

# Экспериментальные работы на ускорительном комплексе ВЭПП-4М

*К.Ю. Тодышев*

Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН

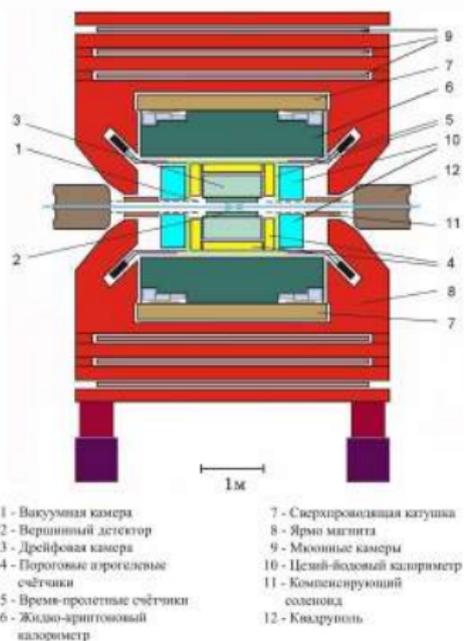
Сессия ИЯФ 26.02.26

- 1 Физическая программа эксперимента КЕДР на ВЭПП-4М
- 2 Статус эксперимента КЕДР/ВЭПП-4М
- 3 Об эксперименте по измерению массы  $\Upsilon(1S)$ -резонанса
- 4 Методические работы
- 5 Результаты по анализу набранной статистики
- 6 Заключение

## Основная физическая программа эксперимента

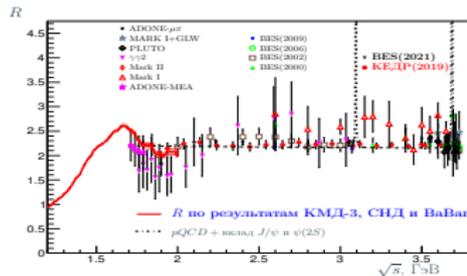
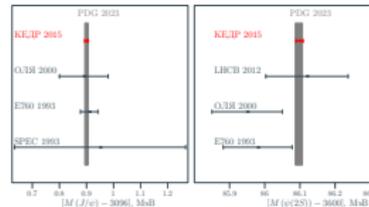
- Измерение масс элементарных частиц
  - Низкая энергия:  
 $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $\psi(3770)$ ,  $D^0$ ,  $D^\pm$ ,  $\tau$
  - Высокая энергия:  
 $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$ ,  $\Upsilon(3S)$
- Измерение лептонных ширин  $\psi$ - и  $\Upsilon$ - мезонов
- Измерение R в области  $2E = 2 \div 10$  ГэВ
- Измерение сечения  $\gamma\gamma \rightarrow$  адроны
- Исследование ряда других процессов

Детектор КЕДР



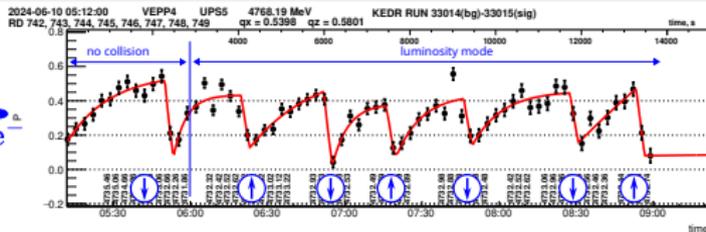
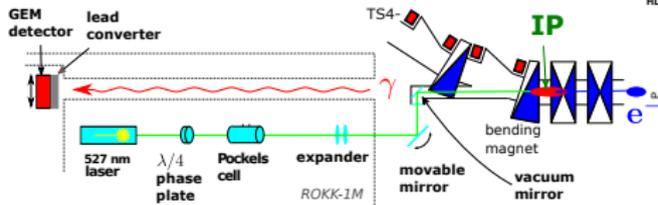
# Результаты и статус эксперимента КЕДР

- ✓ С лучшей в мире точностью измерены величины:  $M$ ,  $\Gamma$ ,  $\Gamma_{ee}$ ,  $\Gamma_{hadrons}$ ,  $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{hadrons}$ ,  $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{ee}$ ,  $\Gamma_{ee} \times \mathcal{B}_{\mu\mu}$  для  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -мезонов, параметры  $\psi(3770)$ -мезона.
- ✓ Наиболее точное измерение массы  $\tau$ -лептона.
- ✓ Определение величины  $R$  в диапазоне энергий 1.84-3.72 ГэВ. Наиболее высокая точность измерений по систематической неопределённости в настоящее время.
- ✓ Измерение ряда бранчингов в распадах  $J/\psi$ .



- Осенью 2024 года поломка ВЭПП-4М и остановка набора на высокой энергии.
- В 2025 году набор статистики в пике и подложке  $J/\psi$ -резонанса ( $\int L dt = 0.85 \text{ пб}^{-1}$ ).
- Ведётся подготовка к продолжению эксперимента по измерению массы  $\Upsilon(1S)$ -резонанса

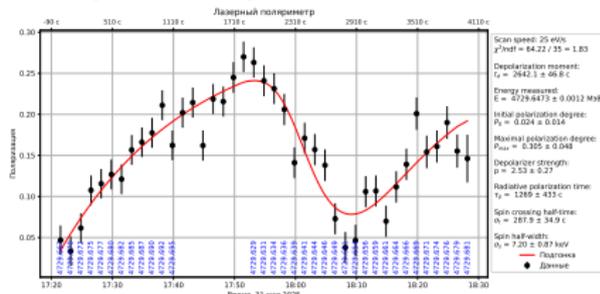
# Лазерный поляриметр



## Новый лазер NdYag

- $\lambda = 632 \text{ нм}$ , 3 Вт, 8 нс
- Загрузка выросла  $13 \text{ кГц/мА} \rightarrow 25 \text{ кГц/мА}$

## Измерение ширины спиновой линии



$$\sigma = 9.8 \pm 1.7 \text{ кэВ (2023г); } 7.2 \pm 0.9 \text{ кэВ (2025 г)}$$

$$\sigma = 2 \div 16 \text{ кэВ (теория)}$$

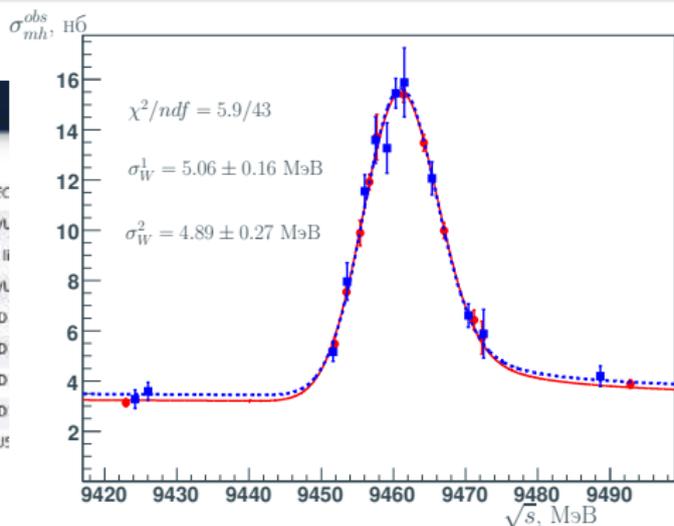
$$(E_{\text{down}} - E_{\text{up}})/2 = 12.1 \pm 2.9 \text{ кэВ (А.Г. Шамов)}$$



# Измерение массы $\Upsilon(1S)$ -резонанса

$\Upsilon(1S)$ MASS		
VALUE (MeV)	DOCUMENT ID	TEC
9460.40 $\pm 0.09 \pm 0.04$	1 SHAMOV 2023	RVL
• • We do not use the following data for averages, fits, li		
9460.11 $\pm 0.11 \pm 0.07$	2 SHAMOV 2023	RVL
9460.51 $\pm 0.09 \pm 0.05$	3, 4 ARTAMONOV 2000	MD
9460.60 $\pm 0.09 \pm 0.05$	5, 6 BARU 1992B	MD
9460.59 $\pm 0.12$	BARU 1986	MD
9460.6 $\pm 0.4$	7, 6 ARTAMONOV 1984	MD
9459.97 $\pm 0.11 \pm 0.07$	8 MACKAY 1984	CU*

Источник	$\Delta M_{\Upsilon(1S)}$ , кэВ	$\sigma_{\Upsilon(1S)}$ , кэВ
Коллайдер	-50	20
Детектор	-	45



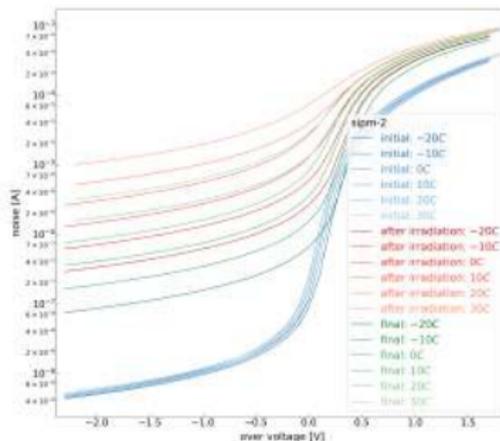
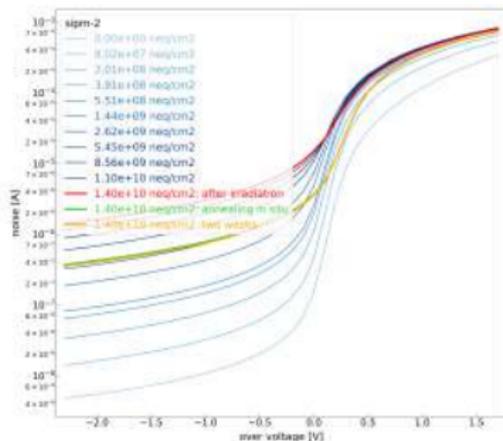
Наблюдаемое сечение рождения адронов в зависимости от энергии при сканировании  $\Upsilon(1S)$ -резонанса

$$\int L dt \sim 1.39 \text{ пб}^{-1}.$$

- Предварительный результат:  $\delta M_{\Upsilon(1S)} = -46 \pm 126 \pm 50 \text{ кэВ}$
- Для достижение стат. точности 50 кэВ требуется набрать ещё  $\int L dt = 8 \text{ пб}^{-1}$

В 2025 году создана первая версия стенда для исследования радиационной стойкости SiPM.

- В декабре 2025 года было проведено исследование радиационной стойкости двух SiPM S10931-100P производства Hamamatsu.
- Облучение ТФЭУ проводилось в течение 6 дневных смен. Интегральная доза  $1.4 \times 10^{10}$  neq/cm<sup>2</sup>
- Непосредственно в процессе набора дозы проводились измерения параметров ТФЭУ



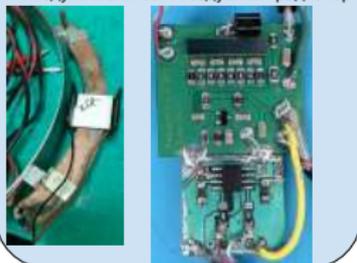
Пример зависимости фоточувствительности от набираемой дозы при постоянном значении температуры 0°C (слева) и для диапазона температур до и после облучения (справа).

Основная идея: замена ФЭУ МКП на КФЭУ (3.5 ф.э. (PDE $\approx$ 14%)  $\Rightarrow$  10 ф.э.(PDE $\approx$ 40%)

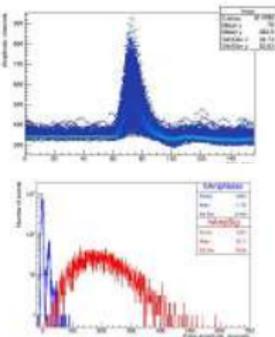
Тестовый канал с электроникой АШИФ-КФЭУ внутри детектора Снд



Плата электроники с КФЭУ + модуль Пельтье + воздушный радиатор



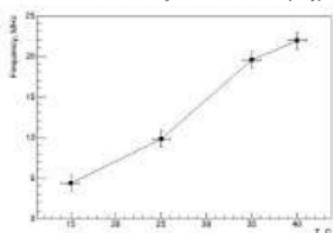
Оцифровка сигнала с КФЭУ с помощью Z200



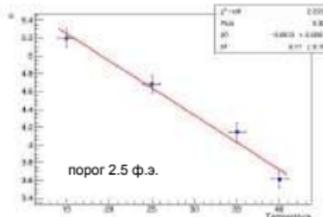
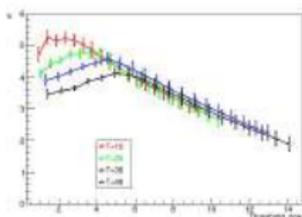
Набор данных при наличии пучков в калибдере ВЭПП-2000 в различных температурных режимах, с записью событий от калибровочного генератора ( $\sim 3$  Гц), осуществляющего запуск светодиода для засветки КФЭУ по оптоволокну.

Основной вклад в допороговую эффективность от собственных шумов КФЭУ

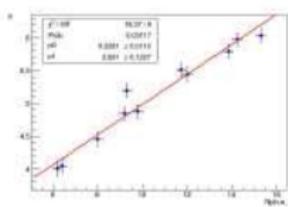
Частота собственных шумов КФЭУ&Температура



Качество разделения ( $\sigma$ ) - имитация сигнала прототипа счетчика АШИФ с  $n=1.05$  азорогеля.  $N_{ph.e.} = 9.6$  ф.э.



Изменение уровня засветки генератора, температура  $T=15^{\circ}C$ , порог 2.5-ф.э.



При  $N_{ph.e.} = 10$  качество разделения составляет 5.0 сигм при  $15^{\circ}C$

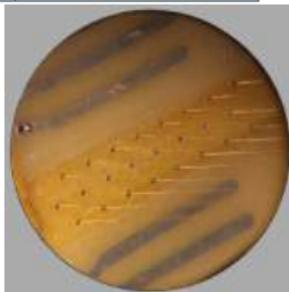
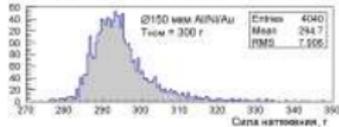
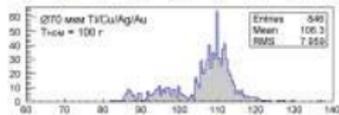


Всего проволочек, шт.

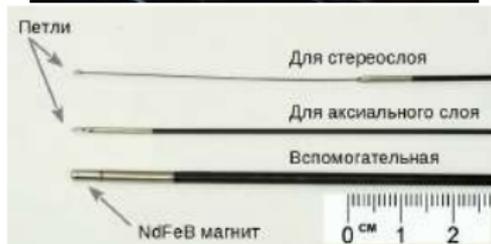
15 690

Натянута, шт.  
(%)

6 032 (38%)



Центр. область  
ячейки (изнутри)





# Измерение масс $D$ -мезонов

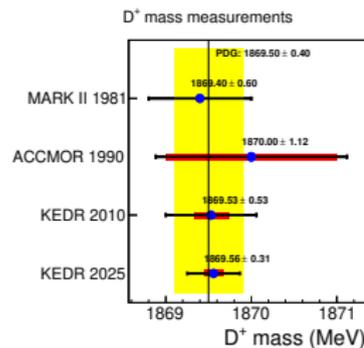
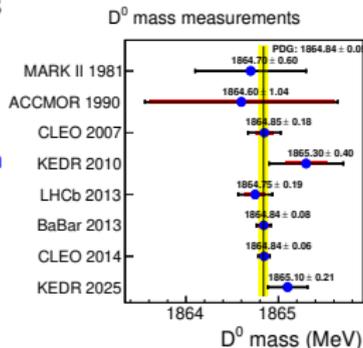
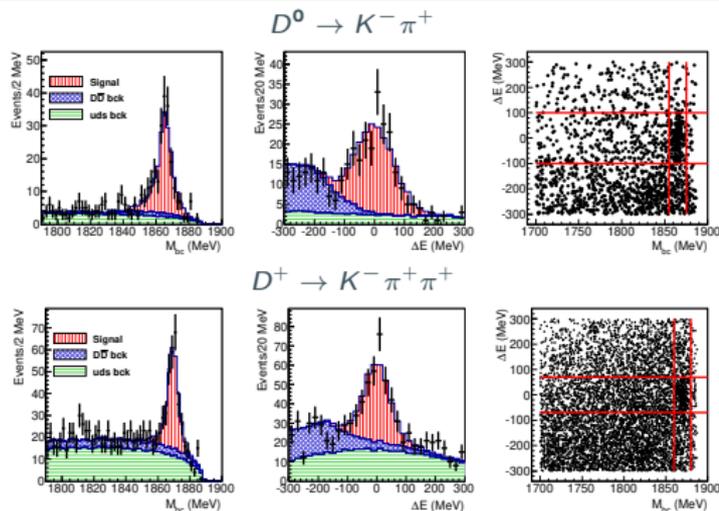
- Анализ данных 2004 г. и 2016-2017 гг.:  $\int L \Delta t \simeq 4.9 \text{ пб}^{-1}$
- Набор статистики в области  $\psi(3770)$ -резонанса, который распадается на  $D\bar{D}$ -пару.

Результат эксперимента КЕДР (ответственный И.В. Овтин):

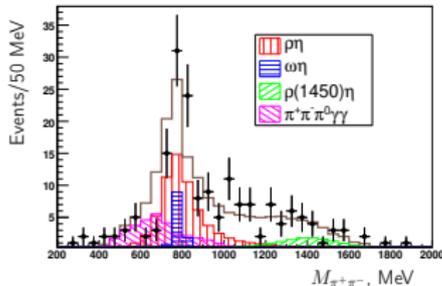
- $M_{D^0} = 1865.100 \pm 0.210 \pm 0.046 \text{ МэВ}$
- $M_{D^+} = 1869.560 \pm 0.288 \pm 0.109 \text{ МэВ}$
- Разница масс:  
 $M_{D^+} - M_{D^0} = 4.46 \pm 0.36 \pm 0.12 \text{ МэВ}$

Завершён анализ и опубликована статья:

- **New measurement of  $D^0$  and  $D^+$  meson masses with the KEDR detector / V. V. Anashin [et al.]. // Journal of High Energy Physics. – 2025. – Vol. 2025, nr. 1. – URL: [https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2025\)001](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2025)001).**



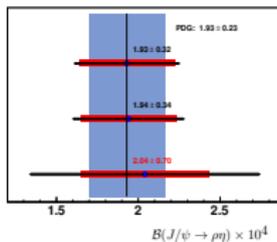
# Измерение вероятностей распадов $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ и $J/\psi \rightarrow \phi\eta$



MARK-III, 1988

DM2, 1990

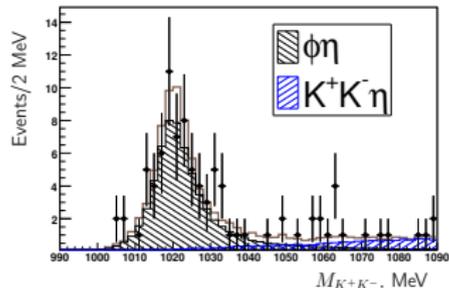
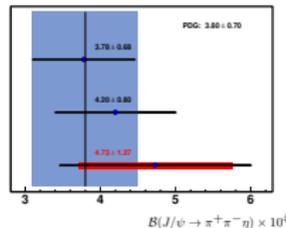
KEDR, 2025



BES-III, 2019

BaBar, 2018

KEDR, 2025



MARK-III, 1988

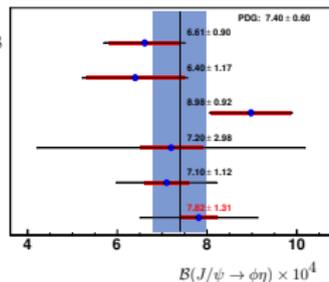
DM2, 1990

BES-II, 2005

BaBar, 2023

Belle, 2023

KEDR, 2025

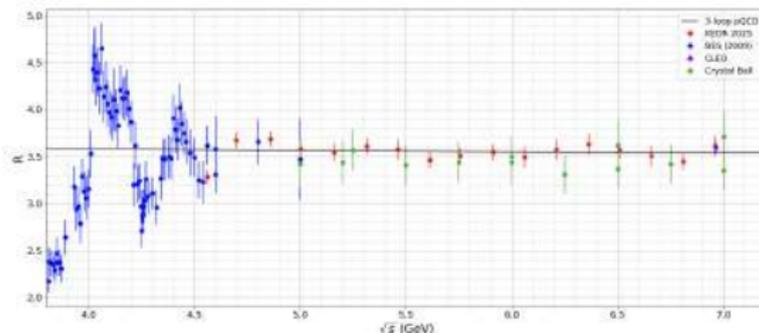


- $B(J/\psi \rightarrow \rho\eta) = (2.04 \pm 0.58 \pm 0.39) \times 10^{-4}$
- $B(J/\psi \rightarrow \phi\eta) = (7.82 \pm 1.17 \pm 0.58) \times 10^{-4}$
- $B(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta) = (4.73 \pm 0.49 \pm 1.17) \times 10^{-4}$
- $B(J/\psi \rightarrow \rho(1450)\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\eta) < 1.32 \times 10^{-4}$ ,  
 $B(J/\psi \rightarrow a_2(1320)\pi) < 1.69 \times 10^{-3}$

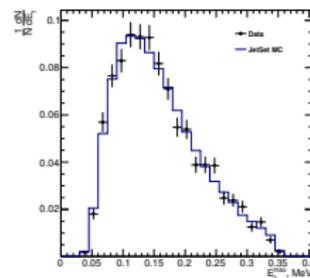
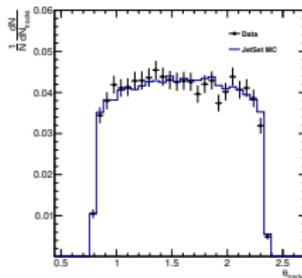
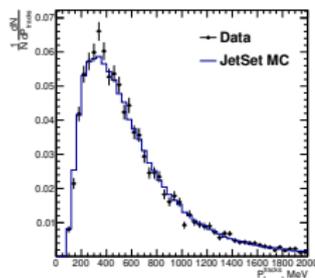
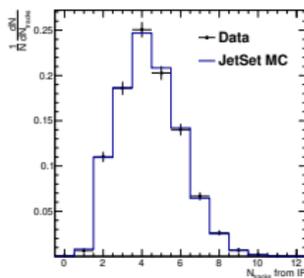
Phys. Lett. B873 (2026) 140152 (ответственный Д.А. Кыштымов)

# Предварительные результаты измерения $R$ на высокой энергии $2E = 4.5 \div 7.0$ ГэВ

- 2 сканирования, 17 точек по энергии,  $\int Ldt = 13.7$  пб $^{-1}$ .

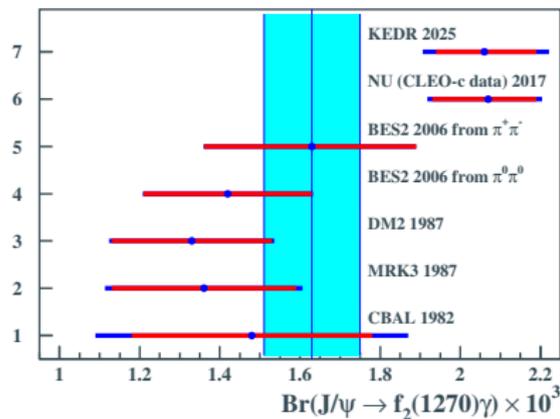
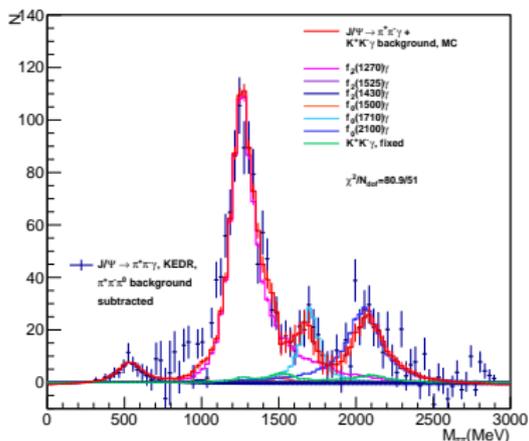


Стат. ошибка  $\sim 2\%$ , систематическая неопределённость  $\sim 2.4\%$ .



$$4.56\text{-}6.96 \text{ GeV } \bar{R}_{\text{preliminary}}^{\text{KEDR}} = 3.57 \pm 0.02 \pm 0.05, \quad R^{\text{QCD}} = 3.56 \pm 0.02$$

Анализ ведёт Т.А. Харламова



Предварительные результаты (О.Л. Резанова):

- $Br(J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (116.0 \pm 5.5 \pm 7.1) \times 10^{-5}$
- $Br(J/\psi \rightarrow f_2(1270)\gamma) = (2.06 \pm 0.10^{+0.13}_{-0.12}) \times 10^{-3}$   
(B PDG scale factor 1.3)
- $Br(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma) = (207.4 \pm 7.9 \pm 12.8) \times 10^{-5}$   
PDG:  $Br(J/\psi \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma) = (115 \pm 5) \times 10^{-5}$

- Набор в области  $J/\psi$ ,  $\int L dt \simeq 0.85 \text{ пб}^{-1}$
- Публикации:
  - Измерение масс  $D$ -мезонов  
JHEP11(2025)001
  - Измерение вероятностей распадов  
 $J/\psi \rightarrow \rho\eta$  и  $J/\psi \rightarrow \phi\eta$   
Phys. Lett. B873 (2026) 140152

Ближайшие планы:

- Продолжение эксперимента по измерению массы  $\Upsilon(1S)$  - резонанса

Команда установки детектор КЕДР (фото А.А.Осипова)



Спасибо за внимание !