Stato di NA48
e
Richieste 2004

Patrizia Cenci

Consiglio di Sezione INFN di Perugia

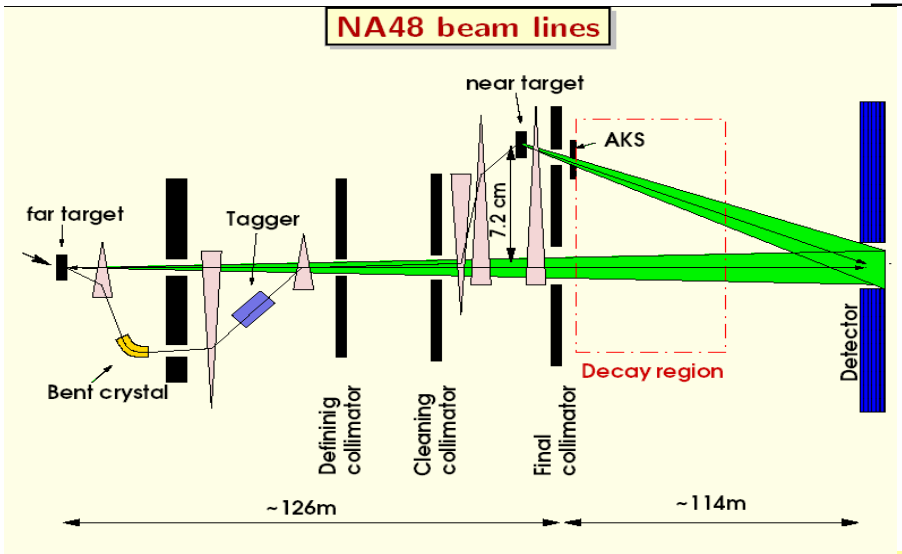
Perugia, 4 luglio 2003

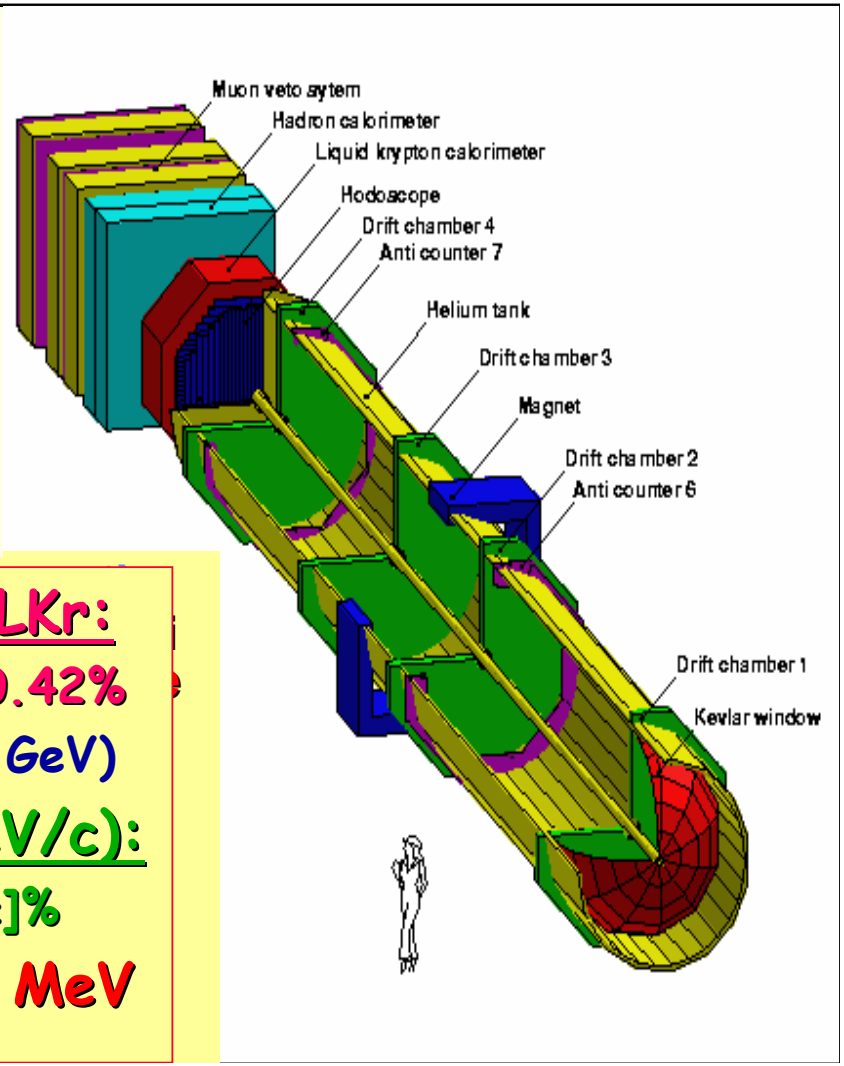
Argomenti

- L'esperimento NA48:
  - Riepilogo del programma scientifico di NA48
  - Risultato finale di Re(ε'/ε)
- NA48 nel 2002: fisica con fascio K_s ad alta intensità (NA48/1)
  - Alcuni risultati recenti:

    Rivelazione del decadimento raro $K_S \to \pi^0 e^+ e$
- NA48 nel 2003: fasci simultanei $K^\pm$ (NA48/2)
  - Stato del run
- Attività di NA48-Perugia e richieste 2003

L' esperimento NA48





Risoluzione del calorimetro a LKr:

$\sigma(E)/E \cong 3.2\%/\sqrt{E} \oplus 100\text{MeV}/E \oplus 0.42\%$

(E in GeV) (< 1% per fotoni di ≥25 GeV)

Spettrometro (p_T kick~250 MeV/c):

$\sigma(P)/P \cong 0.48\% \oplus 0.009\ P[\text{GeV/c}]\%$

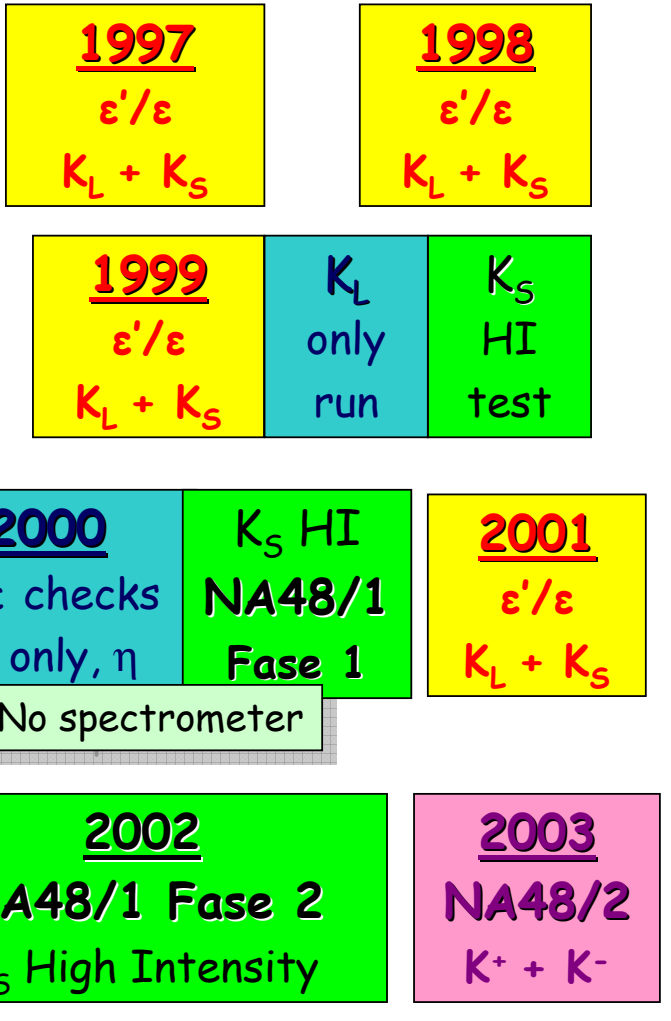
$\sigma M(\pi^0\pi^0) \sim \sigma M(\pi^+\pi^-) \sim 2.5$ MeV

Programma sperimentale

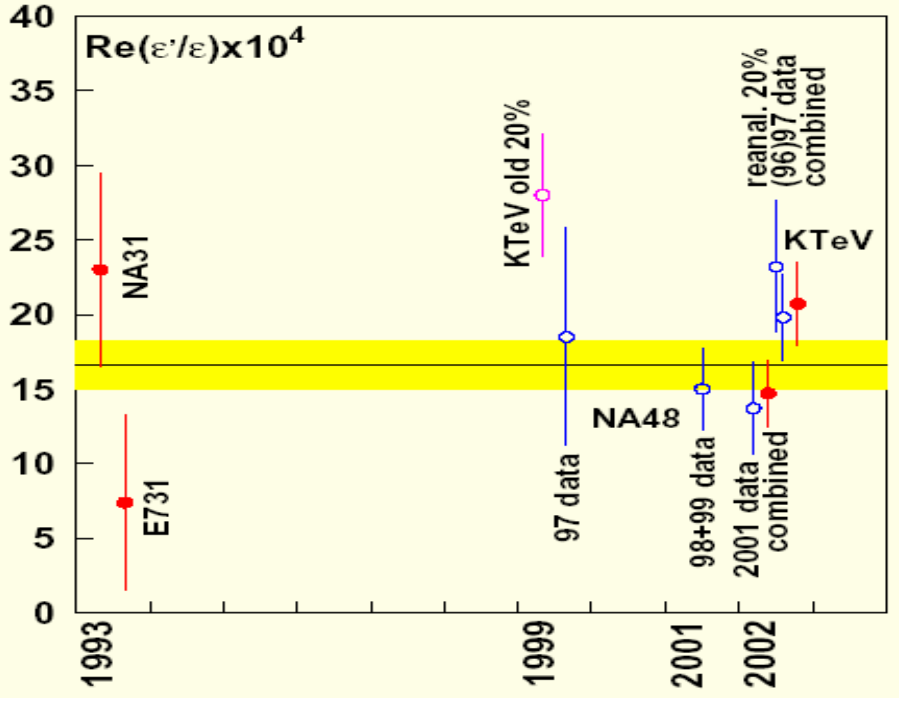
- Programma principale: misura di Re(ε′/ε), ultimo run nel 2001
- In parallelo con Re(ε′/ε): studi di decadimenti rari di K_L, K_S ed iperoni neutri
- Approvati nel 2000 due "addenda" alla proposta originale di NA48:

NA48/1: studio e misura di decadimenti di K_S ed iperoni neutri ad alta sensibilità con un fascio intenso di K_S

NA48/2: misura di precisione di parametri di decadimento di $K^{\pm}$ con fasci K^+/K^- simultanei



La misura di Re(ε'/ε)



NA48: (14.7±2.2)x10⁻⁴
PL B544 97 (2002)
RISULTATO FINALE

KTeV: (20.7±2.8)x10⁻⁴
PRD 67 012005 (2003) ('dati 96-'97)
In corso l'analisi dei dati 1999

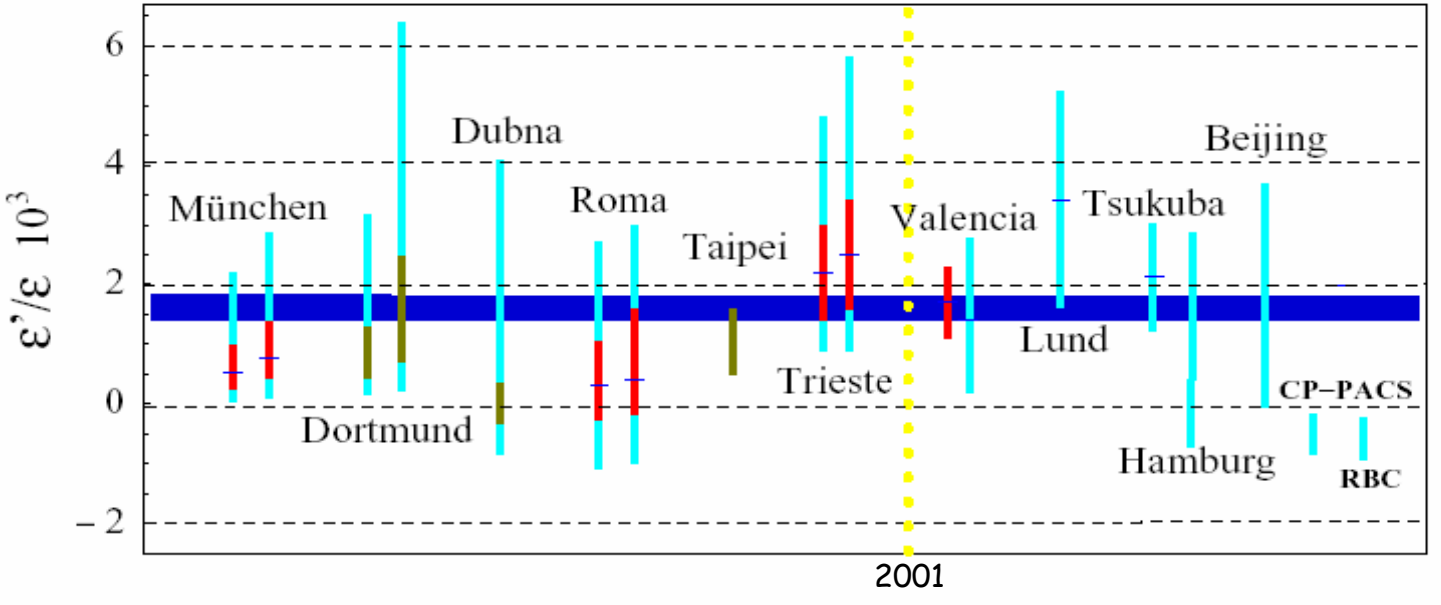
NA31: (23.0 ± 6.5) x 10⁻⁴
E731: (7.4 ± 5.9) x 10⁻⁴

Re (ε'/ε) = (16.6 ± 1.6) x 10⁻⁴

New World Average (χ^2/ndf = 6.3/3 (10% prob.))

Confronto con la teoria

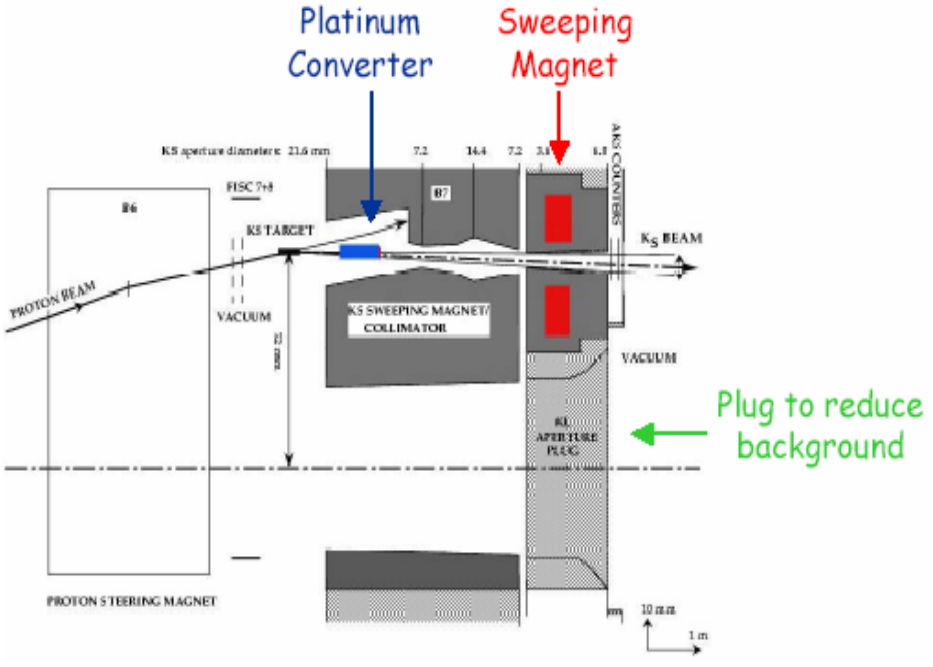
Previsioni teoriche: $Re(\varepsilon'/\varepsilon)$ nell'intervallo 5-40 x 10^{-4}



Il risultato sperimentale è in accordo col Modello Standard

Il programma NA48/1

Studio e misura di decadimenti di K_S e di iperoni neutri con un fascio K_S ad alta intensità



il nuovo bersaglio di produzione di K_S (run 2002)

- No fascio K_L
- Fascio K_S beam modificato ad alta intensità (5×10^{10} ppp)
- Sistemi di readout e di daq potenziati (2×10^5 K_S/spill)
- Campioni di dati:

  Fase I (2000) ≈ 10^{10} K_S

  Fase II (2002) ≈ 4.2×10^{10} K_S

  nel volume fiduciale di decadimento

  ⇨ SES ≈ 4.5×10^{-10}

  (accettanza del 5%)

La Fisica di NA48/1

$K_S \to \pi^0 e^+ e^-$: prima osservazione

- limita il valore di $BR_{CPdir}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-)$:

$BR_{CPind}(K_L) = |\varepsilon|^2 \tau_L/\tau_S \; BR(K_S) \sim 3\times10^{-3} \; BR(K_S)$

- test di χPT (vertice $K \to \pi\gamma^*$, $a_S \sim O(1)$):

$BR(K_S \to \pi^0 e^+ e^-) \sim 5.2\times10^{-9} \; |a_S|^2$

attesi ~ 7 eventi con SES ~ 5×10^{-10}

- fondo principale: $K_S \to \pi^0 \pi^0_D$ <0.3 ev. (*MC*)

$K_S \to \pi^0\pi^0\pi^0$: *CPV*, parametrizzato con η_{000}:

- $Re(\eta_{000}) = Re(\varepsilon)$ misura CPV indiretta
- $Im(\eta_{000})$ sensibile a CPV diretta
- Scopo: ~ 1% errore su $Re(\eta_{000})$ e $Im(\eta_{000})$ dalla interferenza K_S-K_L vicino al bersaglio di produzione: presentati risultati preliminari
- Precisione della regola di B.S. a ~ 2×10^{-2} (CPT test)

Decadimenti K radiativi:
consistenti campioni per studio fenomenologia χPT:

$K_S \to \gamma\gamma$: raccolti $O(10^4)$ eventi

$BR_{NA48} = (2.78 \pm 0.7)\times10^{-6}$

$BR_{\chi PT} \approx 2.1\times10^{-6}$ (errore 10%)

$K_S \to \pi^0\gamma\gamma$: prima osservazione

$BR_{NA48} = (4.9 \pm 1.7)\times10^{-8}$

$BR_{\chi PT} \approx 3.8\times10^{-8}$ ($m_{\gamma\gamma} > 220 MeV/c^2$)

Iperoni neutri: prodotti al bersaglio dei K_S: test di SM e della simmetria SU(3) dai decadimenti della particella Ξ^0

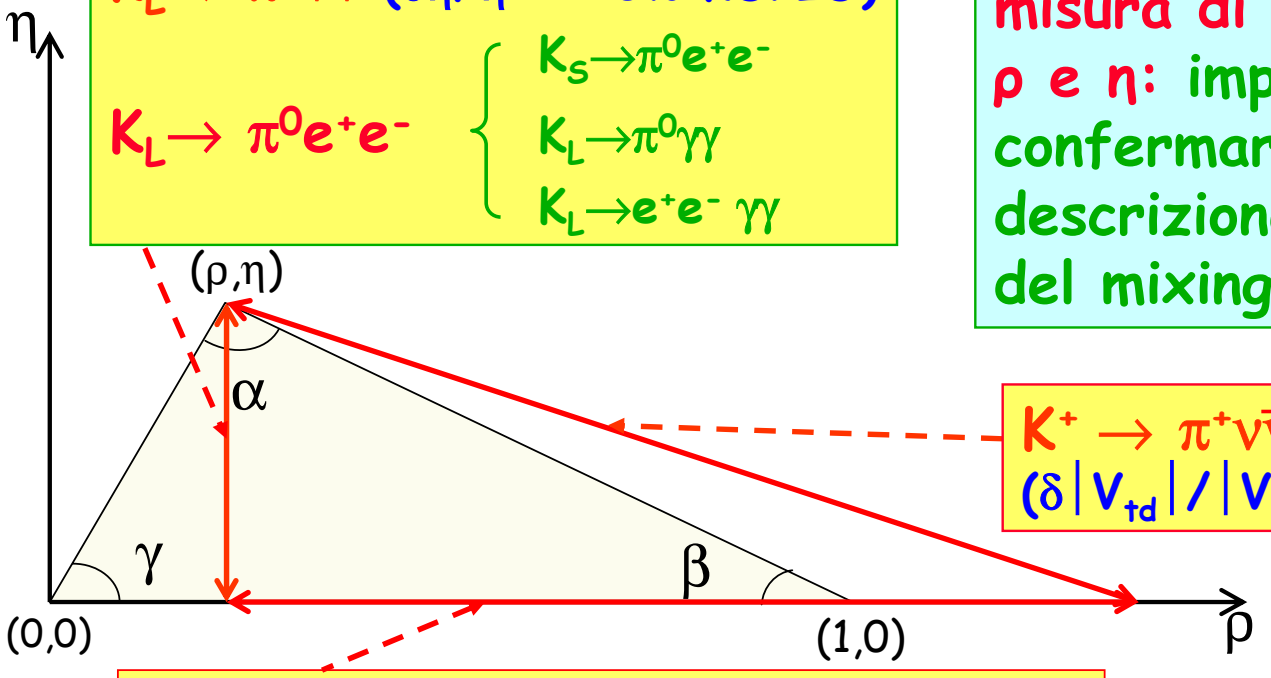
CPV nel sistema dei K

Triangolo di Unitarietà: $V_{ud} V^*_{ub} + V_{cd} V^*_{cb} + V_{td} V^*_{tb} = 0$

$K_L \to \pi^0 \nu\bar{\nu}$ ($\delta\eta/\eta = \pm$ 10% KOPIO)

$K_L \to \pi^0 e^+ e^-$ { $K_S \to \pi^0 e^+ e^-$; $K_L \to \pi^0 \gamma\gamma$; $K_L \to e^+ e^- \gamma\gamma$

misura di precisione di ρ e η: importante per confermare CMK come descrizione di CPV e del mixing dei quark



$K^+ \to \pi^+ \nu\bar{\nu}$
($\delta|V_{td}|/|V_{td}| = \pm$ 10% CKM)

$K_L \to \mu^+\mu^-$ { $K_L \to \gamma\gamma$ $K_L \to e^+e^-\gamma$; $K_L \to e^+e^-e^+e^-$ $K_L \to e^+e^-\mu^+\mu^-$

Il decadimento $K_S \to \pi^0 e^+ e^-$

- **Limita la componente CPV Indiretta di $K_L \to \pi^0 e^+ e^-$**

$BR(K_L \to \pi^0 e^+ e^-)$ si può separare in 3 componenti (SM: BR=3-10 x 10^{-12}):

CP Conservata: dominata da $K_2 \to \pi^0 \gamma^* \gamma^*$ (CP=-1)

dalla misura di $BR(K_L \to \pi^0 \gamma\gamma)$ (NA48) si ricava:

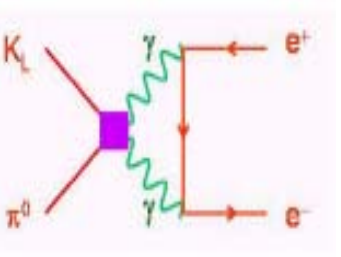
$BR_{CPC}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-) = 0.47^{+0.22}_{-0.18} \times 10^{-12}$

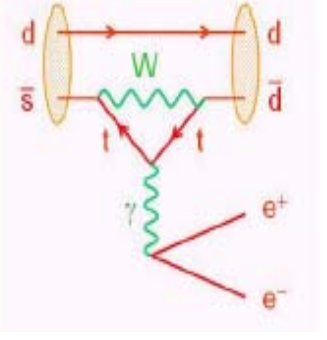
CPV Diretta: proporzionale a $Im(\lambda_t)$ ovvero a η

$Im(\lambda_t) = \eta\, A^2 \lambda^5 \sim 10^{-4}, \quad \lambda_t = V_{ts} V^*_{td}$

CPV Indiretta: ricavabile da

$BR_{CPind}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-) = |\varepsilon|^2 \tau_L/\tau_S\, BR(K_S \to \pi^0 e^+ e^-)$





- **Conoscendo le componenti CPV-Indiretta e CPC di $K_L \to \pi^0 e^+ e^-$ diventa possibile ricavare η**

Previsioni per $K_S \to \pi^0 e^+ e^-$

Previsioni della χPT (G.D'Ambrosio,G. Ecker,G. Isidori,J.Portoles: JHEP 08 (1998) 004):

- $BR(K_S \to \pi^0 e^+ e^-) = 5\text{-}50 \times 10^{-10}$
  $= 5.2\ |a_S|^2 \times 10^{-9}$ con $a_S \sim O(1)$
- **L' interferenza tra le componenti CPV di $K_L \to \pi^0 e^+ e^-$ fornisce:**

CPV indiretta

interferenza

$$BR_{CPV}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-) = (15.3|a_S|^2 - 6.8\, a_S\, Im(\lambda_t)/10^{-4} + 2.8\, (Im(\lambda_t)/10^{-4})^2) \times 10^{-12}$$

CPV diretta

Risultati da $K_S \to \pi^0 e^+ e^-$

Risultati sperimentali:

- Rivelati 7 eventi (eventi di fondo $0.15^{+0.05}_{-0.04}$)
- BR totale estrapolato da matrice di decadimento teorica (con fattore di forma $f(m_{ee}) = 1$):

  $BR(K_S \to \pi^0 e^+ e^-) = (5.8^{+2.8}_{-2.3} \pm 0.4_{syst} \pm 0.8_{th}) \times 10^{-9}$
- dal BR misurato: $|a_S| = 1.08^{+0.26}_{-0.21}$
- Implicazioni per $BR(K_L \to \pi^0 e^+ e^-)$:

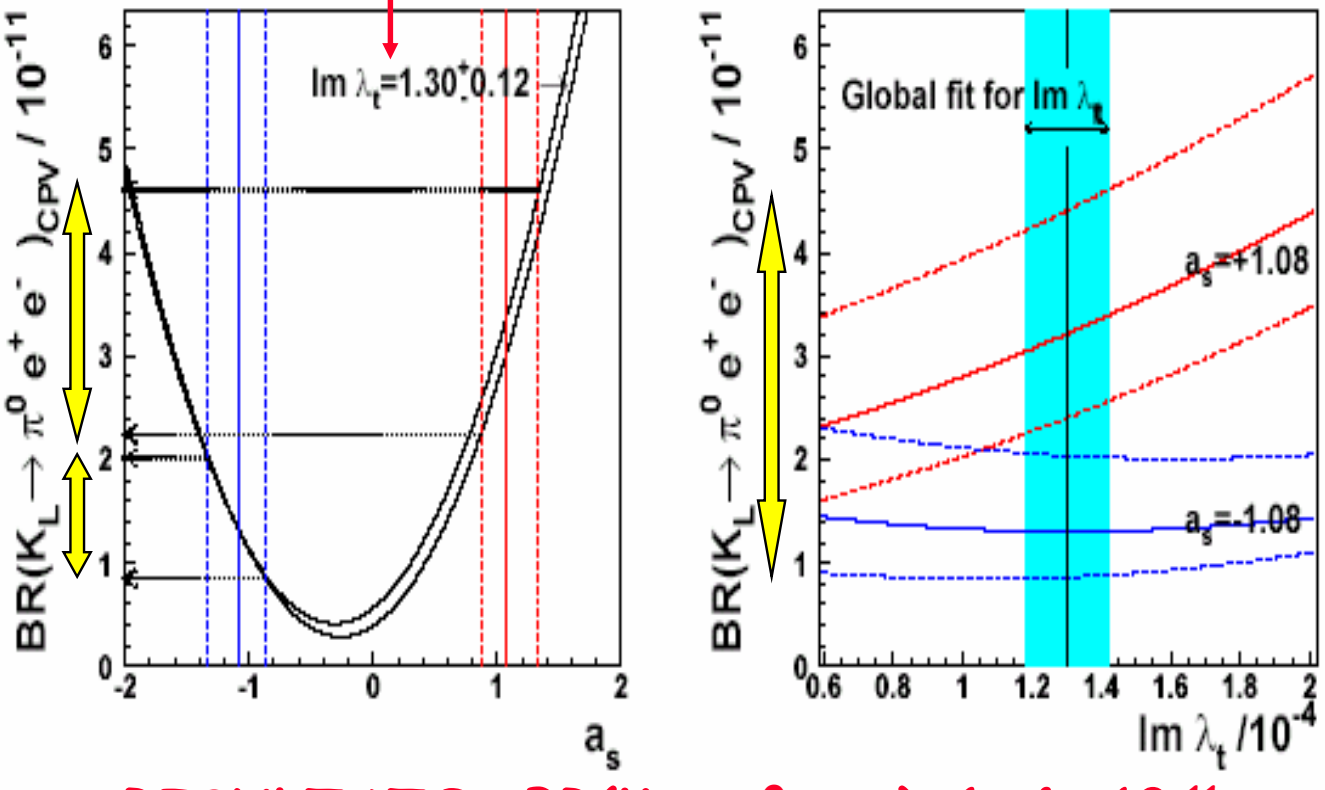
  CPV indiretta | interferenza | CPV diretta

  $BR_{CPV}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-) = (17.7 \pm 9.5 + 4.7) \times 10^{-12}$

- Trascurabile $BR_{CPC}(K_L \to \pi^0 e^+ e^-) = 0.47^{+0.22}_{-0.18} \times 10^{-12}$

Implicazioni per $BR(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)$

Valore di $Im(\lambda_t)$ da hep-ph/0212321



RISULTATO: $BR(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) = 1\text{-}4 \times 10^{-11}$

Il programma NA48/2

- Motivazione principale è una misura di CPV Diretta: asimmetria del parametro di slope del Dalitz Plot nei decadimenti $K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm}\pi^{+}\pi^{-}$
- Ogni differenza tra elementi di matrice è dovuta unicamente a CPV Diretta

$$|M(u,v)|^2 \propto 1 + gu + hu^2 + kv^2$$

parametro di slope

$$A_g = \frac{g^+ - g^-}{g^+ + g^-}$$

$$u = \frac{2M\left(M - 3E_\pi^*\right)}{3m^2}$$

legata alla distribuzione in energia del centro di massa

- Osservabile: rapporto R(u)

$$R(u) = \frac{\int dv |M^+(u,v)|^2}{\int dv |M^-(u,v)|^2} \approx 1 + u\cdot(g^+ - g^-) = \frac{N^+(u)}{N^-(u)}$$

Misura di A_g in NA48/2

- **Metodo: ridurre false sorgenti di asimmetria simmetrizzando le efficienze di rivelazione ed equalizzando le accettanze**
  - Fasci $K^{\pm}$ simultanei, stessa regione di decadimento
  - Inversione periodica del campo magnetico nello spettrometro
  - Misura della media R(u) in bin di energia

Precisione attesa in NA48/2: $\delta A_g \sim 10^{-4}$

- $7.3/4.4\times10^9$ K^+/K^- dec./anno $\rightarrow$ **$\delta A_g \sim 0.7\times10^{-4}$ (stat.)**
- Simmetrizzazione dati $\rightarrow$ **$\delta A_g \sim 0.5\times10^{-4}$ (syst.)**

Valore pubblicato più recente: $A_g = (-7 \pm 5) \times 10^{-3}$ (1970)

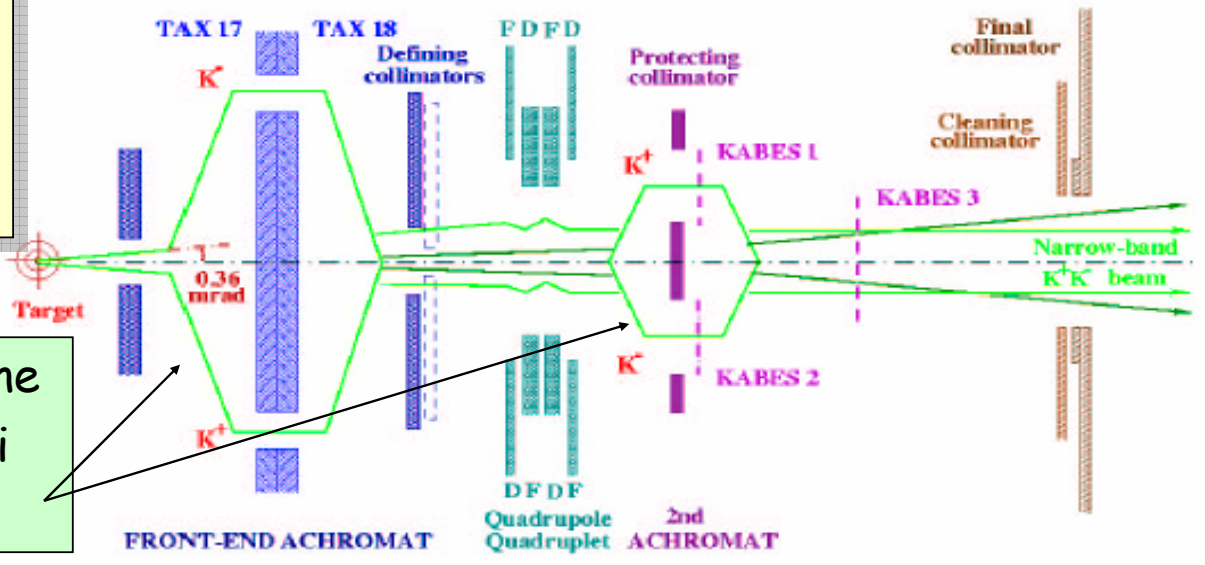
HyperCP: $\sim 3.9/1.6\times10^8$ $K^+/K^- \rightarrow A_g=(2.2\pm1.5_{stat}\pm3.7_{syst})\times10^{-3}$ (2003)

KLOE: $\sim 6\times10^5$ $K^{\pm}$ tag/pb^{-1}

Previsioni dello SM: da $\sim10^{-6}$ a 10^{-4}

Stato del run di NA48/2

Run 2003: fasci K^+ e K^- simultanei



Achromat: selezione in impulso dei fasci e collimazione

- Nuova linea di fascio: K^+/K^- simultanei di (60±3) GeV (10^{12} protoni da 400 GeV per spill (5.2s))
- **Potenziamento rivelatore:** nuovo spettrometro di fascio (Kabes) e beam monitor (scintillatori); potenziato sistema trigger (CPU trigger carico) e readout (DCH3)
- **Run 2003:** steering del fascio senza sorprese, misurate rate di 15 MHz(+) e 10 MHz(-), ogni giorno inversione campo magnetico spettrometro, ogni settimana inversione campo achromat

Altra fisica in NA48/2

- Misura dell'asimmetria di carica A_g nei decadimenti:

  $K^{\pm} \to \pi^0\pi^0\pi^{\pm}$ e $K^{\pm} \to \pi^{\pm}\pi^0\gamma$

- Decadimenti semileptonici dei $K^{\pm}$: V_{us} , fattori di forma, deviazioni da V-A

- Interazioni $\pi\pi$ a basse energie nel decadimento $K^{\pm} \to \pi^+\pi^- e^{\pm}\nu(\bar{\nu})$ (K_{e4}): **misura del "quark condensate"** $\langle qq \rangle$ **della** χPT

Composizione attuale del gruppo EPSI-Perugia

- Anzivino Giuseppina (ric. univ.)
- Cenci Patrizia (I ric. INFN)
- Imbergamo Ermanno (dott.)
- Michetti Andrea (ass. ric.)
- Nappi Aniello (p.o.)
- Pepe Monica (ric. INFN)
- Petrucci Maria C. (art. 2222 INFN)
- Piccini Mauro (dott.)
- Raggi Mauro (dott.)
- Valdata Marisa (p.a.)
- 1 laureando: Bifani Simone

Attività del gruppo nel 2003

Responsabilità di gestione del rivelatore:

- Sistema di readout PMB: M. Piccini, M.C. Petrucci
- Odoscopi di trigger, logica veloce e pretrigger (trigger carico di livello 0): G. Anzivino, P. Cenci

Analisi dei dati (farm locale):

- Decadimenti radiativi del K_S: E. Imbergamo ($K_S \to \gamma\gamma$), M.C. Petrucci ($K_S \to \pi^0\pi^0\gamma\gamma$)
- Decadimenti semileptonici: A. Michetti ($K_S \to \pi^\pm e^\pm \nu(\bar{\nu})$)
- Iperoni: M. Piccini (decadimento beta $\Xi^0 \to \Sigma^\pm e^\pm \nu(\bar{\nu})$), E. Imbergamo (decadimento radiativo $\Xi^0 \to \Lambda^0\gamma$)

Servizi di Sezione coinvolti in NA48

Servizio di elettronica (A. Papi, M. Bizzarri)

- Progetto, costruzione e funzionamento della parte analogica del sistema di readout PMB
- Progetto, costruzione e funzionamento di parti del trigger carico
- Contributo allo sviluppo della elettronica di lettura del calorimetro

Officina meccanica (D. Aisa, E. Babucci, C. Campeggi, L.M. Farnesini, A. Piluso):

- Progetto, costruzione e manutenzione dei rivelatori di cui Perugia è responsabile
- Contributi straordinari: ricostruzione delle camere a drift (2000), filatura di una camera (2003)

Servizio di calcolo e Amministrazione

Composizione del gruppo EPSI-Perugia nel 2004

- Anzivino Giuseppina (ric. univ.) 80%
- Cenci Patrizia (I ric. INFN) 80%
- Imbergamo Ermanno (dott.) 100%
- Nappi Aniello (p.o.) 50%
- Pepe Monica (ric. INFN) 50%
- Raggi Mauro (dott.) 100%
- Valdata Marisa (p.a.) 80%
- 2 assegni di ricerca
- 1 laureando: Bifani Simone

Attività futura prevista

- NA48 è in presa dati fino al 13 settembre 2003 nella configurazione con fasci simultanei di K carichi
- In discussione la richiesta di run nel 2004 (SPS in funzione per Compass, shutdown generale nel 2005)
- In caso di run nel 2004 è richiesto il supporto dei servizi per mantenimento dei rivelatori di responsabilità di Perugia (specialmente per manutenzione PMB): gli interventi saranno concordati caso per caso
- No run 2004: smontaggio NA48 (tutto da definire)
- Attività di analisi dei dati prevista:
  - completamento delle analisi in corso
  - nuove analisi:
    - Misura del Branching Ratio di $K_S \to \pi^{\pm}\mu^{\pm}\nu(\nu)$: Simone Bifani (tesi di laurea)
    - Asimmetria del parametro di slope nel decadimento $K^{\pm} \to \pi^{\pm}\pi^0\gamma$: Mauro Raggi (tesi di dottorato)

Tesi di laurea in NA48 (dal 1999)

- **Simone BIFANI:** *Decadimenti semileptonici del Ks* - relatori: M.Valdata, P.Cenci, in corso di svolgimento.
- **Gianluca LAMANNA:** *Studio del decadimento $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma\gamma$ nell'esperimento NA48 del CERN* - relatori: A.Nappi, P.Cenci (a.a. 2001-2002).
- **Ermanno IMBERGAMO:** *Studio del decadimento del mesone K^0 in una coppia di fotoni nell'ambito dell'esperimento NA48* - relatori: A.Nappi, P.Lubrano (a.a. 1999-2000).
- **Mauro PICCINI:** *Studio dei K_L prodotti in associazione a K_S nel fascio neutro dell'esperimento NA48 del CERN* - relatori: A. Nappi, P. Lubrano (a.a. 1999-2000).

Tesi di dottorato in NA48

- **Mauro RAGGI:** *Asimmetria di carica nei decadimenti dei mesoni K carichi in NA48* - Dottorato del XVIII ciclo, in corso di svolgimento.
- **Ermanno IMBERGAMO:** *Studio del decadimento $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0\gamma$ in NA48* - Dottorato del XVIII ciclo, in corso di svolgimento.
- **Mauro PICCINI:** *Studio del decadimento beta della particella Ξ^0 in NA48* - Dottorato del XVI ciclo, in corso di svolgimento.

Conferenze e seminari 2003

- Recent results from the NA48 experiment - M.Piccini - *HEP2003 Europhysics Conference, Aachen (D), luglio 2003*
- Relevant results from the NA48 experiment - E.Imbergamo, M.C.Petrucci, M.Piccini - *Physics in Collisions, DESY - Zeuthen (D), giugno 2003*
- Recent results from NA48 experiment - A.Michetti - *International Workshop on QCD Theory and Experiment, Conversano (Bari), giugno 2003*
- Experimental progress in Kaon Physics - P.Cenci - *LNF Spring School, Frascati, maggio 2003*
- Stato attuale e prospettive della fisica dei K - A.Nappi - *XV Incontri sulla Fisica delle Alte Energie, Lecce, aprile 2003*

Conferenze e seminari 2002

- Decadimenti radiativi rari dei K nell'esperimento NA48 del CERN(abstract) - G.Lamanna - *LXXXVIII Congresso Nazionale SIF, Alghero, settembre 2002*
- Studies of neutral hyperon decays at CERN in the NA48 experiment - M.Piccini - *Meeting of the Division of Particles and Fields, Williamsburg, Virginia (USA), maggio 2002*
- Measurement of Direct CP Violation by the NA48 experiment - G.Anzivino - *Seminario a LIP, Lisbona (Portogallo), febbraio 2002*

Conferenze e seminari 2001

- Review on experimental kaon physics - A.Nappi - *LXXXVII Congresso Nazionale SIF, Milano, ottobre 2001*
- New measurement of epsilon'/epsilon by NA48(proceedings) - M.Pepe - *Madagascar, settembre 2001*
- Measurement of direct CP violation by NA48(proceedings) - G.Anzivino - *XXXI International Symposium on Multiplarticle Dynamics - Datong (Cina), settembre 2001*
- The future NA48 programs at CERN(proceedings) - P.Cenci - *New trends in High Energy Physics - Yalta (Ucraina), settembre 2001*
- Future prospects for K experiments(proceedings) - A.Nappi - *International Europhysics Conference on HEP - Budapest, luglio 2001*

Richieste finanziarie EPSI 2004

Missioni interne:	**10 k€**
riunioni di collaborazione in Italia	
Missioni estere:	**91 k€**
messa a punto rivelatore e presa dati 2004 (s.j):	*35 k€*
riunioni di collaborazione ed analisi (10 m.u.):	*56 k€*
Materiale di consumo:	**12 k€**
TOTALE:	**113 k€**
di cui s.j.:	**35 k€**