

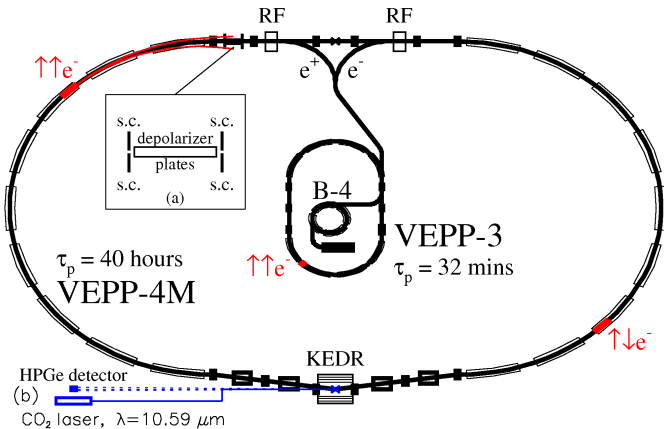
# Эксперимент КЕДР

**В. Блинов**

*Институт Ядерной Физики им. Будкера СО РАН*

План:

- 1 Комплекс ВЭПП–4М + КЕДР
- 2 Физическая программа
- 3 Анализ данных
- 4 Программа набора статистики и модернизации
- 5 Заключение



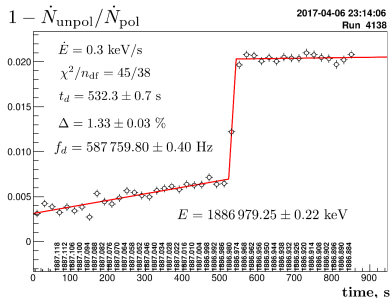
Энергия пучка:  $1 \div 5$  ГэВ

Число банчей:  $2 \times 2$

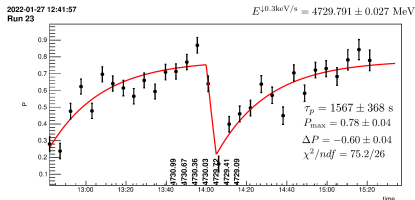
Светимость:  $(1 \div 80) \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

## Метод резонансной деполяризации:

- $E < 3 \text{ ГэВ}$ : внутрисгустковое рассеяние  
 $\Delta E/E = (5 \div 15) \times 10^{-6}$ ,  $(10 \div 30) \text{ кэВ}$   
 За время эксперимента проведено 3089 калибровок энергии



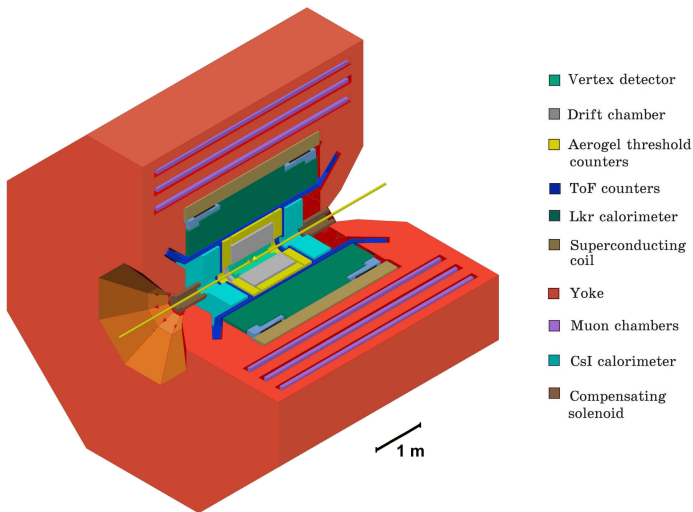
- $E > 3 \text{ ГэВ}$ : асимметрия рассеяния  
 циркулярно поляризованных лазерных  
 фотонов  
 $\Delta E/E = 5 \times 10^{-6}$ ,  $(10 \div 30) \text{ кэВ}$



## Физические задачи

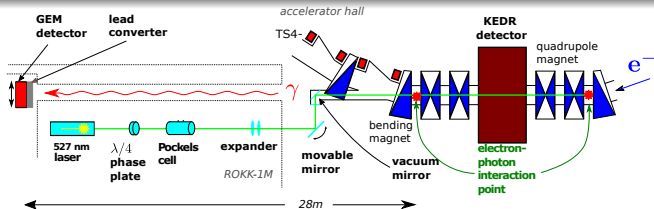
- Измерение масс элементарных частиц
  - Низкая энергия:  $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $\psi(3770)$ ,  $D^0$ ,  $D^\pm$ -мезоны,  $\tau$ -лептон
  - Высокая энергия:  $\Upsilon(1s)$ ,  $\Upsilon(2s)$ ,  $\Upsilon(3s)$ ,  $\Upsilon(4s)$  – мезоны
- Измерения лептонных ширин  $\psi$  и  $\Upsilon$  – мезонов
- Измерение  $R$  в области  $2E = 2 \div 10$  ГэВ
- Измерение сечения  $\gamma\gamma \rightarrow hadrons$  и другие  $2\gamma$ -процессы
- Ряд других процессов



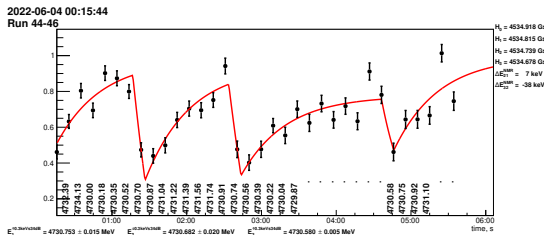


- Все системы детектора находятся в пригодном для завершения физической программы состоянии

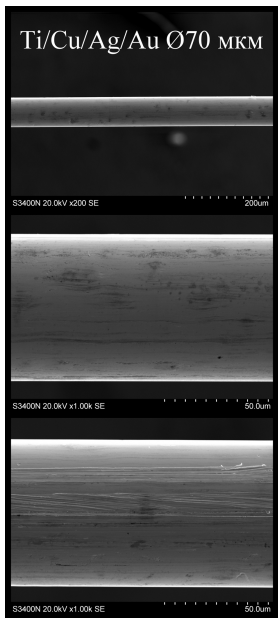
- Модернизация инженерных систем детектора
  - замена основного и резервного мотор – генераторов (100 кВт)
  - замена производителя ДМЭ
- Лазерный поляриметр
- Новая дрейфовая камера
- Модернизация системы высоковольтного питания (переход на CAEN)
  - мюонная система (ОК)
  - тушековский поляриметр (ОК)
  - Дрейфовая камера (в процессе)
  - СРРЭ – GEM (в процессе)



- Импульсный Nd:YLF 527 нм лазер (2 Вт, 4 кГц, 5 нс)
- Управление поляризацией лазера с помощью ячейки Поக்கельса
- Двухкоординатный пиксельный детектор на основе ГЭУ.
- Выполнено 25 калибровок энергии в пике  $\Upsilon(1S)$



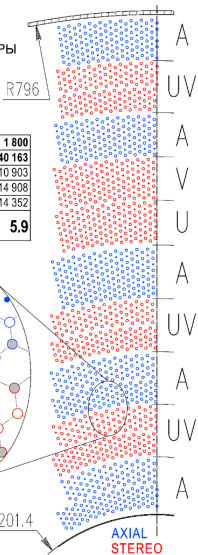
- Изготовлен новый узел ввода лазерного излучения с охлаждаемым водой зеркалом  
⇒ Повышение скорости в  $5 \div 10$  раз



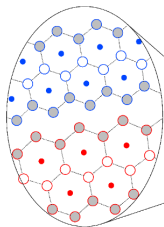
- Изготовлена золочёная медно-титановая проволока диаметром 70 мкм (АО "Денисовский завод") для использования в качестве экранов между суперслоями
- Подготовка ДК к натяжению проволочек



ПРОВОЛОЧНАЯ  
СТРУКТУРА  
ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ  
ДЕТЕКТОРА СЧФ

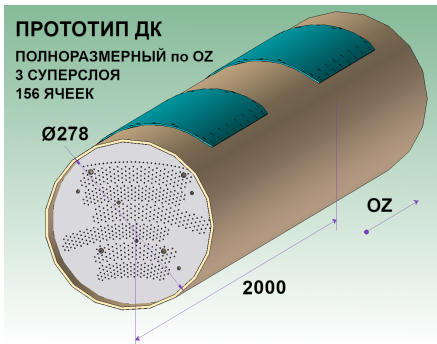


ДЛИНА ПРОВОЛОЧЕК, мм	1 800
КОЛ-ВО ПРОВОЛОЧЕК:	40 163
● СИГНАЛЬНЫЕ 25 мкм	10 903
● ПОЛЕВЫЕ 100 мкм	14 908
○ ПОЛЕВЫЕ 125 мкм	14 352
НАГРУЗКА ОТ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОЧЕК, ТОНН	5.9



NIM A, 1009, 165490 (2021)

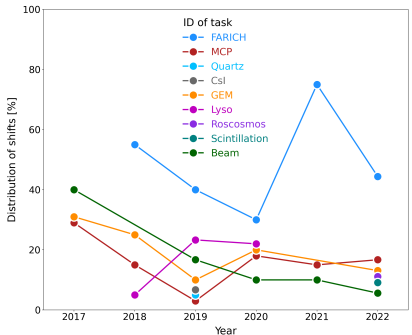
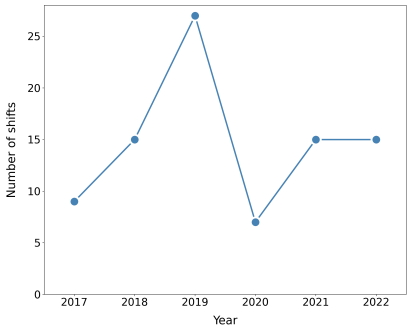
- Завершается конструирование прототипа ДК

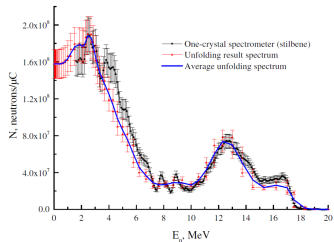
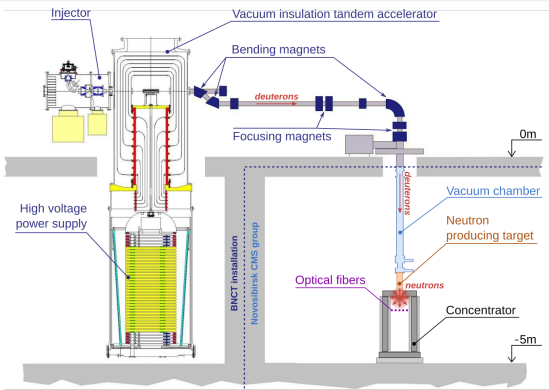


- В НИИКАМ идет изготовление из углепластика
  - стягивающих шпилек
  - торцевых дисков малого прототипа
  - спиц для натяжения проволочек
- На АО "Денисовский завод" идут подготовительные работы к производству золоченной проволоки из алюминиевого сплава диаметром 100 и 125 мкм

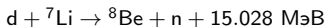


- Диапазон энергий: 100 ÷ 3500 МэВ
- Точность определения энергии: лучше 1.8 % ( $\geq 1000$  МэВ)
- Средняя скорость счета: 70–100 Гц



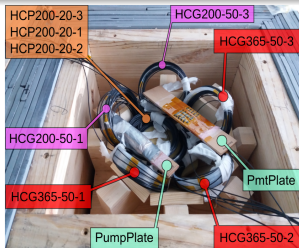
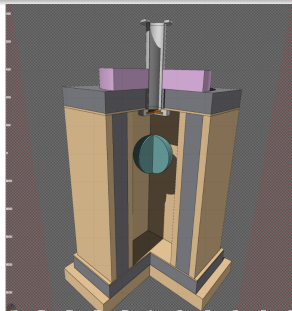


● Основные ядерные реакции:

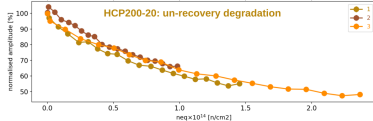
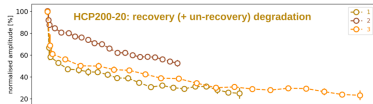
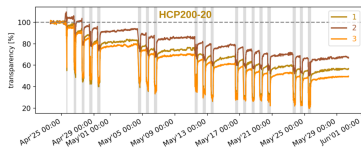
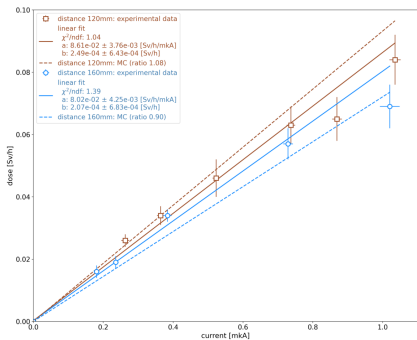


В рамках эксперимента в 2022 году быстрыми нейтронами облучались:

- три типа оптоволоконных кабелей по линии CMS
- два типа SiPM и восемь типов преобразователей напряжения для камерной электроники по линии ATLAS
- алмазный детектор нейтронов и пластины из карбида бора для Международного термоядерного реактора ИТЭР
- неодимовые магниты для мощного линака Института теоретической и экспериментальной физики (Москва)
- газовые сенсоры на основе фталоцианинов титанила для НГУ



Набор дозы  $10^{14}$  neq/cm<sup>2</sup> за 185 часов



- Набор статистики при  $2E = 7$  ГэВ,  $\int Ldt = 7.6$  пб<sup>-1</sup>, 15 недель

#### Публикации 2022 года

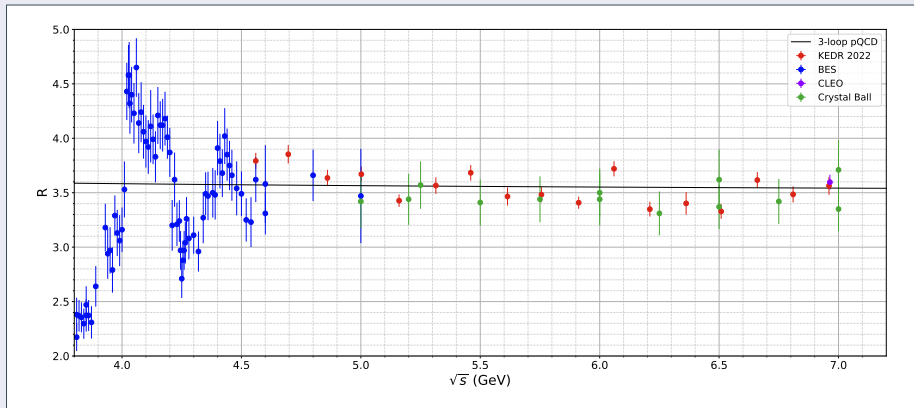
- Опубликовано 2 статьи
- Представлено 2 доклада
- Принят в печать обзор "Эксперименты с детектором КЕДР на  $e^+e^-$  – коллайдере ВЭПП-4М в области энергии  $\sqrt{s} = 1.84 \div 3.88$  ГэВ" (ЭЧАЯ, 2023.Т.54, вып.1.С.190–262)



Проведено 22 измерения с лучшей в мире точностью

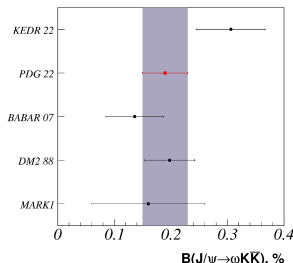
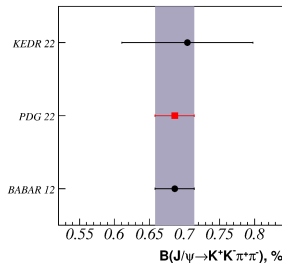
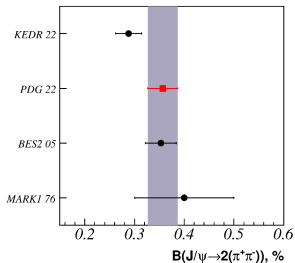
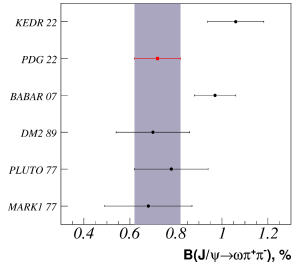
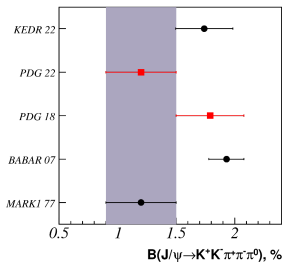
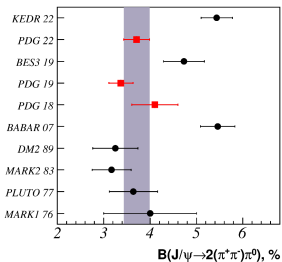
- I сканирование,  $\int Ldt = 6.95 \text{ пб}^{-1}$
- II сканирование,  $\int Ldt = 6.77 \text{ пб}^{-1}$

Результаты измерения  $R$  в области  $2E = 3.8 \div 7.2 \text{ ГэВ}$



- КЕДР: измерение  $R$  при  $2E = (4.5 \div 7.0) \text{ ГэВ}$  (Т.Харламова)

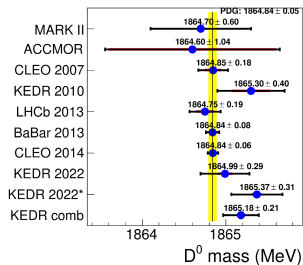
● Измерение бранчингов распадов  $J/\psi$  в конечные состояния с четырьмя или пятью мезонами (В.Малышев)



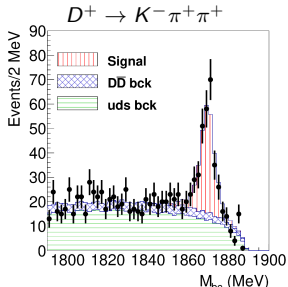
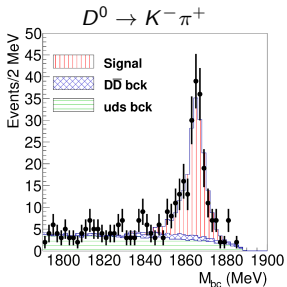
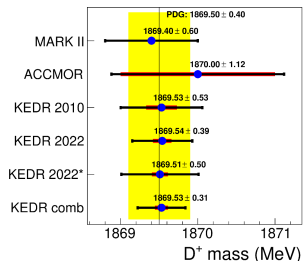
● Eur.Phys.JC (2022) 82:938

- Измерение масс  $D$ -мезонов (И.Овтин)
- 2004 г. ( $0.9 \text{ пб}^{-1}$ ), переобработка - KEDR 2022\*:
  - $M_{D^0} = 1865.370 \pm 0.300 \pm 0.058 \text{ МэВ}$
  - $M_{D^+} = 1869.510 \pm 0.490 \pm 0.103 \text{ МэВ}$
- 2016-2017 гг. ( $4.0 \text{ пб}^{-1}$ ) - KEDR 2022:
  - $M_{D^0} = 1864.990 \pm 0.280 \pm 0.087 \text{ МэВ}$
  - $M_{D^+} = 1869.540 \pm 0.370 \pm 0.120 \text{ МэВ}$
- Объединение результатов - KEDR comb:
  - $M_{D^0} = 1865.180 \pm 0.206 \pm 0.053 \text{ МэВ}$
  - $M_{D^+} = 1869.530 \pm 0.298 \pm 0.084 \text{ МэВ}$

$D^0$  mass measurements

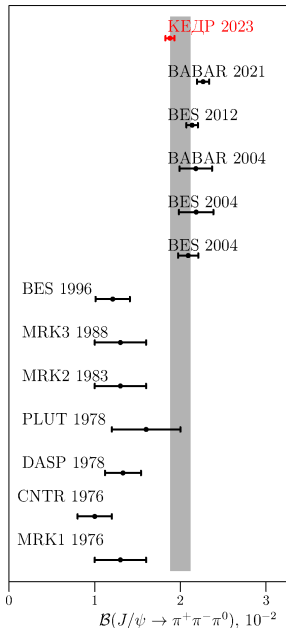


$D^+$  mass measurements





- Анализ процесса  $J/\psi \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  (К.Тодышев)



- Average:  $B(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = (2.00 \pm 0.12)\%$  (SF 3.0)

КЕДР:  $B(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = (1.878 \pm 0.013 \pm 0.051)\%$

$$B(J/\psi \rightarrow \rho\pi) = (2.072 \pm 0.017 \pm 0.062)\%$$

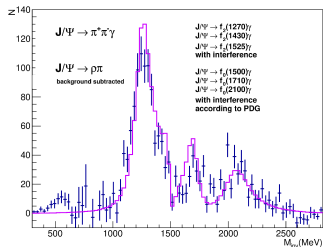
Ведётся работа над публикацией в журнале JHEP  
[arXiv:2211.13520]

- Метод анализа события распада  $J/\psi \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  опубликован в LHEP, 329 (2022) [arXiv:2208.13517]

- Анализ процесса  $J/\psi \rightarrow \rho\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$  (Д.Кыштымов)
- PDG:  $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta) = (1.93 \pm 0.23) \times 10^{-4}$
- Наблюдается около 100 событий
- Ожидается значительный вклад от интерференции с процессом  $J/\psi \rightarrow \omega\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$
- PDG:  $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta) = (1.74 \pm 0.2) \times 10^{-3}$

## Двухфотонная физика

- Для проверки эффективности регистрации РЭ на статистике 2022 года ( $\int L dt = 7.5 \text{ пб}^{-1}$ ,  $E = 3.5 \text{ ГэВ}$ ) выделено  $14 \times 10^3$  событий  $ee \rightarrow ee + LL$
- Обнаружена 20% нехватка таких событий в сравнении с моделированием
- Проведено исследование работы триггера на различных процессах:
  - 20% потеря событий  $ee \rightarrow ee + LL$  появилась в 2020 году при  $E > 3 \text{ ГэВ}$
  - получено значение  $R = 3.44 \pm 0.04 \pm 0.10$  ( $2E = 7 \text{ ГэВ}$ ) при ожидаемом значении 3.47  $\Rightarrow$  многочастичный триггер работает !
  - исследован распад  $J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$
- Идет поиск неисправности во вторичном триггере
- Из-за проблем с триггером выделения событий  $\gamma\gamma \rightarrow \text{hadrons}$  не велось



- Набор статистики при

$$\left. \begin{array}{l} 2E = 9.46 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(1S) \\ 2E = 10.02 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(2S) \\ 2E = 10.36 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(3S) \end{array} \right\} \int L dt = 10 \div 30 \text{ пб}^{-1}$$

- Набор при  $2E = 7.0 \div 10^* \text{ ГэВ}$ ,  $\int L dt = 150 \rightarrow 50 \text{ пб}^{-1}$ .  
Двухфотонная физика.

\* Повышение энергии с 3.5 ГэВ до 5 ГэВ в пучке позволит обогатить физическую программу измерением масс и лептонных ширин семейства  $\Upsilon$  – мезонов при наборе интеграла светимости для двухфотонной физики.

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



Спасибо за внимание !