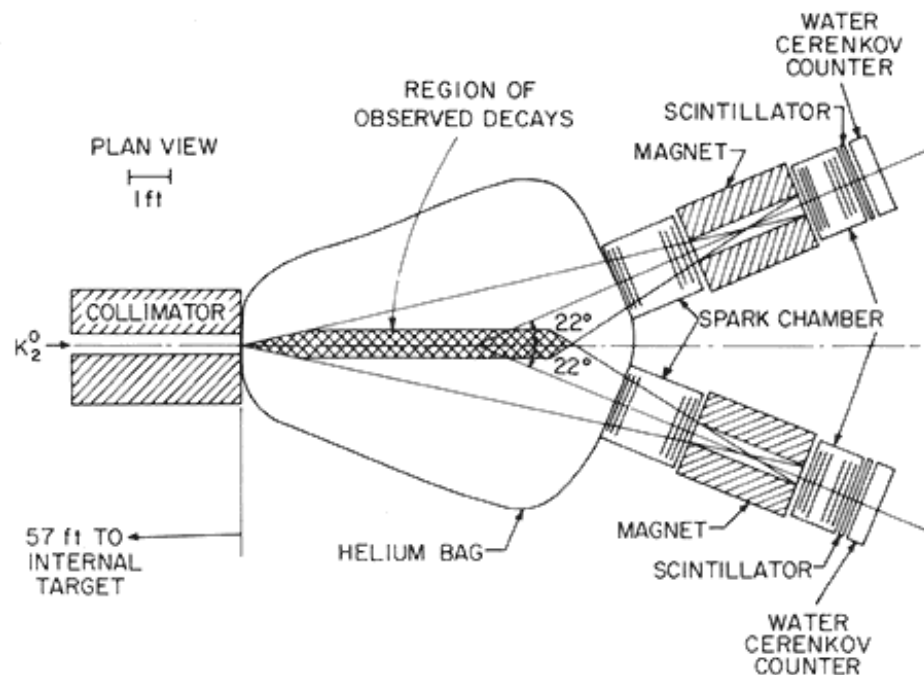


Misura del parametro di violazione diretta di CP ($Re(\epsilon'/\epsilon)$)

Chiara Genta

- Introduzione
- Il rivelatore NA48
- Il sistema di trigger
- L'analisi dei dati
- Effetti sistematici
- Risultato

- **Autostati di stranezza:** $K^0(\bar{s}d)$ e $\bar{K}^0(s\bar{d})$
- **Autostati di CP:** $K_1=(K^0 + \bar{K}^0)/\sqrt{2}$ (CP=1) e $K_2=(K^0 - \bar{K}^0)/\sqrt{2}$ (CP=-1)
- **Autostati di massa:** $K_S(c\tau = 2.67\text{cm})$ e $K_L(c\tau = 15.5\text{m})$



Se $K_L=K_2 \rightarrow$ avrei solo $K_L \rightarrow \pi\pi\pi$, invece si trovano anche decadimenti del tipo: $K_L \rightarrow \pi\pi$ (Christenson, Cronin, Fitch, Turlay - 1964)

⇒ **Violazione di CP**

$$|K_L^0\rangle = \underbrace{|K_2^0\rangle}_{\pi\pi \text{ direct}} + \varepsilon \underbrace{|K_1^0\rangle}_{\pi\pi \text{ indirect}}$$



VIOLAZIONE INDIRETTA

È dovuta al mescolamento dei due autostati di CP:

$$K_L = \frac{K_2 + \varepsilon K_1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \quad \text{e} \quad K_S = \frac{K_1 + \varepsilon K_2}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}$$



VIOLAZIONE DIRETTA

È dovuta all'interferenza tra le ampiezze di decadimento relative a due stati di isospin diverso.

Definendo: $\eta_{+-} = \frac{A(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{A(K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-)} = \varepsilon + \varepsilon'$ e $\eta_{00} = \frac{A(K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0)}{A(K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0)} = \varepsilon - 2\varepsilon'$

$$R = \frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0)}{\Gamma(K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0)} \bigg/ \frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{\Gamma(K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-)} \simeq 1 + 6 \operatorname{Re} \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right)$$

Vantaggio: Misurando i quattro decadimenti con lo stesso apparato e le stesse condizioni gli errori sistematici si cancellano.

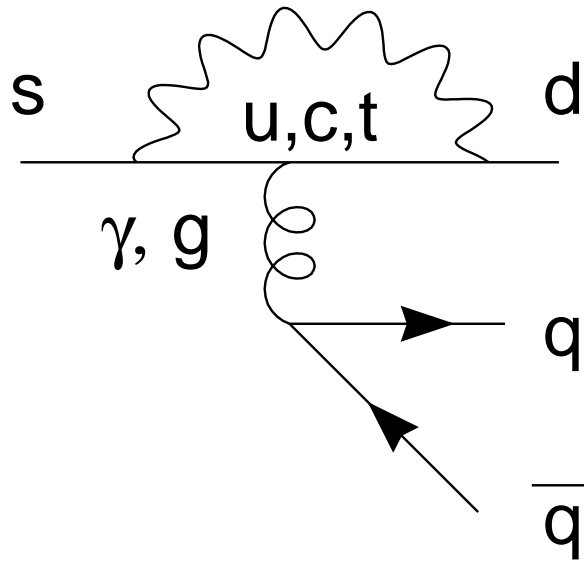
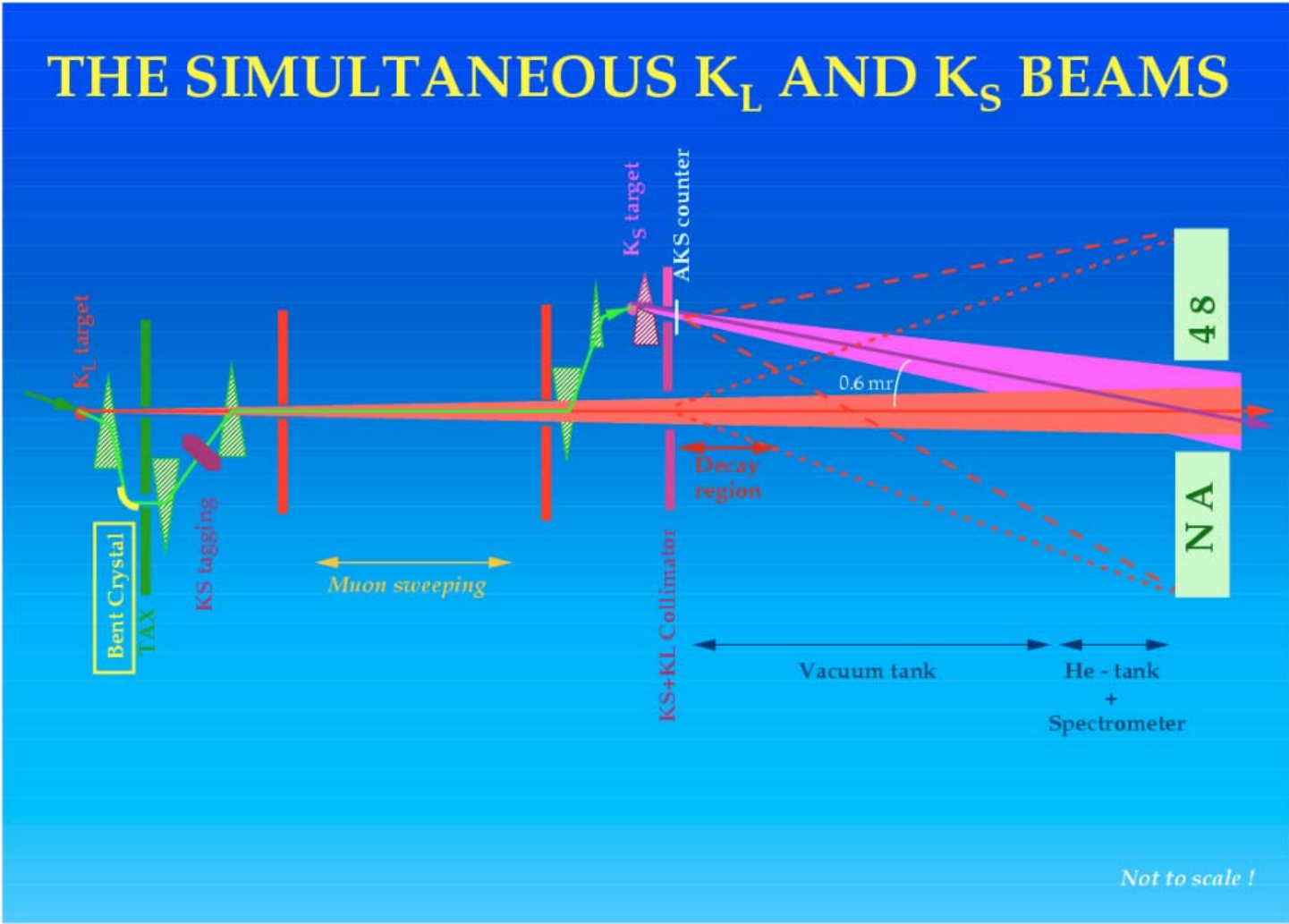


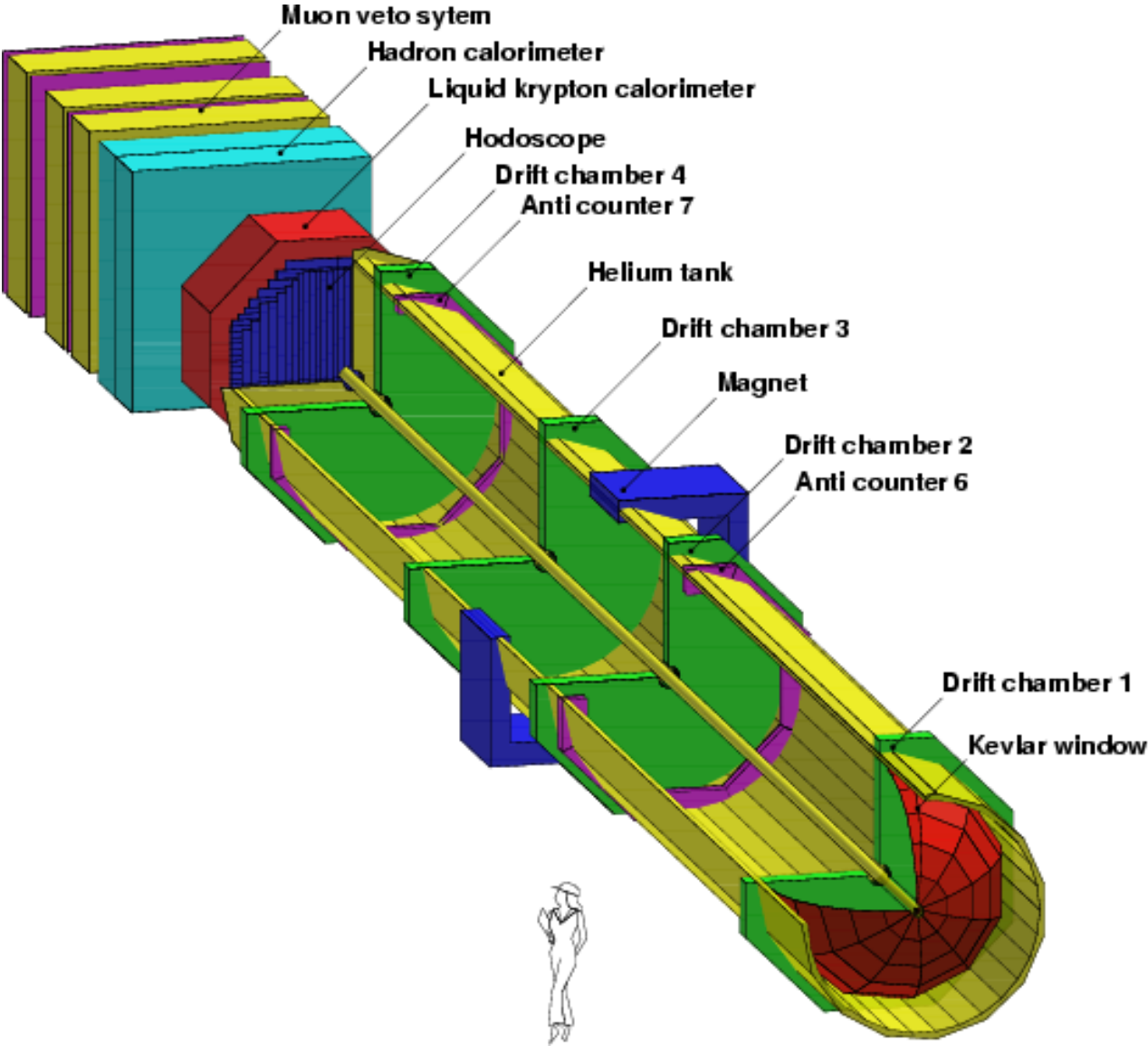
Diagramma “Penguin”

Matrice CKM (parametrizzazione di Wolfenstein):

$$V \equiv \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$



Fascio: protoni 400 GeV/c - Energia media dei K 110 GeV



Camere a deriva (4)

- ◇ 8 piani con fili disposti orizzontalmente(2), verticalmente(2), a 45°(4).
- ◇ efficienza: 99.5%
- ◇ Risoluzione spaziale: $\sim 95 \mu\text{m}$
- ◇ $\sigma(p)/p = 48\% \oplus 0.009\% p/\text{GeV}/c$

LKr:

- ◆ ~ 13000 celle con sezione $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ e $27 X_0$
- ◆ $\sigma(E)/E = (3.2 \pm 0.2)\% / \sqrt{(E)} \oplus (9 \pm 1)\% / E \oplus (0.42 + 0.05)\%$
(E in GeV)

Altri rivelatori:

- ★ **Tagger:** → identificazione dei decadimenti del K_S
- ★ **Odoscopio:** → trigger per $\pi^+ \pi^-$
- ★ **Rivelatori di muoni** → identificazione eventi $K_L \rightarrow \pi \mu \nu$

$$\pi^0 \pi^0$$

$$(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$$

- $E > 50\text{GeV}$
- Distanza tra il punto di impatto del K estrapolato al piano del calorimetro e l'asse del fascio $< 25\text{cm}$
- Decadimento entro $5\tau_S$ dall'inizio della regione di decadimento
- < 6 picchi in energia entro 9ns (per la riduzione del fondo $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$)

$$\pi^+ \pi^-$$

- **Primo livello:**
 - Concidenza tra 2 quadranti opposti odoscopio
 - Fili colpiti nella prima camera a deriva
 - Energia totale rivelata dal calorimetro
- **Secondo livello:**
 - Le tracce convergono entro 5cm con $\theta < 15\text{mrad}$
 - Tempo di decadimento $< 4.5\tau_S$
 - $W_{\pi\pi} > 0.95m_K$

$\pi^0 \pi^0$ ricostruiti utilizzando solo il calorimetro LKr: 4 sciami elettromagnetici con $3 < E < 100$ GeV. La distanza del vertice di decadimento dal calorimetro, D , è calcolata assumendo che la massa invariante dei $4\gamma = M_K$

$$D = \frac{\sqrt{\sum_i \sum_{j>i} E_i E_j ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)}}{m_K}$$

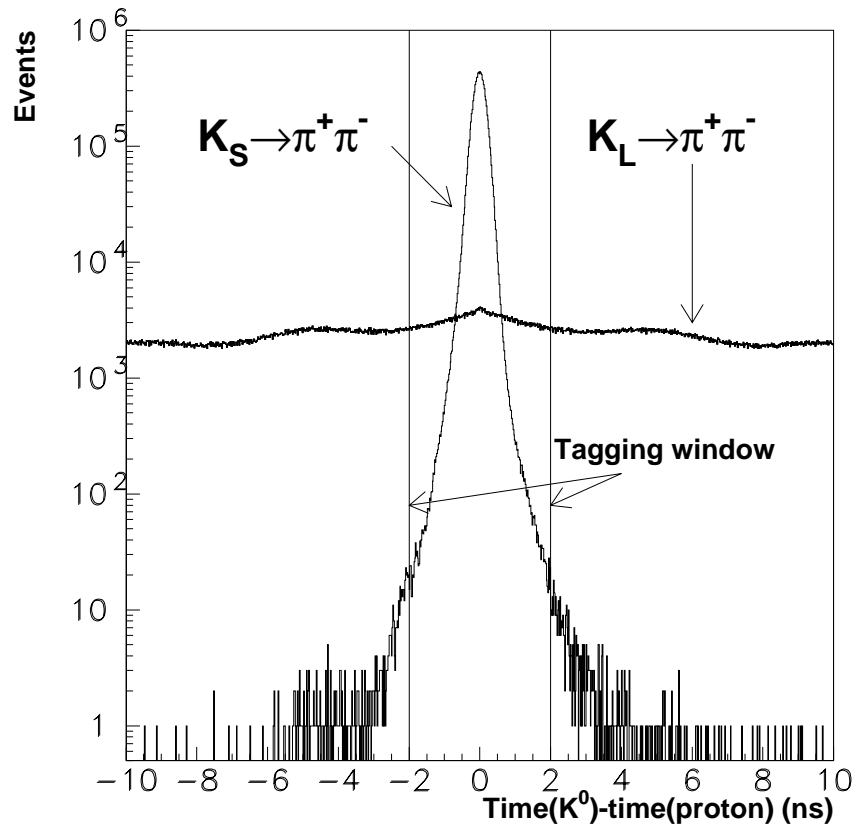
Noto D è possibile calcolare $W_{\gamma\gamma}$

$\pi^+ \pi^-$ le tracce sono ricostruite mediante i segnali delle camere a deriva. Sono accettate solo tracce con impulso > 10 GeV.

$$E_K = \sqrt{\frac{\mathcal{A}}{\theta^2} (m_K^2 - \mathcal{A} m_\pi^2)}, \quad \mathcal{A} = \frac{p_1}{p_2} + \frac{p_2}{p_1} + 2$$

$W_{\pi^+ \pi^-}$ consistente con la massa del K

Calorimetro e rivelatori di muoni sono utilizzati per scartare i decadimenti semileptonici del K_L (ad es. $K_L \rightarrow \pi \mu \nu$)



Un evento è identificato come K_S se avviene entro ± 2 ns di coincidenza con il protone rivelato dal tagger.

Nel caso del $\pi^+\pi^-$ i K_S possono essere identificati anche dalla posizione del vertice ricostruito.

$\alpha_{SL(LS)}$: probabilità che un decadimento di un $K_{S(L)}$ sia identificato come $K_{L(S)}$

- $\alpha_{SL} \rightarrow$ inefficienza della coincidenza.

$\Delta\alpha_{SL}$ può essere calcolata confrontando la misura di tempo del calorimetro e dell'odoscopio negli eventi $K_L \rightarrow 2\pi^0$ e $K_S \rightarrow 3\pi^0$ in cui $\gamma \rightarrow e^+e^-$

- $\alpha_{LS} \rightarrow$ coincidenze spurie.

$\Delta\alpha_{LS}$ è la probabilità di trovare un elettrone entro 4ns da un evento K_L : è estrapolata alla finestra di coincidenza utilizzando il vertice ricostruito per $\pi^+\pi^-$ e i decadimenti in $3\pi^0$ (quasi interamente dal K_L)

Determinazione della regione di decadimento

- $70 < E_K < 170$ GeV
- $0 < \tau < 3.5\tau_S$

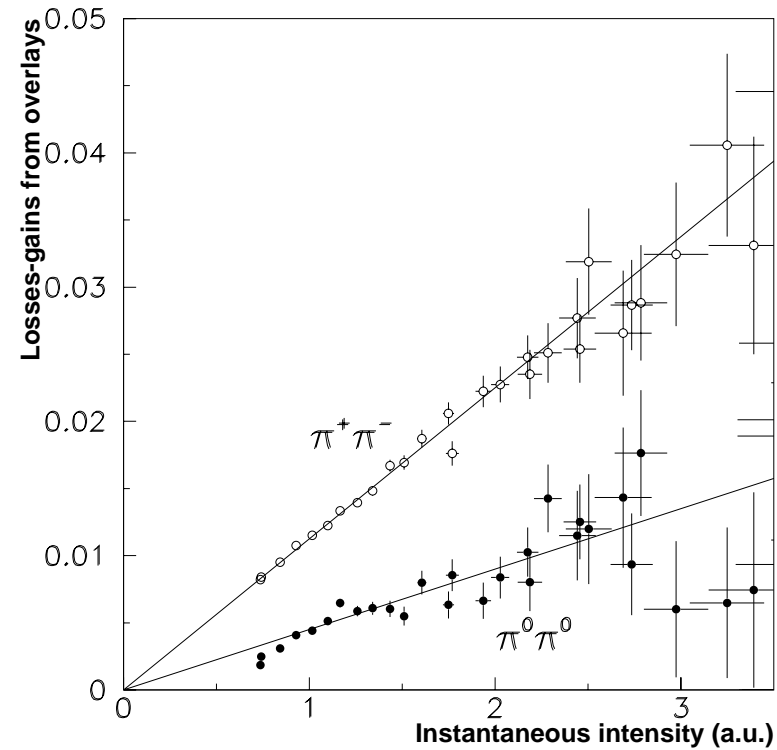
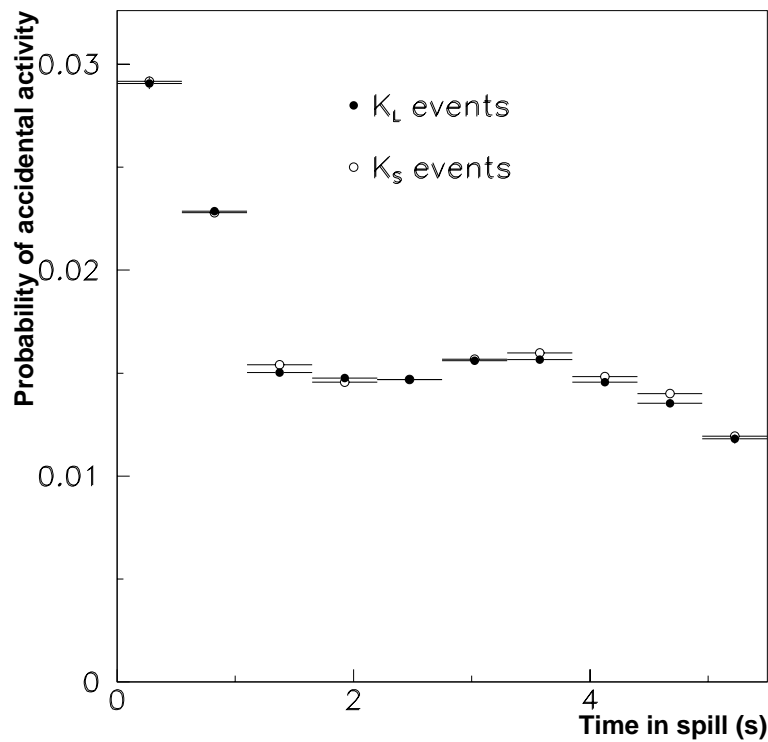
$\tau = 0$ è definito dalla posizione del contatore AKS situato dopo il target dei K_S . Per K_L il taglio è applicato sull'evento ricostruito.

R è calcolato separatamente per 20 intervalli di energia.

Le correzioni sono fatte separatamente per ogni intervallo.

Correzioni:

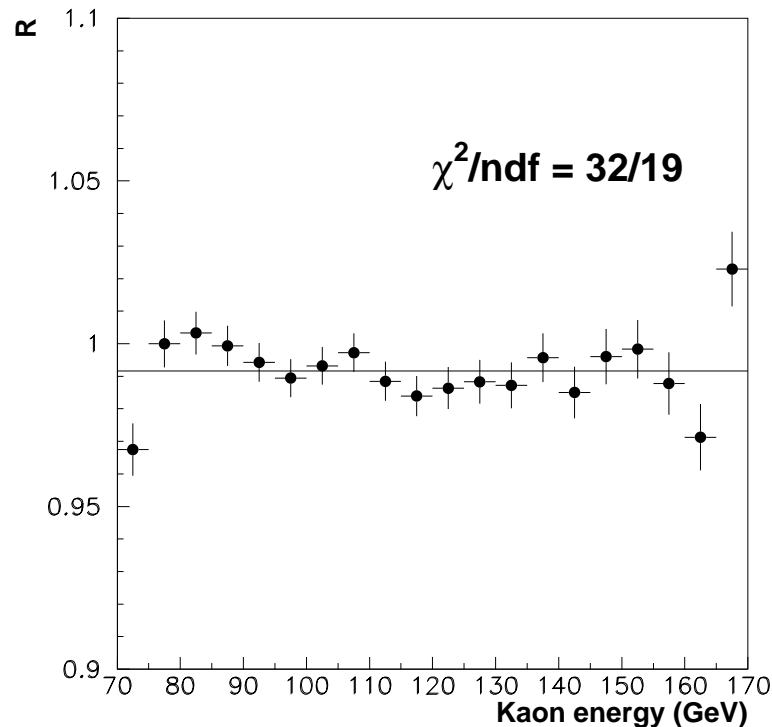
- **Trigger:** nel caso $2\pi^0$ è simmetrico per K_L e K_S quindi la correzione è applicata solo per $\pi^+\pi^-$
- **Fondo:**
 - $2\pi^0$ viene solo dai decadimenti $K_L \rightarrow 3\pi^0$
 - $\pi^+\pi^-$: decadimenti semileptonici del K_L
- **Scattering sul collimatore**
- **Accettanza:** Gli eventi K_L sono pesati secondo il loro tempo proprio di decadimento per rendere simile l'accettanza di K_S e K_L . Le differenze sono stimate con un Monte Carlo.
- **Scale di energia e di distanza**



- Variazioni di intensità del fascio accoppiate con diverse perdite di eventi nei due modi di decadimento:

$$\Delta R = \Delta \lambda \frac{\delta I}{I}$$

		(10^{-4})	
Inefficienza trigger $\pi^+ \pi^-$	+5.2	± 3.6	(stat)
Inefficienza AKS	+1.2	± 0.3	
Ricostruzione $\pi^0 \pi^0$	–	± 5.3	
Ricostruzione $\pi^+ \pi^-$	–	± 2.8	
Fondo per $\pi^0 \pi^0$	–5.6	± 2.0	
Fondo per $\pi^+ \pi^-$	+14.2	± 3.0	
Scattering del fascio	–8.8	± 2.0	
Coincidenze tagging	+6.9	± 2.8	(stat)
Inefficienza tagging	–	± 3.0	
Accettanza statistico	+21.9	± 3.5	(stat)
Accettanza sistematico	+21.9	± 4.0	
Differenza intensità	–	± 1.1	
Differenza illuminazione	–	± 3.0	(stat)
Attività “in time” K_S	–	± 1.0	
Total	+35.0	± 11.0	



$$R = 0.99181 \pm 0.00147(\text{stat.}) \pm 0.00110(\text{syst.})$$

(± 0.00065 dell'errore sistematico dovuti alla statistica limitata degli eventi usati per lo studio degli effetti sistematici)

$$Re\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = (13.7 \pm 3.1) \times 10^{-4}$$

Combinando il risultato con quello ottenuto dai dati 1997–1999:

$Re\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = (15.3 \pm 2.6) \times 10^{-4}$ e tenendo conto della correlazione tra le incertezze sistematiche delle due misure:

$$Re\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = (14.7 \pm 2.2) \times 10^{-4}$$