

Misura della sezione d'urto $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ con il detector KLOE

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II

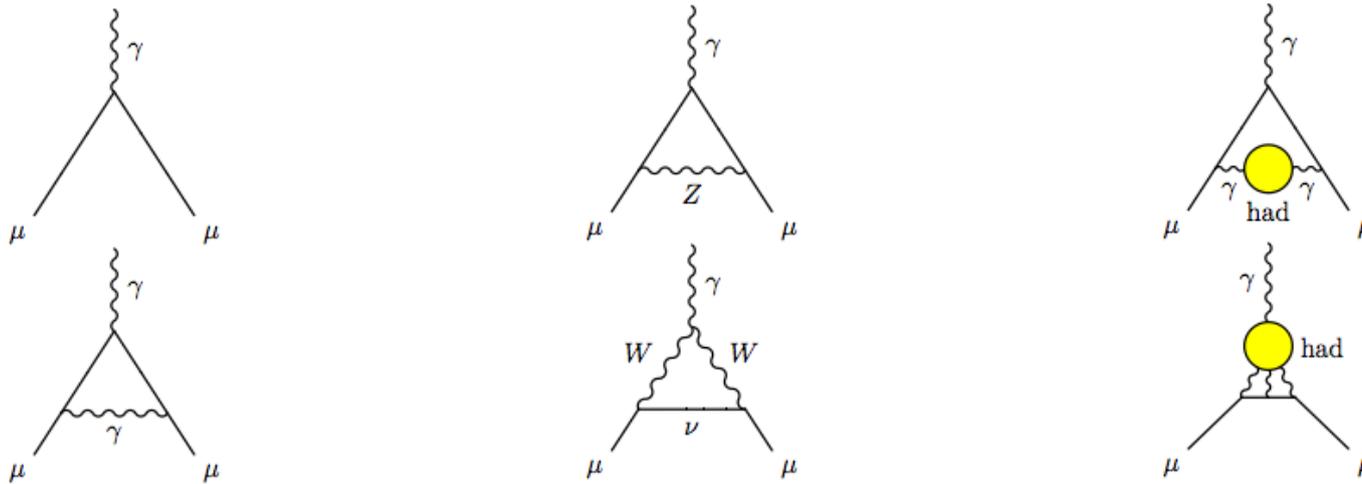
Studente: Francesco Micheli
Tutor: Prof. Cesare Bini

08.06.2010

Introduzione

L'anomalia magnetica del muone è data da 3 contributi:

$$a_{\mu} = a_{\mu}^{QED} + a_{\mu}^{weak} + a_{\mu}^{had}$$



A KLOE si misura la sezione d'urto $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ per stimare il contributo adronico.

Il contributo QED

Include i loop fotonici e leptonici (tutte e tre le famiglie). È calcolato analiticamente fino al 3° ordine, i termini del 4° e 5° ordine sono stati stimati numericamente.

$$a_{\mu}^{QED} = 116584718.09(0.14)_{5^{th} order} (0.08)_{\delta\alpha} \times 10^{-11}$$

Termine dovuto all'incertezza sulla costante di struttura fine.

Il contributo debole

Include i contributi dati dai bosoni Z, W e del bosone di Higgs. Si considerano i termini fino al 2° ordine poiché il terzo termine è già $O(10^{-12})$.

$$a_{\mu}^{weak} = 154(1)(2) \times 10^{-11}$$

Termine dovuto all'incertezza sulla massa del bosone di Higgs.

Il contributo adronico

Dovuto a loop di quark e gluoni. Non si può utilizzare la QCD perturbativa. Necessità di misure SPERIMENTALI di precisione. Il contributo all'ordine più basso è modellizzato da un integrale di dispersione.

$$a^{had,LO} = \frac{1}{3} \frac{\alpha^2}{\pi^2} \int_{m_\pi}^{\infty} ds R^{(0)}(s) K(s)$$

$R^{(0)}(s) = \frac{\sigma_{e^+e^- \rightarrow q\bar{q}}}{\sigma_{e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-}}$ ← ← Sezione d'urto in funzione dell'energia del cdm.

$K(s) \sim \frac{1}{s}$ ← ← K(s) è la funzione di kernel. L'andamento come 1/s dà peso alla parte a bassa energia dell'integrale.

- 91% del contributo accumulato per energie nel cdm minori di 1.8 GeV.
- 73 % di a_μ coperto dallo stato finale in due pioni.

→ Necessità di misure sperimentali per determinare più precisamente questo contributo → KLOE ←

Risultati Sperimentali

Experiment	N_{data}	Energy range (GeV)	$\delta(\text{stat.})$	$\delta(\text{syst.})$
DM1 (1978) ²²	16	0.483 – 1.096	(6.6 – 40)%	2.2%
TOF (1981) ²³	4	0.400 – 0.460	(14 – 20)%	5%
OLYA (1979, 1985) ^{24,25}	2 + 77	0.400 – 1.397	(2.3 – 35)%	4%
CMD (1985) ²⁵	24	0.360 – 0.820	(4.1 – 10.8)%	2%
DM2 (1989) ²⁶	17	1.350 – 2.215	(17.6 – 100)%	12%
CMD2 (2003) ²⁷	43	0.611 – 0.962	(1.8 – 14.1)%	0.6%
KLOE (2005) ²⁸	60	0.600 – 0.970	(0.5 – 2.1)%	(1.2 – 3.8)%
SND (2006) ²⁹	45	0.390 – 0.970	(0.5 – 2.1)%	(1.2 – 3.8)%
CMD2 _{low} (2006) ³⁰	10	0.370 – 0.520	(4.5 – 7)%	0.7%
CMD2 _{rho} (2006) ³¹	29	0.600 – 0.970	(0.5 – 4.1)%	0.8%
CMD2 _{high} (2006) ³²	36	0.980 – 1.380	(4.5 – 18.4)%	(1.2 – 4.2)%

Oltre a dati provenienti da annichilazioni $e^+ e^-$ si utilizzano per la stima di a_u anche i decadimenti deboli $\tau^\pm \rightarrow \nu_\tau \pi^\pm \pi^0$ confrontando i Branching Ratio aspettati dall' ipotesi CVC. Tuttavia si ha una discrepanza tra i due set di dati.

Possibilit :

- Dati e^+e^- errati oppure dati τ errati
- Sono entrambi corretti, ma ci sono effetti fisici non considerati
- Importanza delle misure di precisione a bassa energia di KLOE

Il detector KLOE

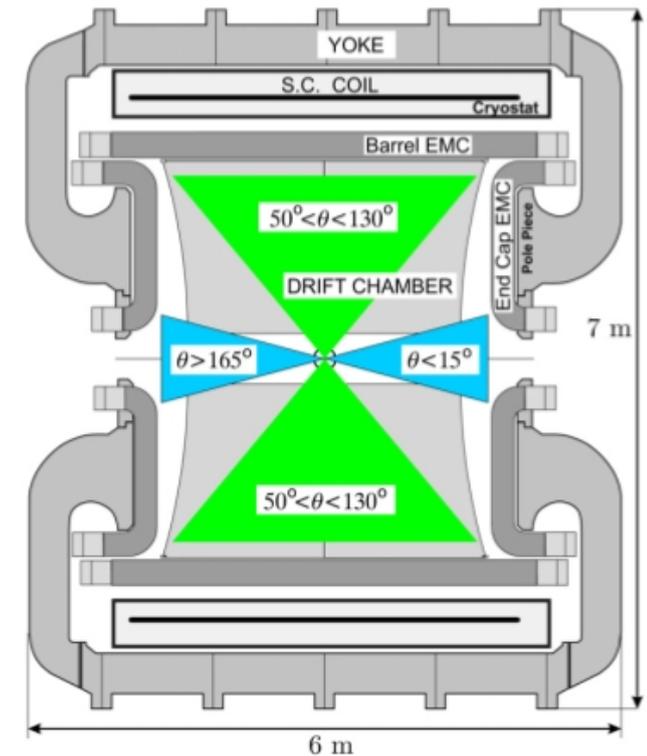
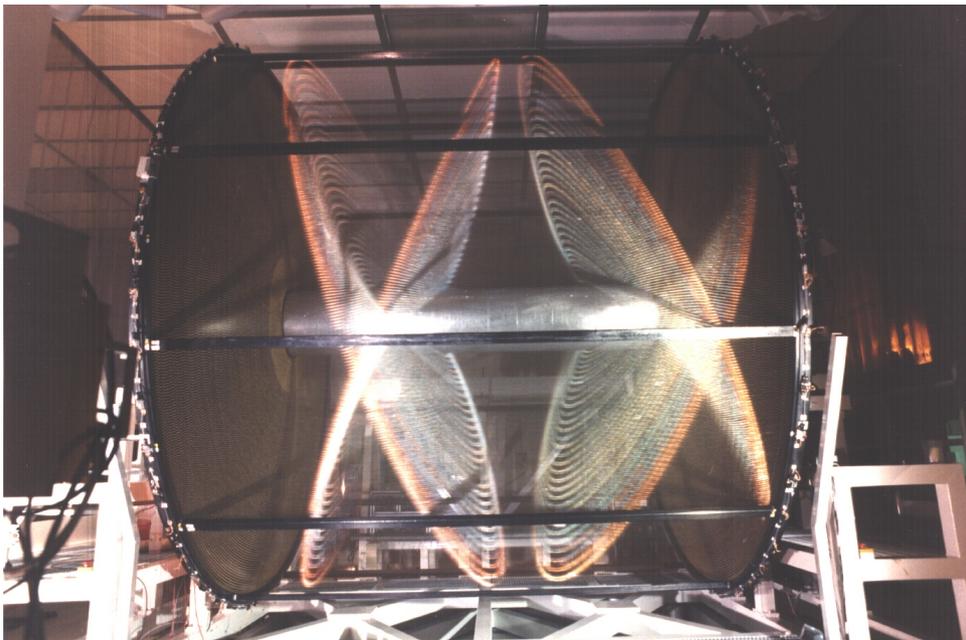
Opera a DA ϕ NE, il collisore e^+e^- di Frascati.

- Dimensioni: 7 x 6 x 7 m

Camera a drift cilindrica

- Diametro: 4 m Larghezza: 3.3 m

- 52000 fili, sorretti da due sottili piatti in fibra di carbonio

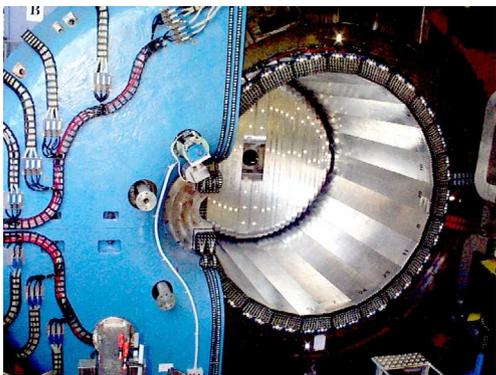


- Miscela: 90 % He 10 % C_4H_{10}
- Campo magnetico: 6 KGauss

- Risoluzione in impulso: $\frac{\sigma_{p\perp}}{p\perp} \sim 0.4\%$

- Risoluzione spaziale:
0.15 mm r- Φ 2 mm z

Calorimetro Elettromagnetico



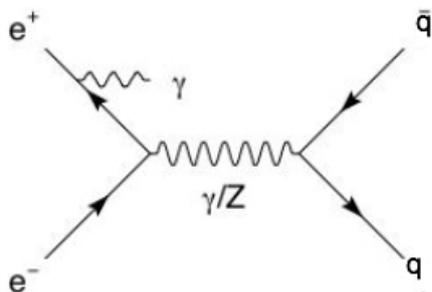
- Strati di fibre scintillanti (1mm diametro) e piombo (0.5mm spessore).
- Risoluzione in energia: $\frac{\sigma_E}{E} \sim \frac{5.7\%}{\sqrt{E}}$
- Eccellente risoluzione in tempo: $\sigma_t \sim \frac{54ps}{\sqrt{E(GeV)}} \oplus 100ps$

Strategia per la misura di $\sigma_{e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-}$

DA Φ NE è in funzione a un energia del centro di massa fissa, pari alla massa del mesone Φ , circa 1020 MeV.

Dunque, invece di fare una misura della sezione d'urto al variare di \sqrt{s} , si utilizza la ISR, misurando la sezione d'urto del processo

$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ in funzione della massa invariante dei due pioni $M_{\pi\pi}$. Si usa poi la formula di deconvoluzione, dove H è il "radiatore":



$$s \frac{d\sigma(ee \rightarrow \pi\pi\gamma)}{dM_{\pi\pi}^2} = \sigma_{\pi\pi}(M_{\pi\pi}^2) H(M_{\pi\pi}^2, s)$$

Misura della sezione d'urto

$$\frac{d\sigma_{\pi\pi\gamma}}{dM_{\pi\pi}^2} = \frac{N_{obs} - N_{bkg}}{\Delta M_{\pi\pi}^2 \epsilon_{sel}(M_{\pi\pi}^2) L}$$

Numero eventi di fondo

Numero eventi

Luminosità

Efficienza di selezione

Larghezza del binning = 0.01 Gev

The diagram illustrates the formula for the differential cross-section $\frac{d\sigma_{\pi\pi\gamma}}{dM_{\pi\pi}^2}$. The formula is written as $\frac{d\sigma_{\pi\pi\gamma}}{dM_{\pi\pi}^2} = \frac{N_{obs} - N_{bkg}}{\Delta M_{\pi\pi}^2 \epsilon_{sel}(M_{\pi\pi}^2) L}$. Red circles highlight the terms N_{obs} , N_{bkg} , $\Delta M_{\pi\pi}^2$, $\epsilon_{sel}(M_{\pi\pi}^2)$, and L . Red arrows point from these terms to their respective labels: N_{obs} to 'Numero eventi', N_{bkg} to 'Numero eventi di fondo', $\Delta M_{\pi\pi}^2$ to 'Larghezza del binning = 0.01 Gev', $\epsilon_{sel}(M_{\pi\pi}^2)$ to 'Efficienza di selezione', and L to 'Luminosità'. The entire diagram is set against a white background with a blue horizontal bar at the top and bottom.

Selezione degli eventi $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$

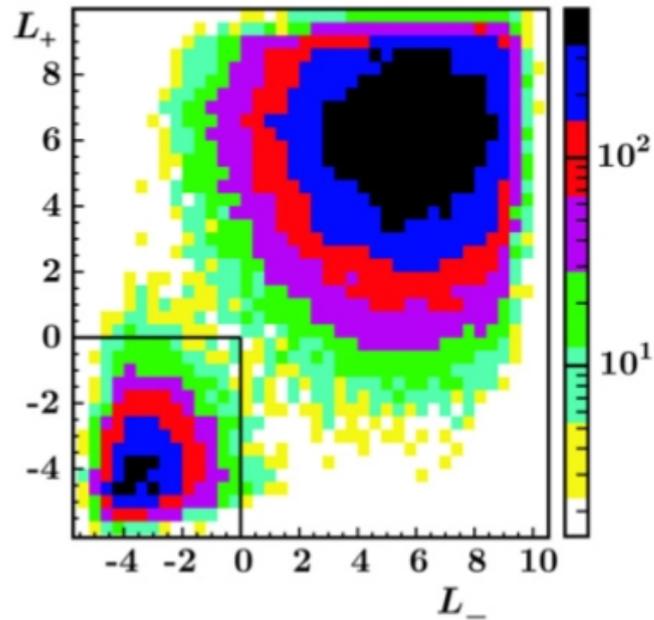
Si selezionano eventi $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ con fotone (NON rivelato) e due pioni. La sezione d'urto ISR diverge per piccoli angoli del fotone come $1/\theta^4$, rendendo trascurabile il fondo eventi di FSR e decadimenti della ϕ .

Criteri di selezione:

1. Due tracce di segno opposto, riconoscibili dalla diversa curvatura, che soddisfano $50^\circ < \theta < 130^\circ$ e $p_\perp > 160 \text{ MeV}$ e $|p_z| > 90 \text{ MeV}$, per assicurare una buona ricostruzione e efficienza.
2. La direzione del fotone, ricostruita tramite le due tracce $p_\gamma = -(p_+ + p_-)$ deve rispettare la condizione $|\cos\theta| < \cos(\pi/12)$ (15°).
3. Principali processi di fondo da rigettare: $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$
 $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$
4. Constraint cinematici.

Reiezione del fondo

Gli eventi di segnale sono distinti dagli eventi $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$ usando una funzione di likelihood per ogni traccia L_+ e L_- .



L è basata su tempo di volo, energia rilasciata e forma dei cluster associati alle tracce.

Gli elettroni creano uno sciame nel calorimetro, mentre muoni e pioni perdono energia in modo pressoché uniforme.

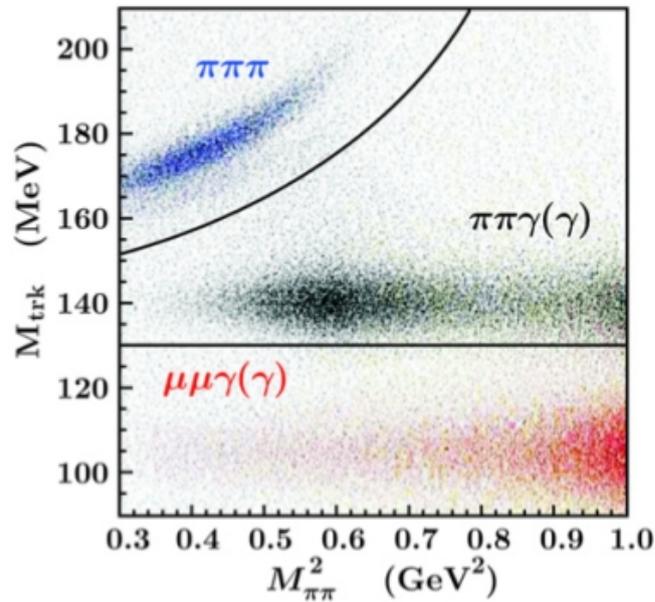
Gli eventi con L_+ e $L_- < 0$ sono identificati come elettroni e rigettati.

L'efficienza per questa selezione è di circa il 99.95%.

La probabilità che un evento con elettroni sia scambiato per uno con pioni è circa il 3%.

Constraint cinematici

Gli eventi devono soddisfare tagli sulla massa della traccia.



Assumendo la presenza di un fotone non osservato e che le tracce hanno la stessa massa si può applicare la conservazione dell'energia e dell'impulso.

$$(\sqrt{s} - \sqrt{|\mathbf{p}_+|^2 + M_{\text{trk}}^2} - \sqrt{|\mathbf{p}_-|^2 + M_{\text{trk}}^2})^2 - (\mathbf{p}_+ + \mathbf{p}_-)^2 = 0$$

dove \mathbf{p}_+ e \mathbf{p}_- sono i momenti misurati della traccia positiva e negativa.

Si risolve l'equazione e si ricava M_{trk} e si grafica in funzione $M_{\pi\pi}$.

La richiesta $M_{\text{trk}} > 130$ MeV rigetta i muoni e sopprime la frazione di elettroni rimasti dopo la selezione con L.

Si individuano anche gli eventi di $\pi^+\pi^-\pi^0$.

Ulteriori selezioni vengono eseguite eseguendo un fit su M_{trk} utilizzando simulazioni MC.

Efficienza del detector

Viene stimata utilizzando campioni di controllo e simulazioni considerando:

- Efficienza del trigger
- Efficienza del tracking
- Efficienza nell'identificazione dei pioni.

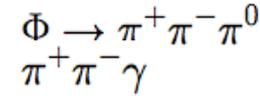
1. Trigger

L'efficienza si ottiene considerando un sottoinsieme di eventi $\pi^+\pi^-\gamma$ nei quali un singolo pione soddisfa i requisiti di trigger e si studia la risposta all'altro pione in funzione del momento e dell'angolo, confrontandola con simulazioni MC della distribuzione di eventi.

→ $\epsilon_{trigger}$ dipende da $M_{\pi\pi}$ e varia tra il 96% e il 99%.

2. Tracking

L'efficienza per un singolo pione è stimata in funzione del momento e dell'angolo usando eventi identificati tramite EMC.



→ $\epsilon_{tracking}$ costante in $M_{\pi\pi}$, circa 98%

3. Identificazione dei pioni nel calorimetro

Si richiedono tracce con un cluster che soddisfi $|r_{ent} - r_{clu}| < 90$ cm.

r_{ent} = coordinata di ingresso della traccia

r_{clu} = coordinata del centro del cluster

Si utilizza la stessa strategia usata per l'efficienza del trigger, cioè si sceglie un campione di eventi $\pi^+ \pi^- \gamma$ in cui una singola traccia è un pione ($L > 0$) e si studia la probabilità dell'altra traccia di avere un pione ($L > 0$).

→ ϵ_{pionID} 99.9% e indipendente dal raggio.

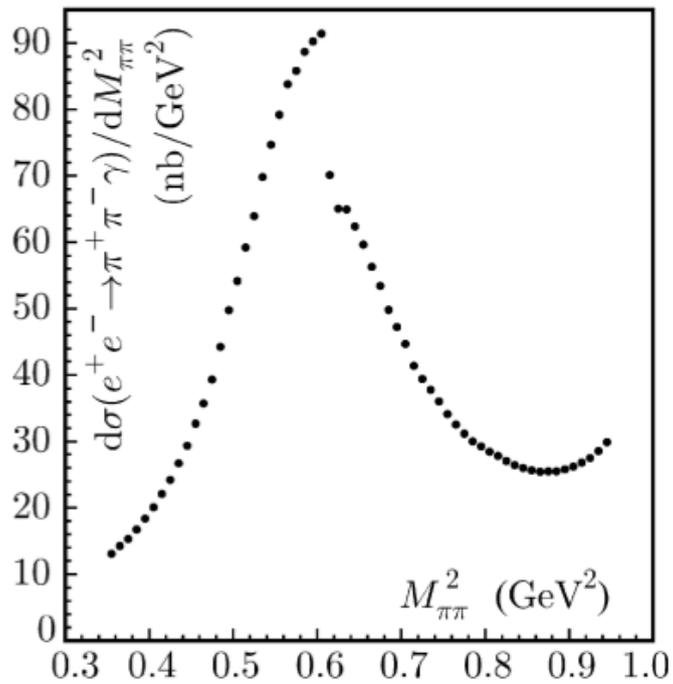
Principali effetti sistematici

- Studio dell'efficienza sui tagli effettuati per M_{trk} tramite MC.
→ differenza sistematica nello spettro degli eventi di 0.2%
- Effetti sistematici dovuti alla selezione angolare, studiati variando l'accettanza angolare di 1° attorno al valore nominale.
→ dipendenti da M_{TTT} e variabili tra 0.6% e 0.1%

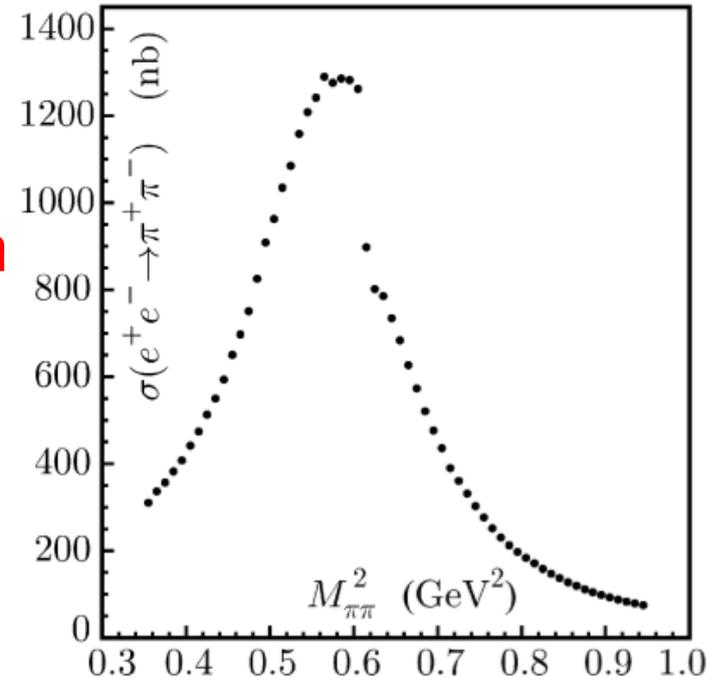
Luminosità

Si usano processi di Bhabha scattering a largo angolo ($55^\circ < \theta < 125^\circ$). La sezione d'urto effettiva viene stimata tramite MC con un'incertezza dello 0.3 % dovuta soprattutto all'incertezza sperimentale sull'accettanza angolare.

Risultati sperimentali



Radiator function



$$\frac{d\sigma_{\pi\pi\gamma}}{dM_{\pi\pi}^2}$$

$$\sigma_{e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-}$$

La sezione d'urto è dominata dalla risonanza del mesone ρ .
 Dalla sezione d'urto è stata misurato anche il termine di interferenza $\rho - \omega$.

Stima dell'integrale di dispersione

$$\Delta^{\pi\pi} a_\mu = \frac{1}{4\pi^3} \int_{s_{\min}}^{s_{\max}} ds \sigma_{\pi\pi(\gamma)}^0(s) K(s)$$

L'integrale è calcolato come somma dei valori di $\sigma_{e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-}$ moltiplicati per il kernel nell'intervallo $0.35 \text{ GeV} < M_{\pi\pi}^2 < 0.95 \text{ GeV}$:

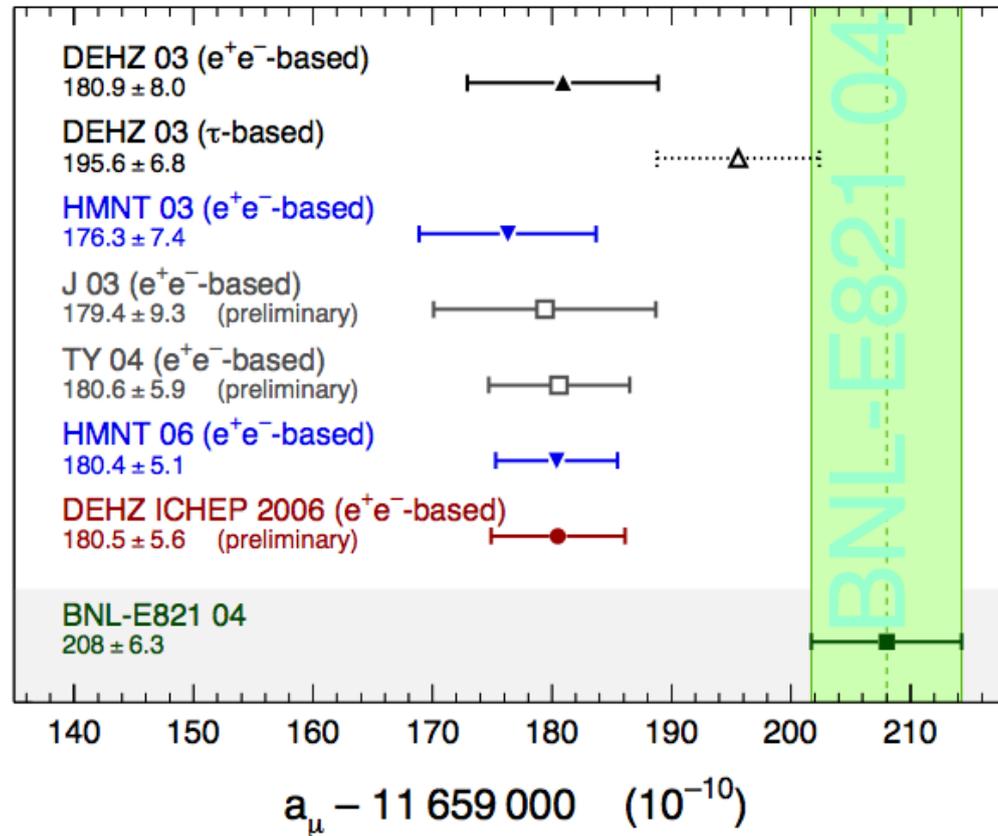
$$\Delta^{\pi\pi} a_\mu = (384.4 \pm 0.8_{stat} \pm 4.6_{sys}) \times 10^{-10}$$

Confronto con altri esperimenti

Si possono mettere a confronto i dati di KLOE con quelli di SND e CMD-2 nella regione di overlap delle energie e i risultati sono in buon accordo tra loro.

SND, 2006	$\Delta^{\pi\pi} a_\mu = (361.0 \pm 5.1) \times 10^{-10}$,
CMD-2, 2007	$\Delta^{\pi\pi} a_\mu = (361.5 \pm 3.4) \times 10^{-10}$,
this work	$\Delta^{\pi\pi} a_\mu = (356.7 \pm 3.1) \times 10^{-10}$.

Risultati complessivi



Conclusioni

- L' anomalia magnetica del muone è data da contributi di QED, da contributi deboli e da quelli adronici.
- I contributi adronici sono quelli più difficili da valutare teoricamente, quindi sono necessarie misure sperimentali di precisione.
- Il contributo maggiore è quello dovuto al processo $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ a basse energie
- A KLOE è stata effettuata la misura della sezione d'urto $\frac{d\sigma_{\pi\pi\gamma}}{dM_{\pi\pi}^2}$ e tramite essa si è ottenuta $\sigma_{e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-}$
- Si è calcolato dunque il valore dell'integrale di dispersione.
- Il valore ottenuto ha confermato la discrepanza dei dati basati su collisioni e^+e^- e l'esperimento BNL-E821.