

# Заряженные чармониеподобные состояния в эксперименте Belle

Кирилл Чиликин

<sup>1</sup>Институт Теоретической и Экспериментальной Физики

Международная сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН

7 ноября 2013

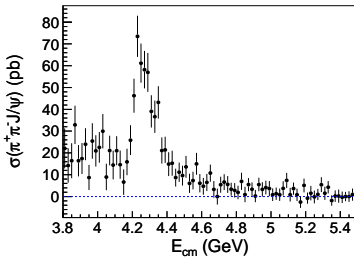
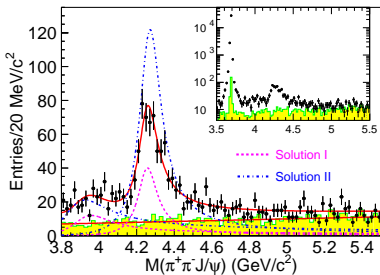
## Обнаружение $Z_c(3900)^+$ .

Z. Q. Liu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 252002 (2013).

# $Y(4260) (e^+e^- \rightarrow (J/\psi\pi^+\pi^-)\gamma)_{ISR}$

Отбор событий:

- Идентификация частиц.
- $|M_{rec}|^2 < 2 \text{ ГэВ}^2/c^4$ .
- $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ :  $M_{\pi\pi}^2 > 0.32 \text{ ГэВ}^2/c^4$ ,  $E(ECL) < 9 \text{ ГэВ}$ .
- $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ :  $|\cos\theta_\mu| < 0.7$ , если только один  $\mu$  идентифицирован как  $\mu$ .
- $|M_{J/\psi} - 3.1 \text{ ГэВ}/c^2| < 0.04 \text{ ГэВ}/c^2$



Состояния:  $Y(4260)$ ,  $Y(4008)$ .

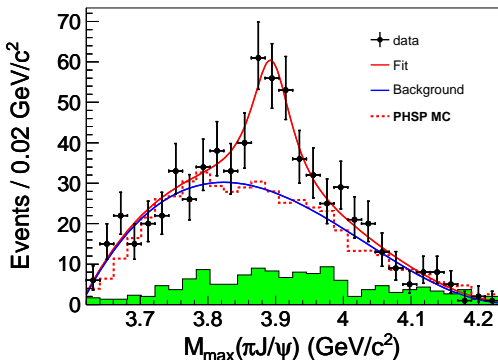
# $Z_c(3900)^+$ : подгонка $M_{J/\psi}^2$

- Область  $Y(4260)$ : от 4.15 до 4.45  $\text{ГэВ}/c^2$ .
- Фон - многочлен 3 степени, интерференции нет.

$$M = 3894.5 \pm 6.6 \pm 4.5 \text{ МэВ}$$

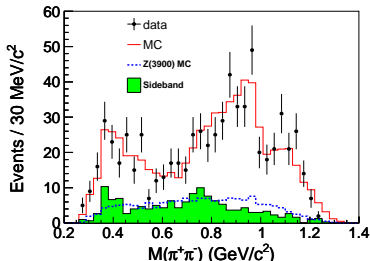
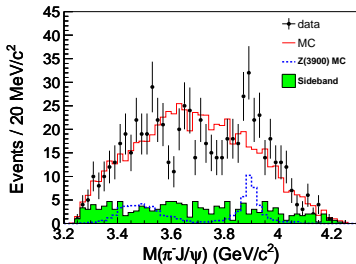
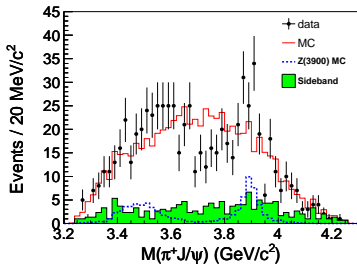
$$\Gamma = 63 \pm 24 \pm 26 \text{ МэВ}$$

$$\frac{B(Y(4260) \rightarrow Z_c(3900)^\pm \pi^\pm) B(Z_c(3900)^\pm \rightarrow \pi^\pm J/\psi)}{B(Y(4260) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-)} = (29.0 \pm 8.9)\%$$



# $Z_c(3900)^+$ : массовые распределения

Парциально-волновой анализ [ $f_0(500)$ ,  $f_0(980)$ , нерезонансная S-волна,  $f_2(1270)$ ]  $\rightarrow$  MC.

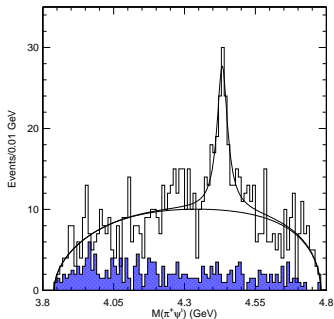


Амплитудный анализ  $\bar{B}^0 \rightarrow \psi' K^- \pi^+$ .

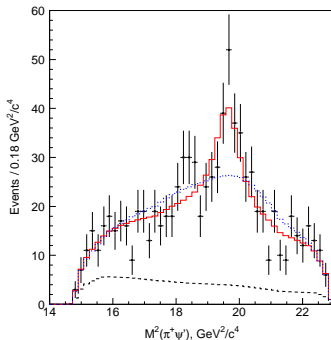
К. Chilikin *et al.*, Phys. Rev. D **88**, 074026 (2013).

# $Z_c(4430)^+$ (в распаде $\bar{B}^0 \rightarrow \psi' K^- \pi^+$ )

Обнаружение (1-мерный)  
 S.-K. Choi *et al.* Phys. Rev. Lett.  
**100** (2008) 142001

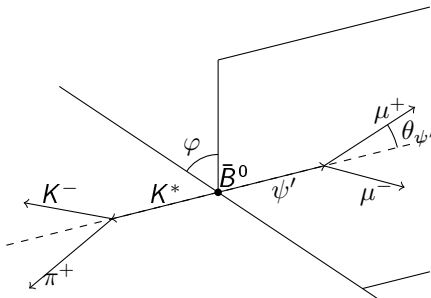


Далитц-анализ  
 R. Mizuk *et al.*, Phys. Rev. D **80**,  
 031104(R) (2009).



В обоих анализах производится интегрирование по фазовому пространству, и часть информации теряется.

$$S(\Phi) = \sum_{\xi=1,-1} \left| \sum_{K^*} \sum_{\lambda=-1,0,1} A_{\lambda\xi}^{K^*} + \sum_{\lambda'=-1,0,1} A_{\lambda'\xi}^{Z_c^+} \right|^2.$$



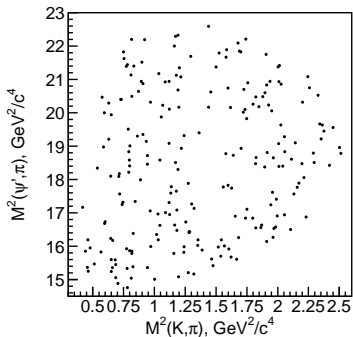
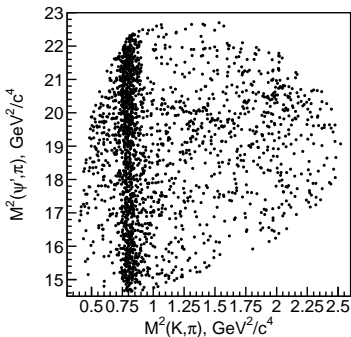
Амплитуды  $A_{\lambda\xi}^{K^*}$  и  $A_{\lambda'\xi}^{Z_c^+}$  зависят от угловых переменных; интегрирование не производилось.

Небинированная подгонка в 4-мерном пространстве с нормированием по МС.

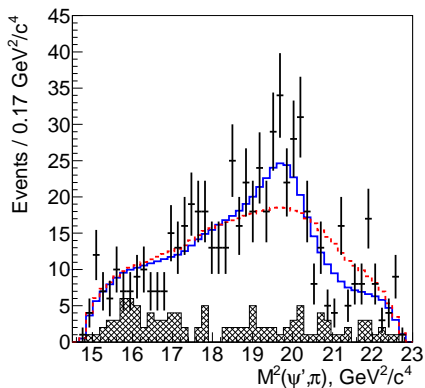


# Данные: сигнальная и контрольная области

- $\psi(2S) \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ,  $\psi(2S) \rightarrow e^+ e^-$
- Идентификация;  $dr < 0.2$  см,  $dz < 2.0$  см;  
 $|m_{\psi'} - m_{\psi'}^{(PDG)}| < 60$  МэВ;  $|\Delta E| < 15$  МэВ;  
 $|M_{bc} - m_B^{(PDG)}| < 7$  МэВ.
- $R_2$ ,  $\cos \theta_B$  - ограничений нет.



$J^P$	$0^-$	$1^-$	$1^+$	$2^-$	$2^+$
Масса, МэВ/ $c^2$	$4479 \pm 16$	$4477 \pm 4$	$4485 \pm 20$	$4478 \pm 22$	$4384 \pm 19$
Ширина, МэВ	$110 \pm 50$	$22 \pm 14$	$200 \pm 40$	$83 \pm 25$	$52 \pm 28$
Значимость	$4.5\sigma$	$3.6\sigma$	$6.4\sigma$	$2.2\sigma$	$1.8\sigma$



Вклады:  $K_0^*(800)$ ,  $K^*(892)$ ,  
 $K^*(1410)$ ,  $K_0^*(1430)$ ,  
 $K_2^*(1430)$ ,  $K^*(1680)$ ,  $Z_c^+$ .

Предпочтительная гипотеза -  
 $J^P = 1^+$  (подгонка на рис.).

С учётом систематических  
 ошибок

$$M = 4485_{-22}^{+22+28} \text{ МэВ}/c^2,$$

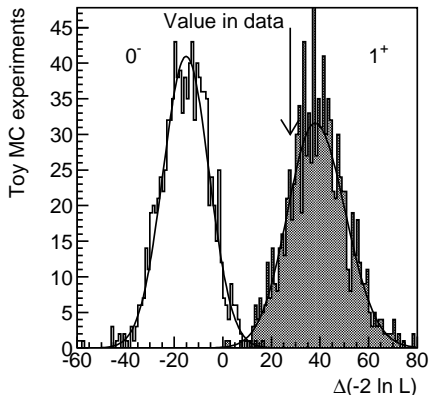
$$\Gamma = 200_{-46}^{+41+26} \text{ МэВ}.$$

## Значимость из численных экспериментов

Для вычисления значимости исключения гипотезы  $J^P = j^P$  генерируются псевдоэксперименты в соответствии с результатом подгонки данных с  $J^P = j^P$ , и производится их подгонка с квантовыми числами  $j^P$  и  $1^+$ .

$$\Delta(-2 \ln L) = (-2 \ln L)_{J^P=0^-} - (-2 \ln L)_{J^P=1^+}.$$

Значимость  $1^+/0^-$ :



$$p = \int_{\Delta_d}^{+\infty} f_{0^-}(\Delta) d\Delta$$

Доверительный уровень  $1^+$ :

$$p = \int_{-\infty}^{\Delta_d} f_{1^+}(\Delta) d\Delta$$

Model	$0^-$		$1^-$		$2^-$		$2^+$	
	$1^+/0^-$	$1^+$ CL	$1^+/1^-$	$1^+$ CL	$1^+/2^-$	$1^+$ CL	$1^+/2^+$	$1^+$ CL
Default	$4.7\sigma$	17%	$6.3\sigma$	16%	$6.5\sigma$	50%	$8.2\sigma$	38%
Without $K^*(1410)$	$6.4\sigma$	40%	$7.2\sigma$	25%	$7.7\sigma$	43%	$9.2\sigma$	50%
Without $K_0^*(1430)$	$5.0\sigma$	22%	$4.1\sigma$	19%	$8.9\sigma$	69%	$8.9\sigma$	33%
Without $K^*(1680)$	$7.1\sigma$	54%	$8.2\sigma$	58%	$10.0\sigma$	79%	$11.1\sigma$	75%
With $K_3^*(1780)$	$3.4\sigma$	53%	$3.7\sigma$	9.8%	$4.7\sigma$	27%	$5.1\sigma$	29%
LASS	$4.8\sigma$	9.7%	$6.3\sigma$	12%	$5.5\sigma$	28%	$8.2\sigma$	30%
Partial wave	$5.1\sigma$	30%	$6.6\sigma$	28%	$7.6\sigma$	52%	$9.7\sigma$	46%
Free masses, widths	$4.8\sigma$	15%	$6.0\sigma$	14%	$6.3\sigma$	37%	$7.4\sigma$	35%
Free $r$	$5.5\sigma$	19%	$5.7\sigma$	26%	$6.5\sigma$	37%	$7.3\sigma$	43%
Nonres. (S)	$3.9\sigma$	18%	$5.0\sigma$	9.3%	$6.1\sigma$	38%	$8.4\sigma$	25%
Nonres. (S,P)	$3.4\sigma$	20%	$5.0\sigma$	18%	$6.2\sigma$	46%	$6.2\sigma$	34%
Nonres. (S,P,D)	$3.8\sigma$	20%	$4.8\sigma$	14%	$5.2\sigma$	41%	$5.2\sigma$	26%

Гипотезы  $0^-$ ,  $1^-$ ,  $2^-$  и  $2^+$  исключены на уровне  $3.4\sigma$ ,  $3.7\sigma$ ,  $4.7\sigma$  и  $5.1\sigma$ .