; TOF 击中时间在 -10 ns 至 30 ns 之间。

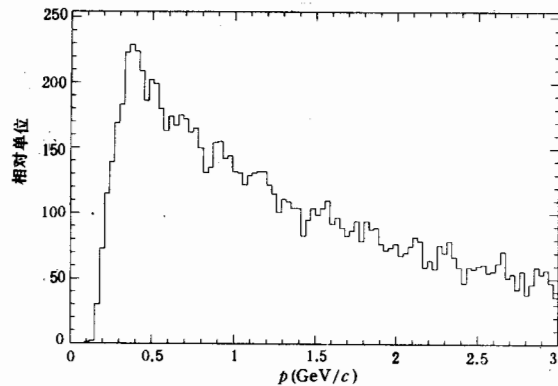


图 2 μ 样本的动量分布

这样选出的 μ 的动量谱如图 2 所示. 从选择条件可以看出, 这样选择的 μ 对粒子判别来说是没有偏向性的 (TOF 的信息略有偏向性), 故可用它来作 μ 的重建、刻度的检查和粒子判别的研究.

4 结果与讨论

宇宙线的带电粒子中, μ 含量 $>75\%$, 强子的含量 $<25\%$ ^[2]. 在宇宙线进入 MDC 之前, 它要穿过 BES 的第三层轭铁 (14 cm)、第二层轭铁 (14 cm)、第一层轭铁 (12 cm)、磁铁铝线圈 (12 cm)、BSC (12 个光子辐射长度)、和 TOF 等物质, 物质厚度 $>3.0 \lambda_1$ (λ_1 为核作用长度). 对于斜入射的宇宙线, 其路程会更长. 这样, 带电强子穿过这些物质不发生核作用直接到达 MDC 者, 占全部宇宙线带电粒子的比例 $<0.25 \exp(-3.0) = 1.2\%$. 即 μ 样本的纯度大于 98%.

本文讨论的 μ 样本集中在 $\phi = \frac{3}{2} \pi \pm \frac{1}{2} \pi$ 区域, 而正负电子对撞产生的径迹是在整个 ϕ 区间均匀分布的. 用双 μ 事例对探测器研究表明, 除 μ 计数器的死区外, 探测器对 ϕ 是均匀的, 故可用集中在 $\phi > \pi$ 区间的 μ 样本来代表整个 ϕ 区间的 μ .

这个 μ 样本还有数量大和动量分布宽的优点. 以 RUN 4489、4497 — 4513、4575 — 4602 共近 40 个 RUN 为例, 共得到 μ 样本约 10,000 个, 动量分布如图 2 所示.

这个 μ 样本还有多种用途, 首先是用在粒子判别 (μ 判别) 研究上. 它可用来测量不同动量下 μ 的接收度, 并已成功地用于 D_s 的物理分析. 其次可以通过对 μ 在 BES 中行为的研究来研究 BES 的刻度. 另外这个 μ 样本还可以用来做 dE/dx 粒子能损的研究. 因为宇宙线上、下两部分的动量差为它穿过束流管和 CDC 内外壁、MDC 内壁时的能损 (忽略在 MDC 内的能损). 这样, 两动量的差别为单径迹能损的二倍, 即对宇宙线有: $|p_1 - p_2| = 2\Delta p_{dE/dx}$ (p_1, p_2 分别为两径迹的动量, $\Delta p_{dE/dx}$ 为粒子穿过束流管等物质层时的动量损失), 而对双 μ 事例和 Bhabha 事例两径迹的动量差为零, 即 $|p_1 - p_2| = 0$. 故可用宇宙线来研究粒子从对撞点到 MDC 的 dE/dx 动量损失.

感谢李卫国研究员在重建方面给予的帮助.

参 考 文 献

- [1] J. Z. Bai, et al., *Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Res.*, **A344** (1994) 319.
- [2] Particle Data Group, *Phys. Rev.*, **D50** (1994) 1173.

Muon Sample Selection from Cosmic Ray Events for BES

Gu Jianhui Yu Zhongqiang

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

Received 14 February 1995

Abstract

A big muon sample with wide momentum range is obtained by a time correction procedure applying to cosmic ray events collected by Beijing Spectrometer. The sample has been used in D_s physics analysis.

Key words cosmic ray, μ sample, reconstruction, Beijing, Spectrometer (BES).