

τ 轻子 Michel 参数测量中的电子识别方法*

钱诚德 冯 胜¹⁾

(上海交通大学应用物理系 上海 200030)

童国梁 吴义根

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 北京谱仪(BES)合作组通过 $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 衰变的电子能谱测定 Michel 参数, 本文利用 BES 在质心系能量 4.03 GeV 处获取的 e^+e^- 对撞数据, 通过 BES 给出的带电粒子 dE/dx , β , E/p 测定值及其适当组合, 实现了电子的有效识别.

关键词 Michel 参数 τ 轻子衰变 电子识别 两维散点图

1 引言

τ 轻子 Michel 参数的测量是对标准模型的重要检验^{2,3), [1,2]}. 北京谱仪合作组利用质心系能量 4.03 GeV 处收集的 e^+e^- 对撞数据, 判选出 $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow e^\pm X^\mp \nu s$ 事例(X 为 μ 、 π 、 ρ), 测量其中的 $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 衰变电子能谱, 求得 Michel 参数 $\rho_{\tau \rightarrow e}$ 的 BES 测定值. 显而易见, 正确的粒子识别方法, 特别是电子识别方法, 对于提高信噪比, 获得正确的电子能谱形状是至关重要的.

本工作利用北京谱仪^[3] 给出的 xse 、 β 、 E/p 三个物理量(其含义见下节), 在不同的动量区间对它们选择合理的组合, 为 Michel 参数测量提供了较好的电子识别方法.

2 电子的识别

在本工作的粒子识别中, 主要利用 BES 子探测器 MDC(主漂移室)、TOF(时间飞行计

1997-04-15收稿, 1997-10-27收修改稿

*国家自然科学基金、上海交通大学科研基金资助

1) 现工作单位: 中国科学院高能物理研究所

2) Pich A. Tau Physics. CERN-TH, 1991, Sept

3) 冯胜. $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 衰变中 Michel 参数测量. 硕士学位论文. 上海交通大学, 1996;

Feng Sheng, Qian Chengde. Michel Parameter Measurement in $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$. BES 95 The 4th Annual Meeting.

Beijing: 1995. 394-400

数器)和 BSC(桶部簇射计数器)^[3]测定的 xse 、 β 和 E/p 三个物理量. xse 代表带电粒子在 MDC 中的电离能损值对于电子的电离能损期望值的偏离, 定义为

$$xse = \frac{(dE/dx)_{\text{measured}} - (dE/dx)_{\text{expected}}}{\sigma}, \quad (1)$$

其中 σ 为 $(dE/dx)_{\text{expected}}$ 的标准偏差.

β 是 TOF 对带电粒子飞行速度的测量值. E/p 是 BSC 测量的带电粒子能量沉积 E 与 MDC 测量的粒子动量 p 的比值.

利用 BES 收集的 4.03 GeV 能区数据测量 Michel 参数, 主要是通过 $\tau\tau \rightarrow e\mu\nu's, e\pi\nu's, e\rho\nu's$ 三个衰变道中电子能谱形状的测量实现的. 其中 $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 衰变中, 电子的动量绝大部分小于 $1.5\text{GeV}/c$; 而 MDC 对动量低于 $0.1\text{GeV}/c$ 的粒子的动量测量值不很可靠. 因此, 本工作的电子识别动量范围限制在 $0.1\text{—}1.5\text{GeV}/c$.

$\tau\tau \rightarrow e\mu\nu's, e\pi\nu's, e\rho\nu's$ 三个衰变道的末态带电粒子只有电子、 μ 子和 π 介子. $0.1\text{—}1.5\text{GeV}/c$ 动量区间内这三种粒子的 xse 、 β 和 E/p 三个量的数值落在下述区域内:

$$\begin{aligned} -10 < xse < 5, 0.5 < \beta < 1.5, \\ 0 < E/p < 2. \end{aligned} \quad (2)$$

BES 探测器可测到的带电粒子是 e 、 μ 、 π 、 K 和 p . 为了测得电子能谱, 需要把电子正确地挑选出来, 本文采用的是排除法. 在 $E_{\text{cm}} = 4.03\text{GeV}$ 对撞事例数据中的两个带电粒子末态事例中, 选择动量处于 $0.1\text{—}1.5\text{GeV}/c$ 的带电粒子, 将动量 $0.1\text{—}1.5\text{GeV}/c$ 分成若干个区间, 区间的大小视 xse 、 β 以及 E/p 对动量的变化程度而定. 在每个区间内选择 xse 、 β 、 E/p 的适当组合逐次地排除掉 p 、 K 和 π 、 μ 以得到干净的 e 样本. 下面以 $0.6\text{—}0.75\text{GeV}/c$ 这一具

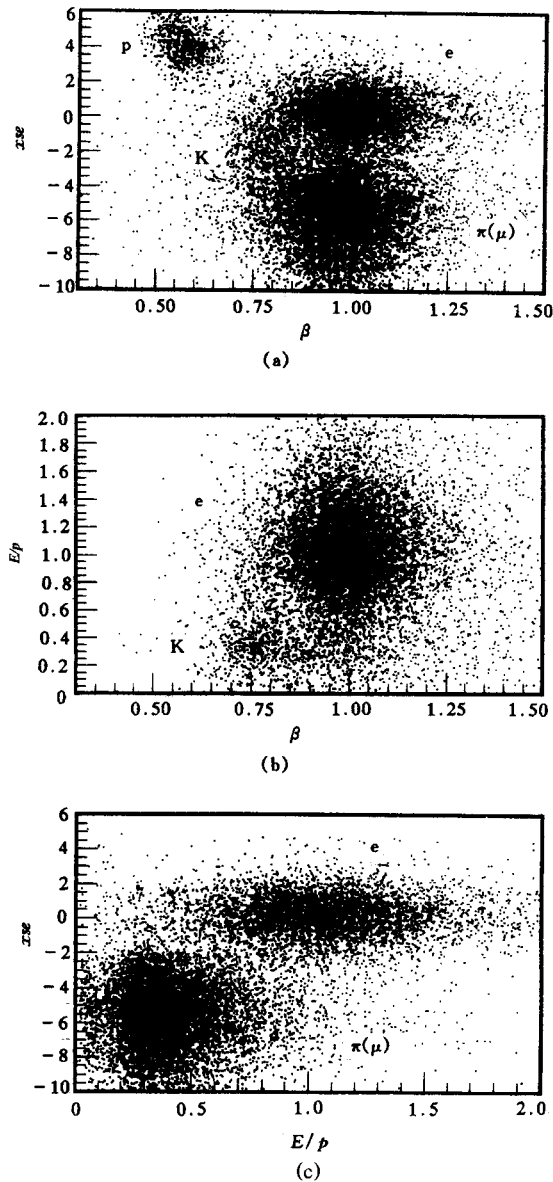


图1 动量 $0.6\text{—}0.75\text{GeV}/c$ 的带电粒子二维散点图

(a) xse - β 散点图;

(b) E/p - β 散点图, p 已从粒子样本中剔除;

(c) xse - E/p 散点图, K 、 p 已从粒子样本中剔除.

有代表性的动量区间为例说明上述判选过程.

1) p, K 的排除

由于 p, K 的质量明显地高于电子, 当动量相同或相近时, TOF 测到的 β 值和 MDC 测到的 dE/dx 值对于 p, K 和电子将有明显的差别. 图 1(a) 显示了 $0.6-0.75\text{GeV}/c$ 动量区内 e, $\pi(\mu)$, K, p 的 $xse-\beta$ 二维散点图. 集中于左上角的一团为 p 所形成, 它们可用判选条件

$$xse - 16\beta + 8 > 0 \quad (3)$$

很干净地从样本中去除.

从辐射 Bhabha 事例 ($e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$) 中的电子样本的 xse 分布可知道, 电子的 xse 值基本上大于 -2 . 图 1(b) 显示的是去除了质子且 xse 大于 -2 的样本的 $E/p-\beta$ 二维散点图. K 介子的样本集中于 E/p 较小的区域. 利用判选条件

$$E/p + 9\beta - 8.3 < 0 \quad (4)$$

可将 $xse > -2$ 的 K 介子从样本中去除.

2) 电子与 π, μ 的区分

去除 K, p 后的带电粒子的 $xse-E/p$ 的散点图如图 1(c) 所示, 其中 e 样本集中于右上方. 利用判选条件

$$xse + 2.22E/p - 0.05 > 0 \quad (5)$$

可将 π, μ 去除而留下干净的电子样本.

对于其它动量区间, 电子样本的判选过程是雷同的, 但判选条件 (3) (4) (5) 中的各个常数值则有所区别. 特别对于 $p < 0.3\text{GeV}/c$ 的区间, 仅用 (3) 式就可将电子与其它粒子区分开来, 无须用到 (4)、(5) 两式的 E/p 判选条件.

3 电子选择效率和误判率

粒子选择效率和误判率是对粒子识别方法质量评估的两项指标, 前者反映方法的有效性, 后者反映方法排除本底或污染的能力. 本文只考虑电子的选择效率和 $\pi(\mu)$ 被误判为电子的几率, 因为 $\pi(\mu)$ 的污染是 τ 衰变 Michel 参数测量中造成电子能谱畸变的最重要

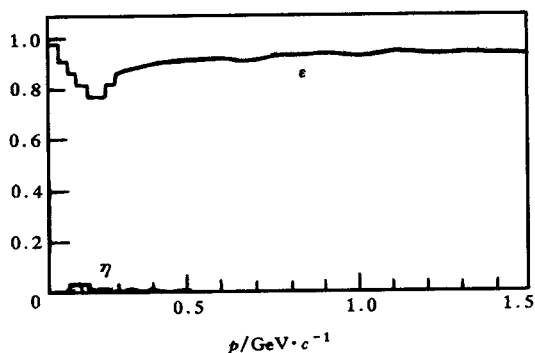


图2 电子选择效率 ϵ 和 π 混入电子的误判率 η 随动量的变化

来源.

电子的选择效率 ε 和 π 判选为 e 的误判率 η 的定义为

$$\varepsilon = \frac{N'_e}{N_e} ; \quad \eta = \frac{N'_\pi}{N_\pi} , \quad (6)$$

其中 $N_{e(\pi)}$ 表示全部事例数据经过事例重建后 MDC、TOF 都有击中信息, 并且当粒子动量大于 $0.3\text{GeV}/c$ 时 BSC 也有击中信息的电子 (π 介子) 数目; $N'_{e(\pi)}$ 表示这 $N_{e(\pi)}$ 个粒子经过上节所述的电子识别程序判选的粒子数目.

由于从 $4.03\text{GeV } e^+e^-$ 对撞数据中挑选干净的 π 介子样本比较困难, 本工作借助 Monte Carlo 方法模拟产生电子和 π 介子样本, 通过与实验数据相同的事例判选程序得到 ε 和 η 随粒子动量变化的曲线, 如图 2 所示. 由图可见, 本文所采用的电子识别方法在 $0.1\text{--}1.5\text{GeV}/c$ 动量区间内, 电子效率大于 80%, π 混入 e 的误判率小于 4%, 基本上满足了 τ 轻子 Michel 参数测量的电子识别要求.

4 结果与讨论

为了进行电子的识别, 充分地利用了 BES 给出的 dE/dx 、 β 、 E/p 信息及其组合, 在同一动量区间内比较不同类型的二维散点图, 通过适当的判选条件, 就可以把电子与其它带电粒子显著地加以区分. 这样, 就给出了一种有效的电子识别方法.

北京谱仪上积累的所有三批 4.03GeV 能区数据, 积分亮度约为 23.0pb^{-1} , 都被用来测量 $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 衰变中的 Michel 参数 $\rho_{\tau \rightarrow e}$, 最后的结果是

$$\rho_{\tau \rightarrow e} = 0.705^{+0.055+0.027}_{-0.054-0.026} ,$$

式中的第二项为统计误差, 第三项为系统误差. 这个结果与标准模型预言的理论值 $\rho = 0.75$ 在测量误差范围内一致, 从而实验地验证了 4.03GeV 能区上弱流顶点的耦合结构是 V-A 型的.

本工作有赖于 BES 合作组提供的质心系能量 4.03GeV 的对撞数据和中科院高能所计算中心提供的优良的数据分析和计算环境, 并得到上海交通大学谢绳武教授、庞乾骏教授和叶庆好副教授的支持与帮助, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] Glashow S L. Nucl. Phys., 1961, 22:579—588;
Weinberg S. Phys. Rev., 1967, 19:1264
- [2] Tang Xiaowei. Positron & Electron Physics. Beijing: Science Press, 1995. 431
(唐孝威. 正负电子对撞物理. 北京: 科学出版社, 1995. 431)
- [3] Ding H L et al. Beijing Spectrometer. High Energy Physics and Nuclear Physics (in Chinese), 1992, 16: 769—789
(丁慧良等. 高能物理与核物理, 1992, 16: 769—789)

Electron Identification in the Measurement of Michel Parameter in τ Lepton Decay*

Qian Chengde Feng Sheng

(Applied Physics Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Tong Guoliang Wu Yigen

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 10039)

Abstract The Michel parameter $\rho_{\tau \rightarrow e}$ is determined through studying the electron energy spectrum of $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ decay by Beijing Spectrometer(BES). This paper describes the electron identification with dE/dx , β , E/p informations for charged particles and their adequate combinations using e^+e^- collision data collected at $\sqrt{s} = 4.03\text{GeV}$.

Key words Michel parameter, lepton decay, electron identification, 2-dimensional scatter plot

Received 15 April 1997, Revised 27 October 1997

* Supported by the National Natural Science Foundation of China and the Scientific Research Foundation of Shanghai Jiaotong University