

A Study of exotic charged states of charmonium with PANDA in experiments with deuteron target

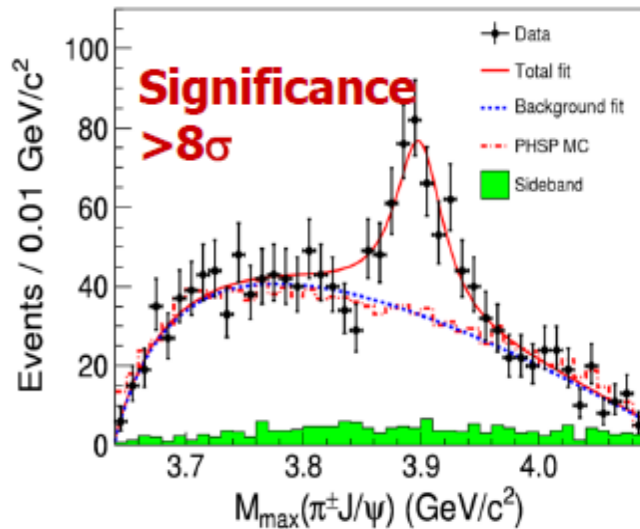
A.E. Blinov

*Budker Institute of Nuclear Physics & Novosibirsk State University,
PANDA C-meeting 2014 IV, Jülich, 10.12.2014*

1. Status of Z -states,
2. Z_c -coupling with nuclon-antinucleon channel,
3. Z_c -production in \bar{p} - d collisions,
4. Z_c -mass reconstruction,
5. Conclusions.

Observation of $Z_c(3900)$ at BESIII

PRL110, 252001 (2013)

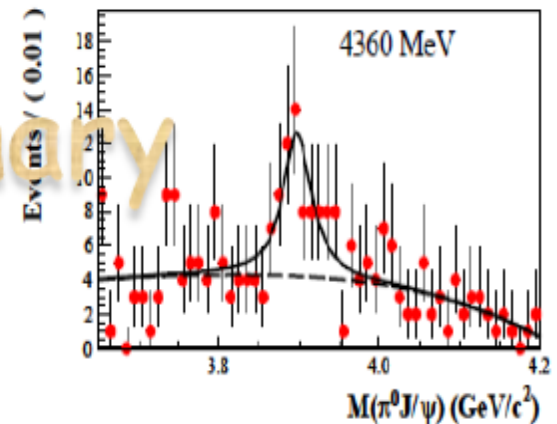
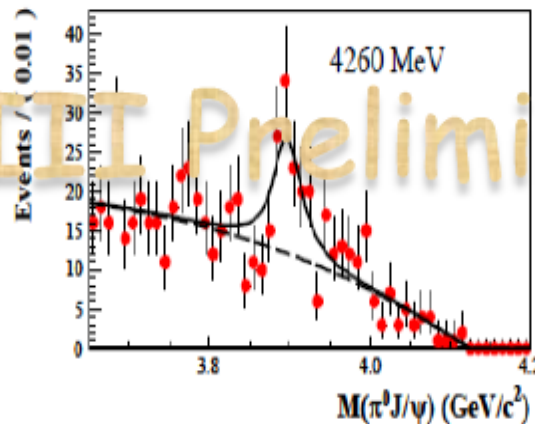
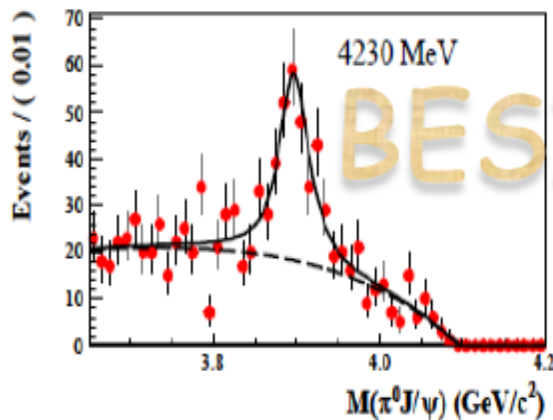


$$e^+e^- \rightarrow \pi Z_c(4020) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$$

- $M = 3899.0 \pm 3.6 \pm 4.9 \text{ MeV}/c^2$
- $\Gamma = 46 \pm 10 \pm 20 \text{ MeV}$

$$e^+e^- \rightarrow \pi Z_c(4020) \rightarrow \pi^0 \pi^0 J/\psi$$

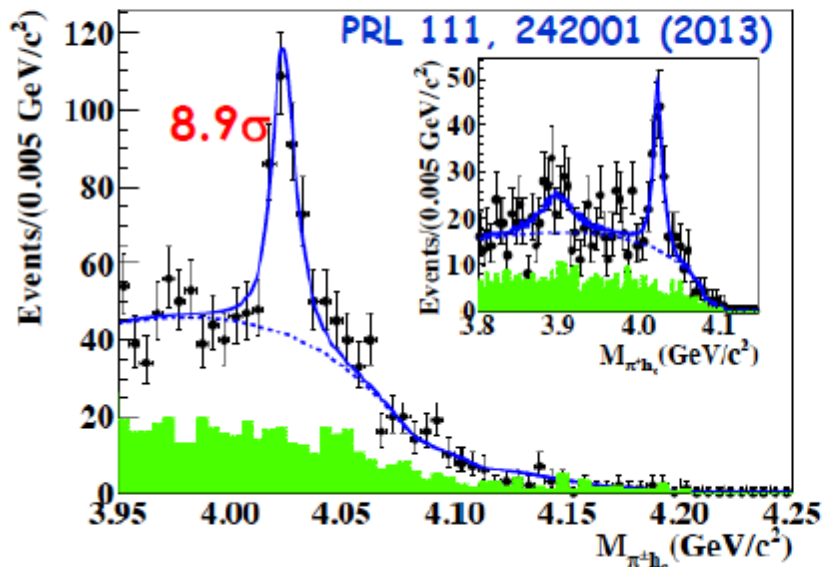
- $M = 3894.8 \pm 2.3 \text{ MeV}/c^2$
- $\Gamma = 29.6 \pm 8.2 \text{ MeV}$



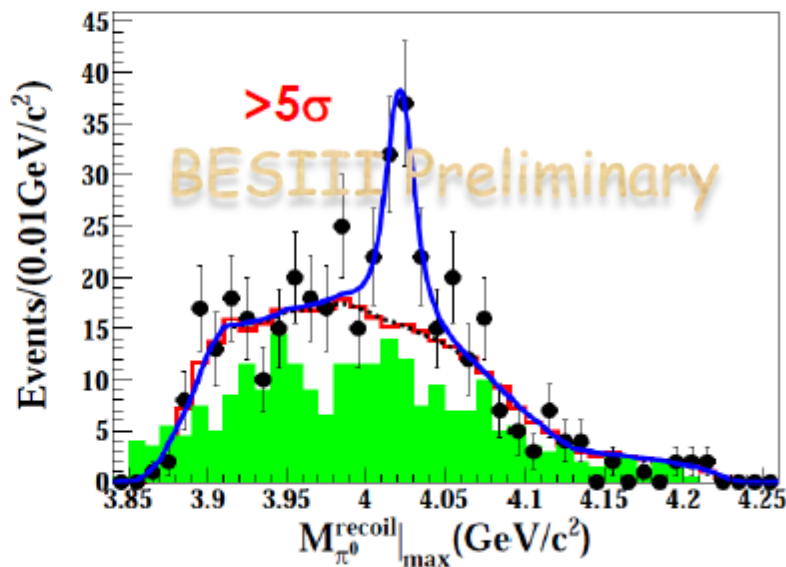
BESIII Preliminary

Observation of $Z_c(4020)$ in $e^+e^- \rightarrow \pi\pi h_c$

$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- h_c$



$e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0 h_c$



No significant: $Z_c(3900)$ (2.1 σ)

$$M = 4022.9 \pm 0.8 \pm 2.7 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma = 7.9 \pm 2.7 \pm 2.6 \text{ MeV}$$

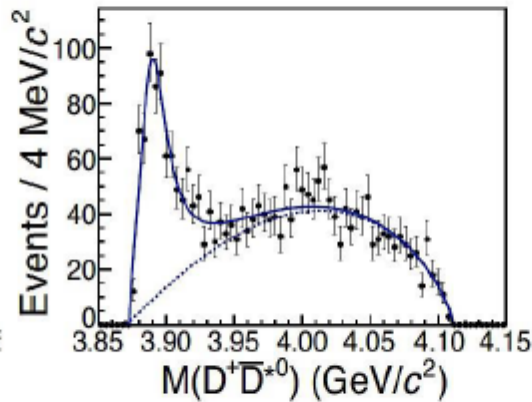
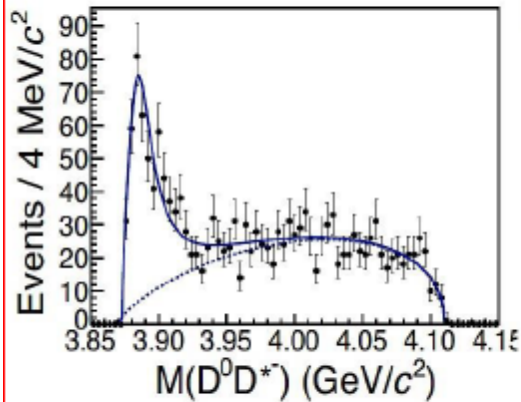
$$\frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^0 Z_c(4020)^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 h_c)}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^\pm Z_c(4020)^\mp \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp h_c)}$$

$$M = 4023.6 \pm 2.3 \pm 3.9 \text{ MeV}/c^2$$

\sqrt{s} (GeV)	$R_{\pi Z_c(4020)}$
4.230	$0.79 \pm 0.30 \pm 0.26$
4.260	$1.18 \pm 0.46 \pm 0.37$
4.360	$0.99 \pm 0.47 \pm 0.32$

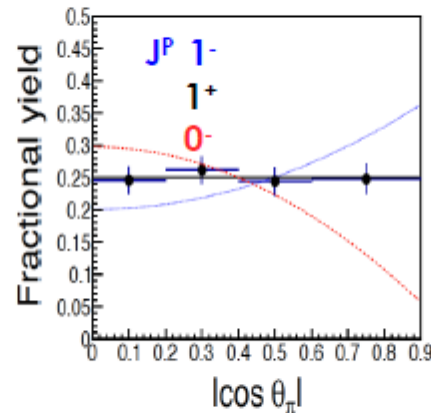
Observation of $Z_c(3885)$ and $Z_c(4025)$

$$e^+e^- \rightarrow \pi^- (D^* \bar{D})^+$$



$$M = 3883.9 \pm 1.5 \pm 4.2 \text{ MeV}/c^2$$

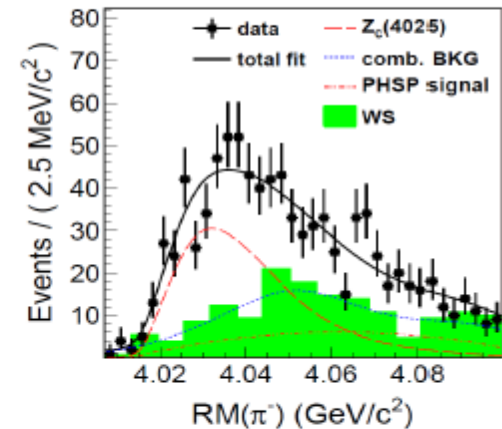
$$\Gamma = 24.8 \pm 3.3 \pm 11.0 \text{ MeV}$$



- fits favor 1^+ distribution assumption

PRL 112, 022001 (2014)

$$e^+e^- \rightarrow \pi^- (D^* \bar{D}^*)^+$$



$$M = 4026.3 \pm 2.6 \pm 3.7 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma = 24.8 \pm 5.6 \pm 7.7 \text{ MeV}$$

PRL 112, 132001 (2014)

the Z_c states at BESIII

C_{channel}	$M_{\text{mass}} \text{ (MeV}/c^2)$	$W_{\text{width}} \text{ (MeV)}$
$\pi J/\psi$	$3899.0 \pm 3.6 \pm 4.9$ $3894.8 \pm 2.3 \text{ (Prel.)}$	$46 \pm 10 \pm 20$ $29.6 \pm 8.2 \text{ (Prel.)}$
$(D \bar{D}^*)^\pm$	$3883.9 \pm 1.5 \pm 4.2$	$24.8 \pm 3.3 \pm 11.0$
	2σ difference	1σ difference
πh_c	$4022.9 \pm 0.8 \pm 2.7$ $4022.9 \pm 0.8 \pm 2.7 \text{ (Prel.)}$	$7.9 \pm 2.7 \pm 2.6$
$(D^* \bar{D}^*)^\pm$	$4026.3 \pm 2.6 \pm 3.7$	$24.8 \pm 5.6 \pm 7.7$
	1σ difference	2σ difference

Close to $D \bar{D}^*$
threshold (3875 MeV)

Close to $D^* \bar{D}^*$ threshold
(4017 MeV)

- At least 4-quarks; Near threshold;
- Isospin: $I=1$, hint of a new spectroscopy ?
- Whether they are two states need further understanding (couple channel analysis? quantum number determination? interference?)

Observation of $Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$ by BELLE

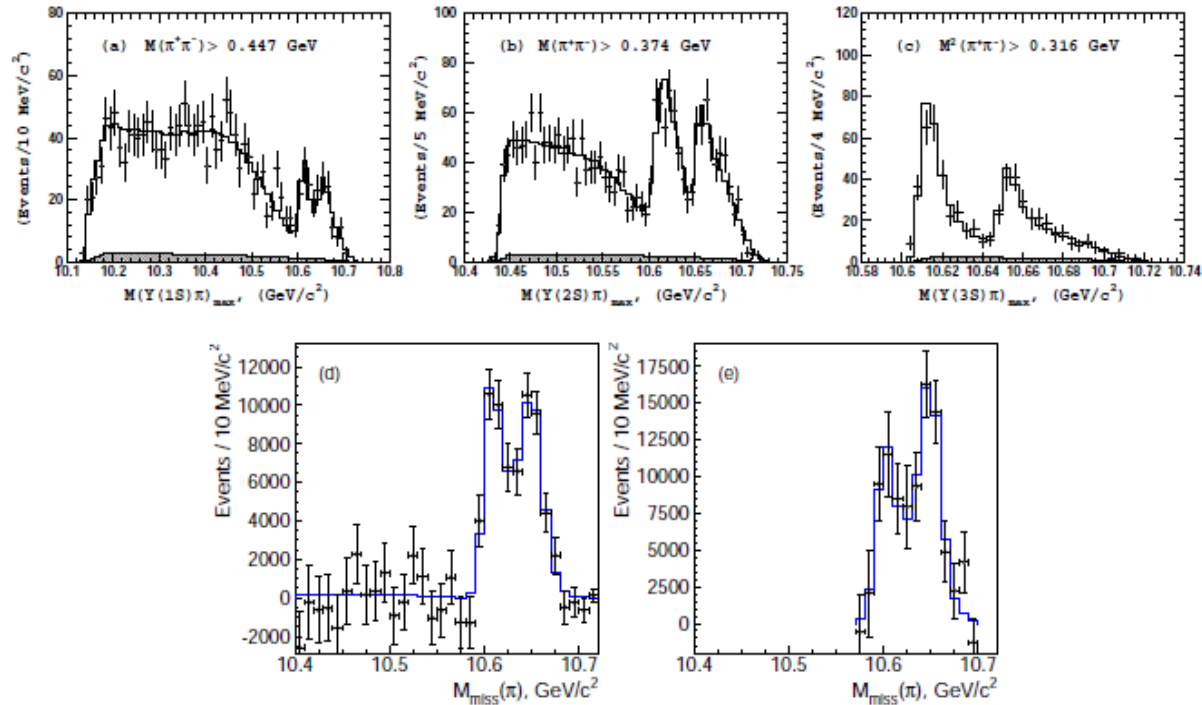


Figure 1: Invariant mass spectra of the (a) $\Upsilon(1S)\pi^\pm$, (b) $\Upsilon(2S)\pi^\pm$, (c) $\Upsilon(3S)\pi^\pm$, (d) $h_b(1P)\pi^\pm$ and (e) $h_b(2P)\pi^\pm$ combinations.

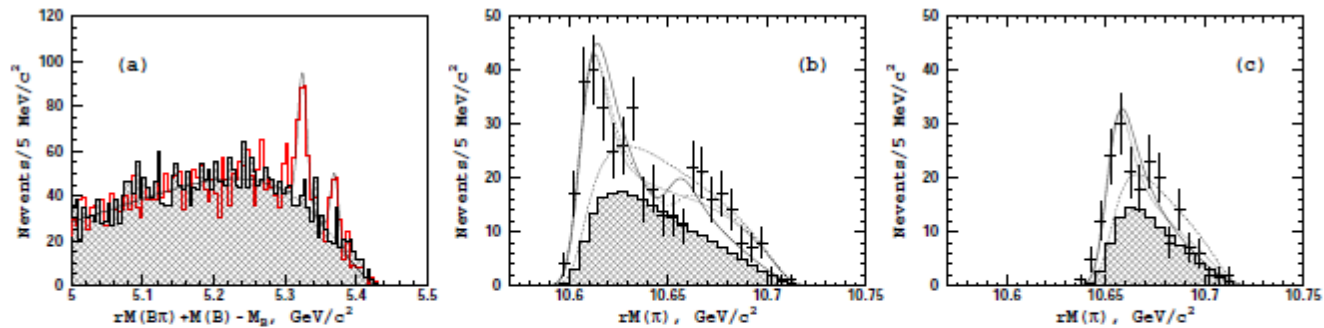


Figure 3: Missing mass of the pairs formed from the reconstructed B candidate and charged pion (a) and missing mass of the charged pions for the $B\pi$ combinations for (b) $\Upsilon(5S) \rightarrow B\bar{B}^*\pi$ and (c) $\Upsilon(5S) \rightarrow B^*\bar{B}^*\pi$ candidate events.

Parameters of $Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$ states

$$M_1 = (10607.4 \pm 2.0) \text{ MeV}/c^2, \quad M_2 = (10652.2 \pm 1.5) \text{ MeV}/c^2,$$

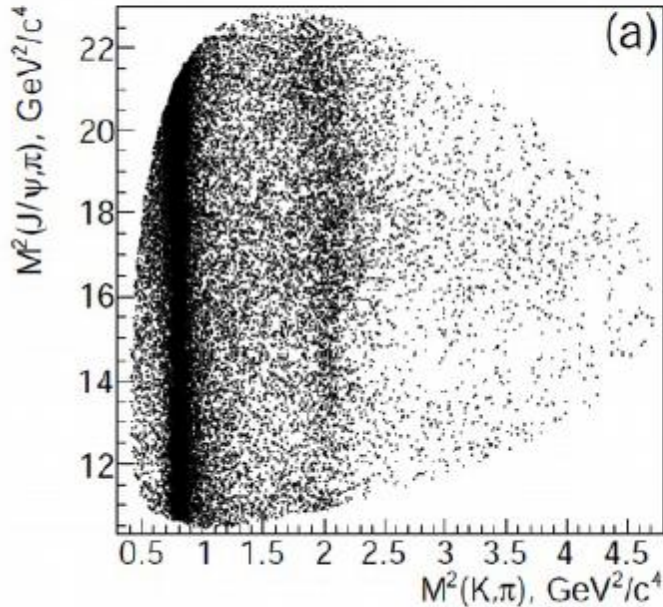
$$\Gamma_1 = (18.4 \pm 2.4) \text{ MeV}, \quad \Gamma_2 = (11.5 \pm 2.2) \text{ MeV}.$$

Table 1: Branching fractions (\mathcal{B}) of $Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$ assuming that the observed so far channels saturate their decays.

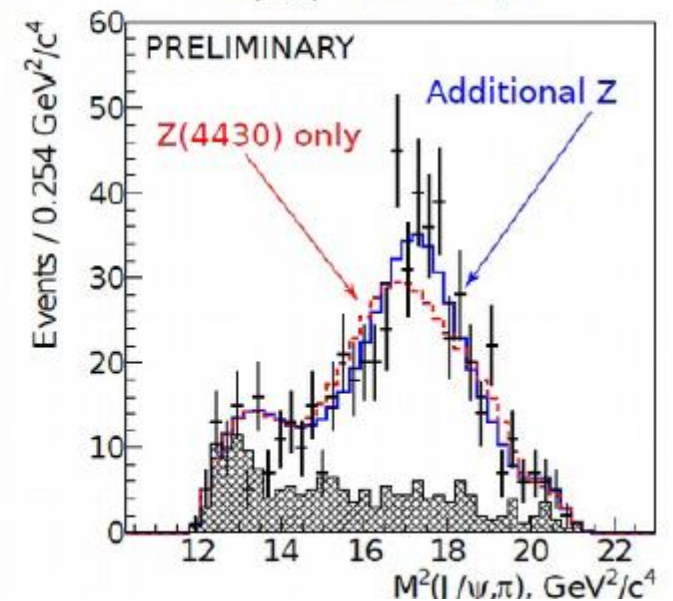
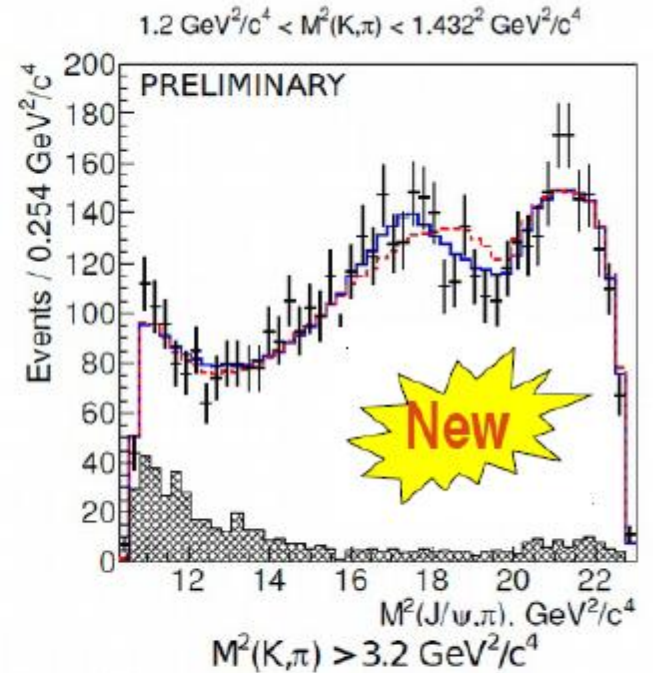
Channel	\mathcal{B} of $Z_b(10610)$, %	\mathcal{B} of $Z_b(10650)$, %
$\Upsilon(1S)\pi^+$	0.32 ± 0.09	0.24 ± 0.07
$\Upsilon(2S)\pi^+$	4.38 ± 1.21	2.40 ± 0.63
$\Upsilon(3S)\pi^+$	2.15 ± 0.56	1.64 ± 0.40
$h_b(1P)\pi^+$	2.81 ± 1.10	7.43 ± 2.70
$h_b(2P)\pi^+$	2.15 ± 0.56	14.8 ± 6.22
$B^+\bar{B}^{*0} + \bar{B}^0 B^{*+}$	86.0 ± 3.6	–
$B^{*+}\bar{B}^{*0}$	–	73.4 ± 7.0



$$B^0 \rightarrow J/\psi K^- \pi^+$$



- 4D amplitude analysis
- 10 K^* resonances, $Z^+(4430)$, $Z^+(\text{new})$
- 6.6σ significance
- $M = 4196^{+31+17}_{-29-13} \text{ MeV}/c^2$
- $G = 370 \pm 70^{+70}_{-132} \text{ MeV}$
- $J^P=1^+$



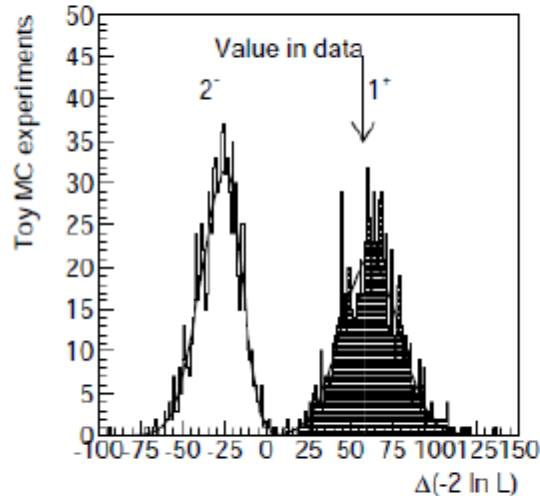


$Z^+(4200)$

Preliminary results



$J^P=1^+$, other J^P are excluded



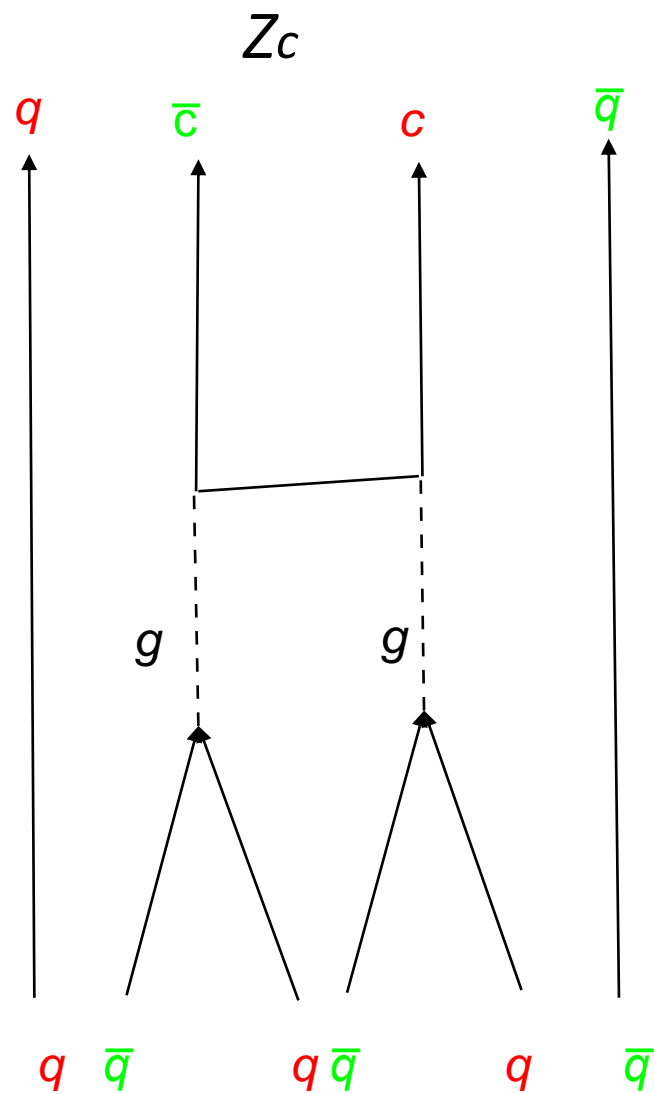
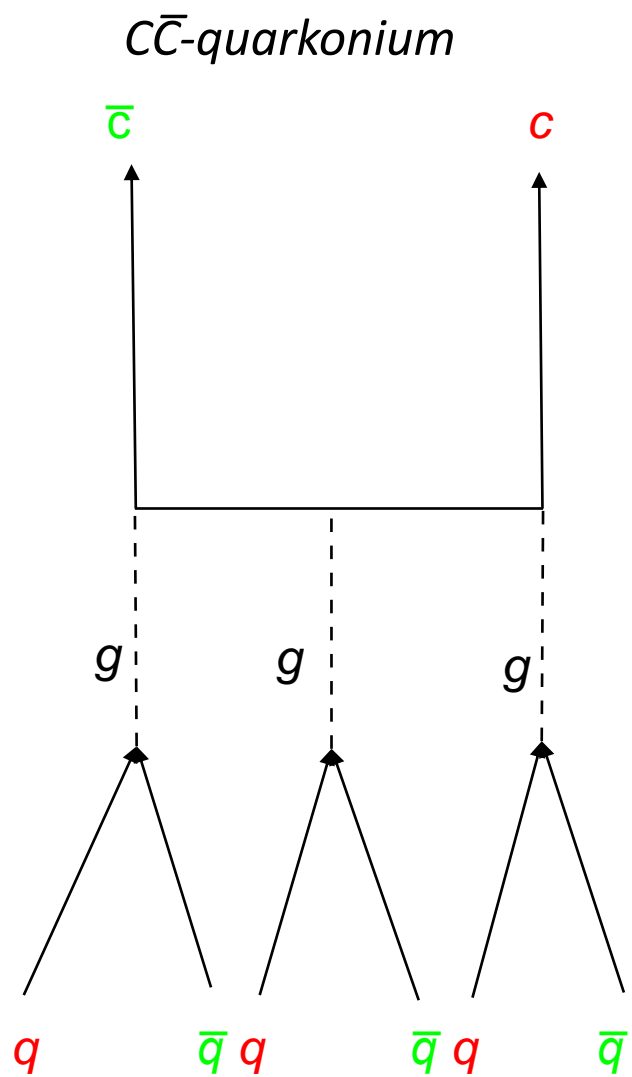
Exclusion levels of other spin-parity hypothesis

Model	0^-	1^-	2^-	2^+
Without $K^*(1680)$	8.5σ	8.5σ	8.0σ	9.0σ
Without $K_0^*(1950)$	8.4σ	8.8σ	7.3σ	8.9σ
LASS	6.1σ	7.4σ	4.4σ	7.0σ
Free masses and widths	7.6σ	7.9σ	5.9σ	7.8σ
Free r	7.4σ	8.7σ	7.5σ	9.2σ
Nonresonant ampl. (S)	7.6σ	8.1σ	7.2σ	8.5σ
Nonresonant ampl. (S,P)	7.4σ	8.1σ	7.2σ	8.4σ
Nonresonant ampl. (S,P,D)	7.2σ	8.1σ	7.1σ	8.4σ

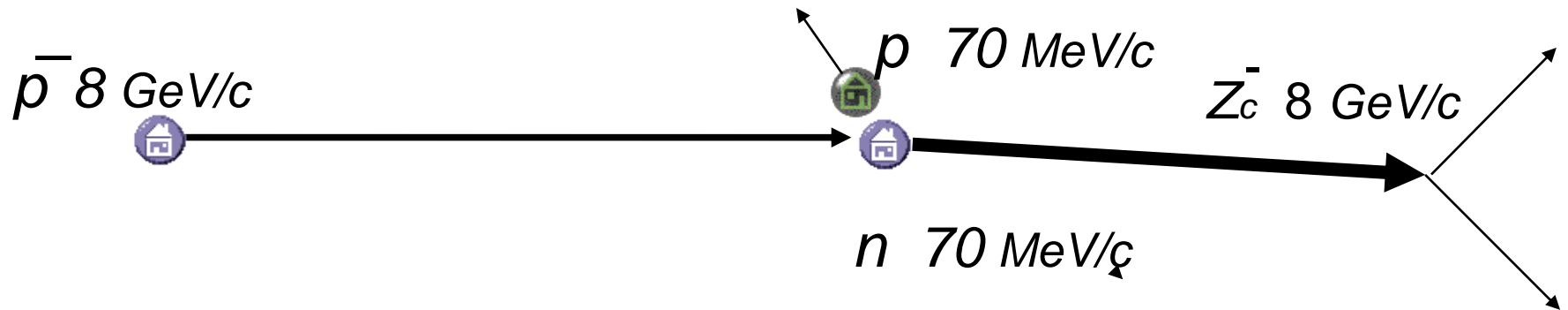
TABLE III. The fit fractions and significances of all resonances in the default model ($J^P = 1^+$).

Resonance	Fit fraction	Significance (local)
$K_0^*(800)$	$(7.1_{-0.5}^{+0.7})\%$	22.5σ
$K^*(892)$	$(69.0_{-0.5}^{+0.6})\%$	166.4σ
$K^*(1410)$	$(0.3_{-0.1}^{+0.2})\%$	4.1σ
$K_0^*(1430)$	$(5.9_{-0.4}^{+0.6})\%$	22.0σ
$K_2^*(1430)$	$(6.3_{-0.4}^{+0.3})\%$	23.5σ
$K^*(1680)$	$(0.3_{-0.1}^{+0.2})\%$	2.7σ
$K_3^*(1780)$	$(0.2_{-0.1}^{+0.1})\%$	3.8σ
$K_0^*(1950)$	$(0.1_{-0.1}^{+0.1})\%$	1.2σ
$K_2^*(1980)$	$(0.4_{-0.1}^{+0.1})\%$	5.3σ
$K_4^*(2045)$	$(0.2_{-0.1}^{+0.1})\%$	3.8σ
$Z_c(4430)^+$	$(0.5_{-0.1}^{+0.4})\%$	5.1σ
$Z_c(4200)^+$	$(1.9_{-0.5}^{+0.7})\%$	8.2σ

Couplings with nuclon-antinucleon channel: $c\bar{c}$ v.s. Z_c

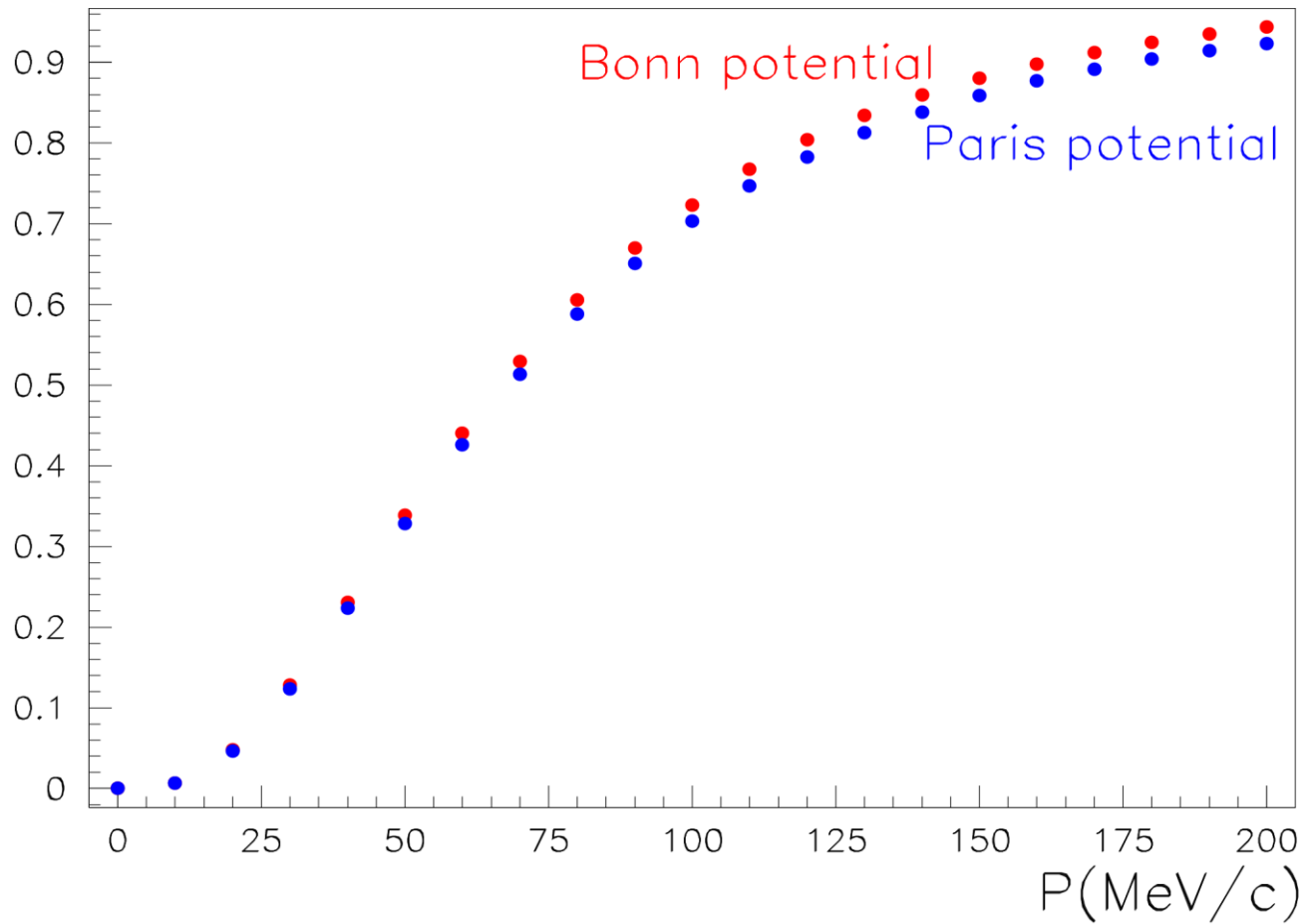


Z_c^- production in $\bar{p} - d$ collisions

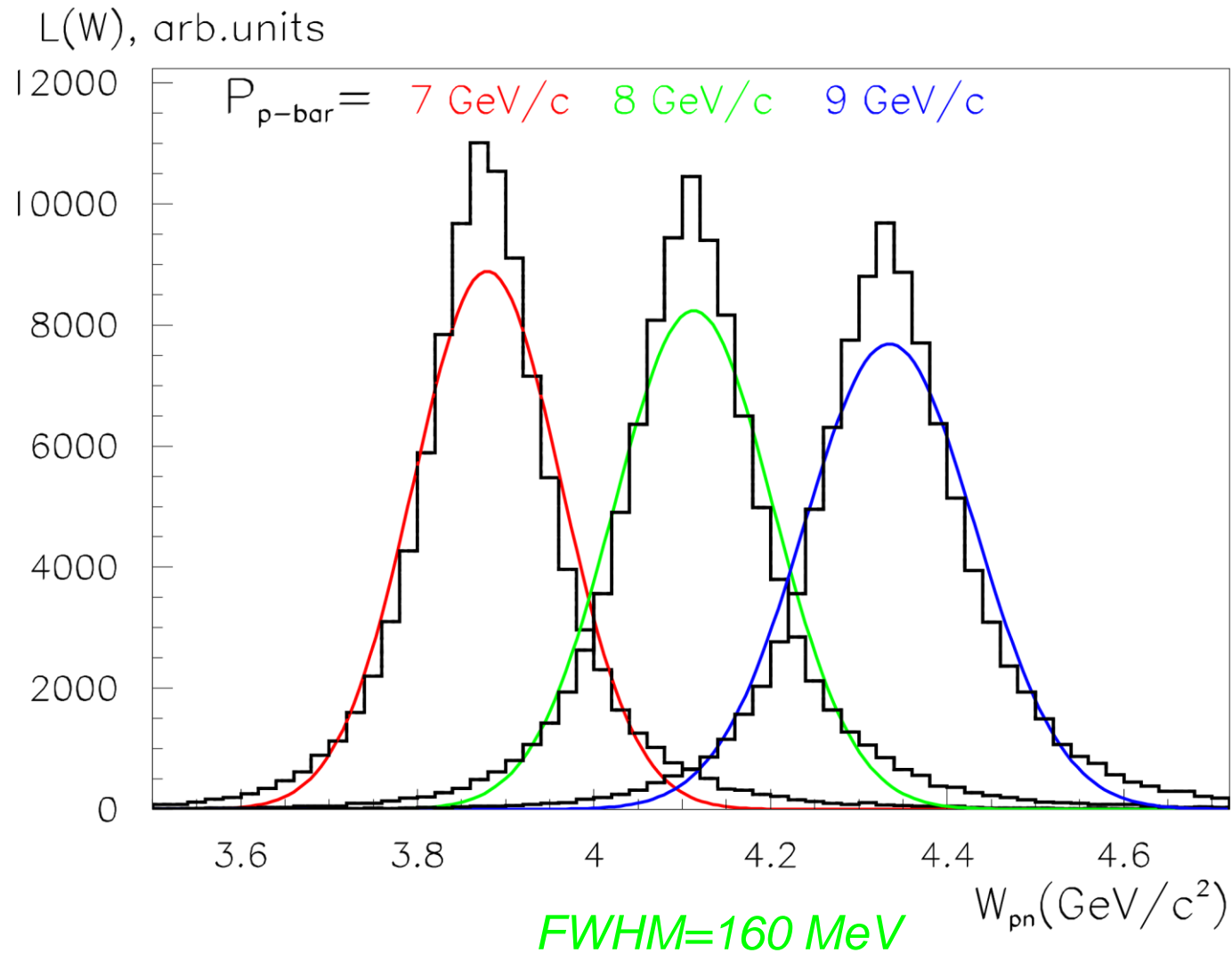


Cumulative probability distribution of P_N in deuteron

$W(P_N < P)$



W distribution of \bar{p} -n collisions



Z_c -mass reconstruction

1. M_z from momenta of Z decay products:

$\sigma(M_z)$ about 20 MeV for 4 GeV $Z \rightarrow J/\psi + \pi$ decay

2. M_z from momentum (energy) of recoil proton:

$\sigma(M_z)$ about $40 \sigma(E_p)/E_p$ MeV for 4 GeV Z

Promising, **but** 70 MeV/c proton absorbes in < 0.1 mm of Be \rightarrow

must measure E_p inside VC

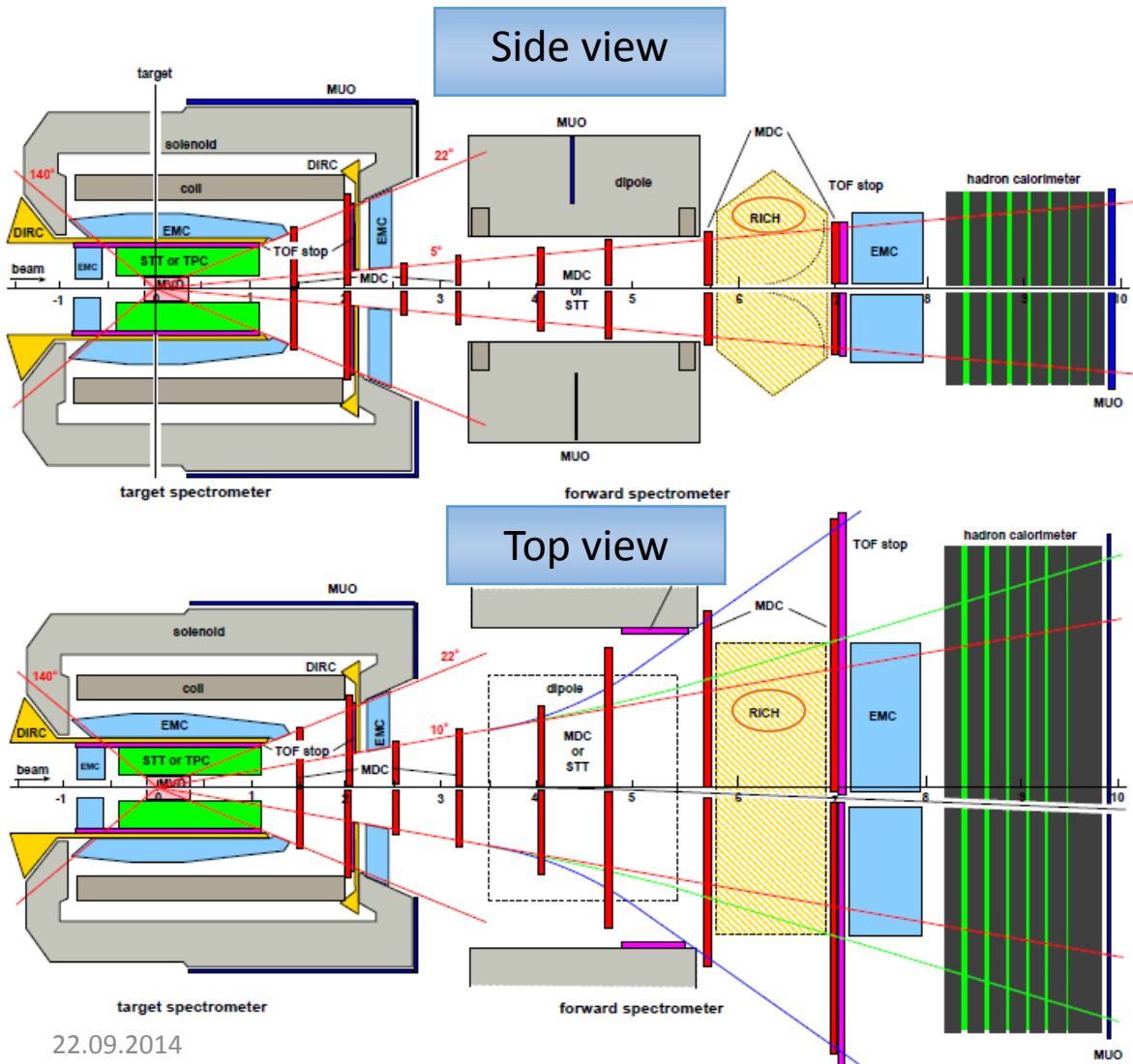
(Could silicon pixel detector, putted inside VC,

serves as segmented calorimeter of recoil protons?)

Conclusions

1. Several Z_c candidates are seen by BESIII and BELLE
in PANDA mass range (3.88 - 4.43 GeV),
2. A couplings of Z_c -states with nuclon-antinucleon channel could be higher than ones of $c\bar{c}$ quarkonia due to presence of two light quarks \rightarrow its resonant production is promising,
3. A resonant production of charged Z_c -states is possible
in $p\bar{p}$ collision with (neutron of) deuteron,
4. A *FWHM* of W -distribution of $p\bar{p}$ collisions equals 160 MeV for 4 GeV average. It significantly reduce production rate of narrow charged Z_c -states ($\Gamma \ll 160$ MeV) in comparison with its neutral isopartners which could be produced in monochromatic $p\bar{p}$ collisions.
5. A mass resolution (observability) of charged Z_c -states in $p\bar{p}$ collisions could be much improved through reconstruction of recoil protons, which takes putting of detector inside VC.

Forward RICH for PANDA



Old pictures dated 2005 just to represent position of FRICH

Forward RICH
 $|\theta_x| < 10^\circ$, $|\theta_y| < 5^\circ$
 PID π/K for $P > 3 \text{ GeV}/c$

Поиск экзотических заряженных состояний чармония в эксперименте ПАНДА с дейтериевой мишенью

Достоинства: резонансное рождение заряженных чармониев в антипротон-нейтронных столкновениях и, возможно, большая, чем у обычного чармония, константа связи таких состояний с N-N каналом.

Недостаток: низкая (~ 100 МэВ) монохроматичность столкновений вследствие фермиевского движения нуклонов в дейтерии.

- Точность реконструкции массы Z_c по продуктам распада в канале $J/\psi_i + p_i$ оценивается в 10-20 МэВ.

Точность можно значительно повысить при реконструкции массы отдачи к протону дейтерия ($P \sim PF \sim 70$ МэВ/с), который поглощается в вак. камере.

Такое измерение можно (?) провести, если поместить внутрь ВК один слой кремниевого вершинного детектора, который для мягких протонов будет работать как калориметр полного поглощения.

Заключение

1. Ведется работа по выбору оптимальной конструкции ФАРИЧ,
2. Ведется работа с прототипом из 6x6 DPC фирмы Филипс для оценки возможности его использования в ФАРИЧ:
 - а. измеряется эффективность регистрации фотонов,
 - б. измеряется радиационная стойкость,
 - в. начато моделирование для оценки получаемой в эксперименте дозы.
3. Отмечена возможность резонансного рождения экзотических заряженных состояний чармония в эксперименте ПАНДА с дейтериевой мишенью, что, в частности, позволит измерить константу связи с каналом нуклон-антинуклон,
4. Отмечена возможность значительного улучшения разрешения по массе таких резонансов при реконструкции протона отдачи слоем кремниевого вершинного детектора, помещенным внутрь вакуумной камеры.

Для обоснования целесообразности такой модификации эксперимента ПАНДА нужно моделирование, опыта которого недостает.

ЗАИНТЕРЕСОВАВШИЕСЯ ЛИЦА ПРИГЛАШАЮТСЯ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!

