

Risultati recenti sullo studio di stati di charmonio a *BABAR*

Elisa Fioravanti

INFN Ferrara
In rappresentanza della Collaborazione *BABAR*

Incontri di Fisica delle Alte Energie
Ferrara
11-13 Aprile 2012



BABAR

™ and © Babar, All Rights Reserved

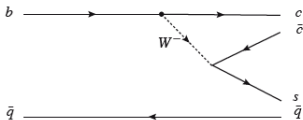


FERRARA 11 - 13 APRILE
IFAE
INCONTRI DI FISICA
DELLE ALTE ENERGIE
2012

- Introduzione
- Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ nei decadimenti $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1} K^- \pi^+$ e $B^+ \rightarrow \chi_{c1} K_s^0 \pi^+$ **PRD 85, 052003 (2012)**
- Studio dello stato finale $J/\psi\omega$ in fusione $\gamma\gamma$ **Preliminary**
- Ricerca di risonanze nello stato finale $\eta_c \pi^+ \pi^-$ utilizzando interazioni $\gamma\gamma$ **Preliminary**
- Studio del processo $e^+ e^- \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ via ISR **arXiv:1204.2158v1 Sottomesso a PRD**
- Sommario e conclusioni

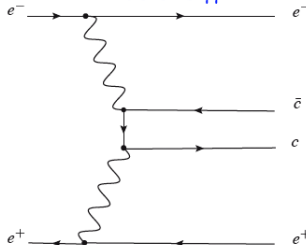
Meccanismi di produzione del charmonio nelle B-factories

Decadimenti dei mesoni B



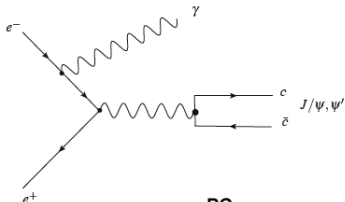
Formazione di stati con tutti i possibili numeri quantici

Fusione $\gamma\gamma$



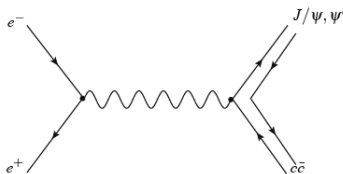
Solo stati con J pari

Radiazione di stato iniziale (ISR)



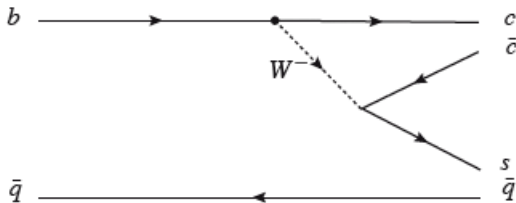
Solo stati con $J^{PC}=1^{--}$

Produzione di Doppio Charmonio



Solo stati con $C=+1$ prodotti in associazione con J/ψ o $\psi(2S)$

Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$



Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ nei
decadimenti $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1} K^- \pi^+$ e $B^+ \rightarrow \chi_{c1} K_S^0 \pi^+$
(429 fb^{-1})

PRD 85, 052003 (2012)

Motivazioni

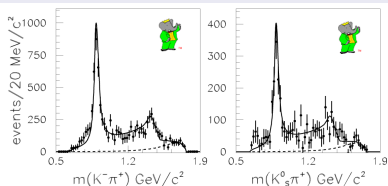
- Belle ha osservato gli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ nella distribuzione di massa invariante di $\chi_{c1}\pi^+$ nel decadimento $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1}K^-\pi^+$ (PRD 78, 072004 (2008))
- Belle ha osservato $Z(4430)^- \rightarrow \psi(2S)\pi^-$ nel decadimento $B^{-,0} \rightarrow \psi(2S)\pi^-K^{0,+}$ (PRL 100, 142001 (2008), PRD 80, 031104(R) (2009)) non confermato da BABAR (PRD 79, 112001 (2009)); nessuna risonanza è stata osservata nello spettro di $J/\psi\pi^-$ nel decadimento $B^{-,0} \rightarrow J/\psi\pi^-K^{0,+}$
- Questi studi hanno generato molte discussioni teoriche e sperimentali dovute anche al fatto che queste risonanze cariche charmonium-like devono essere composte almeno da quattro quark.

Strategia di analisi di BABAR

- Lo studio è finalizzato alla ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ nella distribuzione di massa invariante di $\chi_{c1}\pi^+$ nel decadimento $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1}K^-\pi^+$ e $B^+ \rightarrow \chi_{c1}K_s^0\pi^+$ con $\chi_{c1} \rightarrow J/\psi\gamma$
- La distribuzione di massa invariante $K\pi$ e la sua dipendenza angolare data dai polinomi di Legendre in termini di ampiezze d'onda S, P e D sono stati proiettati nella distribuzione di massa $\chi_{c1}\pi^+$ cercando di confermare le strutture risonanti osservate da Belle.

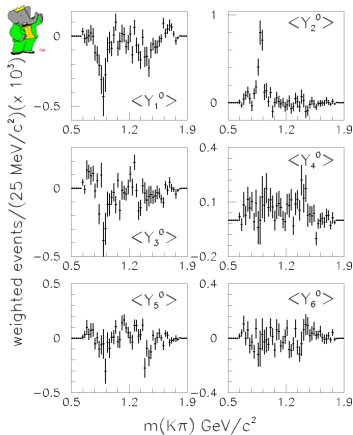
Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ - Strategia di analisi I

Alla distribuzione di massa invariante $K\pi$ nei dati è stato sottratto il contributo derivante dal fondo ed essa è stata poi corretta per l'efficienza



Channel	S-wave	P-wave	D-wave	χ^2/NDF
$\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1} K^- \pi^+$	40.4 ± 2.2	37.9 ± 1.3	11.4 ± 2.0	58/54
$B^+ \rightarrow \chi_{c1} K_s^0 \pi^+$	42.4 ± 3.5	37.1 ± 3.2	10.1 ± 3.1	55/54
		10.3 ± 1.5	10.4 ± 2.5	

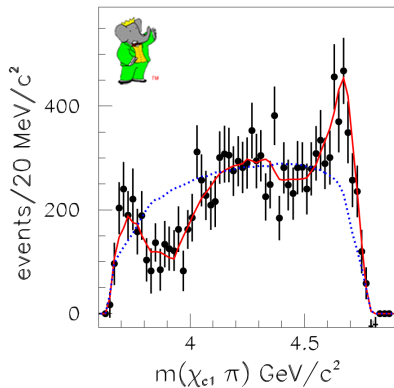
- Fit effettuato con una funzione data dalla somma di contributi di onde S, P e D.
- I risultati ottenuti per \bar{B}^0 e B^+ sono in buon accordo tra di loro.
- Fit migliorato includendo un contributo $K_1^*(1680)$ (seconda riga nella colonna P-wave) non presente nell'analisi con J/ψ e $\psi(2S)$



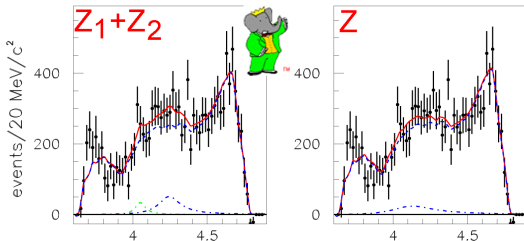
- I momenti per \bar{B}^0 e B^+ sono stati combinati insieme (intensità simili).
- I momenti $\langle Y_L^0 \rangle$ per $L \geq 6$ sono in accordo con zero; la presenza di risonanze nella distribuzione di massa $\chi_{c1} \pi^+$ è attesa per contributi con $\langle Y_L^0 \rangle$ maggiori

E' stata utilizzata una interpolazione lineare dei momenti $\langle Y_L^0 \rangle$ per $L \leq 5$ per descrivere la struttura angolare di $K\pi$ e insieme al fit alla distribuzione di massa $K\pi$ è stata creata la proiezione nella distribuzione di massa $\chi_{c1}\pi^+$

- La curva tratteggiata indica la proiezione per una distribuzione angolare di $K\pi$ piatta.
- La curva rossa è stata ottenuta utilizzando l'interpolazione dei momenti fino a $\langle Y_5^0 \rangle$; **l'eccellente descrizione dei dati indica che non è necessaria l'inclusione di risonanze ulteriori nella distribuzione di massa.**
- Aggiunti due contributi descritti da Breit-Wigner per le risonanze Z_1 e Z_2 (e una sola BW per la risonanza Z) alla proiezione non normalizzata $K\pi$, in un fit ai dati; i parametri delle risonanze Z sono stati fissati a quelli ottenuti da Belle.



Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ - Risultati

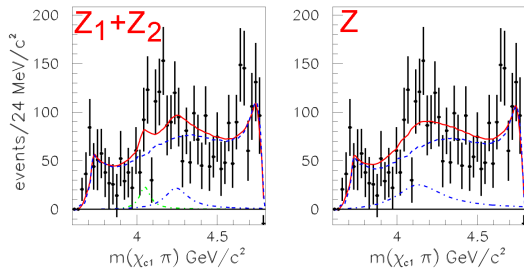


Data	Resonance	N_σ	Fraction (%)	χ^2/NDF
a) Total	$Z_1(4050)^+$	1.1	1.6 ± 1.4	57/57
	$Z_2(4250)^+$	2.0	4.8 ± 2.4	
b) Total	$Z(4150)^+$	1.1	4.0 ± 3.8	61/58
c) Window	$Z_1(4050)^+$	1.2	3.5 ± 3.0	53/46
	$Z_2(4250)^+$	1.3	6.7 ± 5.1	
d) Window	$Z(4150)^+$	1.7	13.7 ± 8.0	53/47

In ciascun fit la significatività ottenuta è bassa ($\leq 2\sigma$)

Window: $1.0 < m^2(K\pi) < 1.75 \text{ GeV}^2/c^4$

Nessuna evidenza degli stati osservati da Belle



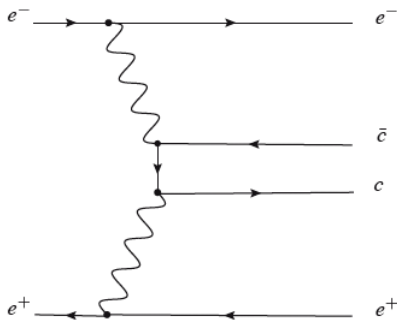
Upper limits at 90% C.L.

$$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z_1^+ K^-) \times (B(Z_1^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 1.8 \times 10^{-5}$$

$$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z_2^+ K^-) \times (B(Z_2^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 4.0 \times 10^{-5}$$

$$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z^+ K^-) \times (B(Z^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 4.7 \times 10^{-5}$$

Studio dello stato finale $J/\psi \omega$ in fusione $\gamma\gamma$



Studio dello stato finale $J/\psi \omega$ in fusione $\gamma\gamma$
(519 fb⁻¹) Preliminary

$\gamma\gamma \rightarrow J/\psi \omega$ - Motivazioni

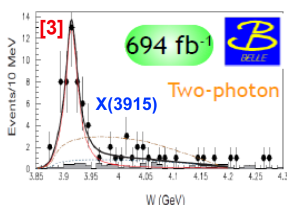
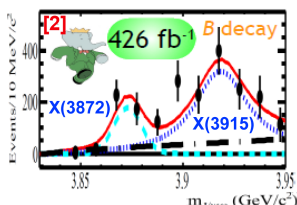
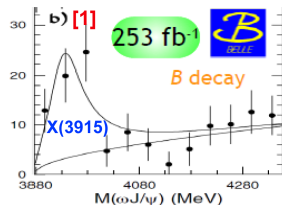
Confermare lo stato X(3915) e cercare lo stato X(3872)

X(3915)

- X(3915) è stata osservata da Belle [1] e da BABAR [2] in $B \rightarrow X(3915)K$, $X(3915) \rightarrow J/\psi \omega$
- Belle ha osservato la X(3915) anche nel decadimento $\gamma\gamma \rightarrow X(3915) \rightarrow J/\psi \omega$ [3]
- Le possibili interpretazioni della X(3915) sono $\chi_{c0}(2P)$ o $\chi_{c2}(2P)$

X(3872)

- $X(3872) \rightarrow J/\psi \omega$ è stata vista nei decadimenti dei mesoni B sia da BABAR che da Belle.
- I possibili numeri quantici della X(3872) sono $J^{PC}=1^{++}$ o $J^{PC}=2^{-+}$ [4].
- $\gamma\gamma \rightarrow X(3872)$ implica $J^{PC} = 2^{-+}$
- $\gamma\gamma \rightarrow X(3872)$ non è stata vista da Belle.



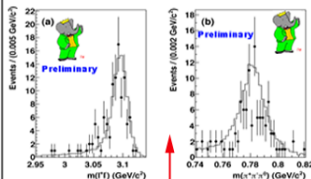
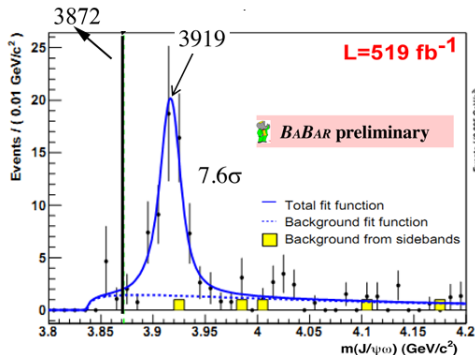
[1] Belle PRL 94,182002 (2005)

[3] Belle PRL 104,092001 (2010)

[2] BABAR PRD 82,011101(R) (2010)

[4] CDF PRL 98,132002 (2007)

$\gamma\gamma \rightarrow J/\psi \omega$ - Risultati



Il fondo nello spettro di massa di J/ψ e ω è trascurabile

I risultati sono in accordo con quelli di Belle: (PRL 104, 092001 (2010))

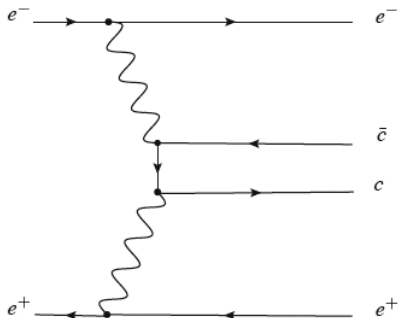
	BABAR	Belle
Mass (MeV/c^2)	$3919.4 \pm 2.2 \pm 1.6$	$3915 \pm 3 \pm 2$
Width (MeV)	$13 \pm 6 \pm 3$	$17 \pm 10 \pm 3$
$\Gamma_{\gamma\gamma} \times \mathcal{B}(J=0)$ (eV)	$52 \pm 10 \pm 3$	$61 \pm 17 \pm 8$
$\Gamma_{\gamma\gamma} \times \mathcal{B}(J=2)$ (eV)	$10.5 \pm 1.9 \pm 0.6$	$18 \pm 5 \pm 2$

Nuovo limite: $\Gamma_{\gamma\gamma}(X(3872)) \times \mathcal{B}(X(3872) \rightarrow J/\psi \omega)(J=2) < 1.7 \text{ eV}$

I valori di massa e larghezza ottenuti sono leggermente inferiori rispetto a quelli ottenuti da Belle e da BABAR per $\chi_{c2}(2P)$ dal decadimento $\gamma\gamma \rightarrow D\bar{D}$

Ricerca di risonanze nello stato finale $\eta_c \pi^+ \pi^-$ utilizzando interazioni

$\gamma\gamma$



**Ricerca di risonanze nello stato finale $\eta_c \pi^+ \pi^-$
utilizzando interazioni $\gamma\gamma$
(474 fb⁻¹) Preliminary**

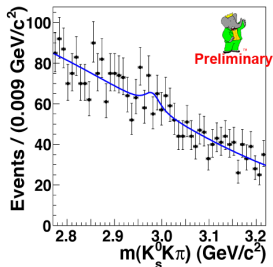
$\gamma\gamma \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ - Motivazioni

- Studio del processo $\gamma\gamma \rightarrow X \rightarrow \eta_c(1S)\pi^+\pi^-$ dove X è una delle seguenti risonanze $\chi_{c2}(1P)$, $\eta_c(2S)$, $X(3872)$, $X(3915)$ o $\chi_{c2}(2P)$, con $\eta_c(1S) \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp$ e $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$
- Misurare i rapporti di decadimento per gli stati $\chi_{c2}(1P)$, $\eta_c(2S)$, $X(3872)$, $X(3915)$ e $\chi_{c2}(2P)$ in $\eta_c(1S)\pi^+\pi^-$
- Previsione per $B(\eta_c(2S) \rightarrow \eta_c(1S)\pi^+\pi^-) \sim 2.2\%$ ottenuta da $\Gamma(\eta_c(2S) \rightarrow \eta_c(1S)\pi^+\pi^-) / \Gamma(\psi(2S) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-) \sim 2.9$ (M.B.Voloshin Mod.Phys.Lett A 17, 1533 (2002))

$\gamma\gamma \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ - Strategia di analisi

- La strategia di analisi si suddivide in due punti principali:

- 1: Con un fit alla massa invariante $m(K_s^0 K^\pm \pi^\mp)$ estrarre i parametri del fondo combinatoriale



- 2: Effettuare un fit bidimensionale in $m(K_s^0 K^\pm \pi^\mp)$ e $m(K_s^0 K^\pm \pi^\mp \pi^+ \pi^-)$ in intervalli attorno alla risonanza di interesse.

- Tipologia di eventi nel fit bidimensionale:

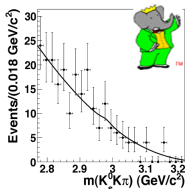
- Segnale (decadimenti in $\eta_c(1S) \pi^+ \pi^-$)

- Fondo combinatoriale

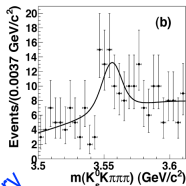
- Decadimento diretto (segnale in $m(K_s^0 K^\pm \pi^\mp \pi^+ \pi^-)$, ma $K_s^0 K^\pm \pi^\mp$ non proviene dal decadimento dell' $\eta_c(1S)$)

- η_c -peaking background (segnale di $\eta_c(1S)$ ma non di un decadimento a 5 corpi)

$\gamma\gamma \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ - Risultati



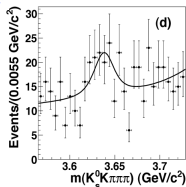
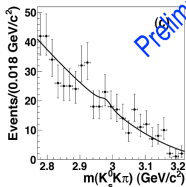
Preliminary



$\chi_{c2}(1P)$

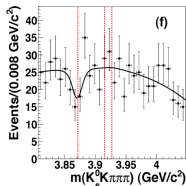
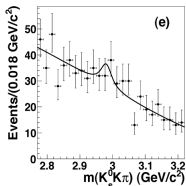
Contributo non risonante

$\gamma\gamma \rightarrow X \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp \pi^+ \pi^-$



$\eta_c(2S)$

Resonance	$\Gamma_{\gamma\gamma} \mathcal{B}(\text{eV})$	
	Central value	UL
$\chi_{c2}(1P)$	$7.2^{+5.5}_{-4.4} \pm 2.9$	15.7
$\eta_c(2S)$	$65^{+47}_{-44} \pm 18$	133
$X(3872)$	$-4.5^{+7.7}_{-6.7} \pm 2.9$	11.1
$X(3915)$	$-13^{+12}_{-12} \pm 8$	16
$\chi_{c2}(2P)$	$-16^{+15}_{-14} \pm 6$	19



$X(3872)$
 $X(3915)$
 $\chi_{c2}(2P)$

Utilizzando $B(\chi_{c2}(1P) \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp)$ e $B(\eta_c(2S) \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp)$ si ottiene:

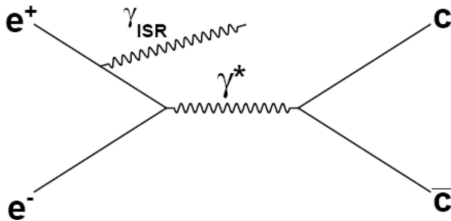
$B(\chi_{c2}(1P) \rightarrow \eta_c(1S) \pi \pi) < 2.2\% \text{ @}90\% \text{ CL}$

$B(\eta_c(2S) \rightarrow \eta_c(1S) \pi \pi) < 7.4\% \text{ @}90\% \text{ CL}$

in accordo con le previsioni

M.B.Voloshin Mod.Phys.Lett A 17, 1533 (2002)

Studio del processo $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ via ISR

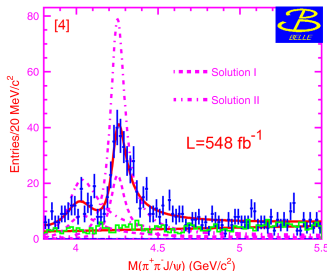
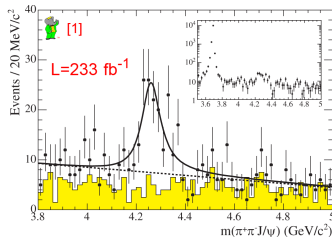


**Studio del processo $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$
via ISR (454 fb^{-1})**

arXiv:1204.2158v1 Sottomesso a PRD

$e^+e^- \rightarrow \gamma J/\psi \pi^+ \pi^-$ - Motivazioni

- *BABAR* scopre la $Y(4260)$ nella produzione ISR di $J/\psi \pi^+ \pi^-$ [1]; implica $J^{PC} = 1^{--}$
- Conferme da CLEO-c [2], CLEO-III [3] e Belle [4].
- Belle conferma la $Y(4260)$ in produzione ISR, e osserva un nuovo stato: $Y(4008)$ [4].
- Tutti gli spazi disponibili nello spettro del charmonio per 1^{--} sono già occupati. La natura dello stato $Y(4260)$ deve ancora essere definita.



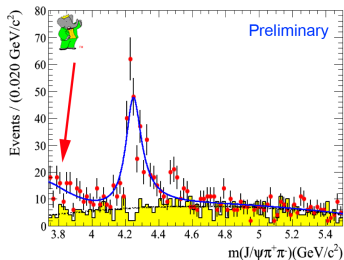
[1] *BABAR* PRL 95,142001 (2005)

[2] CLEO-c PRL 96,162003 (2006)

[3] CLEO-III PR 74,091104(R) (2006)

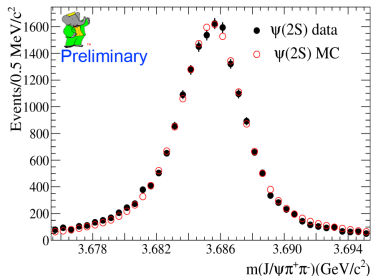
[4] Belle PRL 99,182004 (2007)

$e^+e^- \rightarrow \gamma J/\psi \pi^+\pi^-$ - Intervallo della $\psi(2S)$ ($3.5-4 \text{ GeV}/c^2$)



Nella distribuzione di massa invariante $J/\psi \pi^+\pi^-$, la regione al di sotto di $4 \text{ GeV}/c^2$ (intervallo della $\psi(2S)$ e della $\psi(3770)$) è stata analizzata in dettaglio per la prima volta.

- Uno studio dettagliato della $\psi(2S)$ è stato effettuato per capire se l'eccesso di eventi al di sotto di $4 \text{ GeV}/c^2$ può essere un possibile contributo proveniente dalla coda della $\psi(2S)$
- BES (*Phys.Lett.B* 605,63(2005)) e CLEO (*Phys.Lett.96* 082004(2006)) hanno riportato il decadimento della $\psi(3770)$ in $J/\psi \pi^+\pi^-$.

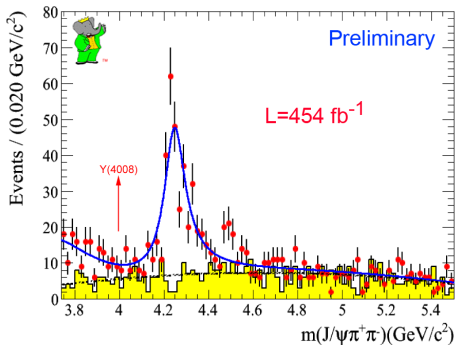


$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \psi(2S)) = 14.5 \pm 0.7 \text{ pb}$$
$$\Gamma(\psi(2S) \rightarrow e^+e^-) = 2.29 \pm 0.05 \text{ KeV}$$

La conclusione è che un possibile contributo dalla sezione d'urto del continuo del processo $e^+e^- \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-$ in questa regione, non può essere escluso.

$e^+e^- \rightarrow \gamma J/\psi \pi^+ \pi^-$ - Fino a $5.5 \text{ GeV}/c^2$

- Un *extended-maximum-likelihood fit* è stato effettuato nella regione di segnale $J/\psi \pi^+ \pi^-$ simultaneamente alla distribuzione del fondo nella regione 3.74 - $5.5 \text{ GeV}/c^2$.
- La funzione di fit include la dipendenza dalla massa dell'efficienza e della luminosità, ed è composta da una BW relativistica per la $Y(4260)$, un polinomio del terzo ordine per descrivere il fondo; una funzione empirica esponenziale che descrive l'eccesso di eventi sotto al di sotto dei $4 \text{ GeV}/c^2$ che possono derivare dalla coda della $\psi(2S)$ e da un contributo $J/\psi \pi^+ \pi^-$ non risonante.



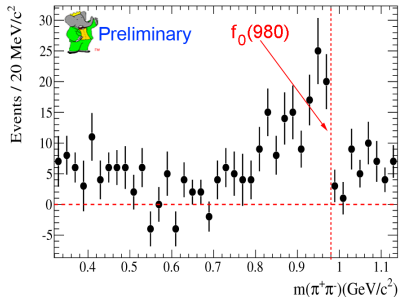
$$\text{Mass}(Y(4260)) = 4244 \pm 5 \pm 4 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma(Y(4260)) = 114_{-15}^{+16} \pm 7 \text{ MeV}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times B(J/\psi \pi^+ \pi^-) = 9.2 \pm 0.8 \pm 0.7 \text{ eV}$$

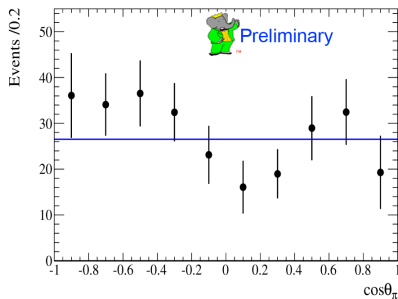
Nessuna evidenza per lo stato a $\sim 4 \text{ GeV}/c^2$ osservato da Belle.

Distribuzione di massa invariante $\pi^+\pi^-$ nel decadimento della $Y(4260)$



- Per $4.15 \leq m(J/\psi\pi^+\pi^-) \leq 4.45 \text{ GeV}/c^2$
- La distribuzione sembra avere un massimo attorno alla massa della $f_0(980)$; tuttavia il picco è spostato rispetto alla posizione reale della $f_0(980)$.
- Il fatto che il massimo della distribuzione è spostato rispetto al valore nominale, suggerisce una possibile interferenza tra la $f_0(980)$ e il continuo.

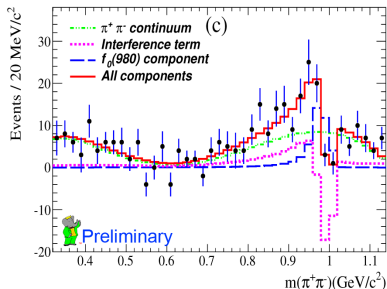
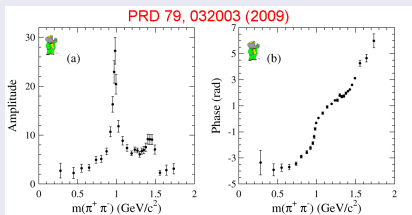
- Il sistema $\pi^+\pi^-$ ha $C=+1$ e momento angolare pari.
- E' stato definito l'angolo θ_π come l'angolo tra la direzione del π^+ e quella della J/ψ entrambe nel sistema di riferimento del dipione.
- La distribuzione, che deve essere simmetrica, è consistente con il comportamento di un'onda S ($\chi^2/NDF = 12.3/9$; probability=19.7%).



Distribuzione di massa invariante $\pi^+\pi^-$ nel decadimento della $Y(4260)$

Per descrivere la distribuzione di massa $\pi^+\pi^-$ è stato utilizzato un modello composto dal quadrato di un'ampiezza uguale alla somma coerente di una componente non risonante e da un'ampiezza della $f_0(980)$

La distribuzione dell'ampiezza della $f_0(980)$ e della sua fase sono state prese dalla precedente analisi di *BABAR* del decadimento $D_s^+ \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+$.



E' stata ottenuta una buona descrizione della distribuzione di massa invariante $\pi^+\pi^-$. Questo indica che vi è un contributo della $f_0(980)$ dovuto al decadimento della $Y(4260)$ in $J/\psi\pi^+\pi^-$ ma esso non è dominante.

$$\frac{B(Y_{4260} \rightarrow J/\psi f_0(980), f_0(980) \rightarrow \pi^+\pi^-)}{B(Y_{4260} \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-)} = (17 \pm 13)\%$$

Ricerca degli stati $Z_1(4050)^+$ e $Z_2(4250)^+$ nei decadimenti $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1} K^- \pi^+$ e $B^+ \rightarrow \chi_{c1} K_s^0 \pi^+$

PRD 85, 052003 (2012)

$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z_1^+ K^-) \times (B(Z_1^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 1.8 \times 10^{-5}$ Nessuna risonanza osservata.

$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z_2^+ K^-) \times (B(Z_2^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 4.0 \times 10^{-5}$ Nessuna risonanza osservata.

$B(\bar{B}^0 \rightarrow Z^+ K^-) \times (B(Z^+ \rightarrow \chi_{c1} \pi^+)) < 4.7 \times 10^{-5}$ Nessuna risonanza osservata.

Studio dello stato finale $J/\psi \omega$ in fusione $\gamma\gamma$:

I risultati di Belle sono stati confermati per il processo $\gamma\gamma \rightarrow X(3915) \rightarrow J/\psi \omega$:

$$\Gamma_{\gamma\gamma}(X(3915))B(X(3915) \rightarrow J/\psi \omega)(J=0) = (52 \pm 10 \pm 3) \text{ eV}$$

$$\Gamma_{\gamma\gamma}(X(3915))B(X(3915) \rightarrow J/\psi \omega)(J=2) = (10.5 \pm 1.9 \pm 0.6) \text{ eV}$$

BABAR Nuovo limite per $\gamma\gamma \rightarrow X(3872) \rightarrow J/\psi \omega$:

$$\Gamma(X(3872)) \times B(X(3872) \rightarrow J/\psi \omega) < 1.7 \text{ eV @ 90\% CL}$$

Ricerca di risonanze nello stato finale $\eta_c \pi^+ \pi^-$ utilizzando interazioni $\gamma\gamma$

Nuovi limiti al decadimento in $\eta_c \pi^+ \pi^-$:

- $B(\chi_{c2}(1P) \rightarrow \eta_c(1S)\pi\pi) < 2.2\% @90\% \text{ CL}$ Nessuna risonanza osservata.
- $B(\eta_c(2S) \rightarrow \eta_c(1S)\pi\pi) < 7.4\% @90\% \text{ CL}$ Nessuna risonanza osservata.

Studio del processo $e^+e^- \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ via ISR:

arXiv:1204.2158v1 Sottomesso a PRD

- $\sigma(e^+e^- \rightarrow \psi(2S)) = 14.5 \pm 0.7 \text{ pb}$
- $\Gamma(\psi(2S) \rightarrow e^+e^-) = 2.29 \pm 0.05 \text{ keV}$
- I parametri della $Y(4260)$ sono stati stabiliti con maggiore precisione.
- $\Gamma_{e^+e^-} \times B(J/\psi \pi^+ \pi^-) = 9.2 \pm 0.8 \pm 0.7 \text{ eV}$
- Distribuzione di massa invariante $\pi^+ \pi^-$: $\frac{B(Y_{4260} \rightarrow J/\psi f_0(980), f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{B(Y_{4260} \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-)} = (17 \pm 13)\%$

Analisi in corso sul charmonio a *BABAR*

- Decadimento dei mesoni B:

- $B \rightarrow KJ/\psi\phi$

- Produzione ISR:

- $e^+e^- \rightarrow J/\psi K^+ K^-$

- Interazioni $\gamma\gamma$:

- $\gamma\gamma \rightarrow K\bar{K}\pi$

- $\gamma\gamma \rightarrow \eta K\bar{K}$

- Doppio charmonio

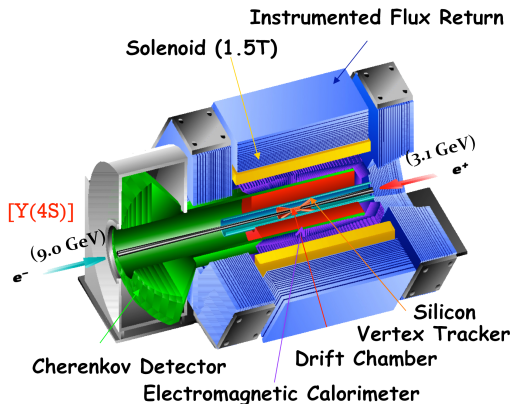
- $e^+e^- \rightarrow J/\psi c\bar{c}$

- $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)c\bar{c}$

Molti risultati interessanti sono stati ottenuti, ma per una miglior comprensione dello spettro del charmonio è richiesto un maggior numero di dati.

BACKUP SLIDES

The *BABAR* experiment and data sample



Features

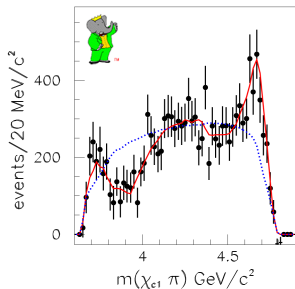
- Asymmetric beams energies:
 $E_{e^-} = 9$ GeV, $E_{e^+} = 3.1$ GeV;
 $\beta = 0.56$ in the CM frame.
For $\sqrt{s} = 10.58$ GeV, the $\Upsilon(4S)$ mass
- Integrated luminosity:
 431 fb^{-1} at $\Upsilon(4S)$ resonance (On-Peak),
 45 fb^{-1} 40 MeV below (Off-Peak).
- Data taken also at the
 $\Upsilon(3S)$ [30 fb^{-1}]
 $\Upsilon(2S)$ [14 fb^{-1}]
- Data taken period: 1999-2008

BABAR is a **B factory**: 467 million $B\bar{B}$ pairs in the total data sample.

BABAR is also a **c factory**: 1.3 million charm events per fb^{-1} .

Search for the $Z_1(4050)^+$ and $Z_2(4250)^+$ - Analysis procedure II

Using the information from the $K\pi$ system a description of the $\chi_{c1}\pi$ mass distribution is studied. A MC simulation for $B \rightarrow \chi_{c1}K\pi$ has been performed. The best χ^2/NDF obtained is for $L_{max} = 5$.

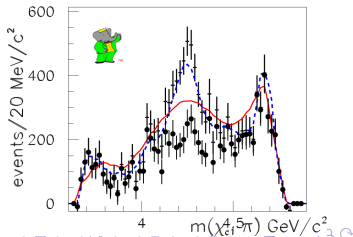


The result of the simulation with $L_{max} = 5$ is superimposed on the data.

The excellent description of the data indicates that the angular information from the $K\pi$ channel with $L_{max} = 5$ is able to account for the structures observed in the $\chi_{c1}\pi$ projection.

This indicates the absence of significant structure in the exotic $\chi_{c1}\pi^+$ channel.

A 25% contribution of $Z_2^+(4250)$ in the $\bar{B}^0 \rightarrow \pi^+ K^- \chi_{c1}$ is added on a MC simulation. The Legendre polynomial moments is then computed. The resulting MC simulation does not describe the MC data well.



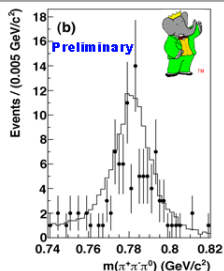
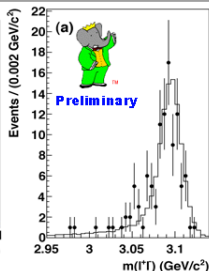
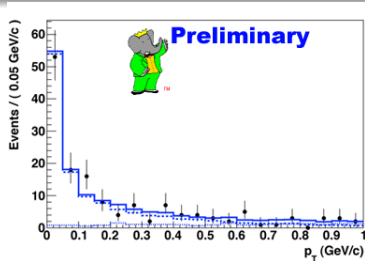
$\gamma\gamma \rightarrow J/\psi\omega$ - Event selection

Reconstruction

- $J/\psi \rightarrow \ell^+\ell^-$ ($\ell=e,\mu$); $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
- $m(e^+e^-) \in [2.95, 3.14]$; $m(\mu^+\mu^-) \in [3.05, 3.14]$; $m(\pi^+\pi^-\pi^0) \in [0.74, 0.82]$ GeV/c²

Main event selection

- Four charged tracks
- $M_{miss}^2 = (p_{e^+e^-} - p_{J/\psi\omega})^2 > 2(\text{GeV}/c^2)^2$
- $p_T < 0.2$ GeV/c
- E_{extra} (EMC energy not associated with the final state particles) < 0.3 GeV



After the event selection, clear ω and J/ψ signal, with negligible background.

$\gamma\gamma \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ - Event selection

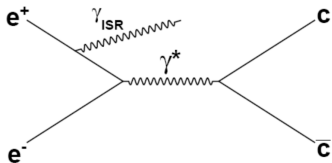
Reconstruction

- $\eta_c \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp$; $K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$
- $m(K_s^0 K^\pm \pi^\mp) \in [2.77, 3.22]$;
- The sample used to search for the process $\gamma\gamma \rightarrow X \rightarrow \eta_c \pi^+ \pi^-$ is referred to as the "main sample".
- Properties of the η_c and its decay into $K_s^0 K^\pm \pi^\mp$ are studied with a separate "control sample" of $\gamma\gamma \rightarrow \eta_c \rightarrow K_s^0 K^\pm \pi^\mp$ events.

Main event selection

- Six charged tracks
- $M_{miss}^2 = (p_{e^+e^-} - p_X)^2 > 10(\text{GeV}/c^2)^2$
- $p_T < 1.5 \text{ GeV}/c$
- E_{extra} (EMC energy not associated with the final state particles) $< 0.8 \text{ GeV}$
- Study of the η_c Dalitz Plots to select the signal region.
- Neural Network studies in order to remove additional backgrounds, with inputs: p_T ; E_{extra} ; K and π ID.

$e^+e^- \rightarrow \gamma J/\psi \pi^+ \pi^-$ - Event selection



The goal is to study the final state $J/\psi \pi^+ \pi^-$ after initial state radiation

Reconstruction

- J/ψ candidates is reconstructed via its decay to $\mu^+ \mu^-$ or to $e^+ e^-$.
- $m(e^+ e^-) - m(J/\psi) \in [-75, +55]$ MeV/ c^2 ; $m(\mu^+ \mu^-) - m(J/\psi) \in [-55, +55]$ MeV/ c^2
- The background is estimated using the J/ψ sidebands.

Main event selection

- Four charged tracks
- To select ISR events:
 - $M_{miss}^2 = (p_{e^+e^-} - p_{J/\psi \pi^+ \pi^-})^2 \in [-0.50, +0.75](\text{GeV}/c^2)^2$
 - $p_{T,miss} < 2.25$ GeV/ c