Misura dell'angolo di mixing elettrodebole

Mirko Cosentino

corso di: Fisica Nucleare e Subnucleare II prof. Carlo Dionisi

Sommario

- Definizione $\sin^2 \vartheta_w$
- Scattering ve
- CHARM II
 - Produzione fascio
 - Detector
 - Selezione eventi
 - Misura
 - Normalizzazione
 - Risultati

29/05/2008

Definizione $\sin^2 \vartheta_w$

• Interazione elettromagnetica $\rightarrow \gamma$ Interazione debole CC $\rightarrow W^{\pm}$ Interazione debole NC $\rightarrow Z^{0}$

La corrente neutra debole J_{μ}^{NC} è combinazione di J_{μ}^{3} e J_{μ}^{em} :

$$J_{\mu}^{NC} = J_{\mu}^{3} - \sin^{2}\vartheta_{w} J_{\mu}^{em}$$

• $\sin^2 \vartheta_w$ è uno dei tre parametri fondamentali della teoria elettrodebole: connette le masse dei bosoni *W*, *Z*⁰ e inoltre mette in relazione m_W con α e G_F :

$$m_W = m_Z \cos \vartheta_W$$
 $m_W^2 = \frac{\pi \alpha}{\sqrt{2} G_F \sin^2 \vartheta_W}$

 \rightarrow E' interessante misurare sin² ϑ_{w} in diversi processi

Scattering $v_{\mu}e^{-}$

- Interazione leptonica puramente debole di tipo NC
- Particelle puntiformi libere \rightarrow è possibile calcolare le sezioni d'urto $\sigma(v_{\mu}e) \in \sigma(\bar{v}_{\mu}e)$:

$$\sigma(\bar{v}_{\mu}e) = G_F s f(\sin\vartheta_w)$$



• Il rapporto delle sezioni d'urto, a meno di correzioni radiative (m_t , m_H), è funzione di sin² ϑ_w :

$$R = \frac{\sigma(v_{\mu}e)}{\sigma(\overline{v_{\mu}}e)} = \frac{3 - 12 \sin^2 \vartheta_w + 16 \sin^4 \vartheta_w}{1 - 4 \sin^2 \vartheta_w + 16 \sin^4 \vartheta_w}$$

- Per osservare lo scattering $v_{\mu}e^{-}$: fascio di neutrini su elettroni atomici del bersaglio/rivelatore
- Segnatura sperimentale: e⁻ isolato nello stato finale. Con un opportuno rivelatore, si possono contare eventi di questo tipo (v_µ e⁻ → v_µ e⁻)
- Sperimentalmente si misura R_{vis} , dove F è il rapporto tra i flussi pesati in energia :

$$R_{\rm vis} = \frac{N(\nu_{\mu}e)}{N(\overline{\nu}_{\mu}e)} F \qquad F = \frac{\Phi_{\overline{\nu}}}{\Phi_{\nu}} = \frac{\int \phi_{\overline{\nu}}(E_{\overline{\nu}}) E_{\overline{\nu}} dE_{\overline{\nu}}}{\int \phi_{\nu}(E_{\nu}) E_{\nu} dE_{\nu}}$$

• Difficoltà principale \rightarrow statistica ridotta: $\frac{\sigma(v_{\mu}e^{-})}{\sigma(v_{\mu}N)} \sim 10^{-4}$

CHARM II

• Una misura $\sin^2 \vartheta_w$ (scattering $v_\mu e$) è stata effettuata nel 1991 al SPS del CERN (450 GeV), esponendo il detector di CHARM II ad un fascio wide band di neutrini (1987-1989)



Produzione fascio



- Corni magnetici per focalizzare π e *K* (segno opportuno)
- Tunnel di decadimento (~ 400 m)

Scudo (~ 400 m) per bloccare π, K, e, μ : all'entrata del detector, il fascio è composto essenzialmente da ν



Detector

- Caratteristiche del rivelatore:
 - Obiettivo: ~ 1000 eventi/anno \rightarrow Massa bersaglio ~ 10³ t
 - Distinguere sciami e.m. da sciami adronici
 - \rightarrow alta granularità (campionamento < X_0)



Selezione eventi

- Segnale $V_{\mu} e^- \rightarrow V_{\mu} e^-$: singolo e^- nello stato finale
- Fondo $\begin{array}{l}
 \nu_{\mu} N \rightarrow \nu_{\mu} X \\
 \nu_{\mu} N \rightarrow \nu_{\mu} \pi^{0} N' \\
 \nu_{e} N \rightarrow e^{-} N'
 \end{array}$

 e^- diffuso \rightarrow sciame elettromagnetico nel calorimetro



9

- Si selezionano eventi che:
 - i. Generano una topologia tipica degli sciami e.m. (narrow shape)
 - ii. Presentano un solo hit nel primo piano di tubi streamer



L'efficienza ε della selezione è stata misurata con un fascio di e⁻ con energia 2 ÷ 40 GeV : ε = 0.76±0.03

Misura di N(ve) e N(ve)

• Dalla conservazione del quadri-impulso:

 $\mathbf{P}_{\mathbf{v}} + \mathbf{P}_{\mathbf{e}} = \mathbf{P}_{\mathbf{v}}' + \mathbf{P}_{\mathbf{e}}'$ $\mathbf{P}_{\mathbf{v}} \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{e}} = \mathbf{P}_{\mathbf{v}}' \cdot (\mathbf{P}_{\mathbf{v}} + \mathbf{P}_{\mathbf{e}} - \mathbf{P}_{\mathbf{e}}')$

Per $E_{\nu} >> m_e^2$ si ottiene:



 $E_{v}m_{e} = E_{e}E_{v} - E_{e}E_{v}\cos\theta + E_{e}m_{e} \rightarrow (E_{v} - E_{e})m_{e} = E_{e}E_{v}(1 - \cos\theta)$

$$\Rightarrow E_e \theta^2 = 2 m_e \left(1 - \frac{E_e}{E_v} \right) < 2 m_e$$

Per sfruttare la condizione cinematica $E_e \theta^2 < 0.001$ GeV occorre una misura molto precisa di E_e e θ L'angolo θ, ovvero la direzione dell'elettrone rispetto al fascio di neutrini incidente, si misura a partire dalla direzione dell'asse dello sciame. La risoluzione della misura, stimata utilizzando test beam, è:

$$\sigma(\theta) = \frac{18 \text{ mrad}}{\sqrt{E/\text{GeV}}}$$

 L'energia *E_e* è direttamente legata al numero di hit del segnale. La risoluzione della misura (test beam) risulta:

> $\sigma(E = 3 \,\text{GeV}) \approx 16\%$ $\sigma(E = 24 \,\text{GeV}) \approx 11\%$ Errore di scala ± 5%

Distribuzione $E\theta^2$ ($E = 3 \div 24 \text{ GeV}$)



Il picco per $E\theta^2 < 3$ MeV è attribuito allo scattering ve

 Sottraendo il fondo (calcolato attraverso modelli teorici) otteniamo le seguenti distribuzioni:



• Eseguendo il fit nella regione cinematica $E\theta^2 < 3 \text{ MeV}$:

 $N(v_{\mu}e^{-}) = 1316 \pm 56 \text{ (stat)}$ $N(\overline{v}_{\mu}e^{-}) = 1453 \pm 62 \text{ (stat)}$

Normalizzazione

- Abbiamo visto che $R = \frac{\sigma(v_{\mu}e)}{\sigma(\overline{v}_{\mu}e)} = f(\sin\vartheta_w) \rightarrow R_{vis} = \frac{N(v_{\mu}e)}{N(\overline{v}_{\mu}e)} F$
- Per determinare *F* si possono studiare:
 - <u>Le interazioni CC quasi-elastiche</u> (basso Q^2) v_{μ} $\sigma(v_{\mu}n \rightarrow \mu^- p) = \sigma(\overline{v}_{\mu}p \rightarrow \mu^+ n)$ $\Phi(v_{\mu}) \propto N(\mu^- p)$ e $\Phi(\overline{v}_{\mu}) \propto N(\mu^+ n)$ - <u>Il flusso di muoni pollocatiche</u>
 - <u>Il flusso di muoni nello shield</u>
 <u>misurato attraverso un μ</u>-detector
- Dalle misure combinate si ottiene : $F = 1.030 \pm 0.022$

 $R_{\text{vis}} = 0.933 \pm 0.057(\text{stat}) \pm 0.043(\text{syst})$

Risultati

• Dalla misura di R_{vis} è possibile ricavare sin² ϑ_w :

 $\sin^2 \vartheta_w^0 = 0.2324 \pm 0.0058(\text{stat}) \pm 0.0059(\text{syst})$

E' la miglior misura di $\sin^2 \vartheta_w$ da scattering $v_\mu e^-$

• Il confronto di questa stima di $\sin^2 \vartheta_w$ con altre misure (in particolare quelle ottenute al LEP) rappresenta un significativo test del Modello Standard



Bibliografia

- Appunti del prof. P.F. Loverre Fisica del neutrino
- Dispense del prof. C. Dionisi Fisica Nucleare e Subnucleare II
- CHARM II Collab., D. Geiregat et al., Phys. Lett. B 259 (1991) 499
- CHARM II Collab., D. Geiregat et al., Phys. Lett. B 232 (1989) 539
- CHARM II Collab., K. de Winter et al., Nucl. Lett. B 232 (1989) 539