

Mesoni scalari: una panoramica sperimentale

F. Ambrosino - Università e Sezione INFN, Napoli

- Mesoni scalari leggeri
- La regione delle glueballs
- Recenti scoperte in mesoni con charm

(I) Il puzzle dei mesoni scalari leggeri

I mesoni come stati q - q bar

Fermioni ed antifermioni hanno parità intrinseche opposte per cui:

$$P = (-1)^{L+1}$$

I mesoni totalmente neutri sono autostati di C con:

$$C = (-1)^{L+S}$$

Le “naturali” coppie spin-parità (J^{PC}) sono allora:

	S=0	S=1
L=0	0^{++}	1^{--}
L=1	1^{+-}	0^{++} 1^{++} 2^{++}

Mesoni pseudoscalari

Mesoni scalari

I mesoni leggeri ed $SU(3)$

Nel limite di massa dei quark nulla i mesoni formerebbero un multipletto degenere $8+1$ di $SU(3)$ di sapore.

Ma siccome $m_s \gg m_{u,d}$ ci si aspetta uno splitting in massa collegato con il contenuto in quark s :

		Isospin
ϕ (1020)	_____	I=0
K^* (892)	=====	I=1/2
ω (782)	_____	I=0
ρ (770)	_____	I=1

I mesoni scalari

Lo spettro dei mesoni scalari leggeri è molto più difficile da interpretare :

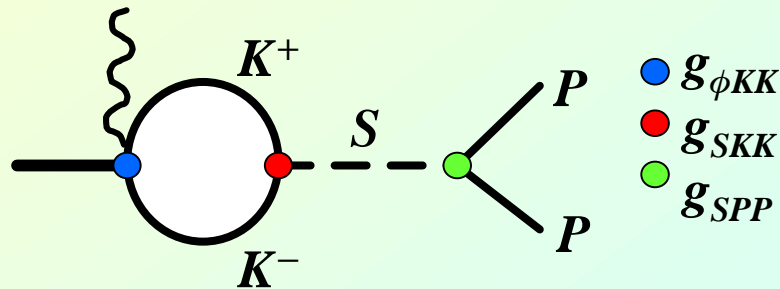
	$f_0(1500)$	_____	$I=0$
	$a_0(1450)$	_____	$I=1$
	$K^*(1430)$	=====	$I=1/2$
?	$f_0(1370)$	_____	$I=0$
	$a_0(980)$	_____	$I=1$
	$f_0(980)$	_____	$I=0$
??	$k(800)$	=====	$I=1/2$
?	$\sigma(600)$	_____	$I=0$

Alcune questioni irrisolte

- Perché ci sono così tanti mesoni scalari leggeri ?
- Perché a_0 ed f_0 si accoppiano fortemente con $K\bar{K}$?
- Esistono le risonanze $\sigma(600)$ e $k(800)$?
- Se esistono, perché lo spettro risulta invertito?
- Se $f_0(1500)$ è il partner SU(3) di $f_0(1370)$ perché la sua larghezza è inferiore per un fattore 2 - 5 ?
- Esiste evidenza sperimentale per una glueball ?

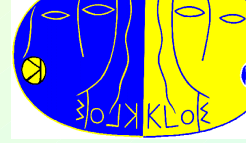
a_0 ed f_0 a KLOE

KLOE ha studiato i decadimenti $\phi \rightarrow a_0 \gamma$ e $\phi \rightarrow f_0 \gamma$ nel quadro di un modello di decadimento detto “Kaon loop”:



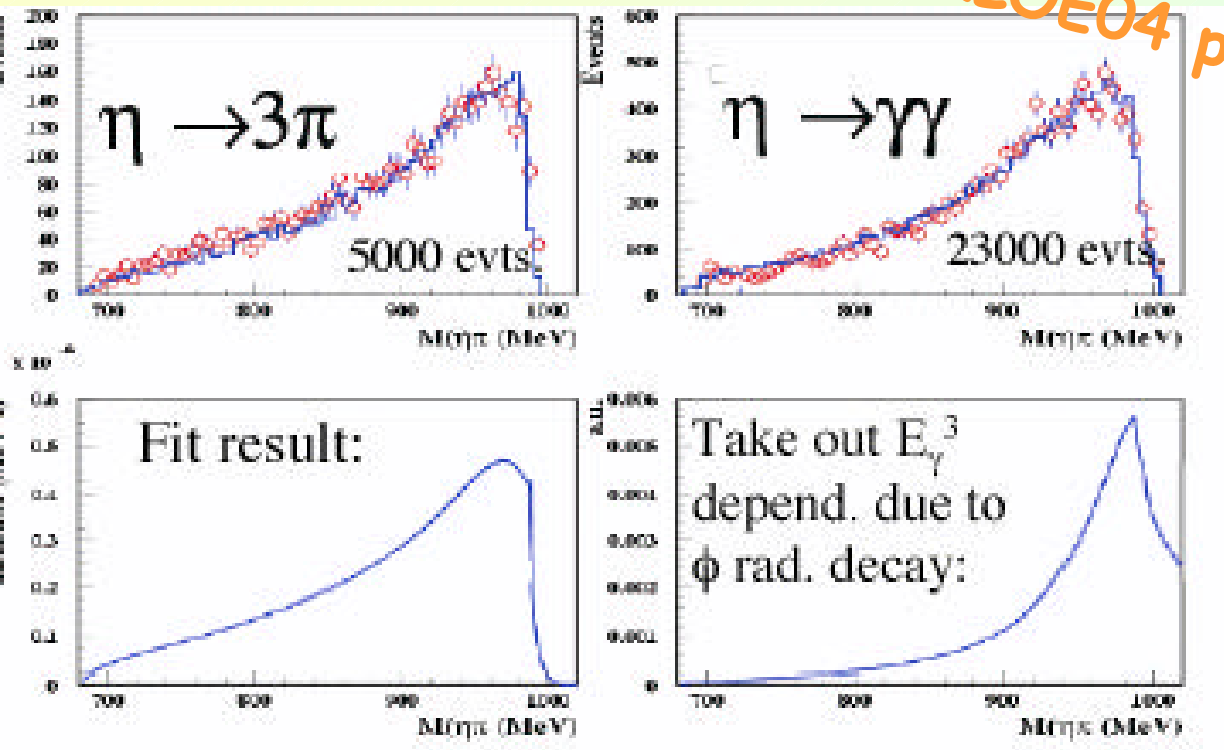
$$(g_{SKK}/4\pi)^2 \approx \begin{array}{l} 4q \rightarrow 2.3 \text{ GeV}^2 \\ \bar{q}q \rightarrow 0.15 \text{ GeV}^2 \end{array}$$

$f_0(980) \rightarrow a_0(980) g \rightarrow h p^0 g$



$f_0(980) \rightarrow a_0 g \rightarrow h p^0 g$
 $\rightarrow h \rightarrow p^+ p^- p^0$
 $\rightarrow h \rightarrow gg$

KLOE04 preliminary



$f_0(980) \rightarrow p^+ p^- p^0$

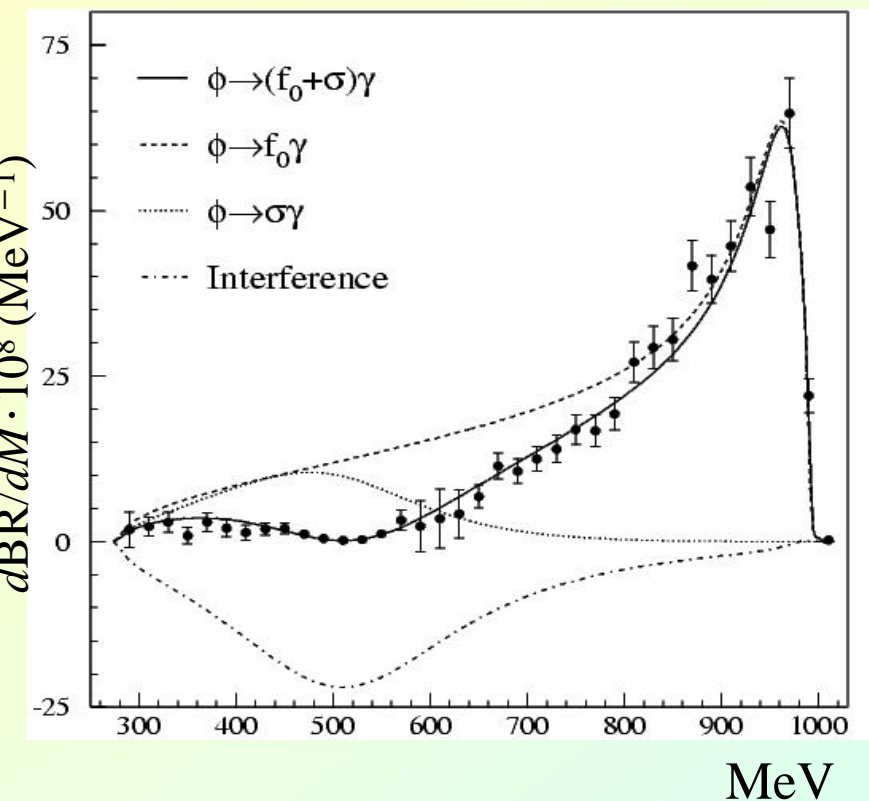
$$BR(f_0(980) \rightarrow a_0 g) = (7.45 \pm 0.19) \times 10^{-5}$$

$f_0(980) \rightarrow gg$

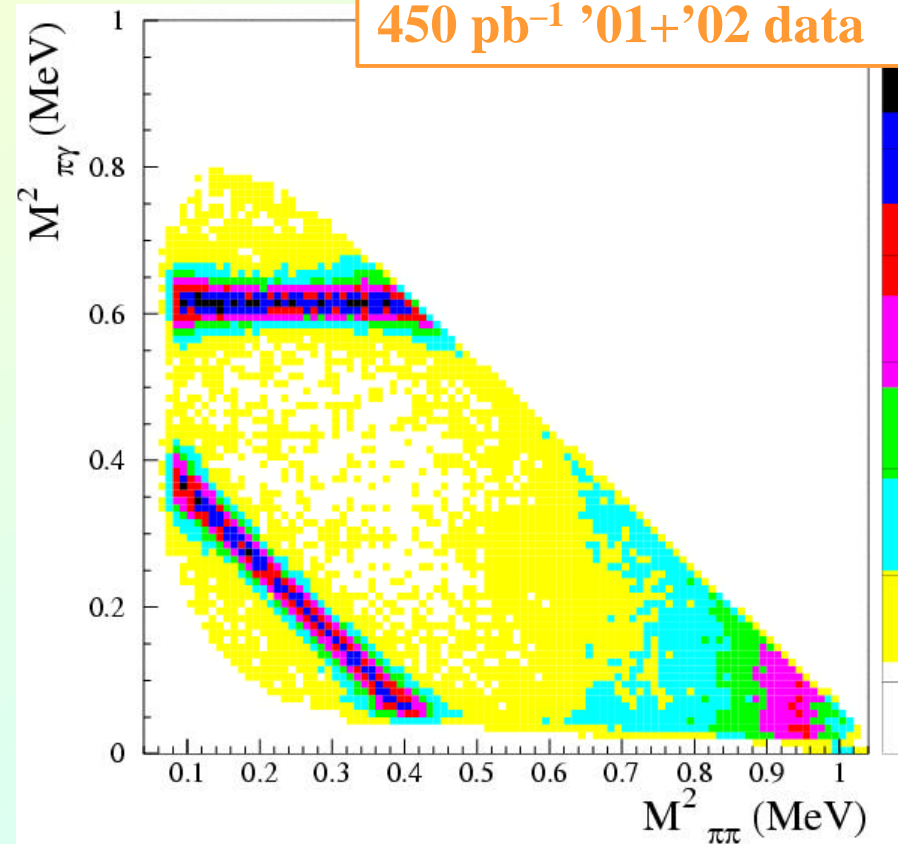
$$BR(f_0(980) \rightarrow a_0 g) = (7.25 \pm 0.15) \times 10^{-5}$$

$$\phi \rightarrow f_0 \gamma \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma$$

KLOE '02: 17 pb⁻¹ '00 data



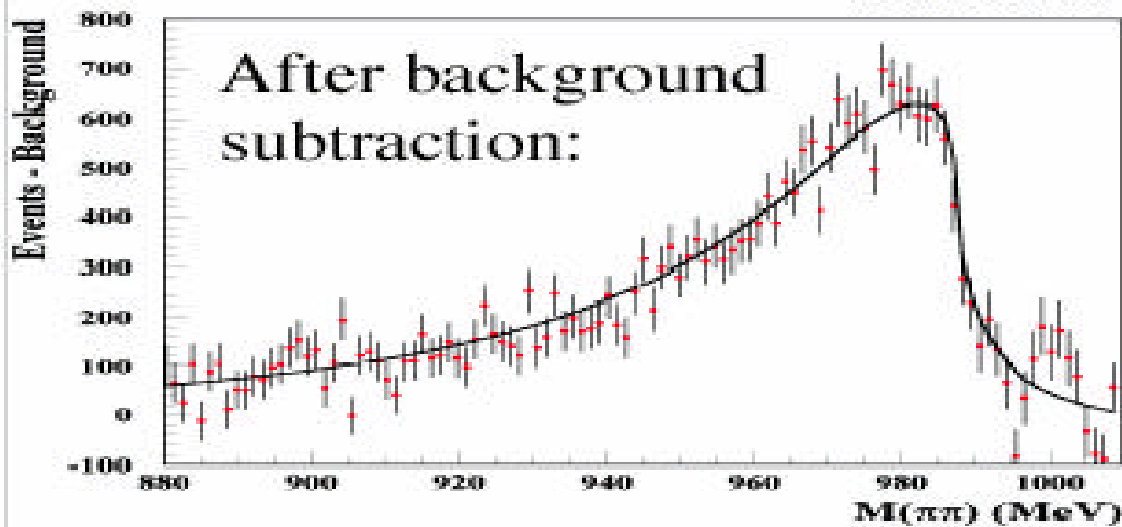
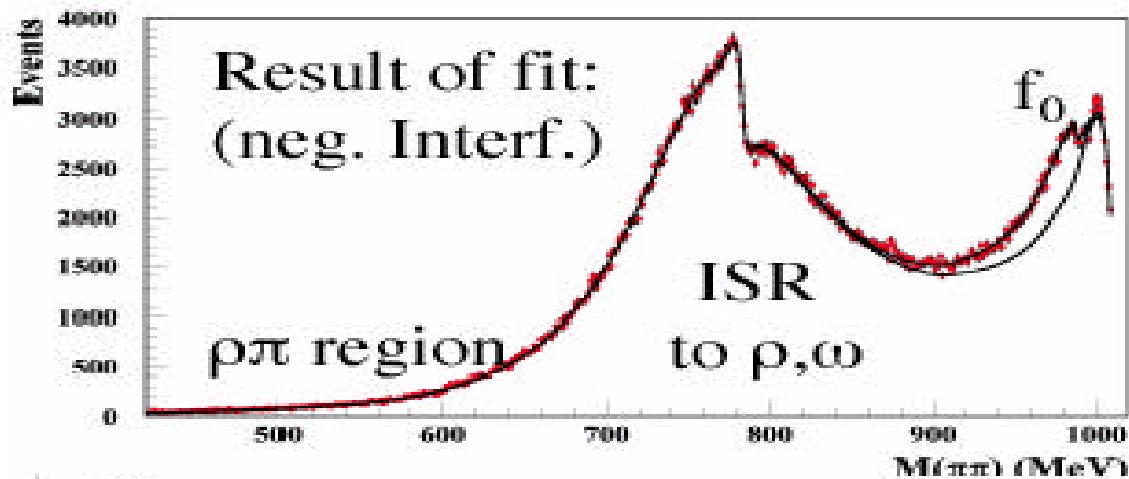
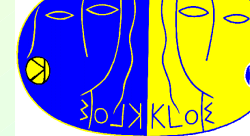
450 pb⁻¹ '01+'02 data



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

KLOE '02 $(1.09 \pm 0.03 \pm 0.05) \cdot 10^{-4}$

PDG '04 $(1.09 \pm 0.06) \cdot 10^{-4}$



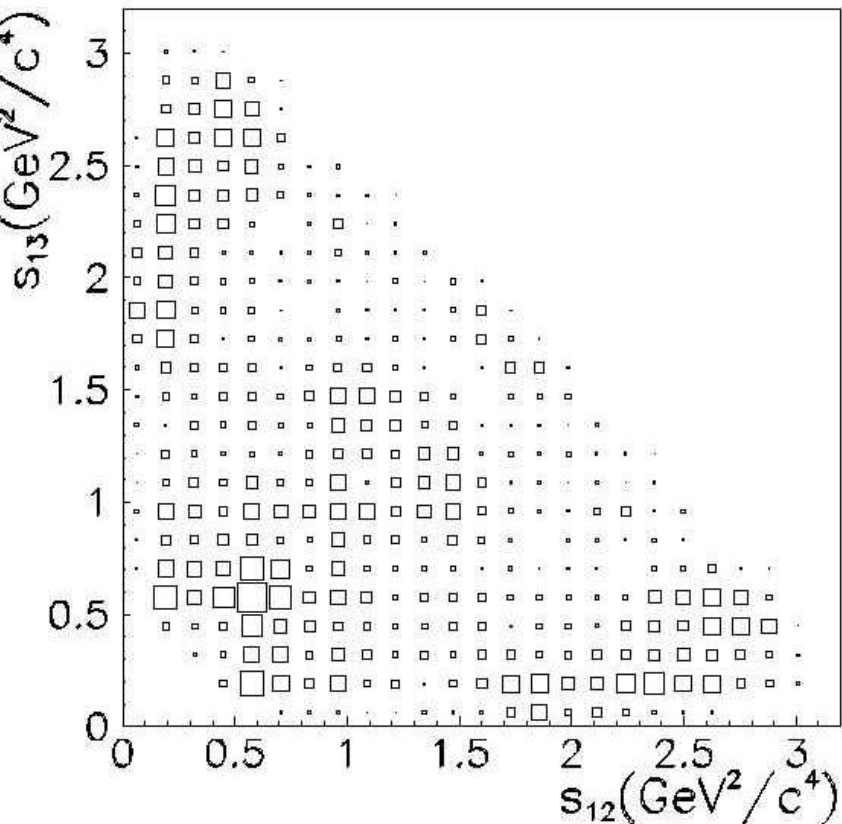
- BR ($\phi \rightarrow a_0 \gamma$) dello stesso ordine di grandezza di BR ($\phi \rightarrow \eta' \gamma$)
- Definitiva conferma dell'esistenza di $f_0(980)$ osservata sia in $\pi^+ \pi^-$ che in $\pi^0 \pi^0$ con le attese probabilità relative
- Necessità di una $\sigma(600)$ per fittare lo spettro $\pi^0 \pi^0 \gamma$; i parametri del fit privilegiano una struttura a 4 quark per f_0
- Fit completo al Dalitz plot in corso...

Ricerche della $\sigma(600)$:

E791, FOCUS : analisi del Dalitz plot $D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$

BES II: analisi del Dalitz plot $J/\psi \rightarrow \omega \pi^+ \pi^-$

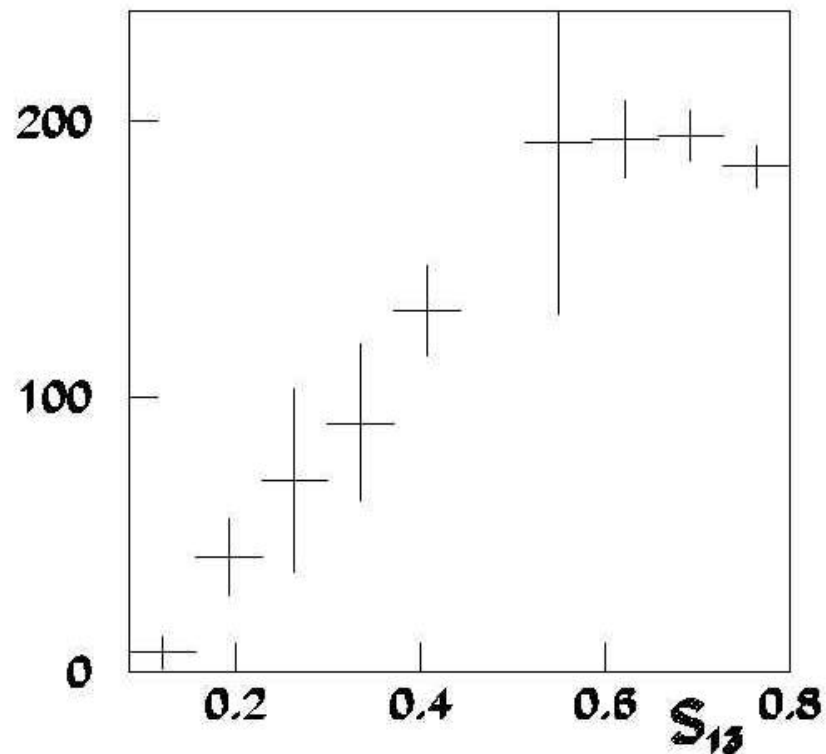
$\sigma(600)$ ad E791



PRL 86, 770 (2001)

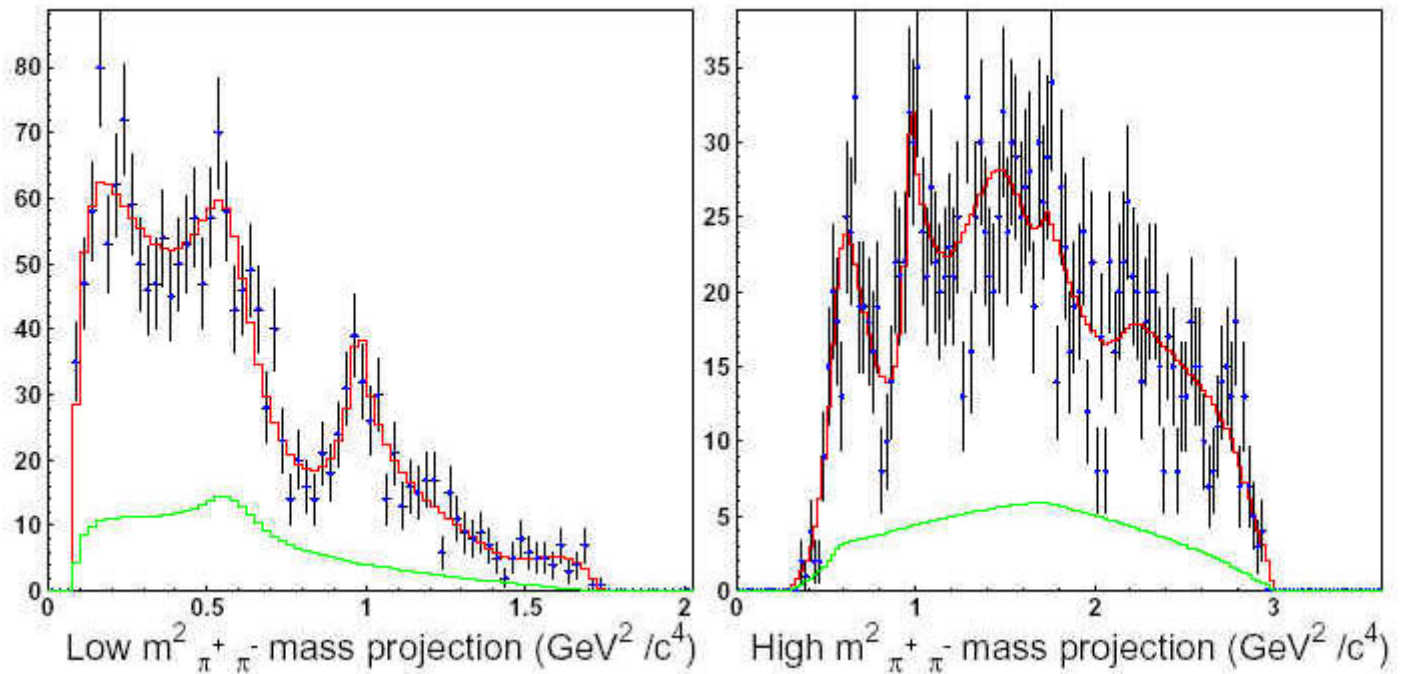
$$M = 478 \pm 23 \pm 17 \text{ MeV}$$

$$\Gamma = 324 \pm 40 \pm 21 \text{ MeV}$$



hep-ex/0307008 (2003)

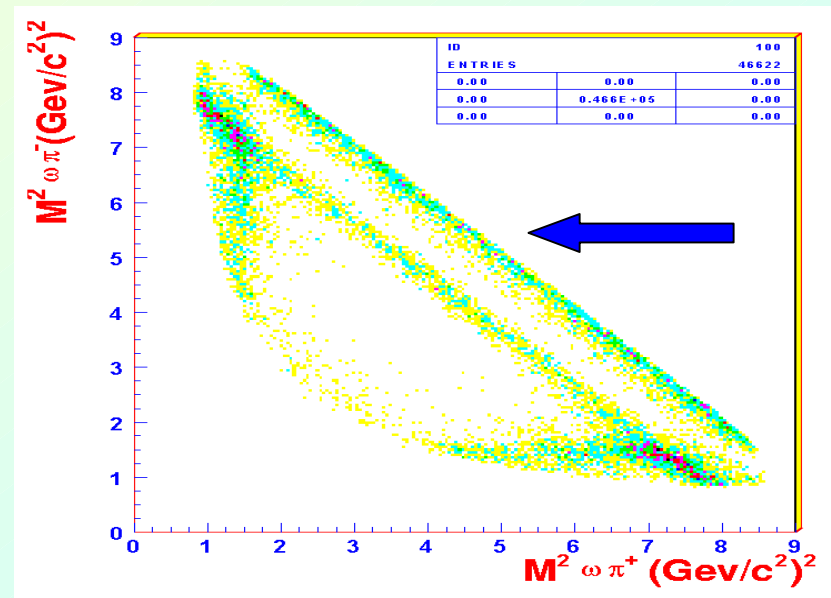
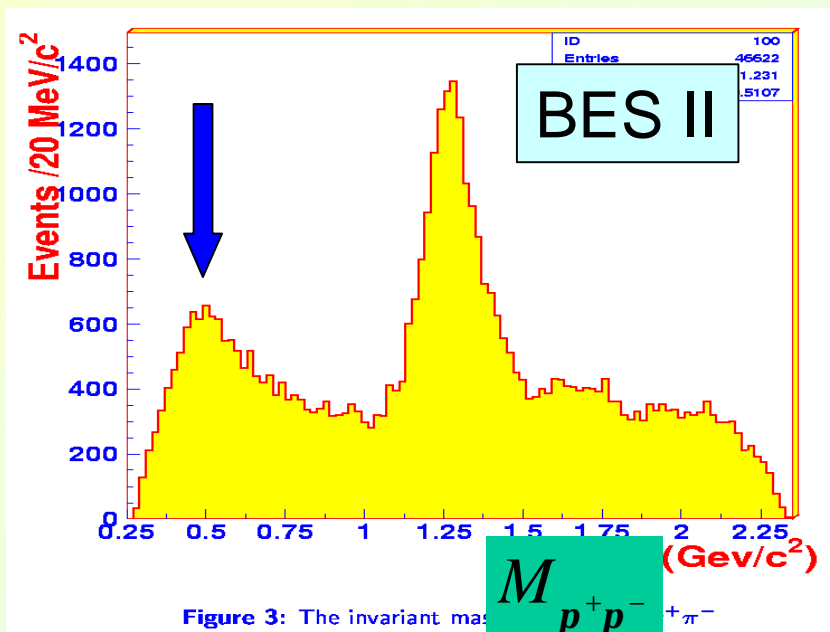
$\sigma(600)$ a FOCUS



PLB 585, 200 (2004)

Il fit con il metodo della K-matrix non necessita di $\sigma(600)$

- BES II ha osservato la **s** in $J/\psi \rightarrow \omega p^+ p^-$.



- Posizione del polo, dall'analisi in onde parziali:

$$(541 \pm 39) - i(252 \pm 42) \text{ MeV}$$

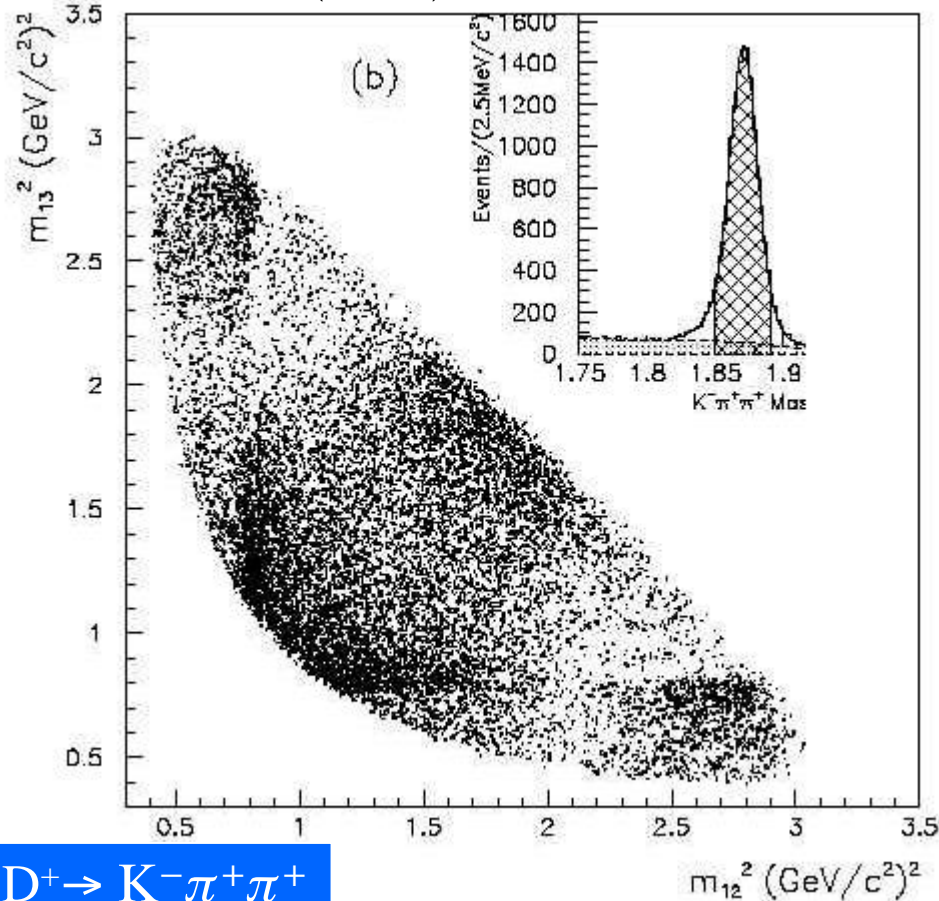
Ricerche della $\kappa(800)$:

E791, CLEO, BABAR : analisi del Dalitz plot $D \rightarrow K\pi\pi$

BES II: analisi del decadimento $J/\psi \rightarrow K^*K\pi \rightarrow K\pi K\pi$

$\kappa(800)$ ad E791

PRL 89, 12801 (2002)



$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$

$$M = 797 \pm 19 \pm 43 \text{ MeV}$$

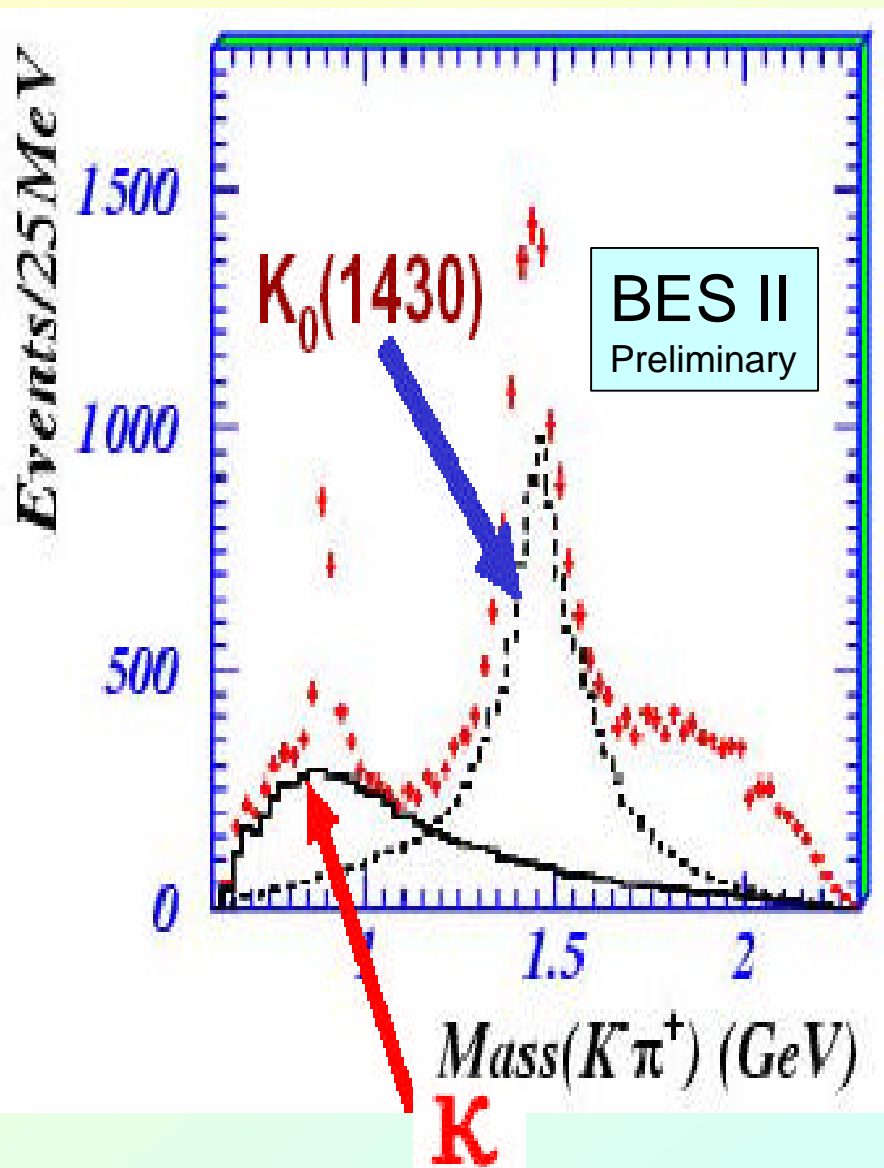
$$\Gamma = 410 \pm 43 \pm 87 \text{ MeV}$$

Fondo non risonante :90% (no κ) \rightarrow 13% (κ)

Nessuna κ necessaria per il fit dei
Dalitz plot $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$ e $D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$
 $\pi^+ \pi^-$ (CLEO)

Nessuna κ necessaria per il fit dei
Dalitz plot $D^0 \rightarrow K^0 K^- \pi^+$ e $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^0$
 $K^+ \pi^-$ (BABAR)

$\kappa(800)$ a BES II



- BES II ha recentemente osservato la κ in $J/\psi \rightarrow K^* K \pi \rightarrow K \pi K \pi$.
- Risultato preliminare dell'analisi in onde parziali:

$$(760 \sim 840) - i(310 \sim 420) \text{ MeV}$$

(II) La regione delle glueballs :1500-1700 MeV

Il manuale della giovane glueball

La QCD prevede in modo del tutto naturale la possibilità di stati legati di gluoni (glueballs). Le caratteristiche del più leggero di questi stati dovrebbero essere:

- M circa 1600 MeV e $J^{PC} = 0^{++}$ (QCD su reticolo)
- $I = 0$ (niente quarks!)
- Estraneo ai multipletti $8+1$
- Produzione in ambienti “ricchi” di gluoni come i decadimenti J/ψ
- Bassa probabilità di accoppiamento con i canali $\gamma\gamma$
- BR di decadimento incompatibili con le previsioni di $SU(3)$

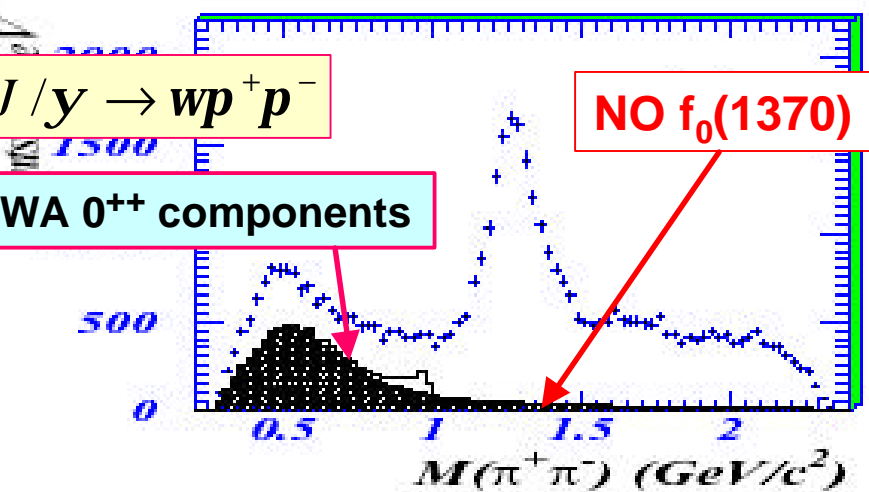
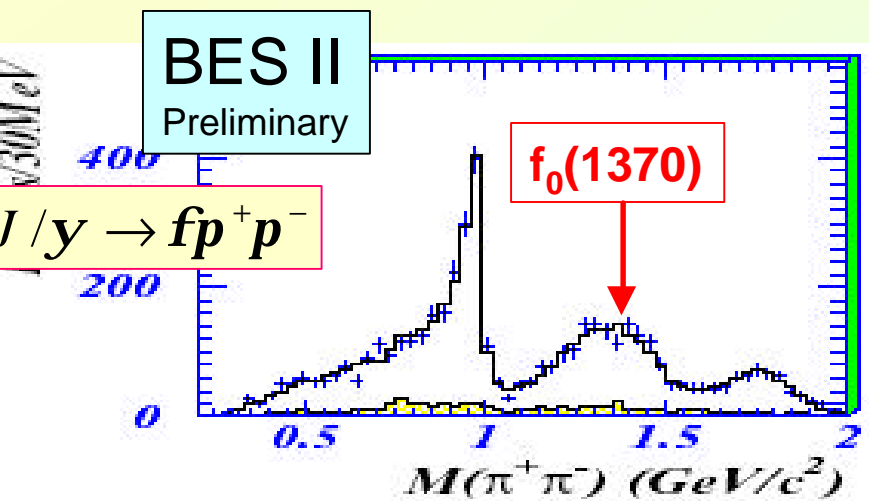
Possibili candidati:

$f_0(1370)$, $f_0(1500)$, $f_0(1710)$, $f_0(1790)$

$f_0(1370)$

Risonanza larga, ma osservata in più reazioni:

pp , $D_s \rightarrow 3\pi$, $J/\psi \rightarrow \phi\pi\pi$



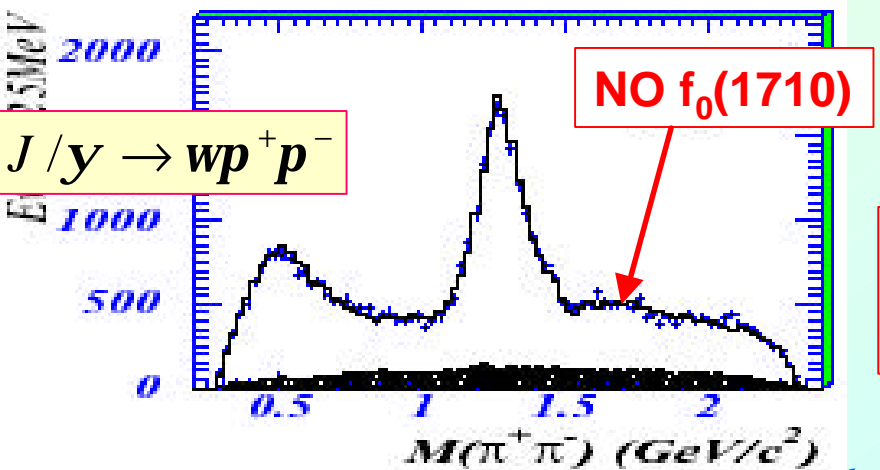
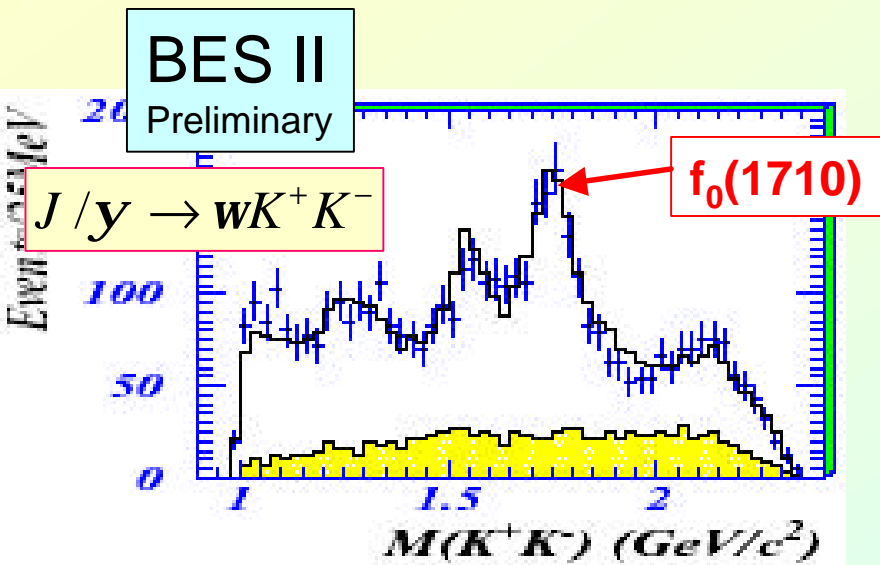
- $f_0(1370)$ osservata chiaramente in $J/\psi \rightarrow \phi\pi\pi$, ma non vista in $J/\psi \rightarrow \omega\pi\pi$.

$$M = 1350 \pm 50 \text{ MeV}$$

$$\Gamma = 265 \pm 40 \text{ MeV}$$

- Risonanza più stretta, osservata essenzialmente in reazioni: pp ma in vari canali di decadimento da Crystal Barrel e WA102 (ma anche in analisi di Dalitz plot di Ds)
- Non osservata in eventi $\gamma\gamma$ a LEP (alta componente gluonica ?)
- Non sembra avere alto contenuto in quark s dato il piccolo BR in KK

$f_0(1710)$



- Osservata in collisioni $\gamma\gamma$
- Decade principalmente in KK
- **Chiaro picco $f_0(1710)$** in $J/\psi \rightarrow \omega KK$.

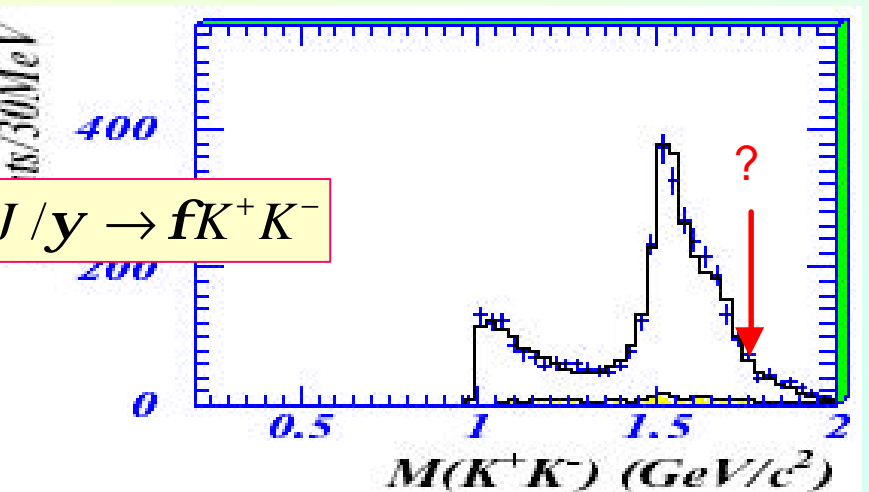
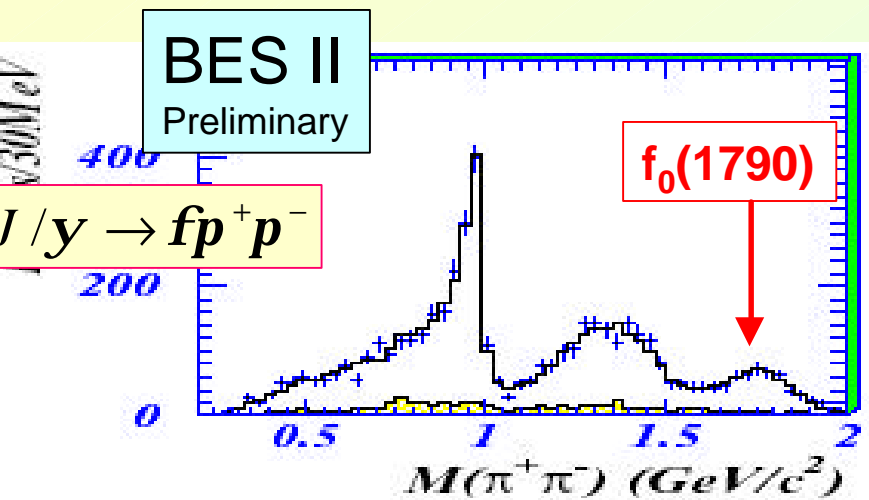
$$M = 1740 \pm 30 \text{ MeV}$$

$$\Gamma = 125 \pm 20 \text{ MeV}$$

- **Nessun segnale $f_0(1710)$** osservato in $J/\psi \rightarrow \omega\pi\pi$!

$$\frac{BR(f_0(1710) \rightarrow pp)}{BR(f_0(1710) \rightarrow K\bar{K})} < 0.13 \quad @ 95\% CL$$

Un nuovo scalare $f_0(1790)$ a BES?



- Chiaro picco a 1790 MeV in $J/\psi \rightarrow \phi \pi \pi$.

$$M = 1790_{-30}^{+40} \text{ MeV}$$

$$\Gamma = 270_{-30}^{+60} \text{ MeV}$$

- Nessun picco in $J/\psi \rightarrow \phi K K$.
Se $f_0(1790) = f_0(1710)$, ci si aspetta:

$$\frac{BR(f_0(1790) \rightarrow pp)}{BR(f_0(1710) \rightarrow K\bar{K})} \sim 1.5$$

- Inconsistente con $J/\psi \rightarrow \omega \pi \pi$, ωK

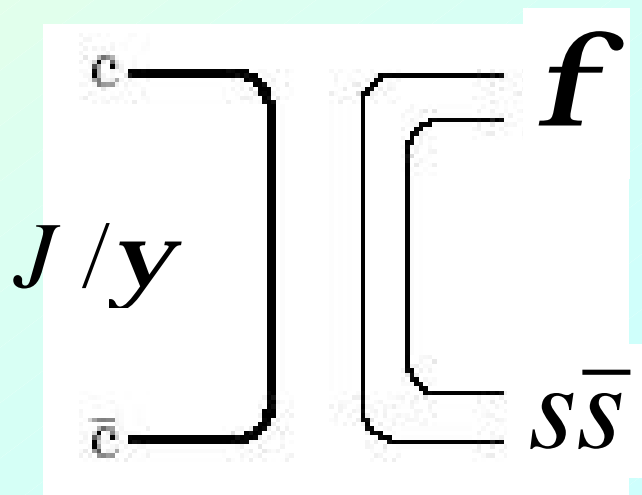
$$\frac{BR(f_0(1710) \rightarrow pp)}{BR(f_0(1710) \rightarrow K\bar{K})} < 0.13 \quad @ 95\% CL$$

La regola di OZI nei decadimenti adronici della J/ψ

- Per i decadimenti adronici della J/ψ la presenza di w o F nello stato finale seleziona rispettivamente la componente

$$u\bar{u} + d\bar{d}$$

$$s\bar{s}$$



Le "strane" proprietà di $f_0(1370)$, $f_0(1710)$ ed $f_0(1790)$

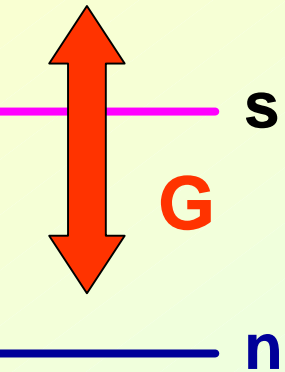
$f_0(1710)$:

- Decade principalmente in KK (e non in $\pi\pi$) $\rightarrow s\bar{s}$
- Prodotta in decadimenti J/ψ con ω (non con la ϕ) $\rightarrow u\bar{u} + d\bar{d}$

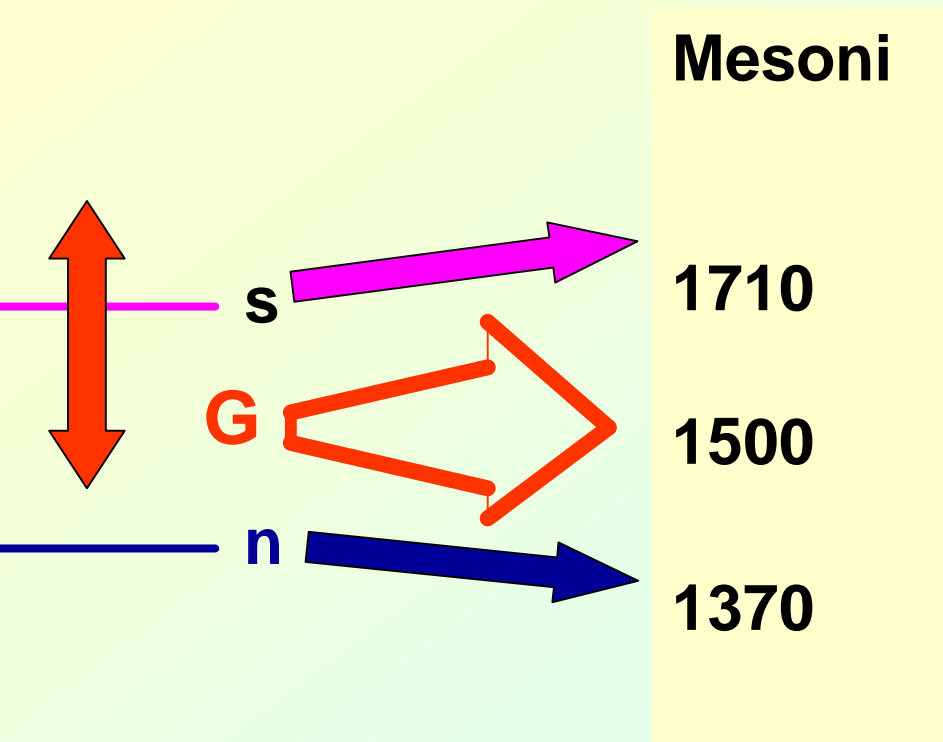
$f_0(1370)$ e $f_0(1790)$

- Decadono principalmente in $\pi\pi$ (e non in KK) $\rightarrow u\bar{u} + d\bar{d}$
- Prodotte in decadimenti J/ψ con ϕ (non con ω) $\rightarrow s\bar{s}$

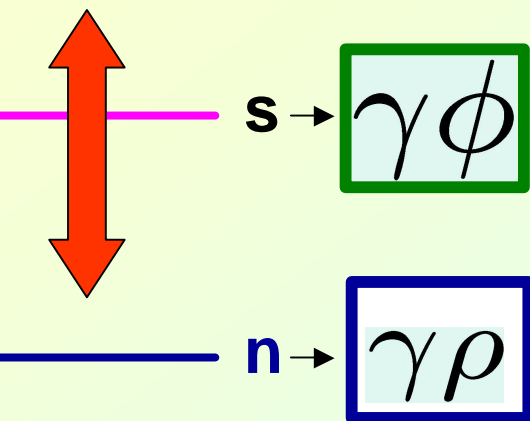
Un modello di mixing scalari-glueballs (F.Close)



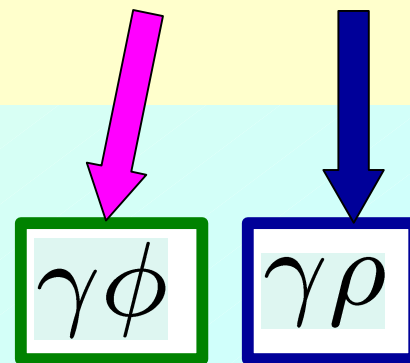
Un modello di mixing scalari-glueballs (F.Close)



Un modello di mixing scalari-glueballs (F.Close)



Mesoni	G	ss*	nn*
1710	0.39	0.91	0.15
1500	-0.65	0.33	-0.70
1370	-0.69	0.15	0.70

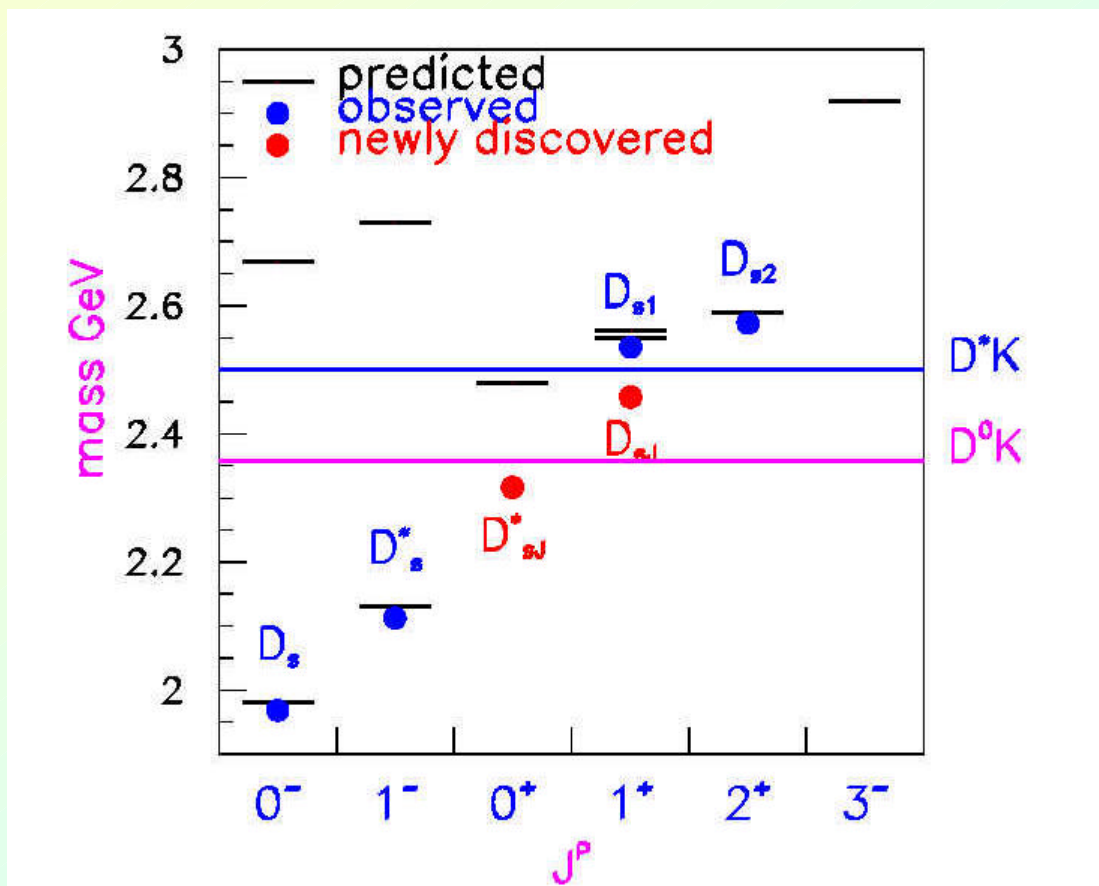


Presto disponibili ad elevata statistica a
BES e CLEO-c

(III) Le nuove risonanze con charm

Mesoni con quark pesante e leggero

In mesoni di tipo Qq si ha la conservazione separata del momento angolare totale j_q del quark leggero e dello spin S_Q del quark pesante. (Isgur-Wise)
Insieme ai modelli di potenziale questo ha permesso notevoli previsioni sulla spettroscopia dei mesoni con charm:

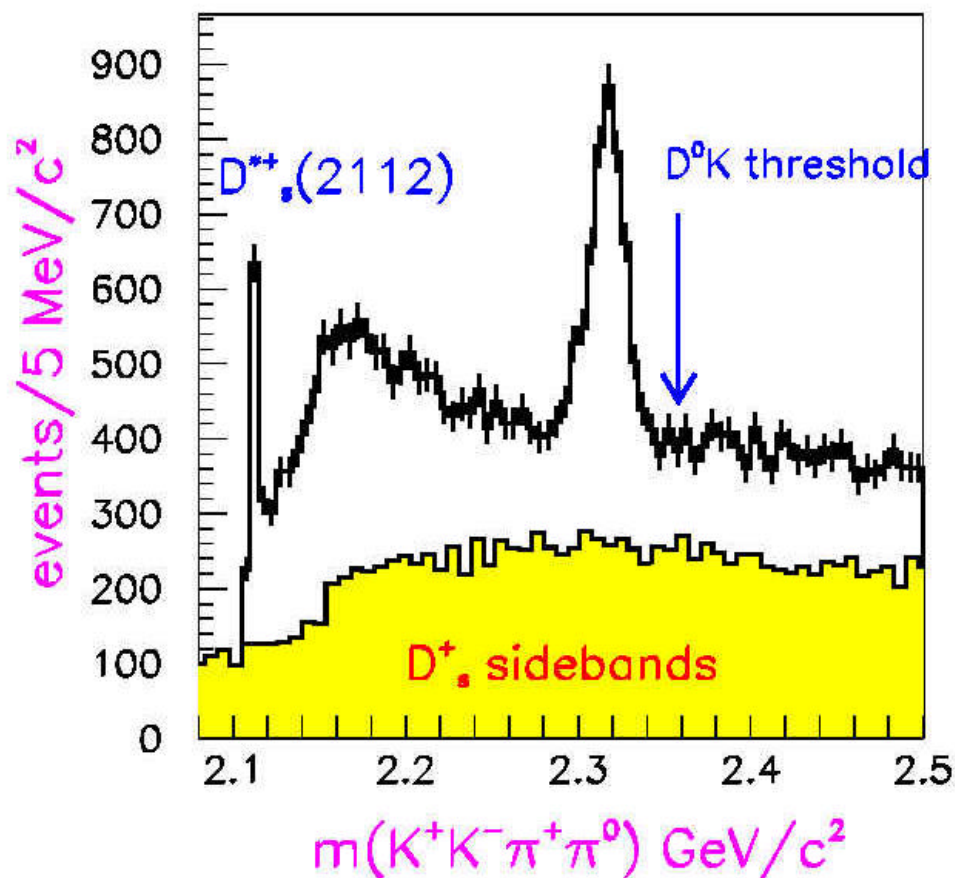


$D_s^*(2317)$ a BABAR

Osservata nel 2003 in decadimenti $D_s \pi^0$

Confermata da BELLE e CLEO

Non decade in $D_s \gamma$



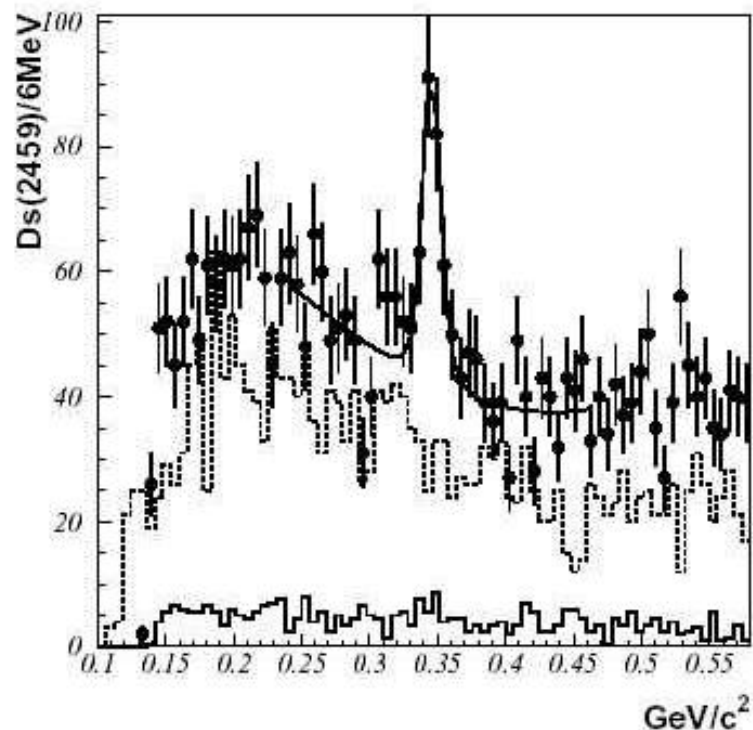
$M = 2317.4 \pm 0.9$ MeV
 $\Gamma < 4.6$ MeV

$D_{sJ}(2460)$ a CLEO, BELLE, BABAR

Osservazione non conclusiva di BABAR in decadimenti $D_s \pi^0 \gamma$

Osservata da CLEO e confermata da BELLE

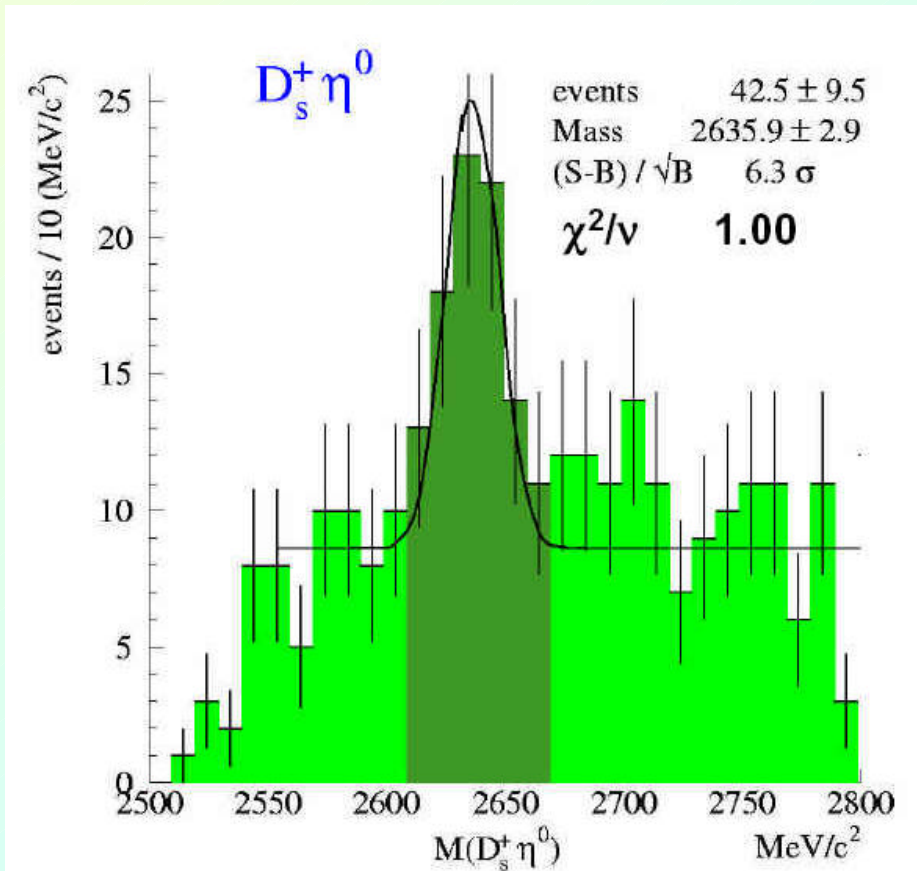
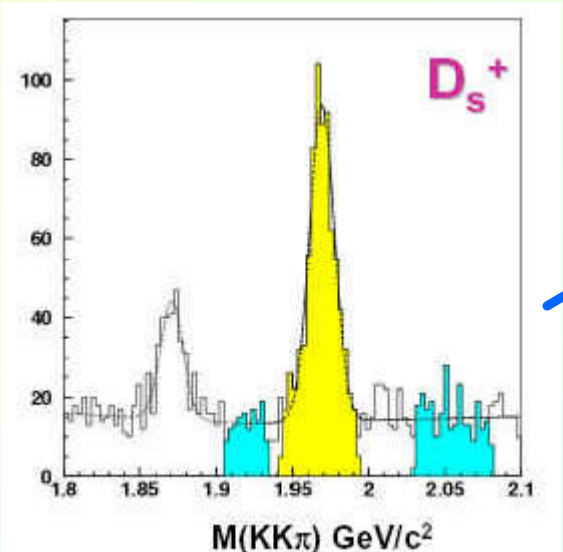
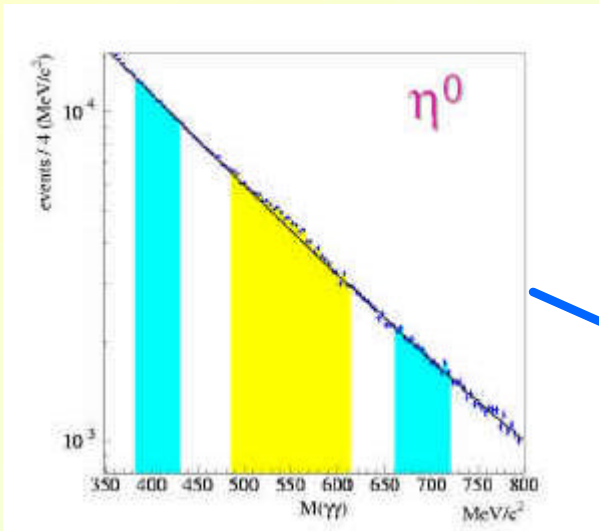
Ha sicuramente $J \neq 0$



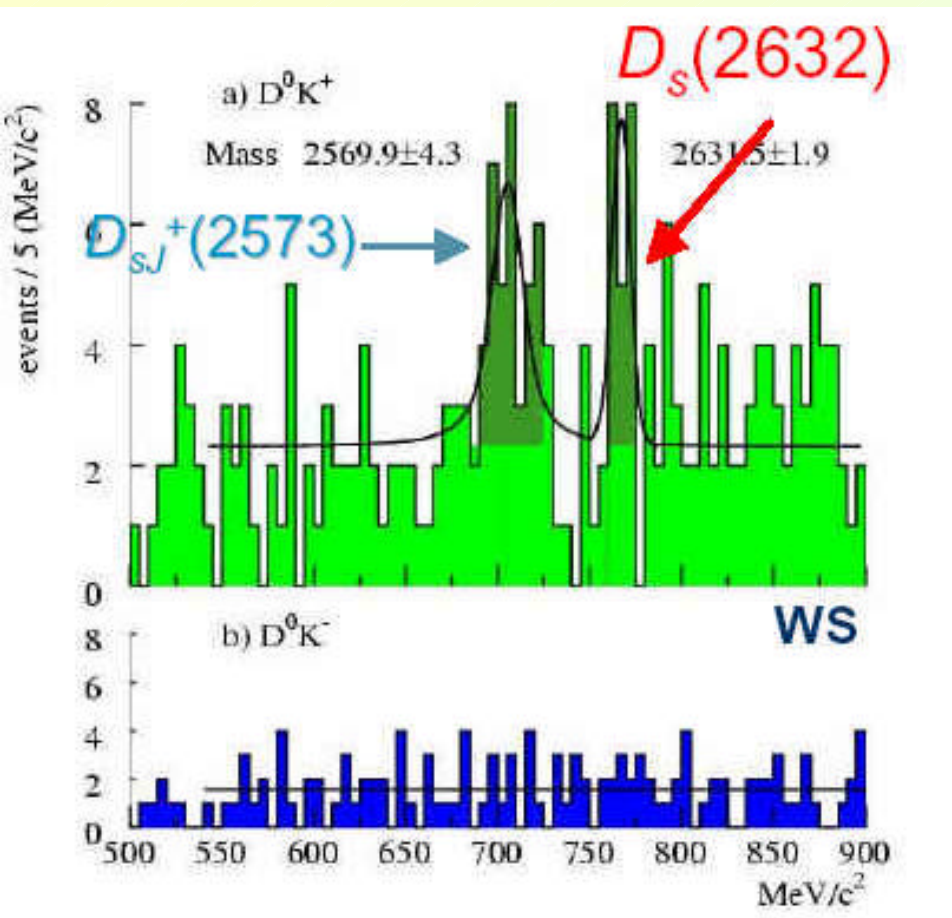
$M = 2459.3 \pm 1.3 \text{ MeV}$
 $\Gamma < 5.5 \text{ MeV}$

BELLE

$D_{SJ}(2632)$ a SELEX ?



$D_{SJ}(2632)$ a SELEX ?



- $D_{SJ}(2632)$ osservata anche nel canale D^0K^+
- $N_{\text{event}} = 14.0 \pm 4.5$
- La significanza è di circa 5.3σ (usando S / \sqrt{B})

$$M(D^0K^+)$$

Proprietà di $D_{S^*J}(2632)$

Massa: 2632.6 ± 1.6 MeV (oltre la soglia $D^{(*)} K$)

Larghezza: < 17 MeV at 90% C.L.

Stranissimi rapporti di decadimento:

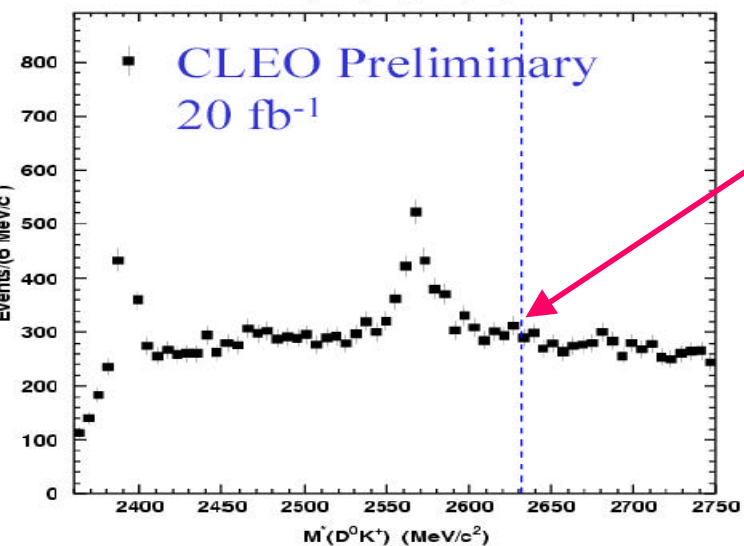
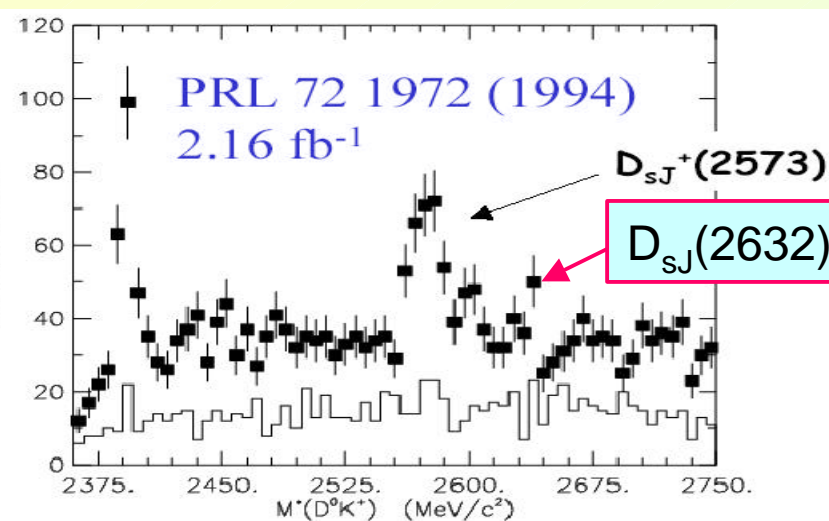
$$\Gamma(D^0 K^+) / \Gamma(D_S^+ h) = 0.16 \pm 0.06$$

-



Valore atteso circa 2, per puro spazio delle fasi

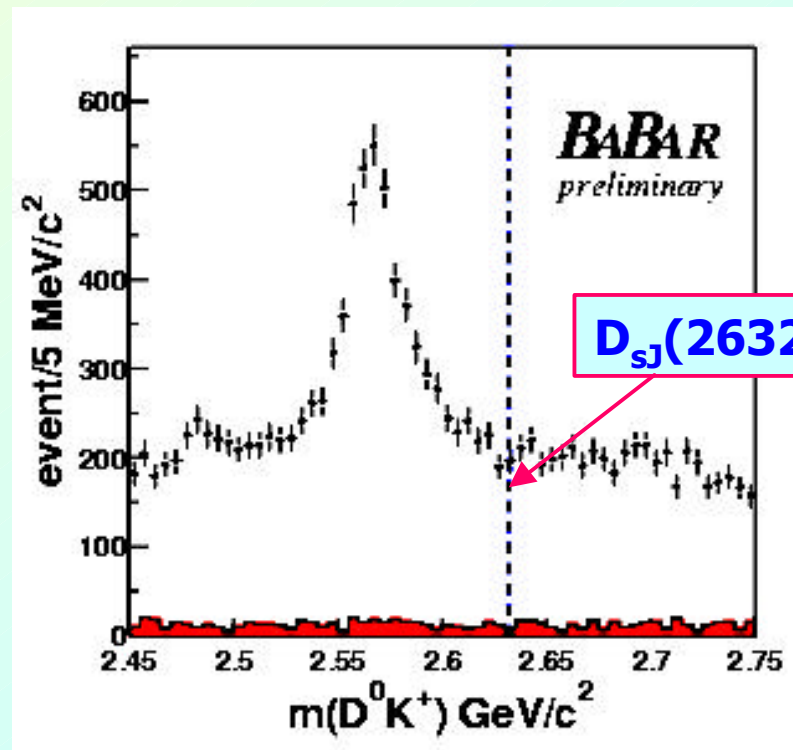
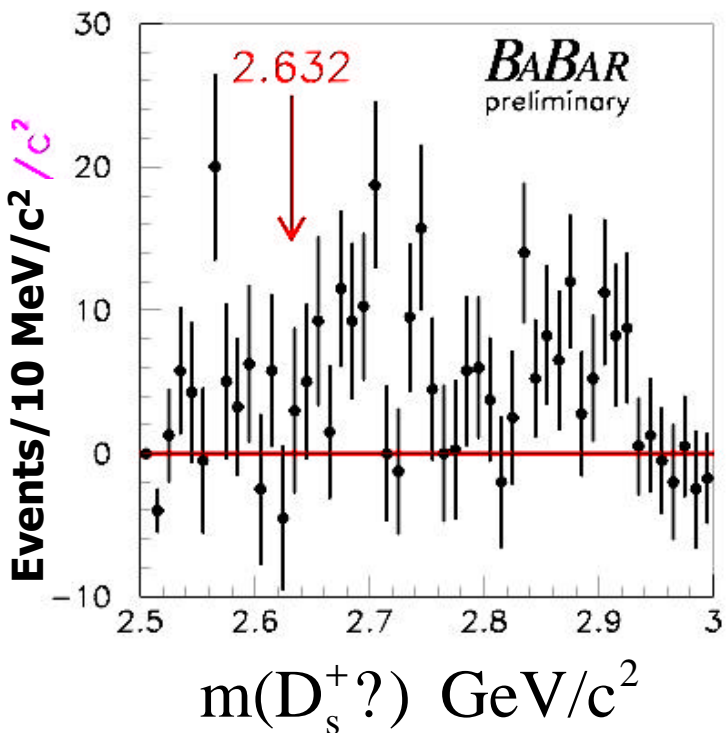
$D_{sJ}(2632)$: ricerca a CLEO



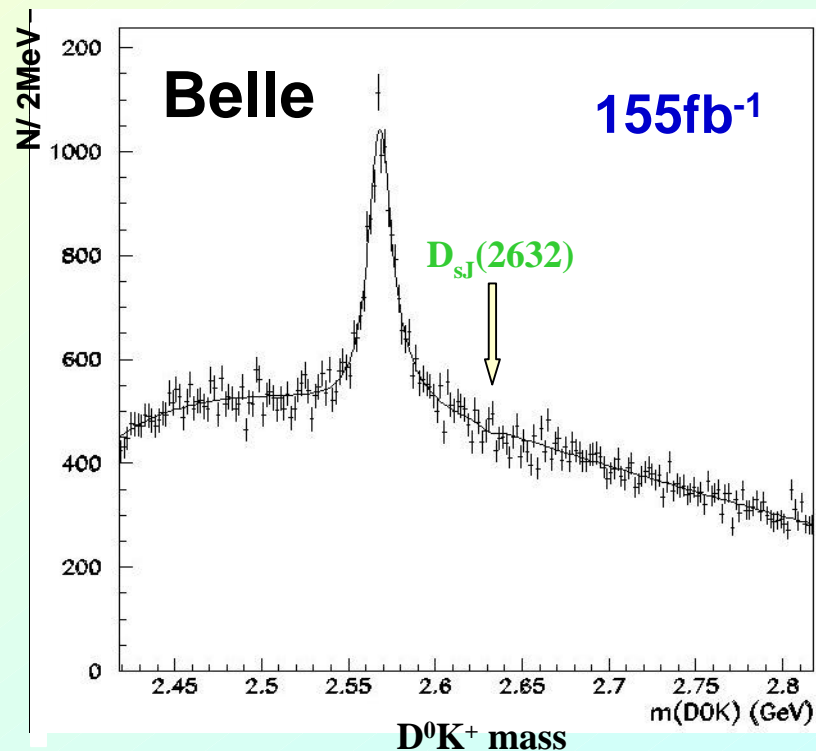
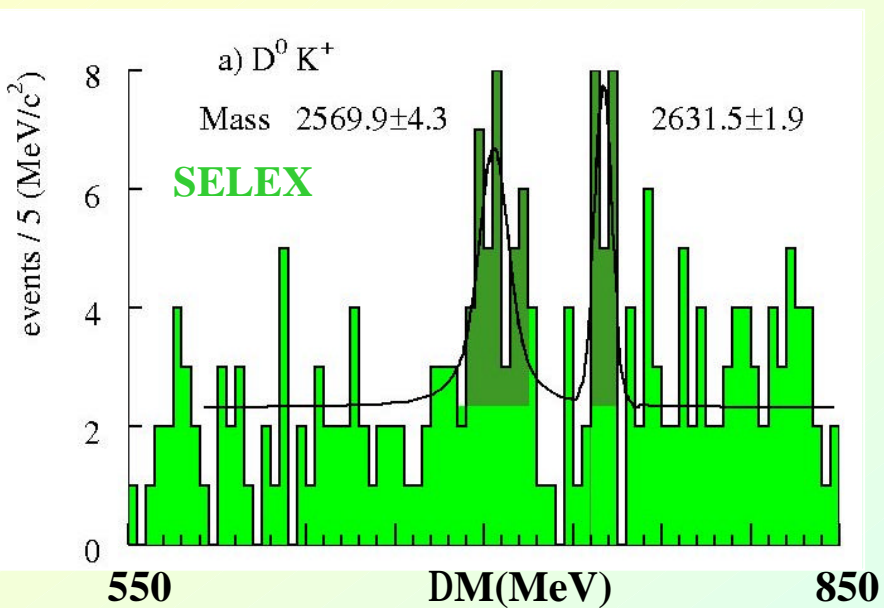
- **SELEX ha segnalato un eccesso in un bin a 2636 MeV in dati per 2.16 fb⁻¹ a CLEO**
- **CLEO non ha osservato picchi a 2632 MeV in dati per 20 fb⁻¹**

$D_{SJ}(2632)$: ricerca a BABAR

BaBar non ha osservato $D_{SJ}(2632)$ negli stessi canali di SELEX in 125 fb^{-1} .



$D_{sJ}(2632)$: ricerca a BELLE



$$\frac{S_{D_{sJ}(2632)} B(D_{sJ}(2632)) \otimes D^0K}{S_{D_{sJ}(2573)} B(D_{sJ}(2573)) \otimes D^0K} < 1.2\% \quad @90\%CL$$

cf. SELEX $56 \pm 27\%$

Conclusioni (I)

- La spettroscopia dei mesoni scalari è di grande importanza nella ricerca di stati a multi-quark e di glueballs.
- Lo scenario dei mesoni scalari leggeri sembra caratterizzato da un nonetto “invertito” con la σ come mesone di massa più bassa, la controversa κ come partner a $I=1/2$ ed $a_0(980)$ ed $f_0(980)$ come particelle di massa più alta.
- Le proprietà di $a_0(980)$ ed $f_0(980)$ non sembrano ben descritte da un modello $q\text{-}\bar{q}$ mentre risultano in miglior accordo con un modello a 4 quarks.

Conclusioni (II)

- La regione 1500-1700 MeV è caratterizzata da almeno tre, forse quattro risonanze isoscalari, con pattern di produzione e decadimento anomali per stati $q\text{-}\bar{q}$
- È possibile che sia manifesta in questa regione la glueballs scalare più leggera, con un mixing con stati ordinari $q\text{-}\bar{q}$, o stati a 4 q
- Le nuove risonanze con charm $D^*_s(2317)$ e $D_sJ(2460)$ sono insolitamente strette, e presentano un effetto simile a quello di $a_0(980)$ ed $f_0(980)$ rispetto alla soglia DK e D^*K rispettivamente.
- La presunta risonanza $D_sJ(2632)$ di SELEX è con ogni probabilità inesistente.