

通过 $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ 道测量由 Z^0 衰变的 τ 的极化不对称性*

刘振安 陈国明 陈和生 唐孝威

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 利用 L3 合作组 1992 年和 1993 年的数据, 通过 $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ 道测量了由 Z^0 衰变的 τ 的极化不对称性 $A_{\text{pol}} = -0.239 \pm 0.126 \pm 0.100$, 其中第一项误差为统计误差, 第二项误差为系统误差. 由此推断有效电弱混合角 $\sin^2 \bar{\theta}_w = 0.2197 \pm 0.0219$.

关键词 极化不对称性 神经网络 分析潜力

1 引言

测量 τ 的极化不对称性是对电弱相互作用的一个理论检验. 根据标准模型, Z^0 与不同螺旋度的 τ 耦合, 其强度也不同, 因而不同螺旋度($h = \pm 1/2$)的 τ 的产生截面也不同, 这是一个宇称破坏的例子. 实验上定义极化不对称度

$$P_\tau(\cos\theta) = \frac{\sigma(\cos\theta, h = +1/2) - \sigma(\cos\theta, h = -1/2)}{\sigma(\cos\theta, h = +1/2) + \sigma(\cos\theta, h = -1/2)}. \quad (1)$$

根据标准模型, 在波恩近似下, 上式可写为

$$P_\tau(\cos\theta) = -\frac{A_\tau + 2A_e \cos\theta / (1 + \cos^2\theta)}{1 + 2A_\tau A_e \cos\theta / (1 + \cos^2\theta)}, \quad (2)$$

其中

$$A_l = 2g_V^l g_A^l \cos\theta / (g_V^l + g_A^l), \quad l = e, \tau.$$

对 $\cos\theta$ 积分可得平均极化不对称性 $A_{\text{pol}} = -A_\tau$, A_{pol} 根据(1)关系式, 由实验测定. 通过 A_τ 可以进一步测定有效电弱混合角, $\sin^2 \theta_w, g_V^\tau / g_A^\tau \equiv 1 - \sin^2 \theta_w$.

1997-12-02收稿

* 国家自然科学基金(19675047)资助

实验并不能直接测量 τ 的螺旋度, 但极化不对称性可由末态粒子的能动量分布测得. τ 有许多衰变道, 不同衰变道对极化不对称性的敏感度不一致, 也即是测量极化不对称性的分析潜力不同. π 道分析潜力最高, 而 a_1 道则由于进一步衰变成 3π 而分析潜力很低, 另一方面, a_1 道的鉴别很困难, 效率低, 本底高. 本文利用参考文献 [2] 的神经网络鉴别结果, 由 $a_1 \rightarrow \pi 2\pi^0 \nu$ 道测量了 τ 的极化不对称性.

2 $\tau \rightarrow \pi 2\pi^0 \nu$ 的选择

本文使用 L3 实验 1992 年和 1993 年的数据, L3 探测器详见文献 [1], 它由顶点探测

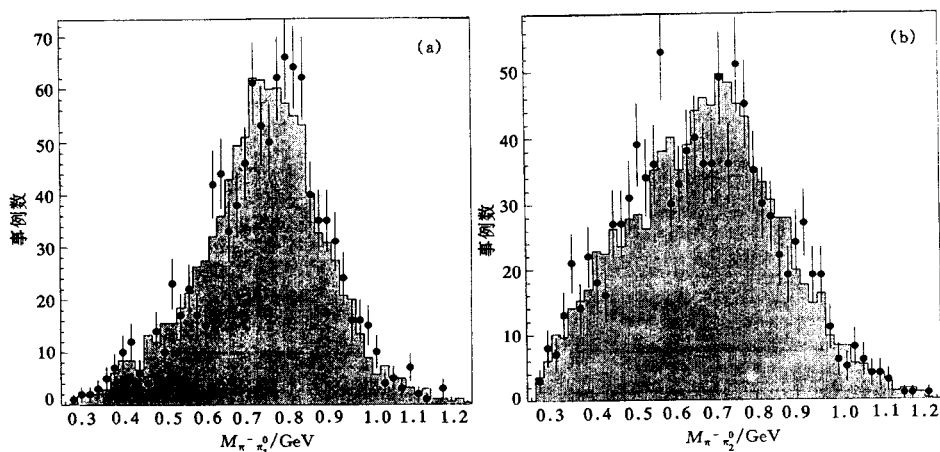


图 1 带电 π 与 π^0 的不变质量谱

(a) 带电 π 与第一个 π^0 组合; (b) 带电 π 与第二个 π^0 组合. 阴影区为 Monte Carlo 模拟数据, 黑点为真实数据.

器、中心径迹室、BGO 强子量能器及 μ 子漂移室组成. 本文只利用桶部 ($|\cos\theta| < 0.7$) 的数据.

$Z^0 \rightarrow \tau \tau$ 事例的选择及 $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ 道的鉴别详见文献 [2]. 本文在此基础上对 π^0 进行了重建. 图 1 为带电 π 与 π^0 的不变质量谱, 其中第一个 π^0 的能量高于第二个 π^0 . 图 2 为 $\pi \pi^0 \pi^0$ 的不变质量谱. 从图中可以看出实验数据与 Monte Carlo 数据符合的很好. 从 1992 年和 1993 年数据中共选出 1038 个 $a_1 \rightarrow \pi \pi^0 \pi^0$ 事例用于 τ 极化不对称性的测量. 本底主要来自 $\tau \rightarrow \pi 3\pi^0 \nu$, 占 13.4%, 其次是 $\tau \rightarrow \rho \nu$, 占 6%.

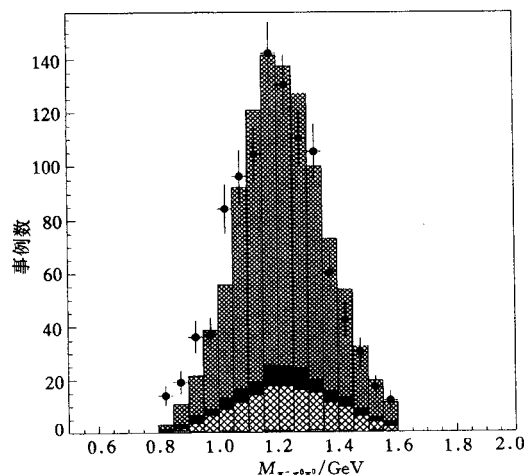


图 2 3π 的不变质量

黑点代表实验数据; 直方图为 Monte Carlo 数据, 从上到下分别为 $\tau \rightarrow a_1 \nu$, $\rho \nu$, 和 $\pi 3\pi^0 \nu$.

3 极化不对称性的测量

3.1 极化不对称性 A_{pol} 的拟合

a_1 道的分析潜力较低, 如果 π 道的分析潜力 $\alpha_\pi = 1$, 则 ρ 道 $\alpha_\rho \approx 0.46$, $\alpha_{a_1} \approx 0.12$, 并且这样的分析潜力的实现取决于充分利用末态粒子的信息. 本文通过对多种不同分析方法的深入研究, 认为用联合拟合 A. Rouge 的两个分布^[3,4], 灵敏度最高, 也即分析潜力得到充分发掘.

1) $dW/d\cos\theta$, 即 $\cos\theta$ 的分布函数. 角度 θ 定义为 τ 的极化方向与在 τ 的静止系中强子系统的动量之间的夹角. $\cos\theta$ 可由下式算出:

$$\cos\theta = \frac{4m_\tau^2}{m_\tau^2 - m^2} \frac{E_1 + E_2 + E_3}{\sqrt{s}} - \frac{m_\tau^2 + m^2}{m_\tau^2 - m^2},$$

其中 m_τ 为 τ 的质量, E_i ($i = 1, 2, 3$) 分别为 π , π^0 , π^0 的能量, m 为 3π 系统不变质量, \sqrt{s} 为对撞能量.

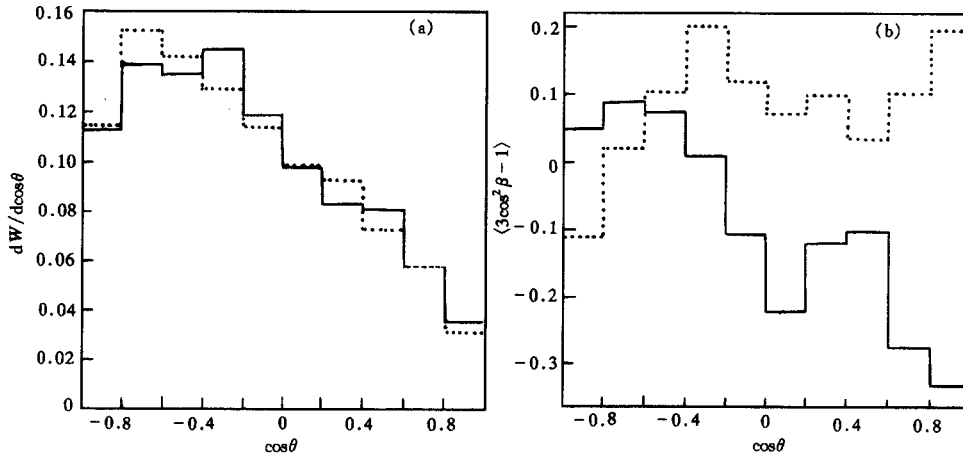


图 3 Monte Carlo 数据分布.

(a) $dW/d\cos\theta$ 分布. (b) $\langle 3\cos^2\beta - 1 \rangle$ 分布.

图中实线和虚线分别代表螺旋度为 +1 和 -1 的 $\tau \rightarrow a_1 \nu$ 衰变.

2) $\langle 3\cos^2\beta - 1 \rangle(\cos\theta)$, 其意义为在每个 $\cos\theta$ Bin 内求 $3\cos^2\beta - 1$ 的平均值, β 为 3π 静止系中三个 π 的动量确定的平面的法线方向与 3π 实验室飞行线之间的夹角:

$$\cos\beta = \frac{8m^2 \mathbf{p}_1 \cdot (\mathbf{p}_2 \times \mathbf{p}_3) / |\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3|}{\sqrt{-\lambda(\lambda(m^2, m_{12}^2, m_\pi^2), \lambda(m^2, m_{13}^2, m_\pi^2), \lambda(m^2, m_{23}^2, m_\pi^2))}},$$

其中 \mathbf{p}_i ($i = 1, 2, 3$) 为第 i 个 π 的动量, m_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) 为 2π 的不变质量, 函数 $\lambda(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 - 2xy - 2yz - 2zx$. 如图 3 所示, 这两个分布对于不同螺旋性的 τ 有一定区别, 而 $\langle 3\cos^2\beta - 1 \rangle(\cos\theta)$ 则区别较大些, 根据这些差别, 利用所选实验数据可以拟合

极化不对称性 A_{pol} . 真实数据的分布见图 4. 利用最小二乘法拟合得

$$A_{\text{pol}} = -0.239 \pm 0.126.$$

拟合时, 理论公式用 Monte Carlo 模拟结果代替, 因而探测器的效应, 选择效率及本底也包

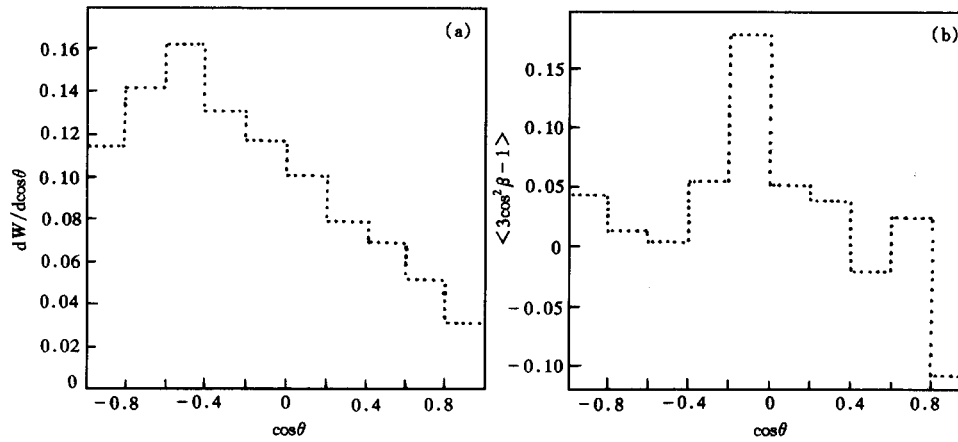


图 4 L3 实验 1992 年和 1993 年实验数据 $\tau \rightarrow a_1 \nu$ 分布
(a) $dW/d \cos \theta$ 分布. (b) $\langle 3 \cos^2 \beta - 1 \rangle$ 分布.

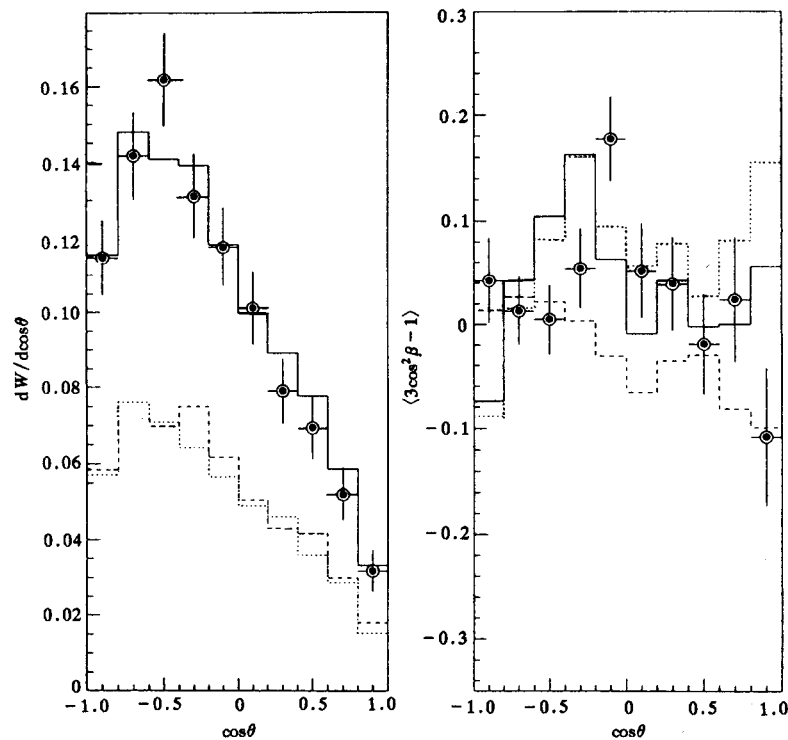


图 5 一维联合拟合结果

黑点为实验数据, 点线和点划线分别为螺旋度为 -1 和 $+1$ 的 Monte Carlo 数据, 实线为拟合结果.

含其中,拟合结果中的误差仅为统计误差.拟合结果见图 5.

3.2 系统误差分析

由 $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ 道测量 A_{pol} , 其系统误差主要有事例选择、粒子鉴别和能量分辨等来源. 研究表明非 τ 本底引起的误差: 巴巴事例为 0.0234, $\mu\mu$ 事例为 0.0224, 双光子事例为 0.0117. 粒子鉴别通过神经网络实现, 误差来源于神经网络的输入量. 这些输入量有些彼此独立, 有些则互相关联, 因而不能简单地平方相加. 经测试独立且对 A_{pol} 敏感的量有带电 π 的能量, 电磁量能器重建的中性径迹能量 E_{n1} 、 E_{n2} 和总的能量 $E_{\text{BGO}}^{[2]}$, 它们对系统误差的贡献分别为 0.039, 0.041, 0.037, 0.023. 神经网络总体对系统误差的贡献为 0.084. 总的系统误差为 0.100.

4 结果与讨论

由 $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ 道, 利用 L3 合作组 1992 年和 1993 年数据测得 τ 的极化不对称性:

$$A_{\text{pol}} = -0.239 \pm 0.126 \pm 0.100,$$

其中第一项误差为统计误差, 第二项误差为系统误差. 由此可推得 $\sin^2 \bar{\theta}_w = 0.2197 \pm 0.0219$, 此结果在误差范围内与世界平均值一致. 误差较大的原因在于本道的分析潜力低, 粒子鉴别难度大, 效率低, 本底高. 利用本道分析 A_{pol} 在整个 LEP 的 4 个实验组中都是少见的. 影响测量精度的另一因素是对 $a_1 \rightarrow \pi \pi^0 \pi^0$ 的结构因子尚不清楚, 有待深入研究. 这些因素也使得图 3(b) 分布与理论分布相差较大, 导致了图 5(b) 的拟合中实验数据与 Monte Carlo 模拟相差较大.

感谢高能所物理二室马基茂教授、童国梁教授和金炳年教授对本工作的支持, 感谢二室陈刚博士的帮助.

参 考 文 献

- [1] L3 Collab., Nucl. Instr. and Meth., 1990, **A289**:35
- [2] Chen Guoming, Chen Gang. High Energy Phys. and Nuclear Phys. (in Chinese), 1995, **19**:692
(陈国明, 陈刚, 高能物理与核物理, 1995, **19**:692)
- [3] Rouge A. Z. Phys., 1990, **C48**:75
- [4] Rouge A. TAU LEPTON PHYSICS, Orsay, France, September, 18—22, 1990

Measurement of the τ Polarization Asymmetry in $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ Decay at Z^0 Peak *

Liu Zhenan Chen Guoming Chen Hesheng Tang Xiaowei

(*Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039*)

Abstract The τ polarization asymmetry in $\tau \rightarrow a_1 \nu \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0 \nu$ decay at Z^0 peak is measured using data collected by L3 detector at LEP in 1992 and 1993, $A_{\text{pol}} = -0.239 \pm 0.126 \pm 0.100$, where the first error is statistical and the second systematic. And the effective electroweak mixing angle $\sin^2 \theta_w = 0.2197 \pm 0.0219$ is derived.

Key words polarization asymmetry, neural network, analytic potential

Received 2 December 1997

* Supported by the National Natural Science Foundation of China (19675047)