

# Проект ВЭПП-6: детектор

*или*

## *Детектор для $\Phi - \psi$ фабрики в ИЯФ*

*А.Ю. Барняков*

- Декабрь 2023 – первое открытое совещание
- Июнь 2024 – рекомендации экспертного совета и попытка выработать дорожную карту
- ...!?

Собрание рабочей группы по разработке CDR  
ИЯФ СО РАН, Новосибирск 27/03/2025г.

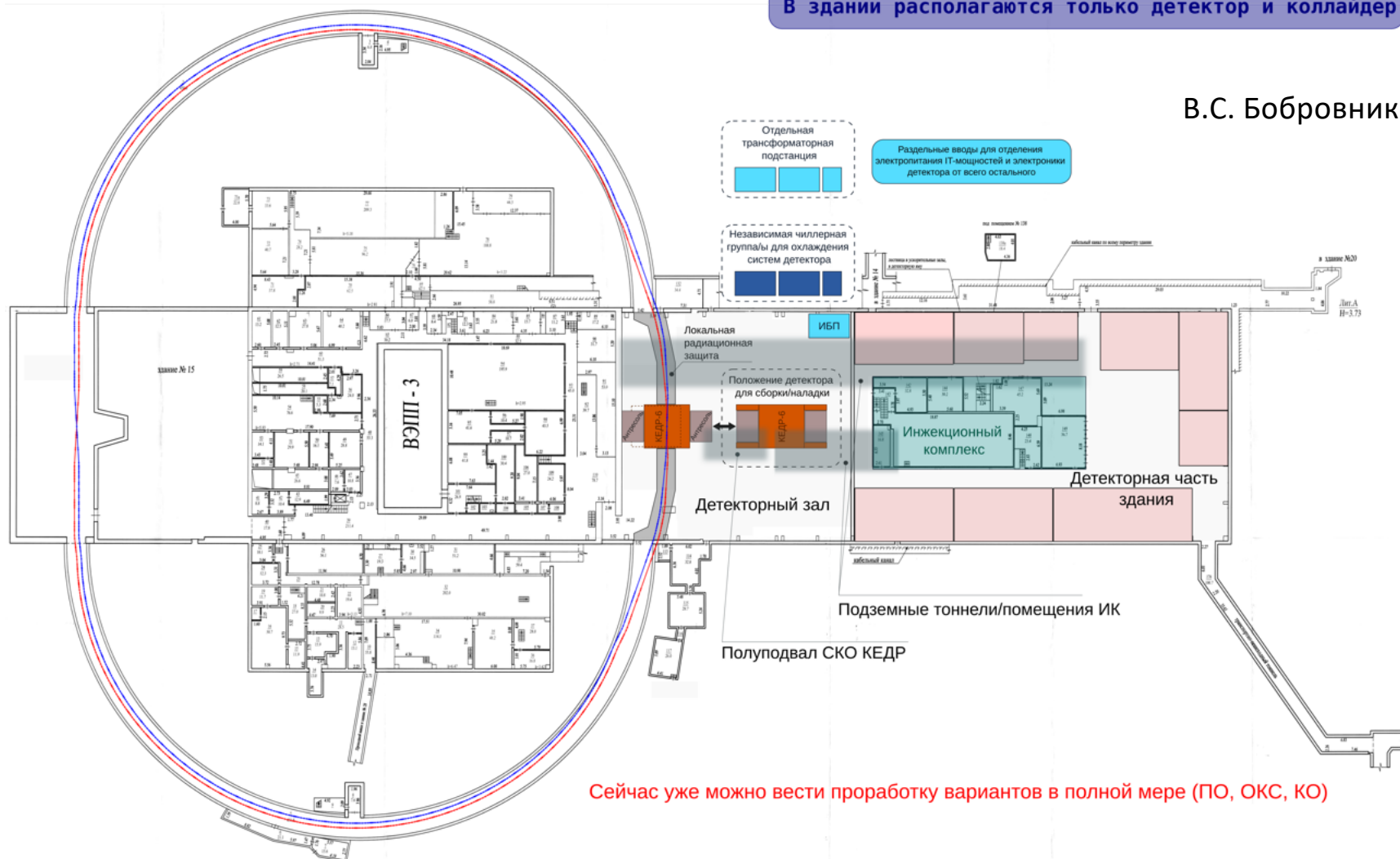
# Граничные условия или начальные приближения

- Электрон-позитронный коллайдер в **туннеле ВЭПП-4**
- Рабочий диапазон энергий:  $2E=1\div 4.4$  ГэВ
  - Оптимальный режим машины на энергии  **$2E=2\div 3.1$  ГэВ –  $L \approx 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$**
  - На энергии Ф-мезона  $L \approx 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Схема финального фокуса – Crab Waist
  - Примерно  $\pm 120$  мрад относительно линии пучка занято элементами ФФ
  - Элементы ФФ с центральной ВК представляют неделимую сборочную единицу и размещаются в детекторе на последних этапах его сборки

# ВЭПП-6 и Детектор в зд.13

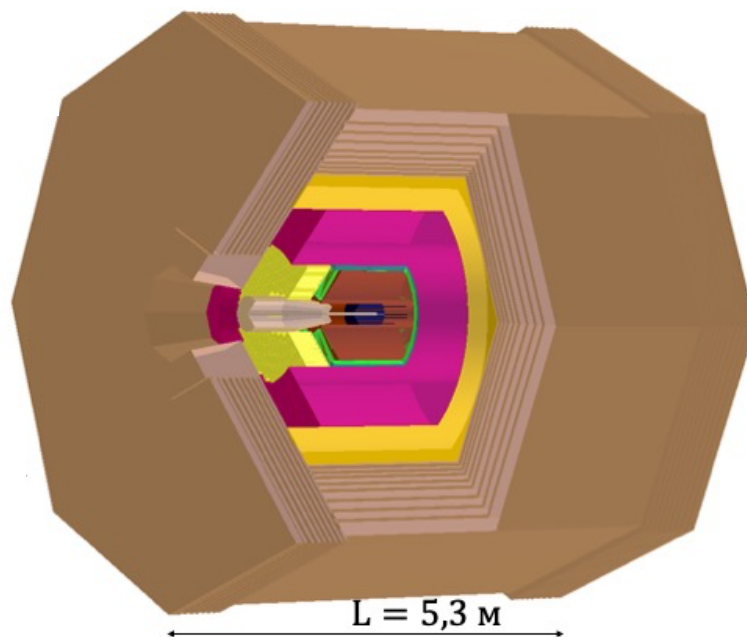
В здании располагаются только детектор и коллайдер

В.С. Бобровников

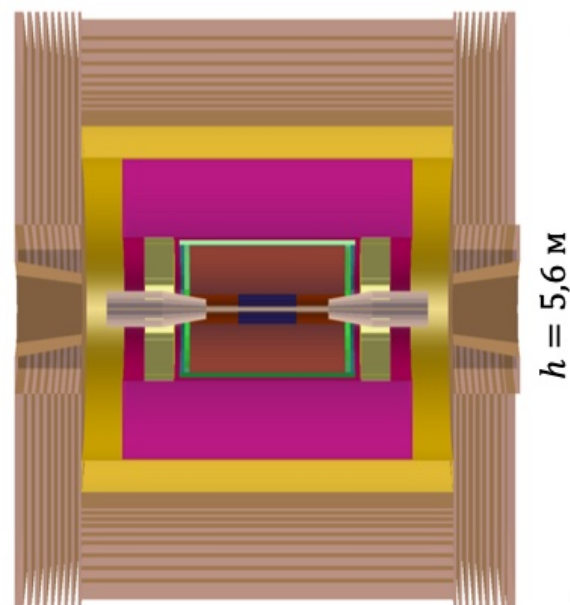


# Концепция универсального детектора

- Внутренний трекер
- Дрейфовая камера
- Система идентификации
- Цилиндрический калориметр
- Сверхпроводящая катушка
- Торцевой калориметр
- Фокусирующая линза
- Мюонные камеры
- Ярмо магнита



Магнитное поле  $1 \div 1.5 \text{ Тл}$

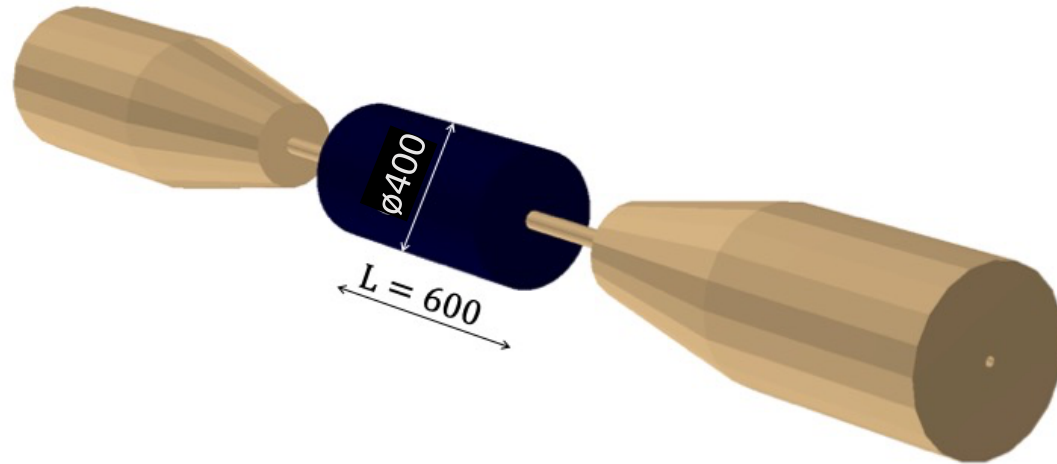


- Внутренний трекер
- Дрейфовая камера
- Система идентификации
- Цилиндрический калориметр
- Сверхпроводящая катушка
- Торцевой калориметр
- Фокусирующая линза
- Мюонные камеры
- Ярмо магнита

# Внутренний трекер

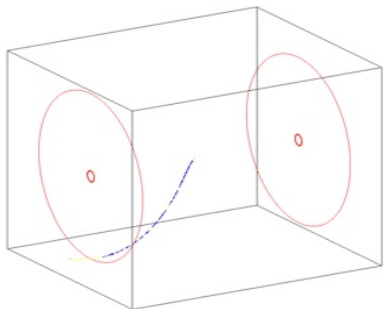
Необходимо сформулировать требования Физ. программы и операционные условия для IT:

- Реконструкция вершин?
- Регистрация мягких треков?
- Загрузка?



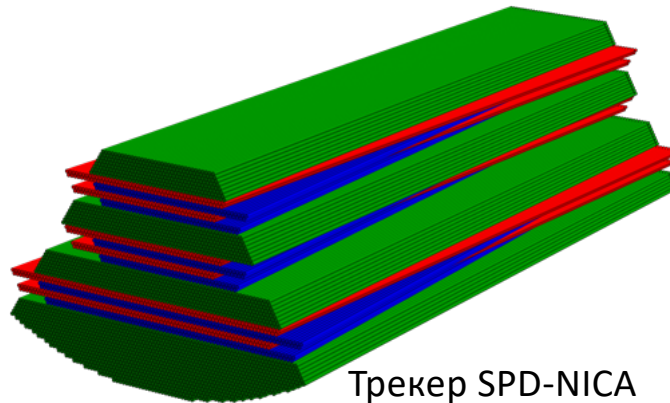
Время-проекционная камера:

Л.И. Шехтман и Ко.



Straw Tubes:

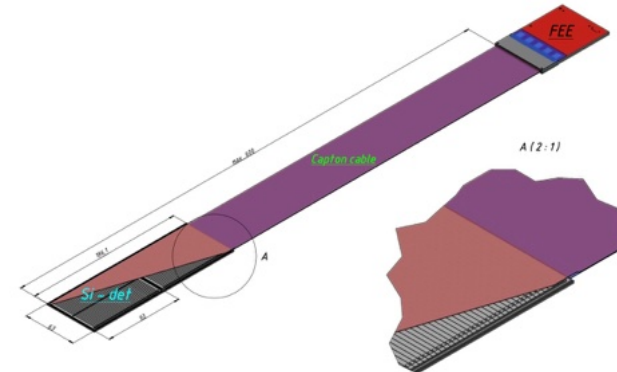
А.В. Соколов и ОИЯИ?



Трекер SPD-NICA

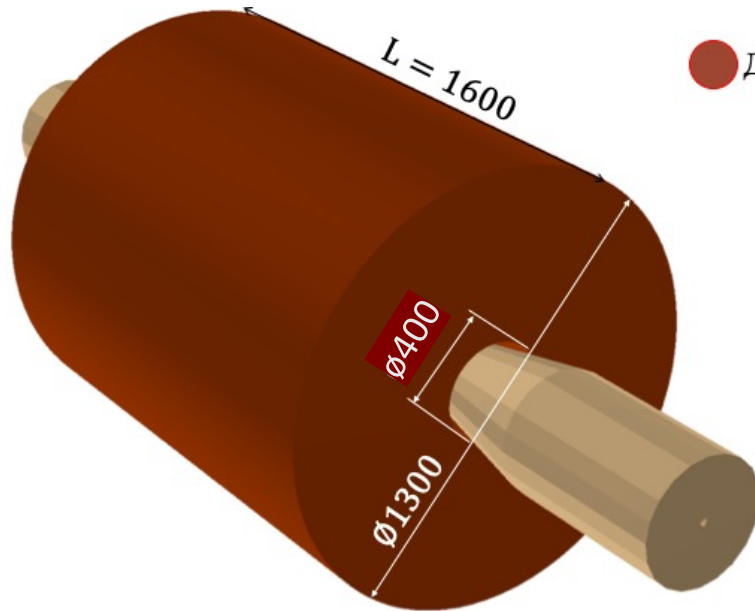
MAPS – полосковый:

Л.И. Шехтман и НИЯФ МГУ?

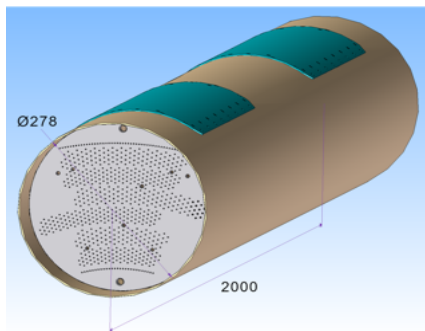
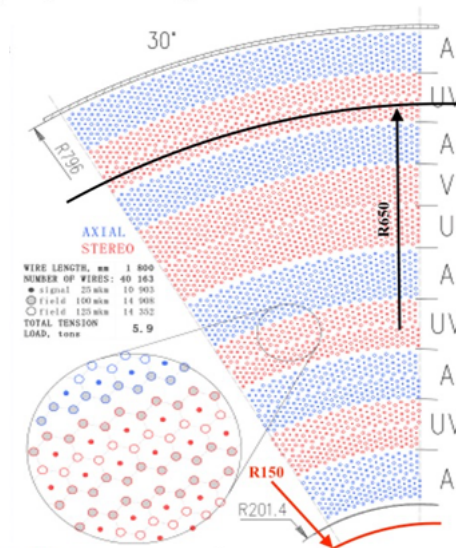


Элемент ВД на MAPS для SPD-NICA

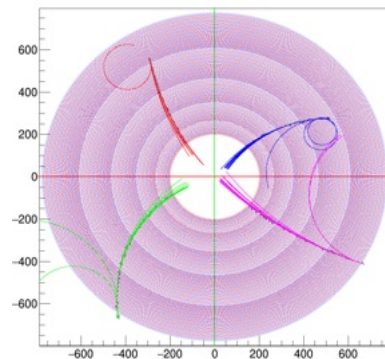
# Дрейфовая камера: 6-гональная ячейка



● Дрейфовая камера



ПРОТОТИПИРОВАНИЕ



МОДЕЛИРОВАНИЕ/РЕКОНСТРУКЦИЯ

- К.Ю. Тодышев и Ко.
- Много сделано в рамках разработки проекта СЦТФ:
  - Моделирование
  - Прототипирование
  - Тестирование
- Ожидаемые параметры:
  - $\frac{\sigma_p}{p} \approx 0.6\%$  (на 90 градусов)
  - $\frac{\sigma(dE/dx)}{dE/dx} \approx 6 \div 7 \%$

# Идентификация: $\pi/K$ –разделение выше 0.6 ГэВ/с

## ToF:

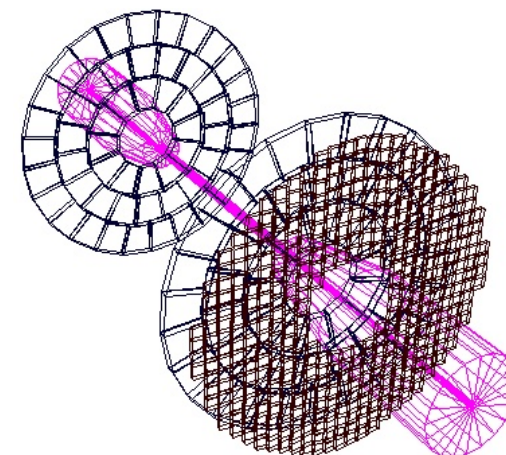
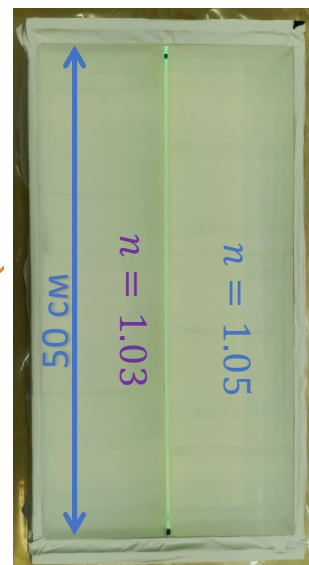
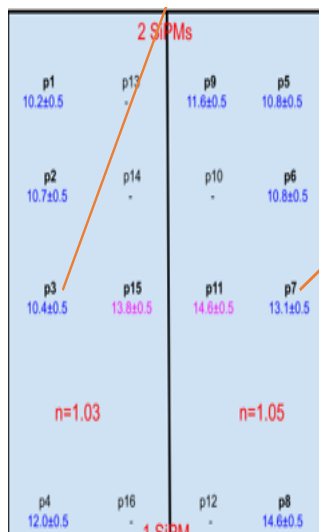
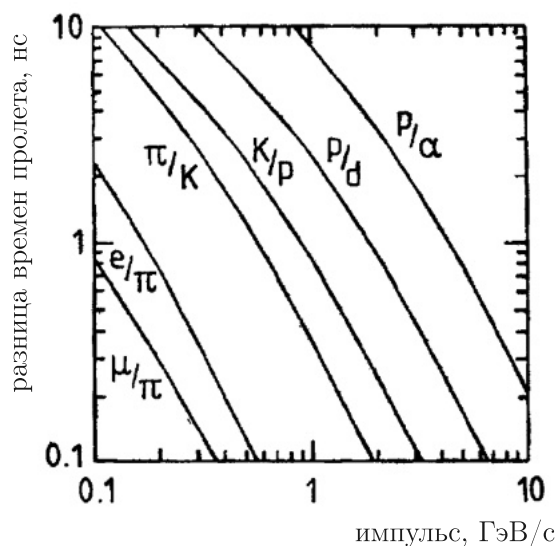
- При базе  $\sim 1$  м
- $\sigma_t \approx 30$  пс (длина банча)
- $\pi/K$ –разделение возможно до  $P=2$  ГэВ/с

## АШИФ+КФЭУ:

- А.Ю. Барняков и Ко.
- $n=1.05$  –  $\pi/K$  при  $P=0.5 \div 1.7$  ГэВ/с
- $n=1.03$  –  $\pi/K$  при  $P=0.6 \div 2.5$  ГэВ/с

## ФАРИЧ:

- А.Ю. Барняков и Ко.
- 4-слойный аэрогель с  $n_{\max}=1.05$  + пиксель  $3 \times 3$  мм:
  - $\pi/K$  при  $P=0.5 \div 7$  ГэВ/с
  - $\mu/\pi$  при  $P=0.4 \div 1.7$  ГэВ/с
- ФАРИЧ в торцевой части детектора помогает уточнять импульс частиц



# Калориметр

## Кристаллические варианты

### LKr:

- С.В. Пелеганчук и Ко.
- $14.8X_0$  (27 т.)
- $\sigma_E/E$  :
  - 8% на 0.1 ГэВ
  - 3% на 1.8 ГэВ
- $\sigma_X \leq 1$  мм
- $ENE \leq 1$  МэВ/кан
- $\tau \approx 10$  мкс
- **Торцевая часть на кристаллах!!!**

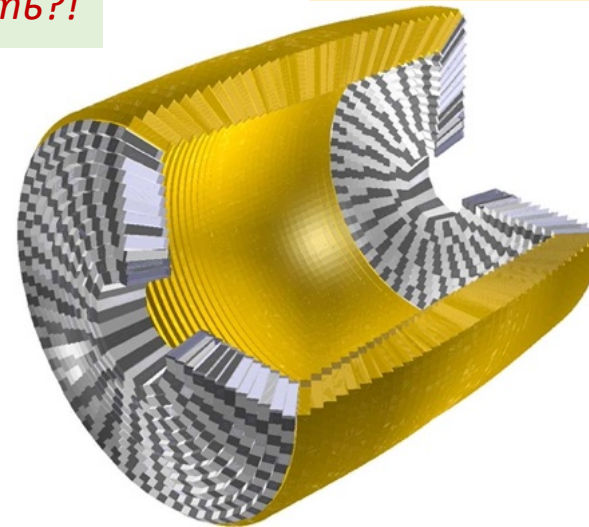


### CsI:

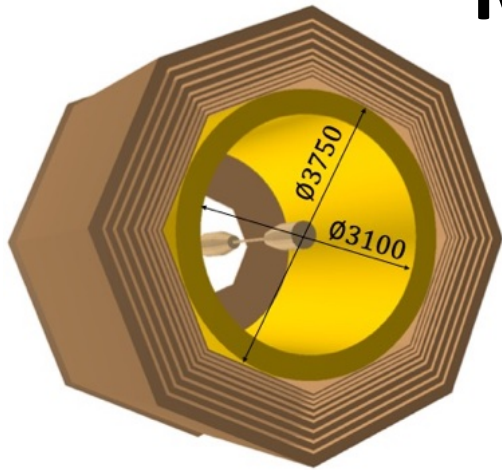
- А.С. Кузьмин и Ко?
- $\sigma_E/E \approx 2\%$  на 1 ГэВ
- $\sigma_X \approx 1 \div 2$  см ???
- $\tau \approx 1$  мкс – CsI(Tl)
- $\tau \approx 0.04$  мкс – pCsI
- 4000 млн.р.?!
- Где производить?!

### BGO:

- Д.Н. Григорьев и Ко?
- $\sigma_E/E \approx 3 \div 4\%$  на 1 ГэВ?!
- $\sigma_X \approx 1 \div 2$  см ???
- $\tau \approx 0.3$  мкс
- 7000 млн.р
- 5 лет производства



# Мюонные камеры



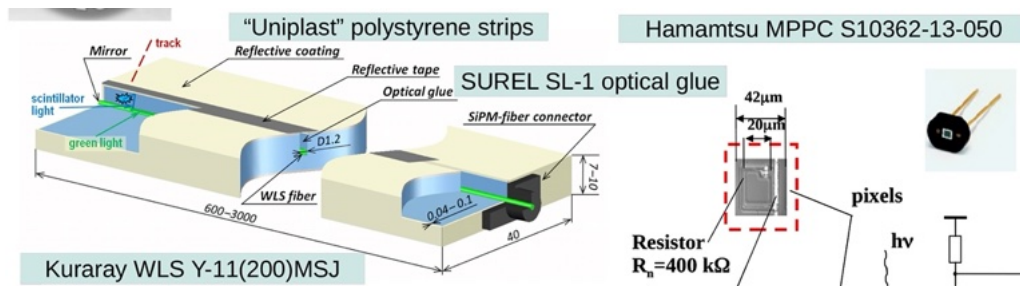
По **8 зазор**ов в ярме магнитной системы

- в 8 октантах цилиндрической части
- в 4 квадрантах обоих торцов

$$\underline{S_{\Sigma} \approx 1500\text{м}^2}$$

## Сцинтиллятор+WLS+SiPM:

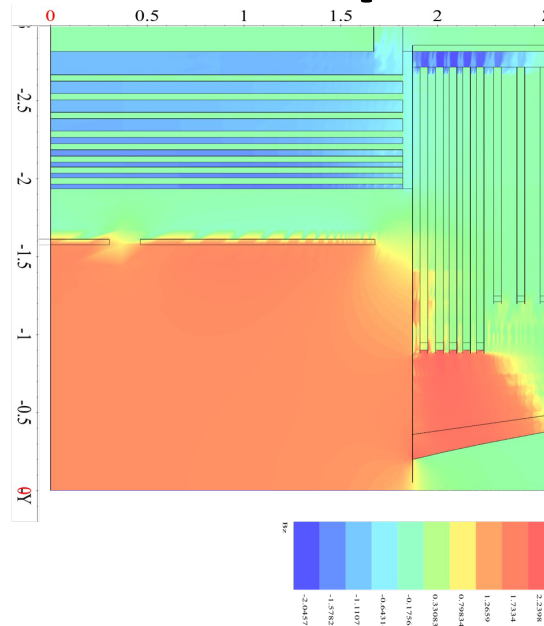
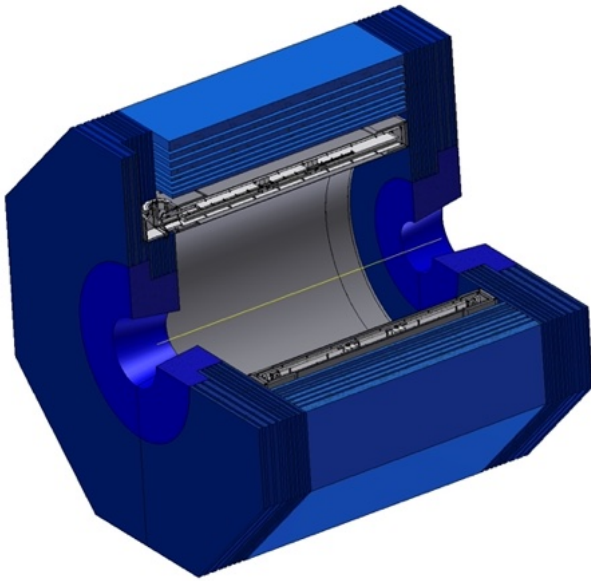
- Команда КМД-3?!
- R&D по замене японских WLS и SiPM
- В каждом зазоре 2 слоя сцинтиллятора



## Газовые трубки:

- А.М. Сухарев и Ко?!
- Преимущества: ???
- Недостатки: ???

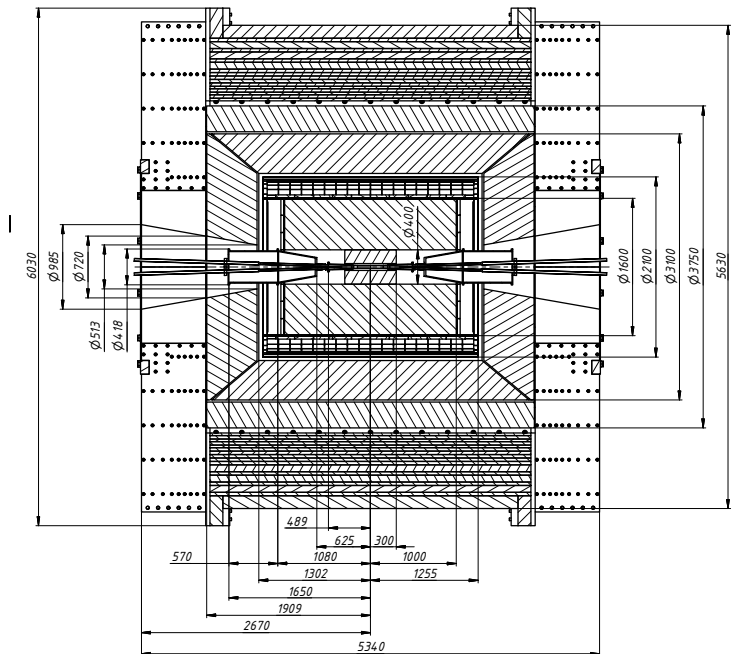
# Магнитная система: ярмо и катушка для СЦТФ



- Е.Э. Пята и Ко.???
- или
- А.В. Брагин и Ко.???
- R&D по производству СП шин!!!

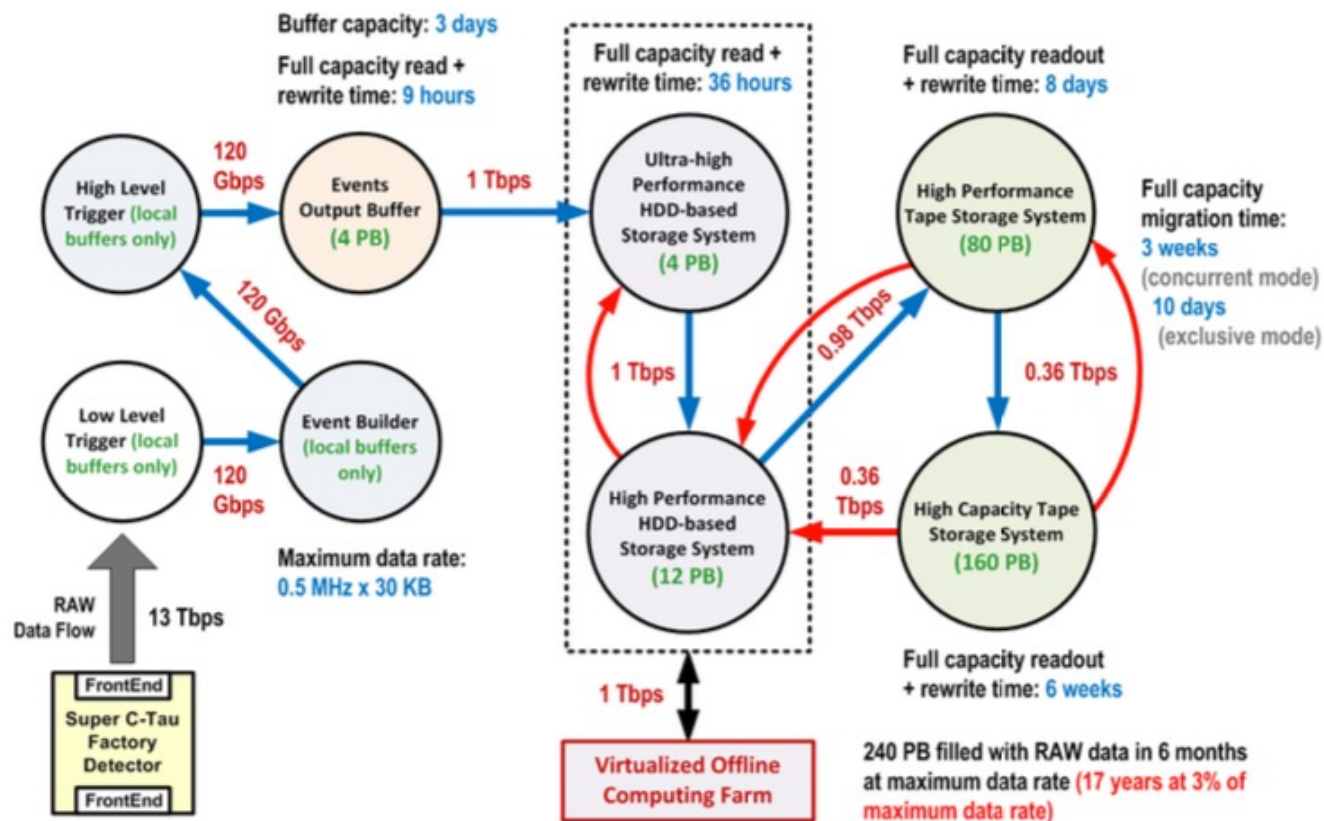
## Проработанная конструкция:

- Соленоид из трех катушек
- упоры, подвесы, криопроводы,
- Рассчитаны
  - Магнитные поля
  - Механические нагрузки
- Произведено несколько метров СП провода
- Есть  $Al$  для производства 2x3.5 км и 1x1.5 км провода (достаточно для СЦТФ)



# Система сбора, хранения, распределения данных и медленного контроля

- А.М. Сухарев & Д.А. Максимов & ...?!?!



# Вместо заключения или «Что делать!?!»

## В CDR должно быть:

- **По подсистемам:**

- Концептуальный проект системы
- Целевые (ожидаемые) параметры (разрешение, разделение и т.д.) в привязке к *Физической программе* экспериментов
- Технические параметры системы: габариты, масса, число каналов, потребление (эл.энергия, охлаждение, газы, воды и т.д.)
- Оценка стоимости и времени: отдельно на R&D и на производство

- **Электроника**

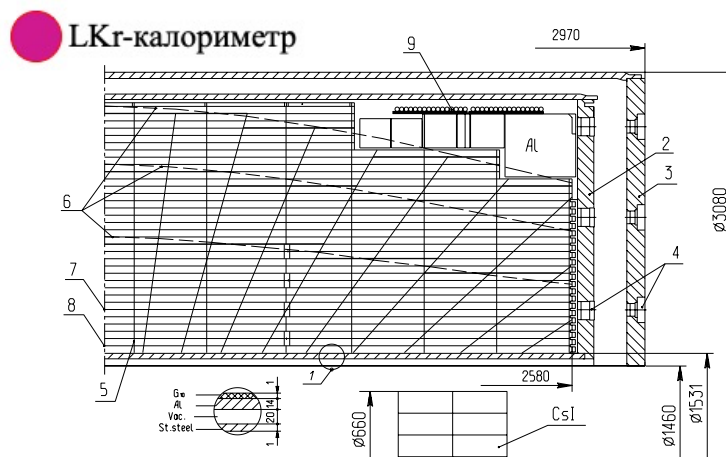
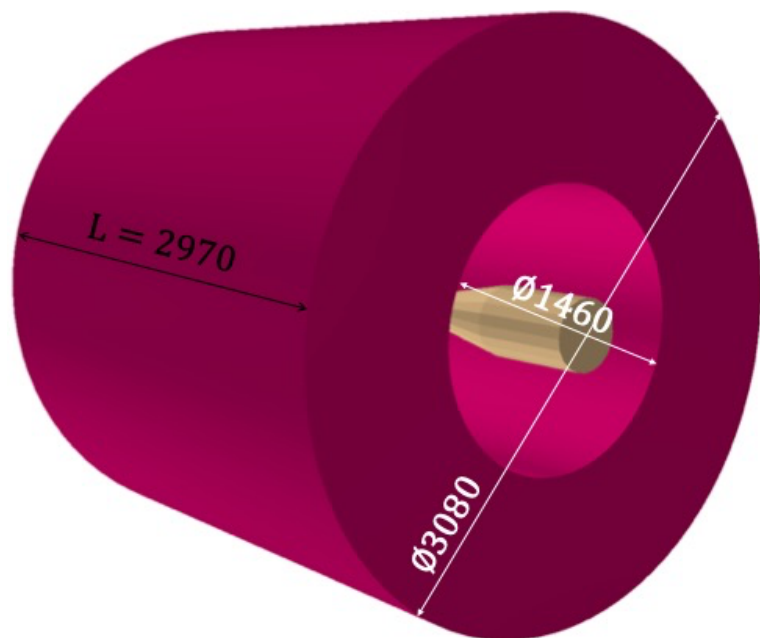
Нужна отдельная глава, посвященная разработке FEE в РФ (ASIC, ПЛИС и т.д.)

- **Поэтапный план развития проекта:**

- Фаза R&D
- Фаза 0, 1, 2 и т.д.

**КОГДА ВСТРЕЧАЕМСЯ?!?!?**

# Цилиндрический калориметр: LKr



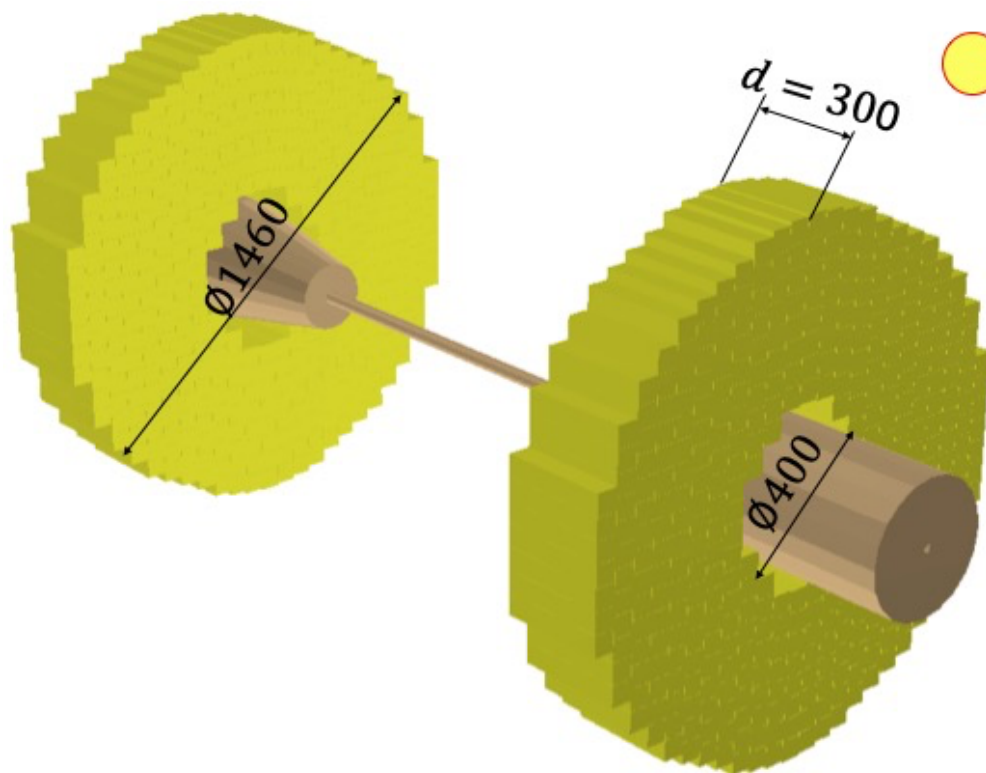
- С.В. Пелеганчук и Ко.  
Опция «Аля КЕДР»:
- $14.8X_0$  (27 т.)
- $\sigma_E/E$  :
  - 8% на 0.1 ГэВ
  - 3% на 1.8 ГэВ
- $\sigma_X \leq 1$  мм
- $ENE \leq 1$  МэВ/кан

## Идеи для модернизации:

- Sampling ADC с охлаждением
- Зазор дрейфа: 2 см → 1 см
- Добавить  $2X_0$  ?!?!
- Регистрация света из LKr?!?!

- Разработка ASIC:
  - 75 млн.р. – 3 итерации
  - 50 млн.р. – производство
- Остальные расходы ~ 40?! млн.р.
- ИТОГО: 165 млн.р.?!?!

# Торцевой калориметр: кристаллический

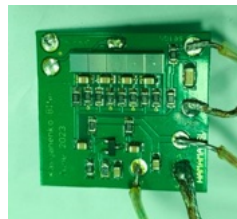
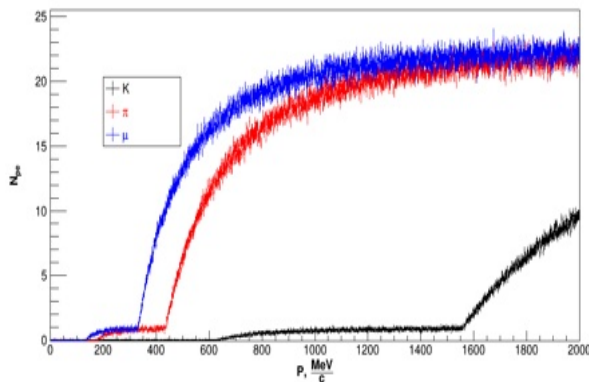
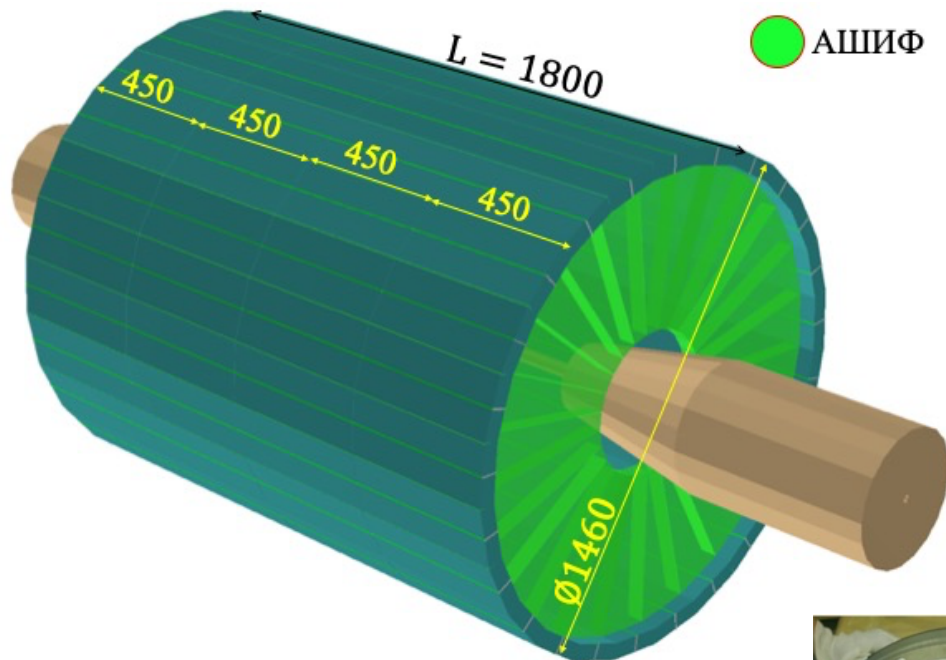


780 кристаллов  $6 \times 6 \times 30 \text{ см}^3$   
(или 1560  $6 \times 6 \times 15 \text{ см}^3$ )

● CsI(Tl)

- Опция «pure Csl»:
  - $16X_0/\tau \approx 30 \text{ нс} / WLS - NOL-9$
  - Кристаллы  $\sim 2000 \text{ млн.р.}$
  - $4 \times 780 = 3120 \text{ APD}$  ( $31 \div 200 \text{ млн.р.}$ )
- ИТОГО:  $\sim 2200 \text{ млн.р.}$
- Опция «BGO»:
  - $16X_0 - 20 \text{ см} / \tau \approx 300 \text{ нс}$
  - Кристаллы  $\sim 842 \text{ млн.р.}$
  - $2 \times 780 = 1560 \text{ PiN}$  ( $1.5 \div 15 \text{ млн.р.}$ )
- ИТОГО:  $\sim 860 \text{ млн.р.}$
- Опция «КЕДР+»:
  - $16X_0 / \text{CsI(Tl)} / \tau \approx 1.2 \text{ мкс}$
  - Кристаллы (1232 от КЕДР) + 90 млн.р.
  - $2 \times 1560 = 3120 \text{ PiN}$  ( $3.0 \div 30 \text{ млн.р.}$ )
- ИТОГО:  $\sim 120 \text{ млн.р.}$

# Система идентификации: АШИФ + КФЭУ



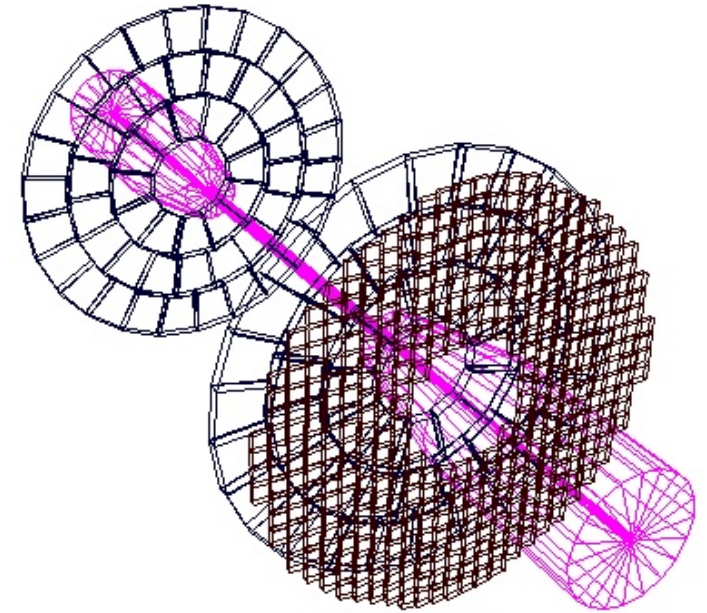
- А.Ю. Барняков и Ко.
  - Моделирование
  - Прототипирование
  - Тестирование
- $t[\text{cm}]/n : 8[\text{cm}]/1.05$ 
  - $N_{pe}^{\Sigma}(\beta = 1) \approx 20$
  - 300 счетчиков  $45 \times 17 \times 4 \text{ см}^3$  в 2 слоя
  - WLS – VBQ  $45 \times 20 \times 3 \text{ мм}^3$
  - $(6 \div 12) \times 300 = 1800 \div 3600$  КФЭУ  $3 \times 3 \text{ мм}^2$
- $\pi/K$  – разделение:
  - $\geq 4\sigma$  –  $0.5 \div 1.5 \text{ ГэВ/с}$  (порог  $\sim 5\phi$ )
  - $\geq 2.5\sigma$  –  $1.5 \div 2.0 \text{ ГэВ/с}$  (порог  $\sim 10\phi$ )

# Торцевой ФАРИЧ

## Мотивация

- $10^\circ \leq \theta \leq 22^\circ$  – нет МК →  
НЕТ  $\mu/\pi$ – разделения
- При физических фонах на малых R  
 $\sim 10^3 \div 10^5 e^-(e^+) \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$   
АШИФ не эффективен

- Аэрогель
  - 4-слойный фокусирующий с  $n_{\text{max}}=1.05$
  - 110 блоков  $20 \times 20 \times 35 \text{ см}^3$   $\sim 35 \text{ млн.р.}$
- Фотодетекторы
  - ФЭУ с МКП N6021 (NNVT) или «Экран ФЭП»
  - $2 \times 426 = 852$   $\sim 500 \div 680 \text{ млн.р.}$
- Электроника
  - HV  $\sim 8.5 \text{ млн.р.}$
  - Оцифровка  $\sim 100 \div 200 \text{ млн.р.}$
- ИТОГО:  $\sim 900 \text{ млн.р.}$



- $\pi/K$ – разделение  $\geq 3\sigma$  до 6 ГэВ/с
- $\mu/\pi$  – разделение  $\geq 3\sigma$  до 1.5 ГэВ/с
- ToF на входном окне  
→  $\pi/K$ – разделение  $\leq 0.5 \text{ ГэВ/с}$