

e/π 识别的 dE/dx 方法在北京谱仪 τ 重轻子质量测量中的应用

荣刚 马基茂 毛慧顺
王泰杰 白景芝 李卫国

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

本文介绍了北京谱仪(BES)主漂移室(MDC)e/π 识别的 dE/dx 方法在 τ 重轻子质量测量中的应用. 该方法的应用使得对 τ⁺τ⁻ 衰变产生的“eμ”事例的标记效率, 比仅用传统的电磁簇射信息标记时提高了 3 倍以上. 效率的提高不仅减少了事例丢失, 还使得为找到同样多的 τ⁺τ⁻ 事例所需要的谱仪和对撞机运动时间和数据离线处理所用的计算机 CPU 时间均减少了 ~75%.

行

一、引 言

按照弱电作用标准模型的理论, 轻子的弱作用具有普适性, 即 τ、μ 轻子弱作用耦合常数之比 $g_\tau/g_\mu=1$. 它与 τ、μ 轻子的质量 m 、寿命 T 及衰变到电子的分支比 Br 之间的关系可表示为:

$$\frac{g_\tau^2}{g_\mu^2} = \frac{T_\mu}{T_\tau} \left(\frac{m_\mu}{m_\tau}\right)^5 \frac{Br(\tau \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\tau)}{Br(\mu \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\mu)}, \quad (1)$$

代入各参量世界实验的平均值^[1]后得到

$$\frac{g_\tau}{g_\mu} = 0.9736 \pm 0.0111,$$

这个比值偏离标准模型理论预言值 2.38 个标准偏差.

如果轻子弱作用的普适性严格成立, 则 τ 轻子的寿命、质量和衰变到电子的分支比应有如下的关系:

$$Br(\tau \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\tau) = \frac{G_F^2 m_\tau^5}{192\pi^3} T_\tau, \quad (2)$$

式中 G_F 是费米耦合常数. 图 1 给出使用世界平均值 $m_\tau = 1784.1_{-3.6}^{+2.7} \text{MeV}/c^2$ 时, 预期的寿命与衰变分支比的关系. 实验值与理论值发生明显的偏离.

究竟是什么原因使实验观测值偏离理论预期值? 是否是模型本身出现了某种破坏? 要回答这个问题, 则应仔细地考察公式(1)和(2)中各物理量的取值. 最近几年, 随着高能区

实验装置中新一代高精度顶点探测器的使用,实验对 τ 的寿命和衰变到电子的分支比的测量精度越来越高.但是 τ 轻子的质量仍是10多年前在远离 $\tau^+\tau^-$ 产生阈值的较高能量点上测得的,实验中阈效应对 $\tau^+\tau^-$ 产生截面的影响没有仔细地考虑.因此, τ 质量 $m_\tau = 1784.1\text{MeV}/c^2$ 可能与真值偏离较大.如果能在阈值附近更精确地测量出 τ 轻子的质量,将是对标准模型理论的一个更精确的检验.

τ 轻子是一个短寿命粒子,实验上只能通过测量其衰变产物来标记在某一质心系能量上 $\tau^+\tau^-$ 的产生对数,并从 $\tau^+\tau^-$ 对数与能量的依赖关系拟合出 τ 轻子的质量.

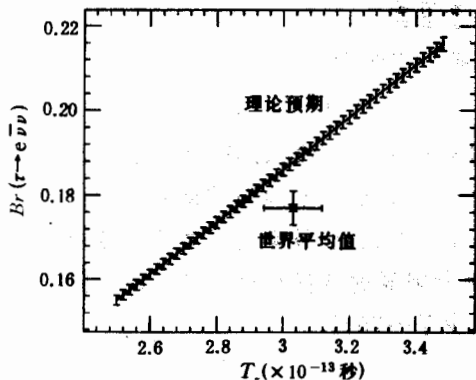


图1 τ 轻子衰变到电子的分支比与寿命的关系

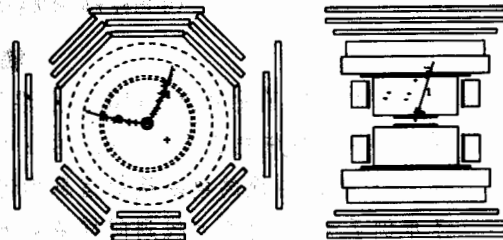


图2 BES记录的一个典型 $e\mu$ 事例

质心系能量 $\sqrt{S} = 3.6\text{GeV}$,径迹1:电子,动量 $0.491\text{GeV}/c$,径迹2: μ 子,动量 $0.830\text{GeV}/c$.

本文描述北京谱仪 $[2]e/\pi$ 识别的 dE/dx 方法在 τ 质量测量中的应用.该方法的应用使得对 $\tau^+\tau^-$ 事例的标记效率(“ $e\mu$ ”道)比仅用传统的电磁簇射信息标记时提高3倍以上.

二、 $\tau^+\tau^-$ 的产生与标记

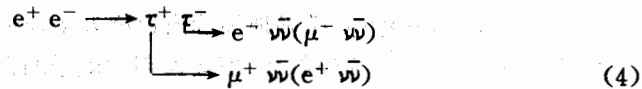
1. $\tau^+\tau^-$ 的产生与衰变

在低能区的 e^+e^- 实验中(双光子过程可以忽略), $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ 的最低阶QED截面为

$$\sigma_{\tau^+\tau^-} = \frac{4\pi\alpha^2 \beta_\tau (3 - \beta_\tau^2)}{3S^2}, \quad (3)$$

其中, $\beta_\tau = \sqrt{1 - \frac{4m_\tau^2}{S}}$ 是 τ 轻子在实验室系中的相对论速度, S 为质心系能量的平方, m_τ 为 τ 轻子的质量, α 是精细结构常数.在阈值附近($\sqrt{S} = 3.5827\text{GeV}$), $\sigma_{\tau^+\tau^-} (\beta_\tau \approx 0.009) \approx 0.09\text{nb}$;双 μ 产生截面 $\sigma_{\mu^+\mu^-} = 6.75\text{nb}$,强子的产生率 $R = \frac{\sigma_h}{\sigma_{\mu^+\mu^-}} \approx 2.4^{[1]}$.由此可以得出强子截面 $\sigma_h = R \cdot \sigma_{\mu^+\mu^-} = 16.2\text{nb}$.信噪比 $\frac{\sigma_{\tau^+\tau^-}}{\sigma_h} = 5.6 \times 10^{-3} : 1$.由于 τ 轻子的衰变伴随能量丢失,衰变过程不能做不变质量重建.这要求在挑选 τ 的衰变事例时,应能准确地排除强子本底.

在 τ 轻子的众多衰变道中,过程



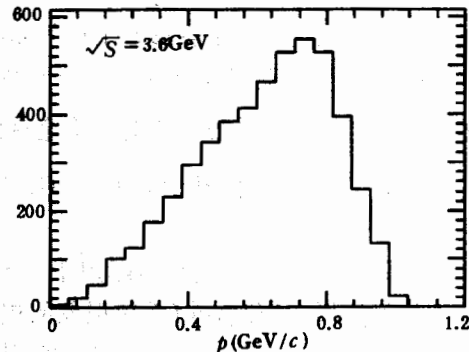
的末态出现可观的 $e^\pm \mu^\mp$, 通常称为“ $e\mu$ ”事例. 这种“ $e\mu$ ”事例最容易与强子本底及其它各种背景分开. 在末态中, 只要找到 1 对能量落在合理范围内的 $e^\mp \mu^\pm$, 就认为找到了如过程(4)所示的 $\tau^+ \tau^-$ 的产生和衰变事例. 图 2 给出 BES 记录的一个典型 $e\mu$ 事例.

2. “ $e\mu$ ”事例的信噪比

由于在末态中只是通过寻找具有电荷反号的 e, μ 来标记 $\tau^+ \tau^-$ 事例的产生, 故“ $e\mu$ ”事例与强子本底的比 $R_{S/N}$ 近似为

$$R_{S/N} = 2 \times \frac{\sigma_{\tau^+ \tau^-}}{\sigma_h} \times Br(\tau \rightarrow e \bar{\nu}) \times Br(\tau \rightarrow \mu \bar{\nu}) \\ = 3.5 \times 10^{-4}.$$

在挑选“ $e\mu$ ”事例时, μ 子只能唯一地用传统的“过滤”方法来识别. 北京谱仪对 μ 子的识别效率主要取决于 μ 计数器上游物质的总厚度及 μ 计数器对最小电离粒子的探测效率. 在感兴趣的动量范围内(荷电粒子的动量 $< 1.2 \text{ GeV}/c$), 飞行时间测量方法可以很容易地分辨出 K 介子. 因此, 能否准确地把电子从 π 介子中分离出来, 是标记 $\tau^+ \tau^-$ 对数的关键.



3. τ^\pm 衰变产生的 e^\pm 的动量谱

BES 合作组基于近阈扫描的方法完成了 τ 轻子质量测量实验^[3]. 到目前为止, 实验上并不清楚在阈值附近 τ 轻子衰变产生的电子动量分布形状, 但从弱作用的 V-A 理论可以计算它.

使用 S. Jadach 等人发展起来的 $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$, $\tau^+ \tau^-$ 再进一步衰变到各种可能道的 Monte Carlo 产生器(KORALB), 我们在 $\sqrt{S} = 3.6 \text{ GeV}$ 处模拟了过程(4). 图 3 给出电子的动量分布. 根据这一分布, 可以估算出在特定的事例选择条件下, e/π 识别的 dE/dx 方法对“ $e\mu$ ”事例中电子的相对标记效率.

三、 τ 轻子衰变产物中的 e/π 识别

1. e/π 识别的传统方法

传统的 e/π 识别方法是使用飞行时间和电磁簇射的信息, 但这种方法对动量在 $0.3-0.7 \text{ GeV}/c$ 范围内的粒子不能给出很好的分辨.

在粲粒子物理能区, 美国 $e^+ e^-$ 对撞机 SPEAR 上的 Mark III 是性能最好的一台磁探测器. 它的飞行时间计数器系统的时间分辨为 $\sigma_t = 180 \text{ ps}$, 电磁簇射计数器的能量分辨率 $\sigma/E = 17\% / \sqrt{E(\text{GeV})}$. 当粒子的动量大于 $0.3 \text{ GeV}/c$ 时, 可以根据簇射计数器测量到的能量沉积和簇射发展的图样, 联合飞行时间计数器的时间信息来分辨 e/π . 在取 80% 的电子标记效率筛选电子时, 在 $0.3-0.7 \text{ GeV}/c$ 动量范围内可以给出 ~ 30 的因子排斥 π ^[4].

然而,这种 e/π 识别能力要准确地筛选出近阈处 τ 轻子衰变产生的电子是不够的. 对于浓缩后的数据样本, 3.3% 的误判率(把 π 误判为电子的几率)将导致在被选取的“ $e\mu$ ”事例的电子中出现 $\sim 1:1$ 的信噪比.

北京谱仪飞行时间计数器的时间分辨 $\sigma_t = 330\text{ps}$, 电磁簇射计数器的能量分辨率为 $\sigma/E = 22\% / \sqrt{E(\text{GeV})}^{[2]}$. Monte Carlo 研究和对实验数据的统计分析均表明, 当粒子的动量小于 $0.7\text{GeV}/c$ 时, 传统的 e/π 识别方法不能满足 τ 轻子质量测量的要求. 飞行时间计数器只能在动量小于 $0.25\text{GeV}/c$ 内实现 $2\sigma_e$ 的 e/π 分辨. 如果要保证被选取的“ $e\mu$ ”样本具有较高的信噪比, 以获得更准确的 τ 轻子质量测量值及较小的系统误差, 从图 3 所示的电子动量分布可以看出, 使用传统的 e/π 识别方法筛选电子时(动量 $> 0.7\text{GeV}/c$ 用电磁簇射信息), 将要丢失 $\sim 60\%$ 的“ $e\mu$ ”事例.

2. e/π 识别的 dE/dx 方法

使用荷电粒子在主漂移室工作气体中的电离能量损失信息——脉冲高度的测量值来区分 e 和 π , 可以弥补上述传统 e/π 识别方法的不足. 这是因为在一定动量区域, 荷电粒子的电离能量损失是粒子相对论洛伦兹因子 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ 的对数函数. 对于相同动量的电子和 π 介子, 当粒子的动量大于 $0.2\text{GeV}/c$ 时, 电子的电离能量损失要比 π 的电离能量损失大很多^[5].

漂移室的 dE/dx 信息实际用于 e/π 识别的能力, 取决于硬件(结构设计、工作状态, 特别是气体增益)和软件(系统误差的校正、能量刻度、粒子在室内 dE/dx 信息的模拟和 dE/dx 数据重建)两方面. 在一定的硬件条件下, 软件上有效地校正各种能量分辨率变坏及脉冲高度饱和的系统效应特别重要, 这将直接影响到 dE/dx 粒子识别、特别是 e/π 识别的实际效果.

由于 BES 主漂移室工作电压的设置优先考虑径迹测量, 气体的增益很高($\sim 5 \times 10^4$). 阳极丝附近强烈的空间电荷效应使输出的脉冲高度出现严重的饱和, 导致电离能量损失的相对论上升值从预期值 $\sim 54\%$ ^[5] 减小到 $\sim 17\%$ ^[6]. 因此, 必须有效地修正这种系统效应. 除此之外, 在软件方面还要有效地调整好实验观测到的电离能量损失值与理论预期

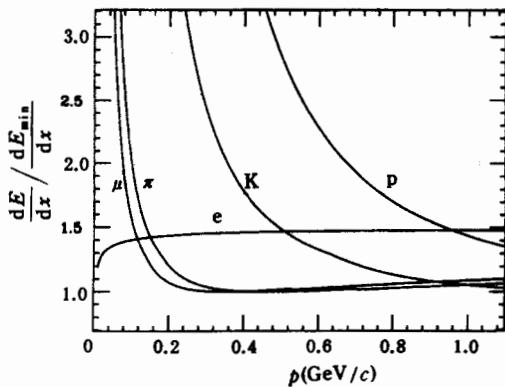
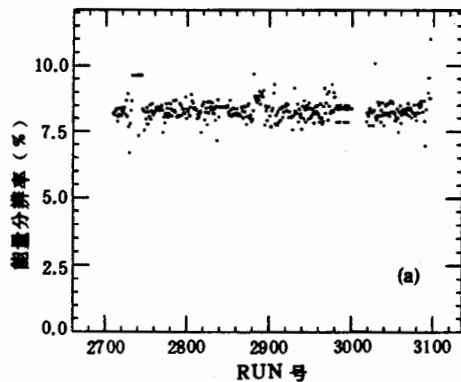
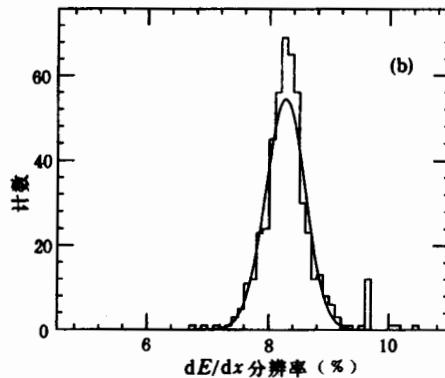


图 4 实验修正后的最可几电离能量损失与动量的关系

值之间的关系, 使两者一致. 这样, 才能真正有效地利用 dE/dx 信息来识别 e/π ^[5-8].

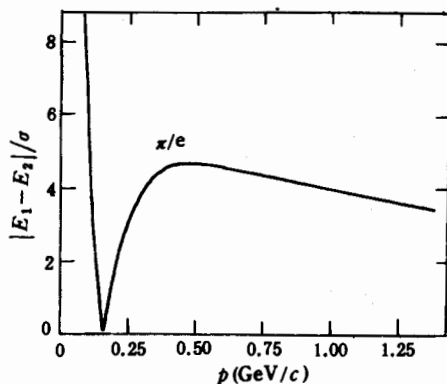
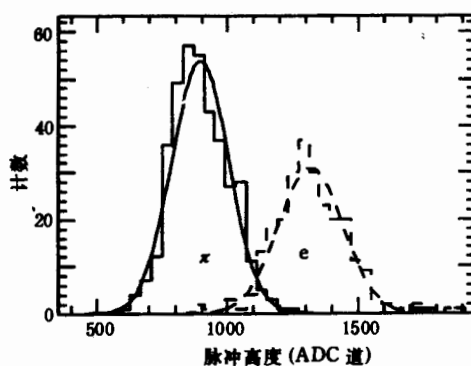
图 4 给出 $e/\mu/\pi/K/p$ 在 BES 主漂移室工作气体(89%Ar, 10%CO₂, 1%CH₄)中, 归一化的最可几电离能量损失的理论值随粒子动量的变化. 该理论值已对脉冲高度的饱和和使用气体密度效应的实验值进行了修正. 它反映了主漂移室 dE/dx 数据的实际情况在 $0.45-0.55\text{GeV}/c$ 动量范围内不能给出 e/K 的识别信息, 但 K 介子可以很容易地被飞行时间计数器系统排除.

在 τ 轻子质量测量阶段, dE/dx 的原始

图 5(a) dE/dx 分辨率随 RUN 号的变化图 5(b) dE/dx 分辨率的分布

数据经过多种系统效应(电子学的台阶、增益,各信号丝的不同增益、取样长度、电子的吸附,信号丝左右两侧静电收集区的不同,空间电荷效应等)的软件修正^[9]后,对 $1.8\text{GeV}/c$ 的 e^\pm 测量到的最可几电离能量损失的分辨率随 RUN 号的分布和分辨率本身的分布分别由图 5(a)和 5(b)给出. 平均的能量分辨率为 $\sigma_{dE/dx} = (8.27 \pm 0.53)\%$. 此分辨率对应每条径迹 35 次 1cm 的 dE/dx 取样. 折合到对应每条径迹最多 40 次 dE/dx 取样, $\sigma_{dE/dx} = 7.82\%$. 用辐射的 Bhabha ($e^+e^- \rightarrow \gamma e^+e^-$) 事例检测了 dE/dx 系统对不同动量电子的响应. 结果表明,对于不同的 RUN 号,动量在 $0.1-1.8\text{GeV}/c$ 范围内的 e^\pm 的最可几电离能量损失观测值及其分辨率在误差范围内一致.

图 6 标绘出 dE/dx 的 e/π 识别能力随粒子动量的变化. 图中纵坐标是以对应 $\sigma_{dE/dx} = 9.5\%$ 能量分辨率的标准偏差 σ 为单位的电子电离能量损失 ($E1$) 和 π 介子的电离能量损失 ($E2$) 的差, 即 $|E1 - E2|/\sigma$. 计算能量损失时已考虑了 dE/dx 信号系统的饱和^[8], 并且根据电离能量损失的相对论上升的实验值对气体的密度效应做了修正. 在 $0.3-1.0\text{GeV}/c$ 动量范围内, e/π 分辨好于 4σ .

图 6 dE/dx 的 e/π 分辨能力随动量的变化图 7 截断平均的 dE/dx 脉冲高度分布

π , 平均值 $E=895.4$, 标准偏差 $\sigma=107.9$

e , 平均值 $E1317.1$, 标准偏差 $\sigma=122.8$

3. 电子的标记效率和 π 的排斥比

对于动量大于 $0.16\text{GeV}/c$ 的电子和 π 介子, 本文定义的“电子的标记效率”是指电子

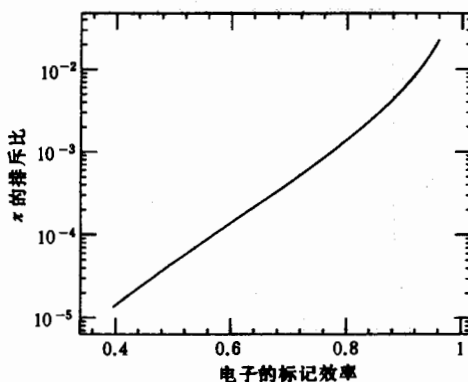


图8 dE/dx 对 π 的排斥比随对电子的标记效率的变化

电离能量损失(能量沉积的电荷量)分布的高能端超过选定值部分占其总分布的百分比. 如果某一荷电粒子输出的电荷量落入超过此选定值的范围内, 则该粒子将被判为电子. 对 π 的排斥比是指对应 π 介子输出的电荷量落入上述对电子的选定值部分内的事例数占 π 介子总分布的百分比. 该定义对 dE/dx 和电磁簇射计数器都适用. 作为一般估计, 选取了一组能量分辨率并不太好的 π 和 e 的样本来估算 dE/dx 对 π 介子的排斥比.

图7给出动量范围为 $0.4-0.6 \text{ GeV}/c$ 的电子和 π 介子的脉冲高度分布. 该分布中的每个事例对应平均 30 次的 dE/dx 取样. 估算 dE/dx 排斥比时, 电子由谱仪桶部簇射计数器、事例的拓扑及径迹动量等信息联合选出. π 介子样本用飞行时间计数器和主漂移室提供的信息选出. 用高斯函数拟合得到 π 介子和电子的能量分辨率分别为 $\sigma(30)/E=12\%$ 和 9.4% . 折算到对应 40 次 dE/dx 取样的能量分辨率, 则分别为 $\sigma(40)/E=11.2\%$ 和 8.8% .

实际应用中事例的取舍条件只能在对电子的标记效率及对 π 的排斥比之间做一合理的选择. 根据图7中拟合出的两组不同的分布参数, 可以计算出在某一取舍条件下, dE/dx 对电子的标记效率和对 π 介子的排斥比. 其结果详细地标绘在图8中. 如果取电子的标记效率为 80% , 则对 π 介子的排斥比 $\sim 1.5 \times 10^{-3}$; 若取电子的标记效率为 50% , 则对 π 介子的排斥比可达 4.5×10^{-5} .

4. e/π 识别中 dE/dx 方法的应用

实验获取的原始数据大约有 10% 的事例可以通过离线过滤程序. 在过滤后的样本中, “ $e\mu$ ”事例的信噪比近似为 $4 \times 10^{-3} : 1$. 离线事例筛选时, 根据 $\tau^+\tau^-$ 的衰变过程(4)与强子事例拓扑之间的差别及运动学条件, 可以进一步压低强子本底, 浓缩数据样本. 在浓缩的样本中, $\tau^+\tau^-$ 事例的信噪比好于 $3 \times 10^{-2} : 1$. 使用 dE/dx 信息可以进一步从浓缩的 $\tau^+\tau^-$ 样本中准确地把电子从 π 介子本底中分离出来.

表1 筛选电子的 e/π 识别方法

动量 [GeV/c]	e/π 识别方法	电子的标记效率
$0.35 \leq p \leq 0.6$	只用 dE/dx 信息	$\sim 70\%$
$0.6 < p \leq 0.7$	同时用 dE/dx 和电磁簇射信息	$\sim 70\%$ (dE/dx) $\sim 55\%$ (电磁簇射)
$p > 0.7$	只用电磁簇射信息	$\sim 55\%$

表1列出在不同动量范围内筛选“ $e\mu$ ”事例中的电子时所使用的 e/π 识别方法^[10]. 按照这种方法. 参考图3所示的电子动量分布, 可以粗略地估算出 dE/dx 信息的使用可使“ $e\mu$ ”事例的“筛选效率”比仅用传统的电磁簇射信息筛选电子时提高2倍左右. 并且, 在通过 dE/dx 判选的事例中, 电子的污染率 $< 0.15\%$. 表1中“电磁簇射信息”是指电磁簇射

计数器测量到的粒子的能量沉积和“击中”的单元数两方面的内容.

BES 合作组在 $\tau^+\tau^-$ 产生的阈值附近扫描测量了 12 个不同能量点, 最后共找到 14 个“ $e\mu$ ”事例^[3]. 其中 10 个事例中的电子是单独使用 dE/dx 信息找到的 ($N_{dE/dx}^e=10$), 1 个事例中的电子是单独使用电磁簇射信息找到的 ($N_{SH}^e=1$), 其余 3 个事例则是联合使用 dE/dx 和电磁簇射信息找到的 ($N_{SH+dE/dx}^e=3$). e/π 识别中 dE/dx 方法的使用, 使对 $\tau^+\tau^-$ 事例的标记效率 ($e\mu$ 道) 比仅使用电磁簇射信息时大大提高了. 按照较保守的估算, 提高的倍数为

$$F = \frac{N_{dE/dx}^e + \frac{1}{3} \times N_{SH+dE/dx}^e}{N_{SH}^e + \frac{2}{3} \times N_{SH+dE/dx}^e} \approx 3.6$$

表 2 列出了找到的 14 个“ $e\mu$ ”事例中电子的动量分布情况.

表 2 “ $e\mu$ ”事例中电子的动量分布

动量区间 (GeV/c)	$0.35 \leq p \leq 0.45$	$0.45 < p \leq 0.525$	$0.525 < p \leq 0.6$	$0.6 < p \leq 0.7$	$p > 0.7$
电子数	1	2	7	3	1

四、结论与讨论

在北京谱仪的 τ 轻子质量测量中, 由于在 e/π 识别中使用了 dE/dx 方法, 在取 $\sim 70\%$ 的电子标记效率下, 使对 $\tau^+\tau^-$ 衰变产生的“ $e\mu$ ”事例的选取效率比仅用传统的电磁簇射信息选取时提高了 3.6 倍. 在这个标记效率下, 通过 dE/dx 判选的“ $e\mu$ ”样本中的电子污染率 $< 0.15\%$. e/π 识别中 dE/dx 方法的使用不仅大幅度地减少了“ $e\mu$ ”事例的丢失, 而且在同样的统计水平及信噪比下, 使得 τ 重轻子质量测量所需要的谱仪和对撞机运行时间和数据离线处理所需要的计算机 CPU 时间均减少 $\sim 75\%$.

事实上, 表 1 列出的 dE/dx 对电子的取舍条件过严. 对于通过拓扑形态和运动学判选条件的事例, 如果取 3.2σ 置信水平下排斥 π 介子, 则在 $0.5\text{GeV}/c$ 动量附近 dE/dx 对 π 介子的排斥比可做到 $\sim 2 \times 10^{-3}$, 而对电子的标记效率可达 85% . 对于动量大于 $0.7\text{GeV}/c$ 的电子和 π 介子, dE/dx 方法仍具有很好的 e/π 识别能力. 此时若同时使用电磁簇射和 dE/dx 信息来识别 e/π , 则可进一步提高事例的选择效率.

如果把使用 dE/dx 信息的起始动量放在 $0.25\text{GeV}/c$, 对于落入不同动量间隔内的粒子使用不同程度的 dE/dx 信息来判选 (动量 $< 0.25\text{GeV}/c$ 的区域内使用飞行时间信息), 那么 BES 就可以在整个感兴趣的动量范围内识别 e/π . 这将会进一步地提高事例的选择效率. 这一点对今后的 D、 D_s 介子和粲重子的半轻子衰变的研究同样是有意义的.

作者感谢高能所物理一室领导对本工作的关心和支持. 感谢原漂移室组、漂移室电子学组全体同志在硬件方面做出的贡献. 感谢 BES 各软件组在离线分析软件方面做出的贡献. 感谢高能所计算中心的同志在计算机资源方面给予的支持.

参 考 文 献

- [1] Particle Data Group, J. J. Hernandez et al., *Phys. Lett.* **B239**(1990), **I**. 2, **II**. 74.
- [2] 丁慧良等, “北京谱仪”, 高能物理与核物理, **16**(1992), 769.
- [3] BES Collaboration, J. Z. Bai et al., SLAC-PUB-5870, BEPC-EP-92-01, July 1992.
- [4] Mark-III Collaboration, R. M. Baltrusaitis et al., *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985), 1976.
- [5] 毛慧顺, 高能物理与核物理, **10**(1986), 754;
荣刚, “BES MDC dE/dx 粒子辨认能力的模拟研究”, 第五次全国核电子学与探测器学术会议论文集, 1990, 8, 兰州.
- [6] 荣刚“北京谱仪主漂移室 dE/dx 系统效应的软件校正”, 第四次全国高能实验物理学术会议, 1991, 10, 北京.
- [7] 荣刚, “北京谱仪 dE/dx 粒子鉴别的软件方法”, 第四次全国高能实验物理学术会议, 1991, 10, 北京.
- [8] 荣刚, 核电子学与探测技术, 增刊 **12**(1992), 200.
- [9] Rong Gang, “Note on BES dE/dx System”, BES Collaboration Meeting, June 1992, Chengde/Beijing.
- [10] 漆纳丁等, “ $\tau\tau$ 事例筛选”, BES 内部报告, 1992, 1.

Application of dE/dx Method for e/π Identification to the Measurement of the Mass of τ Heavy Lepton by BES

RONG GANG MA JIMAO MAO HUI SHUN

WANG TAIJIE BAI JINGZHI LI WEIGUO

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

The application of dE/dx method for e/π identification to the measurement of the mass of τ heavy lepton by Beijing Spectrometer (BES) operated at Beijing Electron Positron Collider (BEPC) is described. With this method, the efficiency of selecting the $e\mu$ events from decaying from $\tau^+\tau^-$ is increased by a factor of more than 3 compared with using traditional e/π identification by electromagnetic shower measurement. It results in not only that the loss of the $e\mu$ events in off-line selection is reduced, but also that the amount of the time needed to run the BES/BEPC for data collection and computer CPU time for data off-line processing is reduced by $\sim 75\%$ for selecting the same number of $\tau^+\tau^-$ events.