

AGGIORNAMENTO SULLE MISURE DEGLI STATI XYZ PRESSO L'ESPERIMENTO BESIII

Marco Scodeggio
106° Congresso Nazionale SIF
14 -18 Settembre 2020



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Italian Physical Society



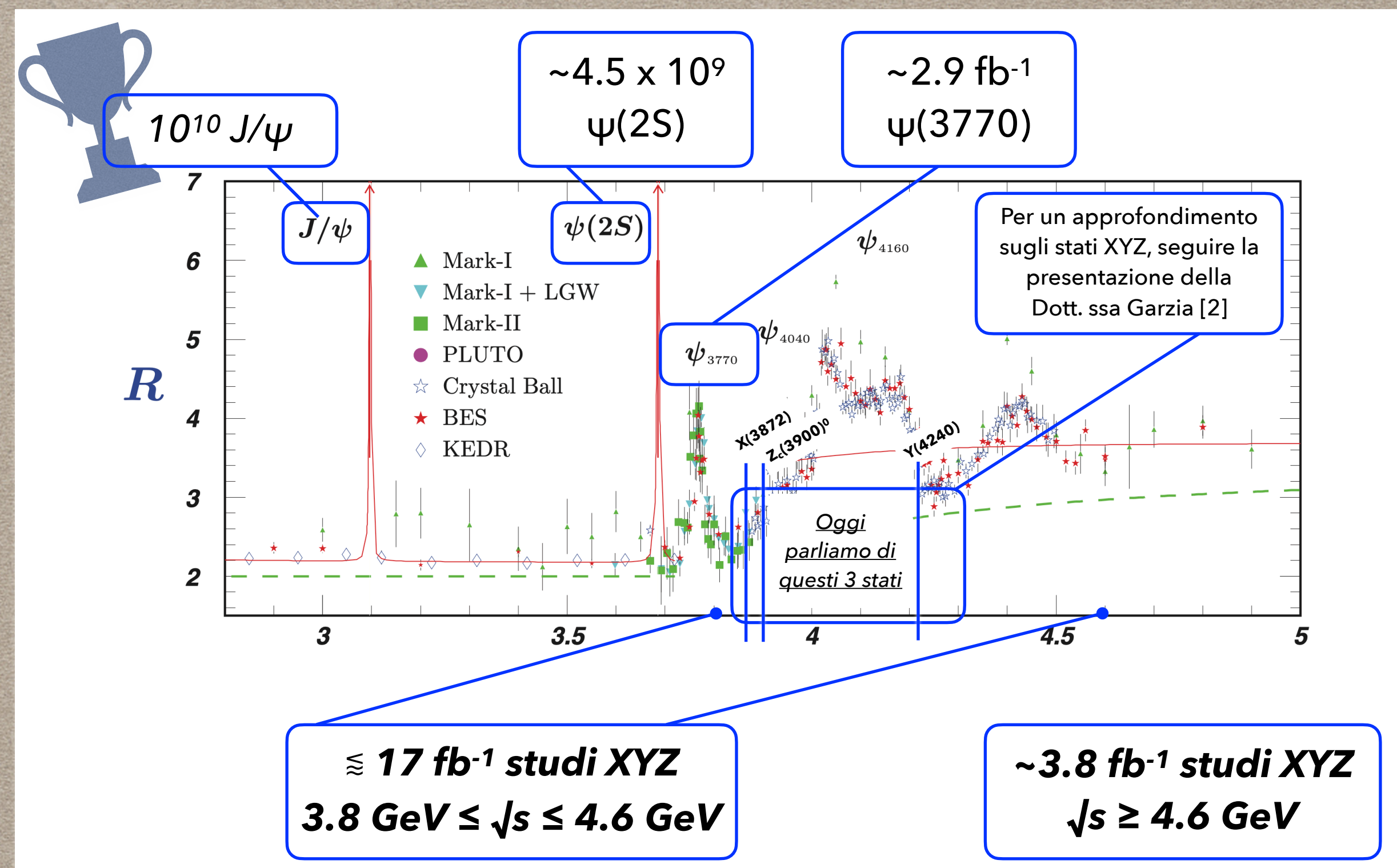
L'esperimento BESIII

BESIII (BEijing Spectrometer III) è un esperimento situato presso il collisionatore BEPCII (Beijing Electron Positron Collider II) ad IHEP (Institute of High Energy Physics)

Essendo BEPCII una macchina leptonica, BESIII può osservare la produzione diretta di stati Y ($J^{PC} = 1^{--}$)
Il decadimento (radiativo od adronico) delle Y permette lo studio degli stati X e Z



Fabbrica τ -charm $2.0 \text{ GeV} \leq \sqrt{s} \leq 4.7 \text{ GeV}$
con una luminosità di progettazione
@ $\sqrt{s} = 3.77 \text{ GeV}$ di $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Lo stato $X(3872)$

Study of Open-Charm Decays and Radiative Transitions of the $X(3872)$

Phys. Rev. Lett. **124**, 242001

Questo articolo tratta dei decadimenti radiativi e verso mesoni $D^{(*)}$ dello stato $X(3872)$
La serie di dati, raccolti tra $4.178 \text{ GeV} \leq \sqrt{s} \leq 4.278 \text{ GeV}$, ha una luminosità integrata di 9 fb^{-1}

- Il decadimento $X(3872) \rightarrow D^{*0} \bar{D}^0 + \text{c.c.}$ è stato osservato con una significatività pari a 7.4σ
- Il decadimento $X(3872) \rightarrow \gamma D^+ D^-$ non è stato osservato
- Tracce del decadimento $X(3872) \rightarrow \gamma J/\psi$ sono state trovate con una significatività di 3.5σ
- È stato posto un limite superiore sul rapporto di decadimento relativo
 $R_{\gamma\psi} \equiv \text{Br}[X(3872) \rightarrow \gamma \psi(2S)] / \text{Br}[X(3872) \rightarrow \gamma J/\psi]$ pari a 0.59, con un livello di confidenza del 90%

Lo stato X(3872)

Le transizioni radiative

PRL **124**, 242001

Selezione stati charmonio:
 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ / $\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^-$
 $J/\psi \rightarrow l^+l^-$ ($l = e, \mu$)

Numero di eventi per la sezione d'urto ottenuto tramite un **fit simultaneo** sui **due canali di decadimento** del charmonio

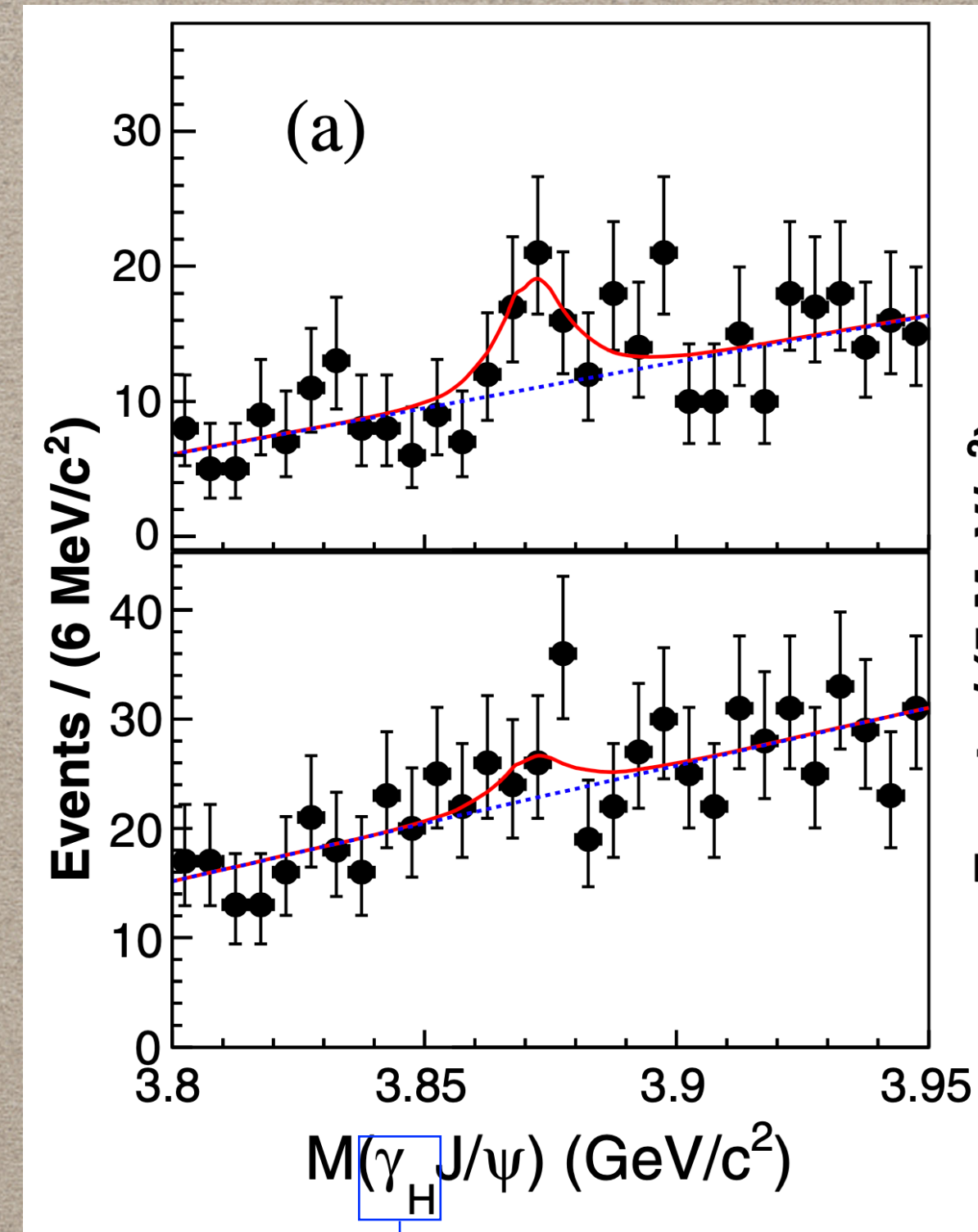
Evidenza del decadimento $X(3872) \rightarrow \gamma J/\psi$ (@3.5 σ)

Il decadimento $X(3872) \rightarrow \gamma\psi(2S)$ ha permesso di porre il seguente limite superiore

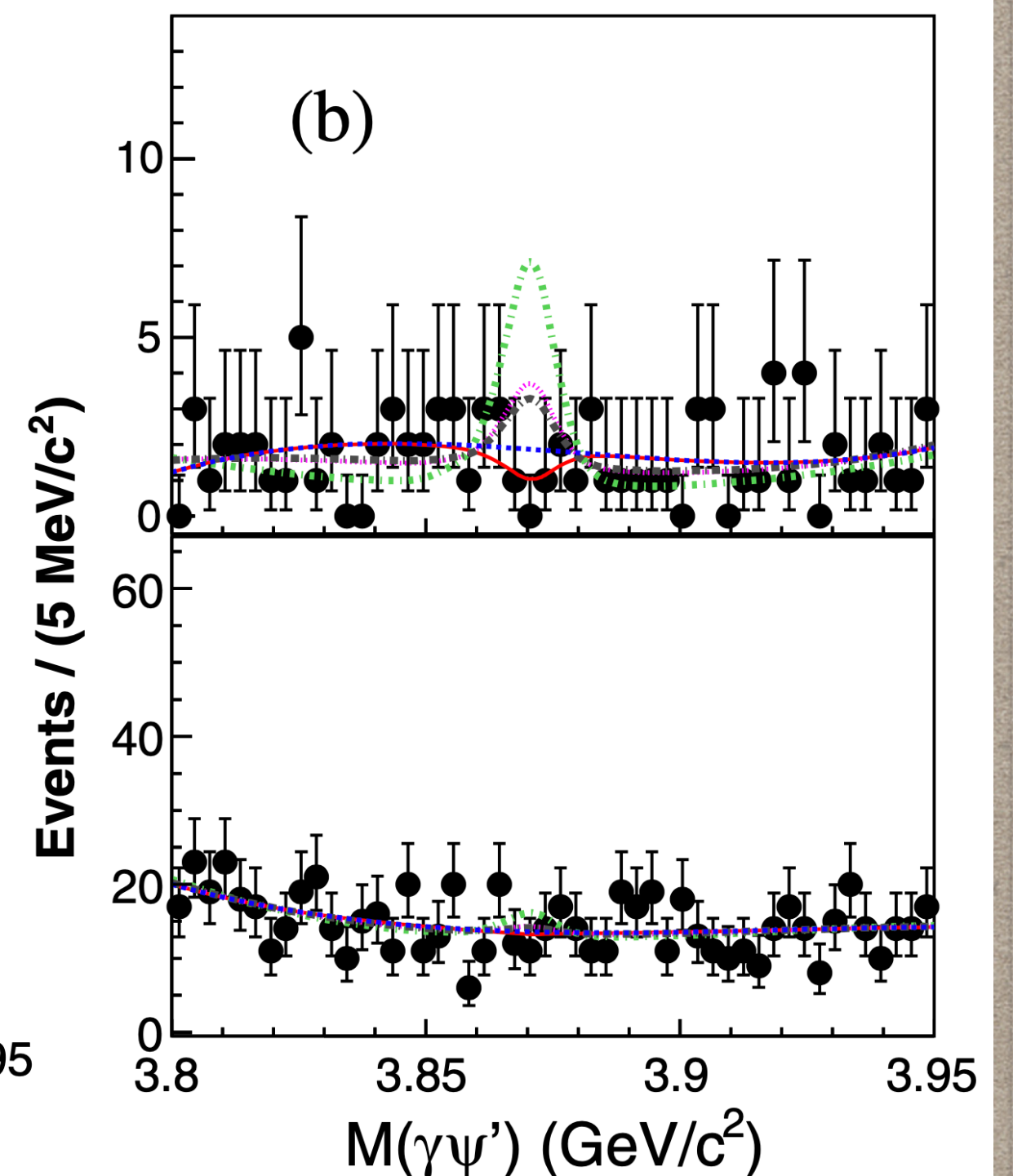
$$R_{\gamma\psi} \equiv \frac{\mathcal{B}[X(3872) \rightarrow \gamma\psi(2S)]}{\mathcal{B}[X(3872) \rightarrow \gamma J/\psi]} < 0.59$$

$R_{\gamma\psi}$ è **in accordo con** il valore trovato da **Belle** (< 2.1) [3] e suggerisce che la **X(3872)** sia una **molecola** $D^{*0}\bar{D}^0$ ($3 \sim 4 \times 10^{-3}$) [4] **oppure** una miscela **molecola-charmonio** ($0.5 \sim 5$) [5]

$X(3872) \rightarrow \gamma J/\psi$



$X(3872) \rightarrow \gamma\psi(2S)$



Per distinguerlo dal γ_L di $e^+e^- \rightarrow \gamma X(3872)$, con minor momento

Lo stato X(3872)

PRL **124**, 242001

Le transizioni verso mesoni $D^{(*)}$

Considerati anche canali non risonanti a 3 corpi $\gamma/\pi^0 D^0 \bar{D}^0$

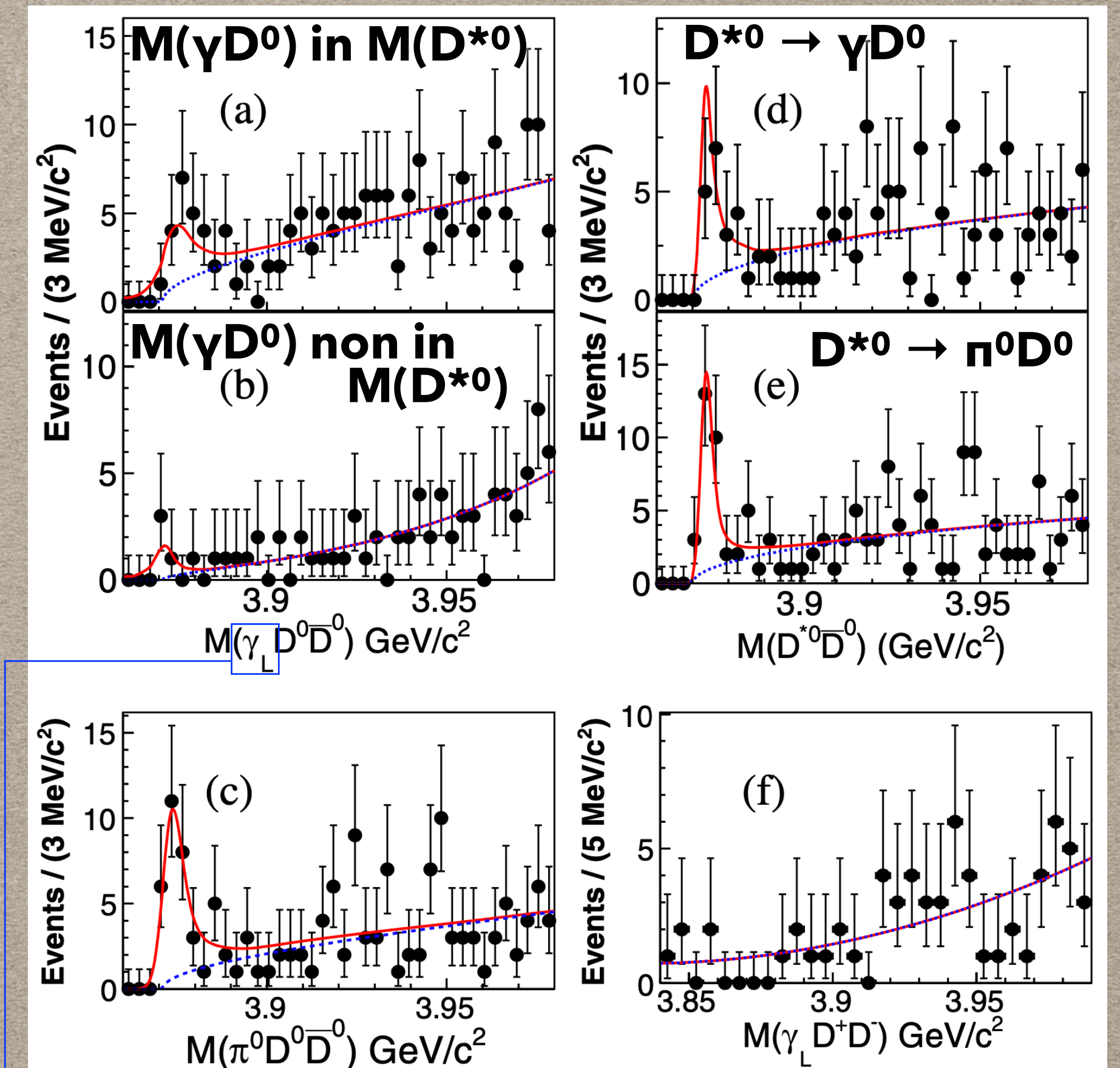
Numero di eventi della transizione $D^{*0} \bar{D}^0$ ottenuto tramite un **fit simultaneo** sui **due canali di decadimento** del mesone D^{*0} ($D^{*0} \rightarrow \pi^0 D^0$ / $D^{*0} \rightarrow \gamma D^0$)

Osservato il decadimento $X(3872) \rightarrow D^{*0} \bar{D}^0 + \text{c.c.}$ (@7.4 σ)

I restanti decadimenti ($\rightarrow \gamma/\pi^0 D^0 D^0$ & $\rightarrow \gamma D^+ D^-$) non sono significativi o non sono stati osservati

Vista la non conoscenza di $\text{Br}[e^+e^- \rightarrow \gamma X(3872)]$ e nell'ipotesi che X(3872) sia una molecola $D^{*0} \bar{D}^0$, è stato **stimato** il **rapporto** dei **Br misurati con** $\text{Br}[X(3872) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi]$

Mode	Ratio	UL
$\gamma J/\psi$	0.79 ± 0.28	...
$\gamma \psi'$	-0.03 ± 0.22	< 0.42
$\gamma D^0 \bar{D}^0$	0.54 ± 0.48	< 1.58
$\pi^0 D^0 \bar{D}^0$	-0.13 ± 0.47	< 1.16
$D^{*0} \bar{D}^0 + \text{c.c.}$	11.77 ± 3.09	...
$\gamma D^+ D^-$	$0.00^{+0.48}_{-0.00}$	< 0.99
$\omega J/\psi$	$1.6^{+0.4}_{-0.3} \pm 0.2$ [18]	...
$\pi^0 \chi_{c1}$	$0.88^{+0.33}_{-0.27} \pm 0.10$ [27]	...



Per distinguerlo dal γ_H di $e^+e^- \rightarrow \gamma X(3872)$, con maggior momento

Gli stati $Y(4220)$ e $Z_c(3900)^0$

Study of the process $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$ and neutral charmoniumlike state $Z_c(3900)^0$

Phys. Rev. D **102**, 012009

In questa pubblicazione, è stata misurata la sezione d'urto del processo $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$
L'articolo studia, inoltre, la massa invariante $M(\pi^0 J/\psi)$ per l'analisi dello stato neutro $Z_c(3900)^0$
La serie di dati, raccolti tra $3.808 \text{ GeV} \leq \sqrt{s} \leq 4.600 \text{ GeV}$, ha una luminosità integrata di 12 fb^{-1}

- Un fit alla **sezione d'urto** del processo $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$, permette di misurare la **massa** ed l'**ampiezza** dello stato **$Y(4220)$**
- Il rapporto di decadimento relativo **$\text{Br}[e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi]/\text{Br}[e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi]$** pari a **$0.48 \pm 0.02$** è **consistente** con la **simmetria** di **isospin**
- Lo stato neutro **$Z_c(3900)^0$** è stato osservato, e la sua **massa, ampiezza e spin-parità** sono state misurate
- È stata stimata la **sezione d'urto** della catena di decadimento **$e^+e^- \rightarrow \pi^0 Z_c(3900)^0 \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$**
- Una **correlazione** tra i due stati esotici **$Y(4220)$ & $Z_c(3900)^0$** è stata **stabilita** per la **prima volta**

Gli stati $Y(4220)$ e $Z_c(3900)^0$

PRD **102**, 012009

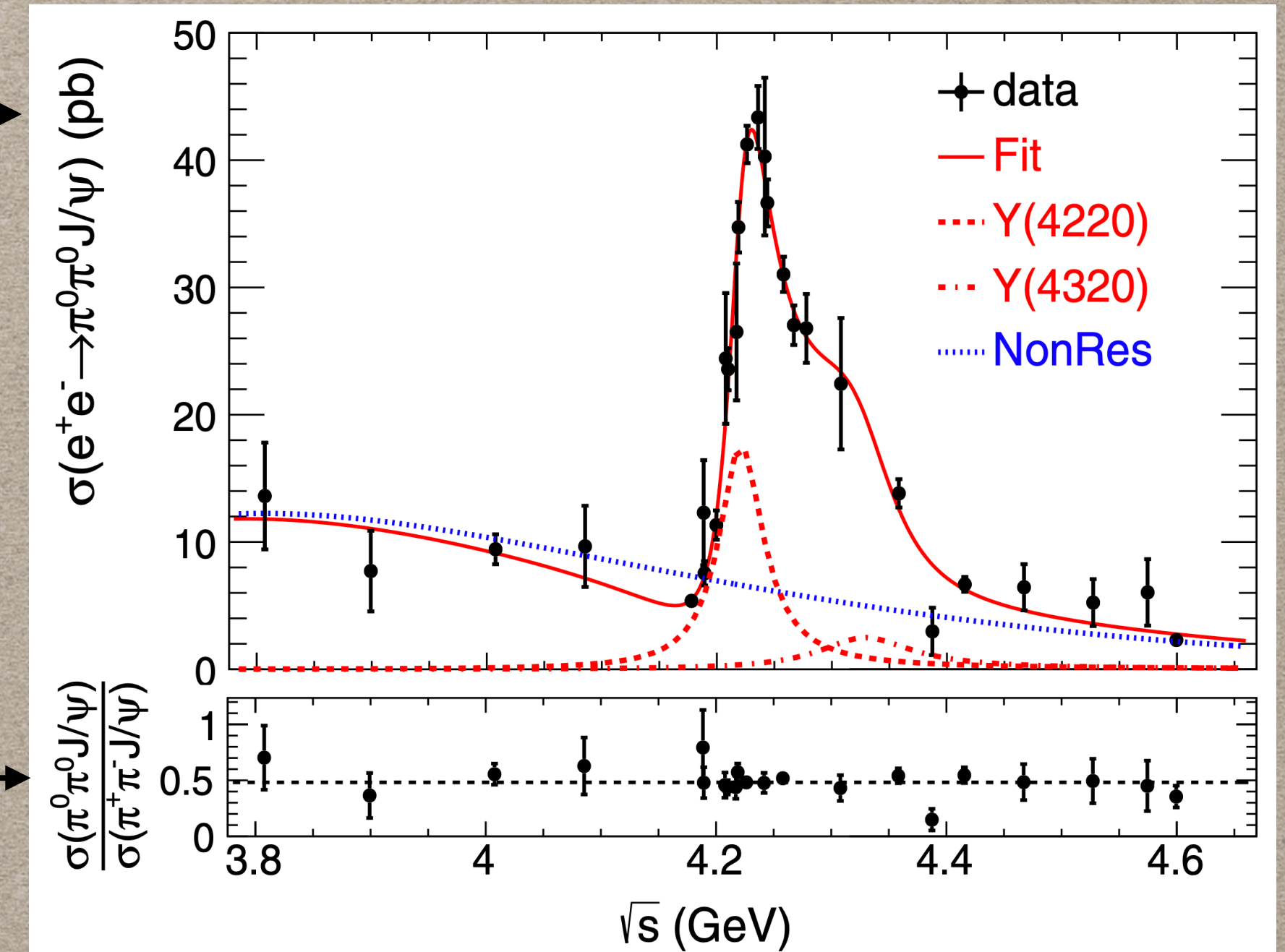
$$e^+e^- \rightarrow Y(4220) \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi$$

Numero di eventi ottenuto tramite **fit** sulla **massa invariante l^+l^-**
(da $J/\psi \rightarrow l^+l^-$ ($l = e, \mu$)) **per ogni punto di energia**

Il fit alla forma funzionale della sezione d'urto permette di stimare le
caratteristiche della $Y(4220)$ [riportate nella tabella qua sotto]

Nel fit massa ed ampiezza della $Y(4320)$ (la cui significatività è stimata a 4.2σ)
sono fissate ai valori di Rif. [6], in cui questa risonanza è stata misurata per la
prima volta (con una significatività $> 7.5\sigma$)

Il rapporto di decadimento relativo **$\text{Br}[e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi]/\text{Br}[e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi]$** è
stato **stimato** in **0.48 ± 0.02**
(0.5 è la predizione basata sulla simmetria di isospin)



Parameters	Solution I	Solution II	Solution III	Solution IV
$p_0(c^2/\text{MeV})$		5.1 ± 0.5		
p_1		$(3.0 \pm 2.9) \times 10^{-2}$		
$M(R_1)(\text{MeV}/c^2)$		$4220.4 \pm 2.4 \pm 2.3^{\text{sist.}}$		
$\Gamma_{\text{tot}}(R_1)(\text{MeV})$		$46.2 \pm 4.7 \pm 2.1^{\text{sist.}}$		
$\Gamma_{ee}^1 \mathcal{B}_{R_1 \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi}^1 (\text{eV})$	0.99 ± 0.17	4.13 ± 0.28	1.38 ± 0.30	5.72 ± 0.57
$\Gamma_{ee}^2 \mathcal{B}_{R_2 \rightarrow \pi^0\pi^0 J/\psi}^2 (\text{eV})$	0.31 ± 0.15	0.41 ± 0.20	6.44 ± 0.41	8.51 ± 0.44
$\phi(R_1)$	$(16.8 \pm 5.5)^\circ$	$(-73.6 \pm 3.6)^\circ$	$(63.0 \pm 8.4)^\circ$	$(-28.2 \pm 2.0)^\circ$
$\phi(R_2)$	$(133.5 \pm 12.3)^\circ$	$(99.2 \pm 1.6)^\circ$	$(-96.0 \pm 5.2)^\circ$	$(-131.3 \pm 2.8)^\circ$

Le quattro soluzioni
sono dovute
a degenerazioni
della fase φ_1

$$\sigma_{\text{fit}}(\sqrt{s}) = |\sqrt{\sigma_{NY}(\sqrt{s})} + f_1(s)e^{i\varphi_1} + f_2(s)e^{i\varphi_2}|^2$$

$$f_i(s) = \frac{M_i}{\sqrt{s}} \frac{\sqrt{12\pi\Gamma_{ee}^i\Gamma_{\text{tot}}^i\mathcal{B}_{\pi^0\pi^0 J/\psi}^i}}{s - M_i^2 + iM_i\Gamma_{\text{tot}}^i} \times \sqrt{\frac{\Phi(\sqrt{s})}{\Phi(M_i)}}$$

Gli stati $Y(4220)$ e $Z_c(3900)^0$

PRD **102**, 012009

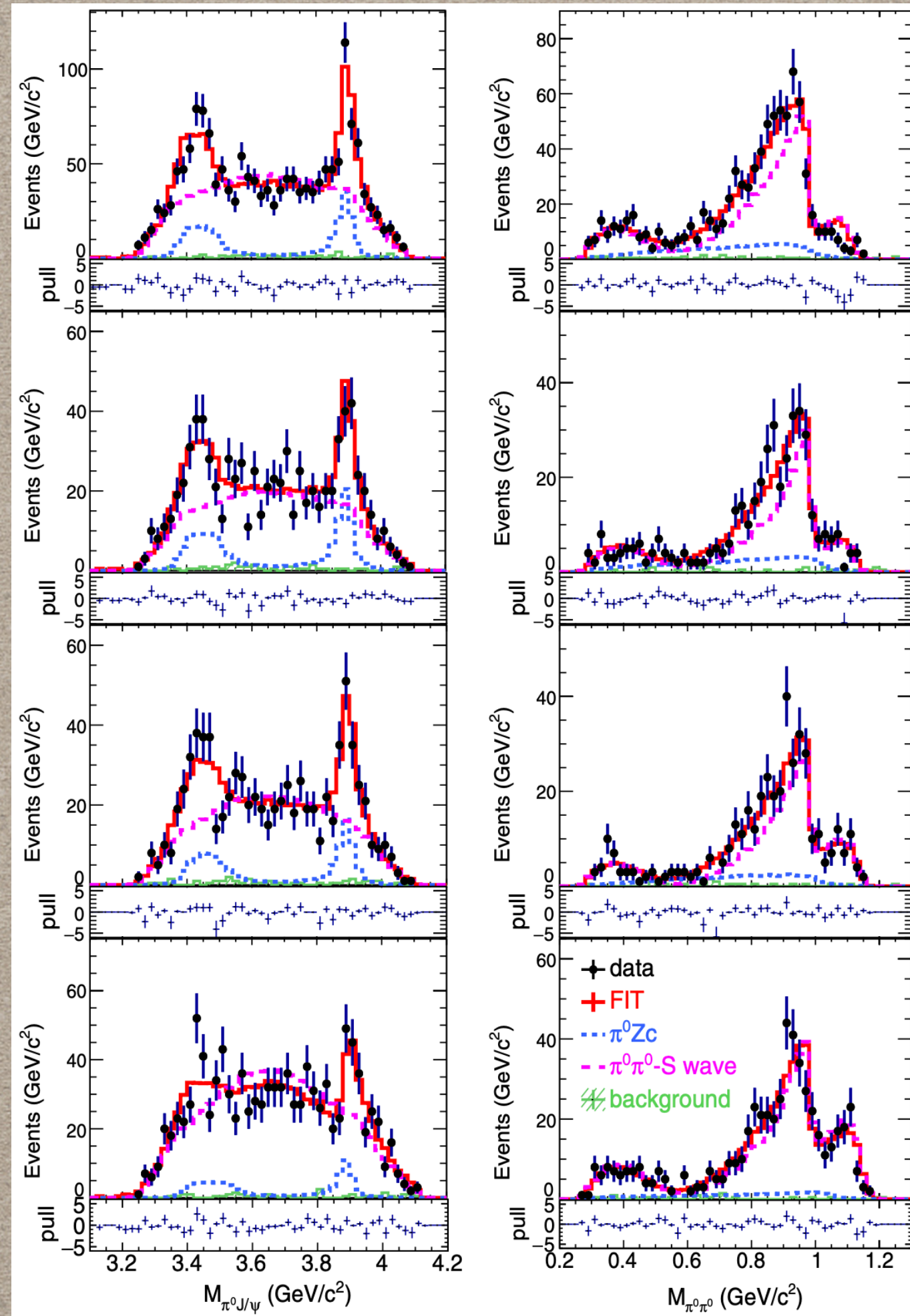
$Z_c(3900)^0 \rightarrow \pi^0 J/\psi$ - Spin-parità dello stato $Z_c(3900)^0$

$\sqrt{s}$
4.226 GeV

$\sqrt{s}$
4.236 GeV

$\sqrt{s}$
4.244 GeV

$\sqrt{s}$
4.258 GeV



Un'**Analisi ad Onde Parziali** (AOP) per il decadimento $e^+e^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$ è stata effettuata per 4 punti di energia (quelli con maggior statistica).

L'AOP, oltre dello stato esotico, tiene conto degli stati in onda S che decadono in $2\pi^0$ che hanno una significatività superiore a 5σ ($f_0(980)$, $f_0(1370)$ e σ)

Da questo studio, la **spin-parità J^P** viene stimata come **1^+** con una **significatività di 9σ** rispetto alle altre ipotesi

Massa ed ampiezza dello stato **$Z_c(3900)^0$** sono state misurate:

$$M \text{ (MeV}/c^2) = 3893.0 \pm 2.3^{\text{stat.}} \pm 19.9^{\text{sist.}}$$

$$\Gamma_{\text{tot}} \text{ (MeV)} = 44.2 \pm 5.4^{\text{stat.}} \pm 9.1^{\text{sist.}}$$

Gli stati $Y(4220)$ e $Z_c(3900)^0$

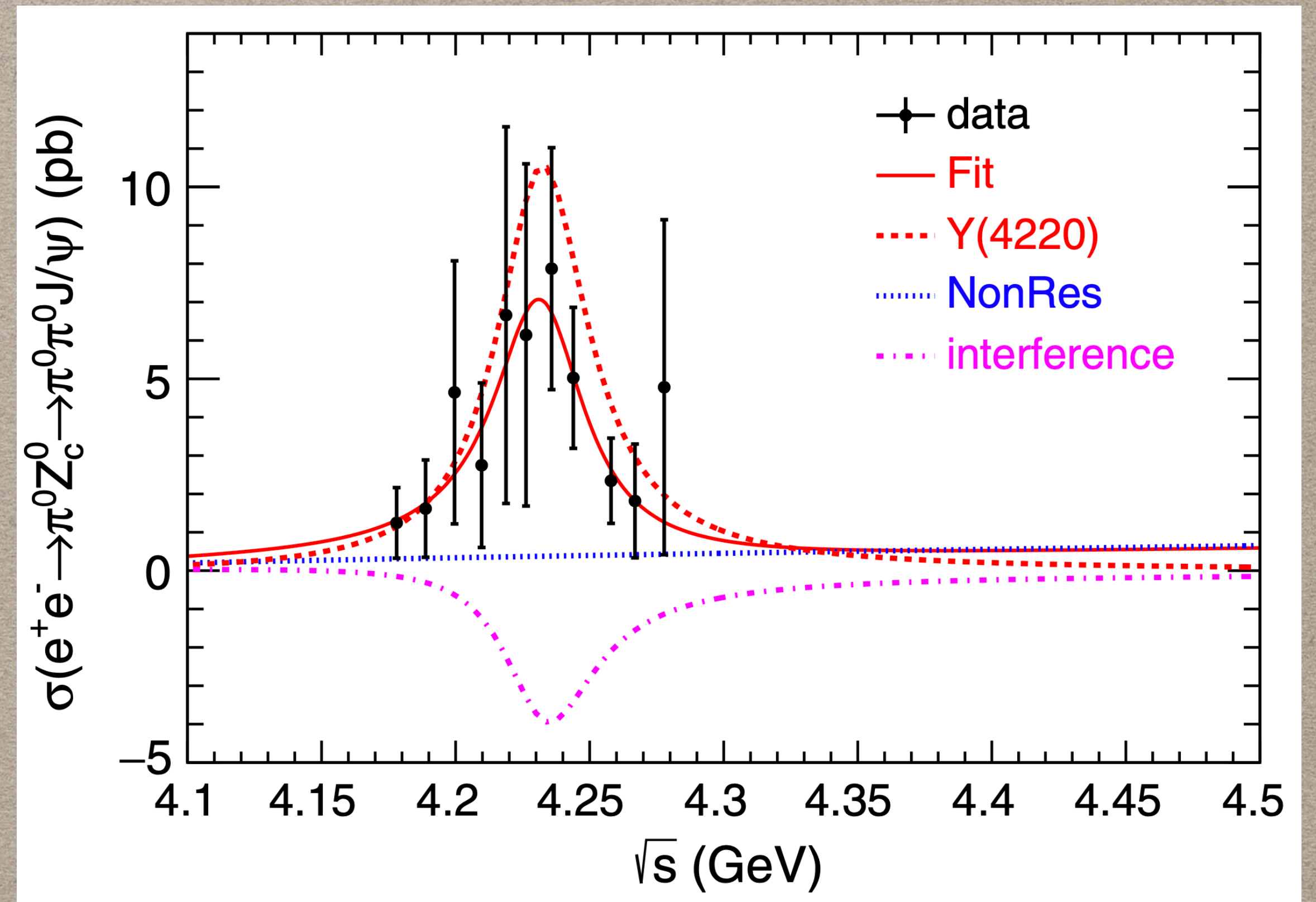
PRD **102**, 012009

$$Z_c(3900)^0 \rightarrow \pi^0 J/\psi - e^+e^- \rightarrow \pi^0 Z_c(3900)^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$$

Come nel caso della $Y(4220)$, il **numero di eventi** è estratto dall'AOP anche **per** gli altri **punti di energia** (nel qual caso le proprietà della $Z_c(3900)^0$ sono fissate ai valori stimati)
Da questi si ottiene la **sezione d'urto di Born**, su cui si esegue un fit

Il fit permette di stimare **massa ed ampiezza della $Y(4220)$** [compatibili con la misura precedente] e di stabilire per la prima volta un'**alta correlazione tra $Y(4220)$ & $Z_c(3900)^0$**

Parameters	Solution I	Solution II
$p_0(c^2/\text{MeV})$	0.0 ± 11.3	
p_1	$(1.8 \pm 1.9) \times 10^{-2}$	
$M(R) (\text{MeV}/c^2)$	$4231.9 \pm 5.3 \pm 4.9^{\text{sist.}}$	
$\Gamma_{\text{tot}}(R) (\text{MeV})$	$41.2 \pm 16.0 \pm 16.4^{\text{sist.}}$	
$\Gamma_{ee} \mathcal{B}_{R \rightarrow \pi^0 Z_c(3900)^0} (\text{eV})$	0.53 ± 0.15	0.22 ± 0.25
$\phi(R)$	$(-103.9 \pm 33.9)^\circ$	$(112.7 \pm 43.0)^\circ$



Sommario

Sono state presentate le ultime due pubblicazioni sugli stati XYZ della collaborazione BESIII, con i seguenti risultati:

- **Nuovi modi di decadimento** sono stati osservati **per** lo stato **X(3872)**
- **Possibile** natura **molecolare** (o miscela charmonio molecola) per lo stato **X(3872)**
- **Massa ed ampiezza** della risonanza **Y(4220)** sono state misurate con metodi differenti
- **Spin-parità** dello stato **Z_c(3900)⁰** è stata stimata per la prima volta
- **Massa ed ampiezza** della **Z_c(3900)⁰** sono state misurate
- Mostrata un'alta **correlazione tra** la produzione dei due stati esotici **Y(4220)** & **Z_c(3900)⁰**

Bibliografia

- [1] Il rivelatore CGEM-IT di BESIII: primi studi dai dati dei raggi cosmici
- [2] L'esperimento BESIII: Risultati e prospettive per il futuro
- [3] Observation of $X(3872) \rightarrow J/\psi\gamma$ and Search for $X(3872) \rightarrow \psi'\gamma$ in B Decays, *PRL* **107**, 091803
- [4] Quark structure of the $X(3872)$ and resonances, *PRD* **90**, 054010
- [5] New states above charm threshold, *PRD* **73**, 014014
- [6] Precise Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ Cross Section at Center-of-Mass Energies from 3.77 to 4.60 GeV, *PRL* **118**, 092001