

Детектор ВЭПП-6

А.Барняков для

Выездного совещания «Дискуссионного клуба»

б/о «Разлив», ИЯФ СО РАН, 24-28 августа 2026

VEPP-6

From A.Bogomyagkov

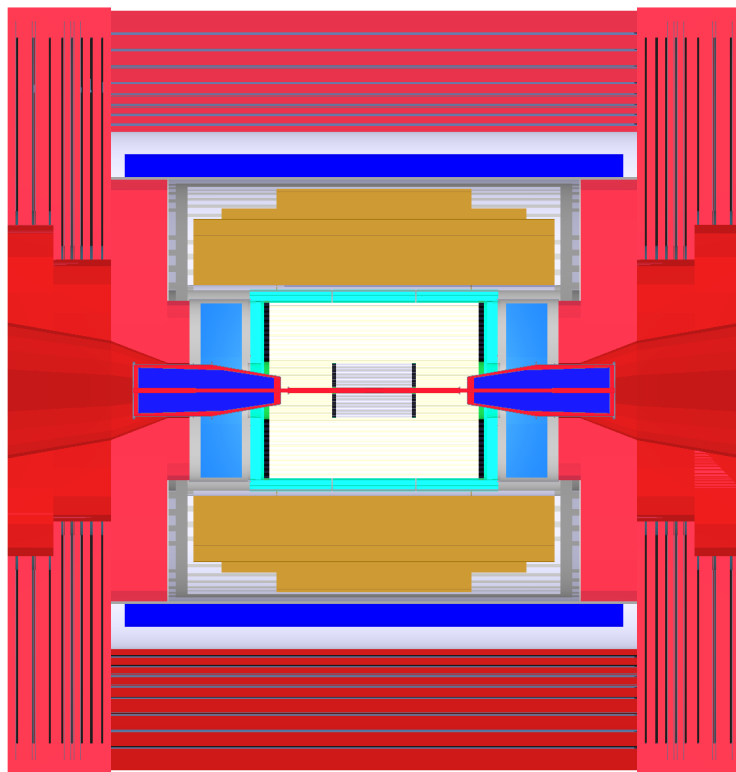
- e^+e^- collider - J/ψ factory and beyond
 - Beam energy from <0.5 to 1.6 GeV (J/ψ) (2.1 GeV)
 - Luminosity $\mathcal{L} \approx 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ @ 1.6 GeV
 - Located at BINP (Novosibirsk)
 - General purpose detector
 - Physics
 - J/ψ decays, physics of light hadrons
- $5 \times 10^{11} J/\psi$: $5 \times 10^8 \eta$, $3 \times 10^9 \eta'$, $10^{10} a_2/f_2$, $10^9 \Lambda \bar{\Lambda}, \dots$
- Baryon thresholds
 - Measurement of $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$, direct/ISR

$E, \text{ MeV}$	500	1000	1550	2100
$\Pi, \text{ m}$	388			
$2\theta, \text{ mrad}$	50			
$\beta_x^*/\beta_y^*, \text{ mm}$	150/3			
$I_{tot}, \text{ A}$	0.26	0.78	1.5	1.5
$\varepsilon_x, \text{ nm}$	55	33	31	31
$T_{Touschek}, \text{ s}$	900	900	1000	2000
$\mathcal{L}, 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1.7	25	150	200
	DAΦNE: 2-4	VEPP-2000: 0.9	BEPCII: 3.1	BEPCII: 10

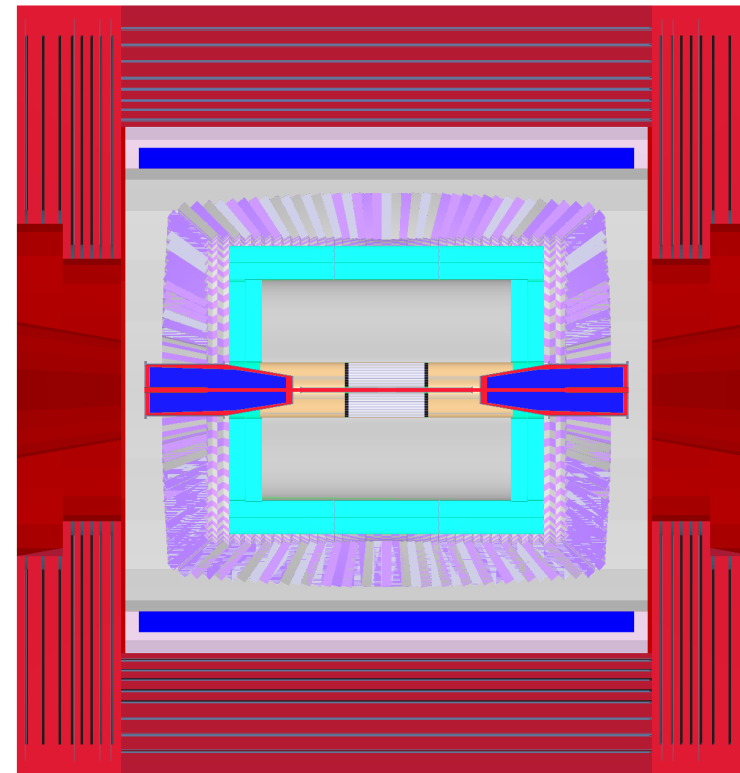
Т.к. ожидается улучшение стат. точностей $\sim \sqrt{10}$ раз, детекторные систематики должны быть тоже улучшены!?!?

«... невозможное ВОЗМОЖНО ...» или Aurora 3.0 – среда для работы и фантазий

<https://doi.org/10.1142/S0217732324400042>



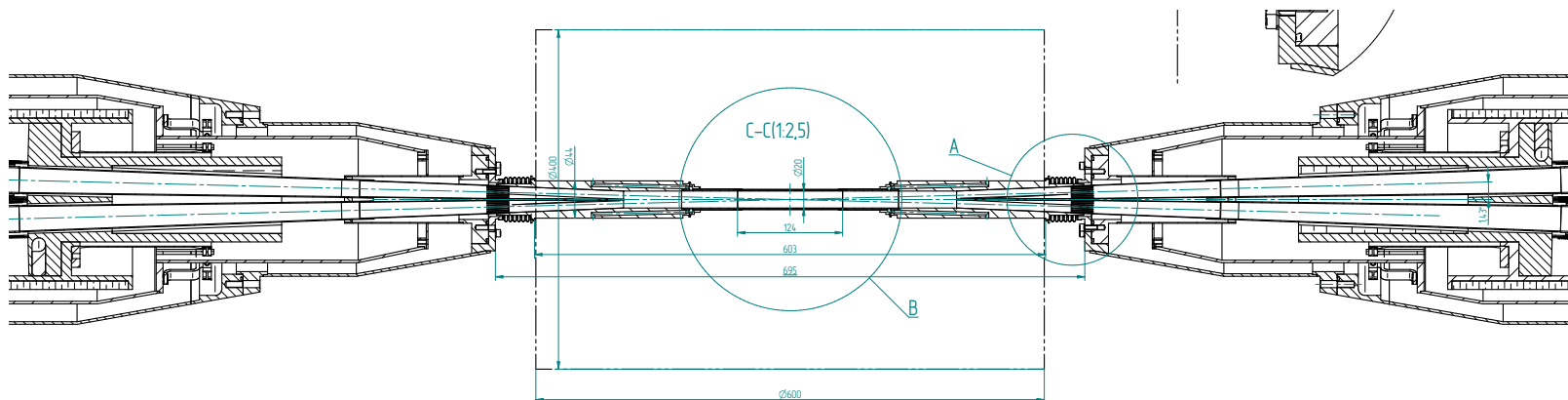
Фаза 1: «эконом»



Фаза 2: «All inclusive»

В среде Aurora 3.0 можно практически «бесплатно» реализовать и оптимизировать любую детекторную подсистему. Если интересно, обращайтесь к А. Сухареву и Д. Максимову.

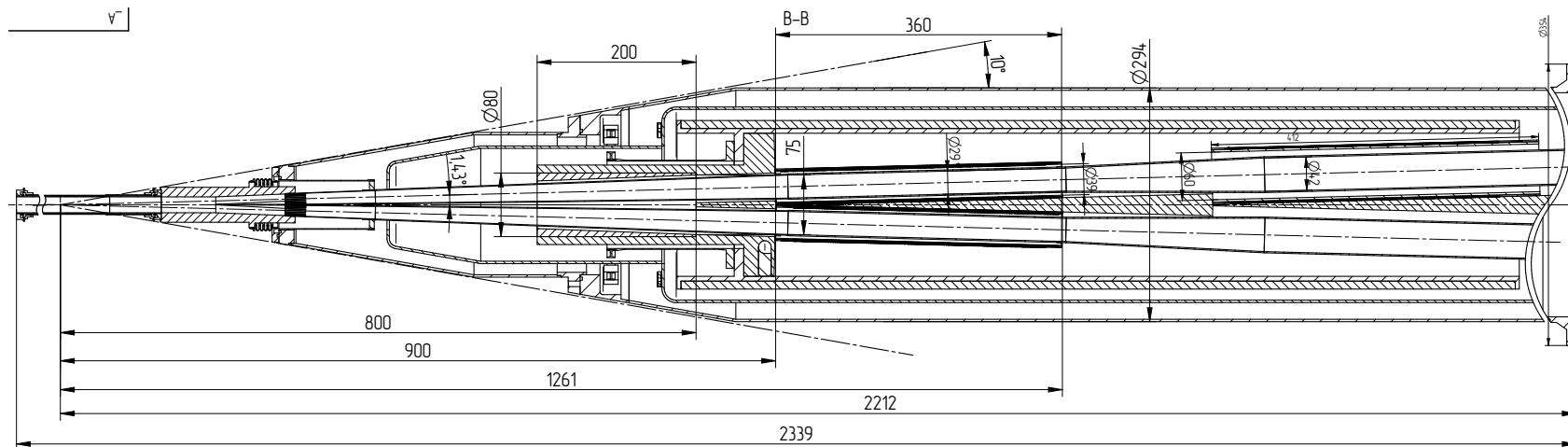
ФФ и ЦВК – ограничение на внутреннюю часть трековой системы



- ЦВК не имеет разъемных соединений

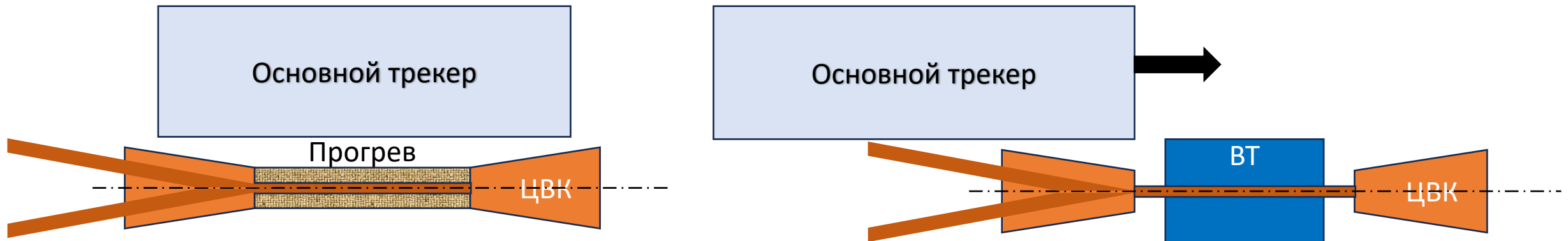
→ $\varnothing(\text{ДК})_{\min} \geq 400$ мм;

- Внутренний трекер:
 - $\varnothing 40 \div 400$ мм, L=600 мм с разъемной конструкцией.



ЦВК и некоторые особенности конструкции

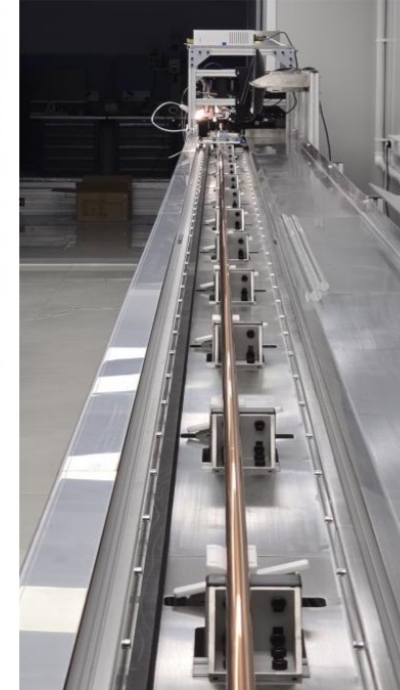
- Детектор собирается в стороне от ускорителя и в полном сборе транспортируется на точку взаимодействия.
- ЦВК должна быть прогрета ($\sim 400^\circ\text{C}$) откачена ($\sim 10^{-9}\text{Тор}$) и перекрыта шиберами с двух сторон.
- Внутренний треккер можно крепить на ЦВК после прогрева.
 - Вся конструкция ЦВК+ВТ+шиберы должна вставляться в ДК, закрепленную в детекторе?!
 - Или ЦВК прогревается внутри ДК, которая потом съезжает в сторону для установки ВТ?!
- От того какой вариант сборки будет выбран зависит внутренний радиус ДК и наружный ВТ.
- В случае ***Straw Tracker*** такие ограничения кажутся минимальными.



Straw Tracker



https://ctd.inp.nsk.su/wiki/index.php/File:Трекер_на_straw_tubes_для_детектора_ВЭПП-6.pptx



- $\sigma_x \sim 100 \mu m$;
- $\sigma_p / P_t \sim 1 \div 2\%$;
- $\sigma_{dE/dx} / dE/dx \sim 10\%$

Производственный участок в ОИЯИ:

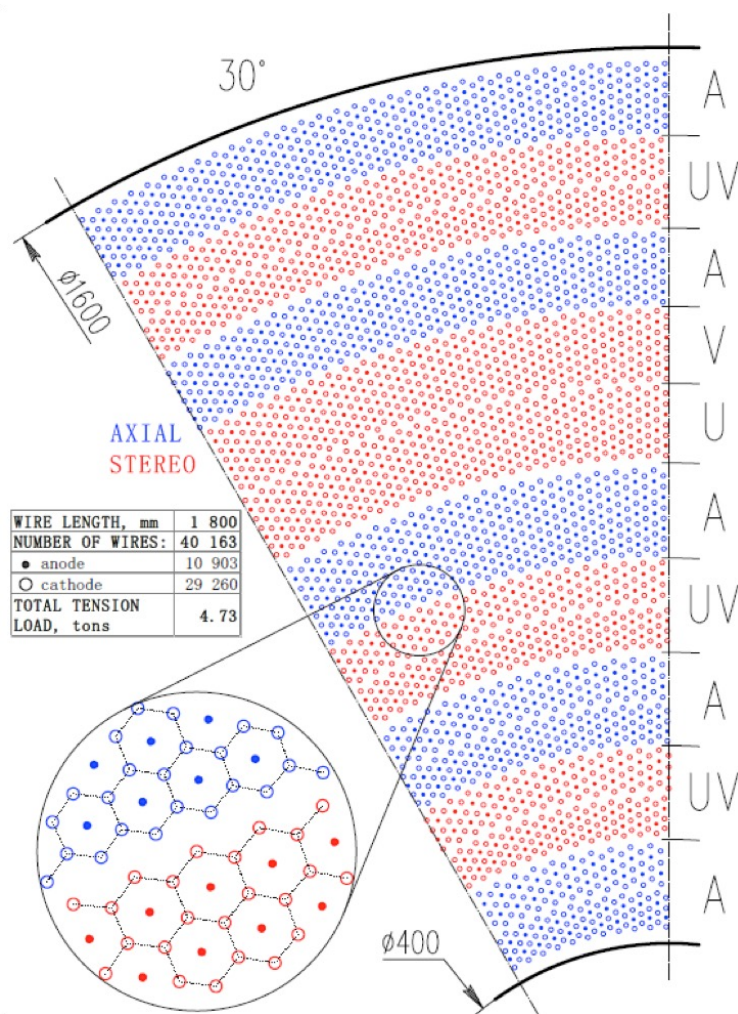
- Алюминизированный лавсан 25÷30 мкм
- Сварная технология
- Автоматизированная установка производит трубки до 12 м – 1 м/мин
- Есть планы перейти на лавсан толщиной 15 мкм

<https://indico.ihep.su/event/922/contributions/901/attachments/1364/2159/Protvino2026.pdf>

Разлив - 2026

Дрейфовая камера

ДК для КЕДРа



ДК с гексагональной ячейкой:

- Гексагональная ячейка, размер $\sim 0.8 \div 1.2$ см.
- 41 слой: 5 стерео и 5 аксиальных супер-слоев.
- 10903 – анодных проволочки.
- He/C₃H₈(60%/40%).
- ★ $\sigma_x \leq 90 \mu\text{m}$.
- ★ $\frac{\sigma_P}{P_t} (1\text{GeV/c}) \sim 0.38\%$.
- ★ $\frac{\sigma_{dE/dx}}{\langle \frac{dE}{dx} \rangle} \leq 7\%$.

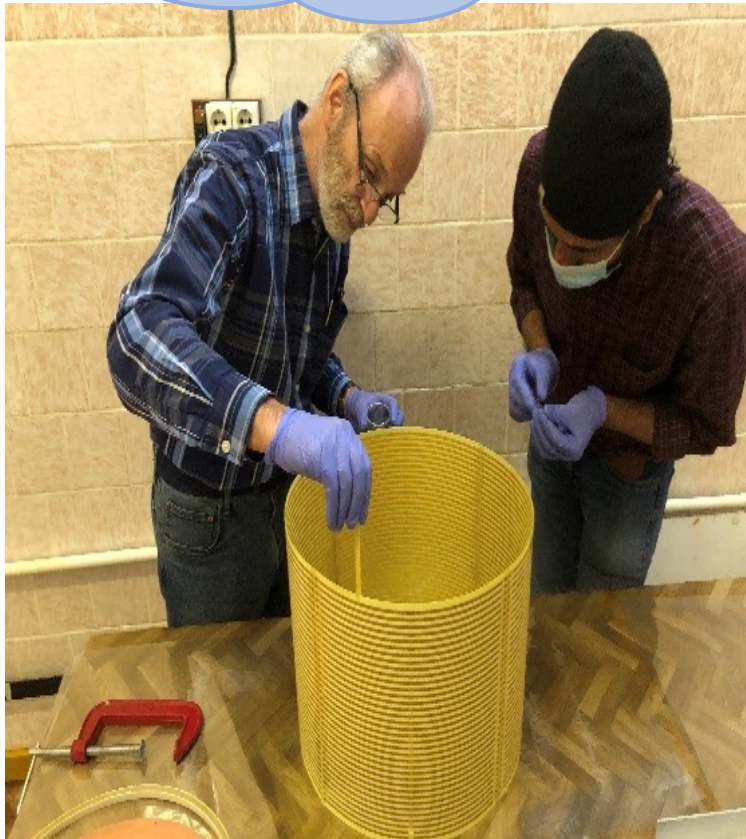
В ИЯФ идет прототипирование.

I.Yu.Basok et al, NIMA 1009 (2021) 165490



Время-проекционная камера (TPC)

ПОЧЕМУ не TPC?!



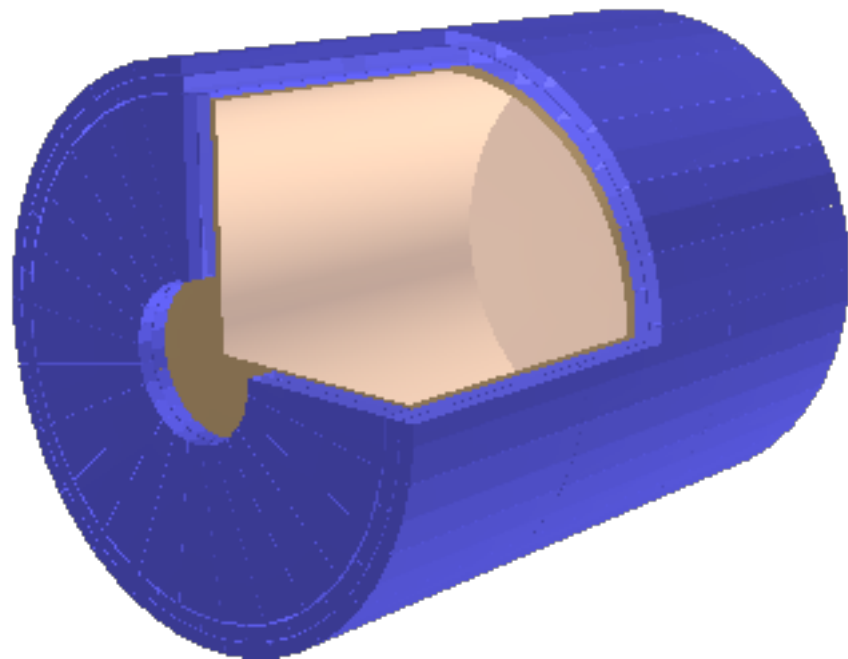
VEPP-6:

- $R=200\div 800$ мм;
- $L=1800$ мм;
- $B=1\div 1.5$ Тл;
- $\Delta T_{\text{bunch}}=6$ нс;
- $L=2\cdot 10^{34}\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$;
- $\langle N_{\text{tr}} \rangle=4$;

CEPC:

- $R=300\div 1800$ мм;
- $L=4700$ мм;
- $B=2\div 3$ Тл;
- $\Delta T_{\text{bunch}}=25$ нс;
- $L=16\cdot 10^{34}\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$;
- $\langle N_{\text{tr}} \rangle=40$;
- $\text{Ar}/\text{CF}_4/\text{iC}_4\text{H}_{10} - 95\%/3\%/2\%$
- $50\text{кВ} - 300\text{В}/\text{см}$;
- $V_{\text{drift}}=8\text{см}/\mu\text{с}$;
- Диффузия – $30\mu\text{м}/\sqrt{\text{см}}$;
- $\text{Gain}\cdot\text{IBF}=5 \rightarrow 40\mu\text{м}$;

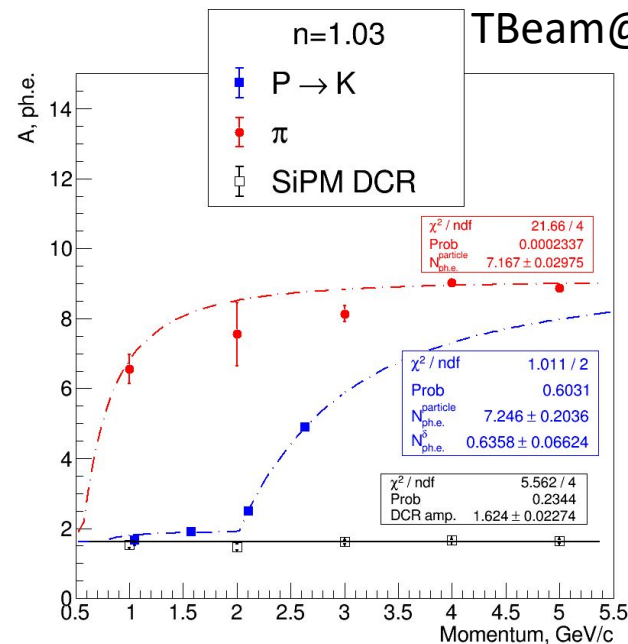
PID: АШИФ



Параметрическое моделирование
системы АШИФ в AURORA 3.0.0:

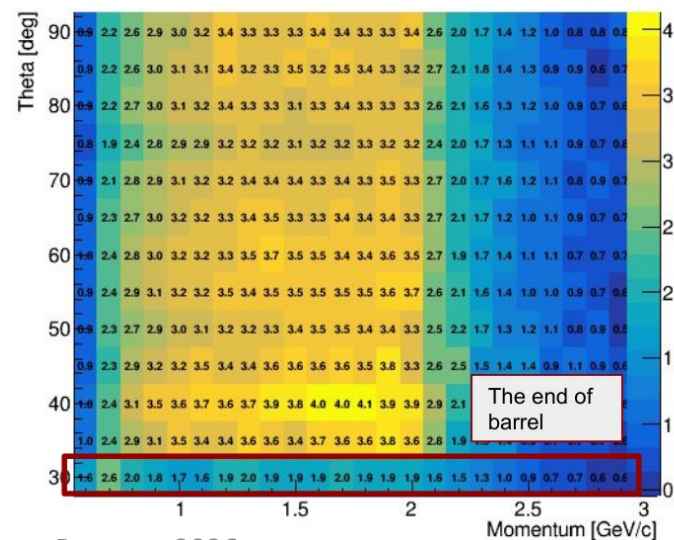
- 300 счетчиков в два слоя
- Аэрогель с $n=1.03 \rightarrow \pi/K$ от 0.6 до 2.0 ГэВ/с
- $350 \cdot 15(16) = 5250$ (5600) SiPM 3x3 мм
- Толщина системы $\sim 9\%X_0$

Опция АШИФ хорошо проработана для СТСФ (Китай).

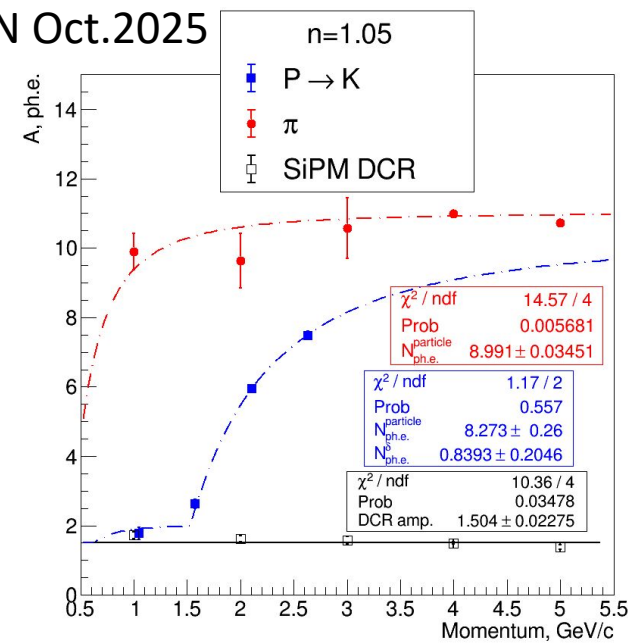


$n=1.03@T=18^\circ\text{C}$

Nsigma vs Momentum & Theta (threshold=5.0)

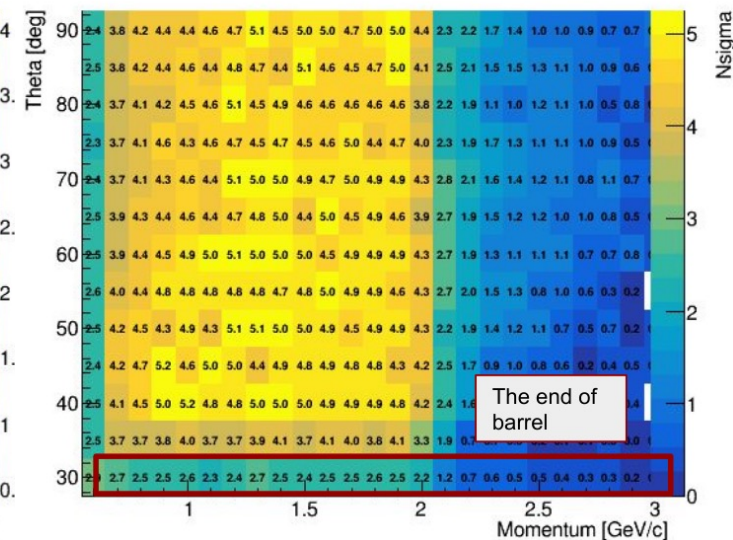


Разлив - 2026



$n=1.03@T=-40^\circ\text{C}$

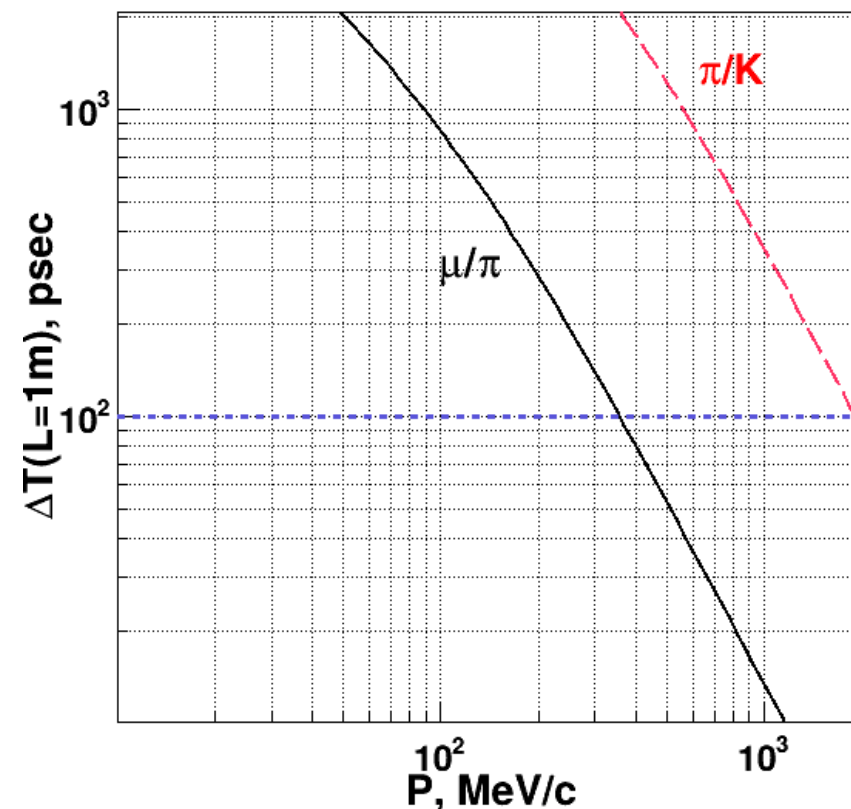
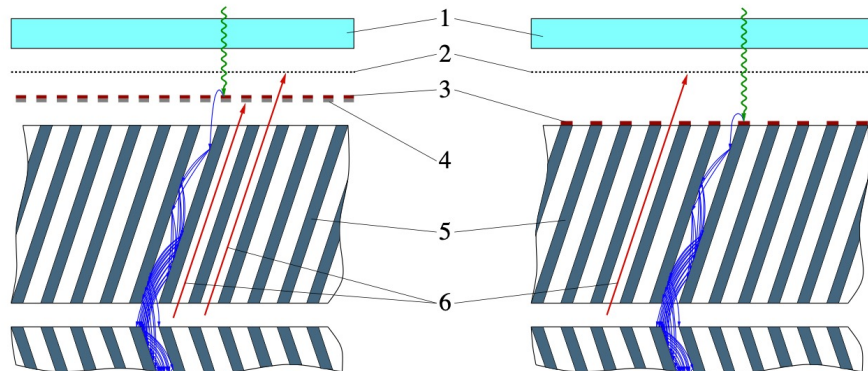
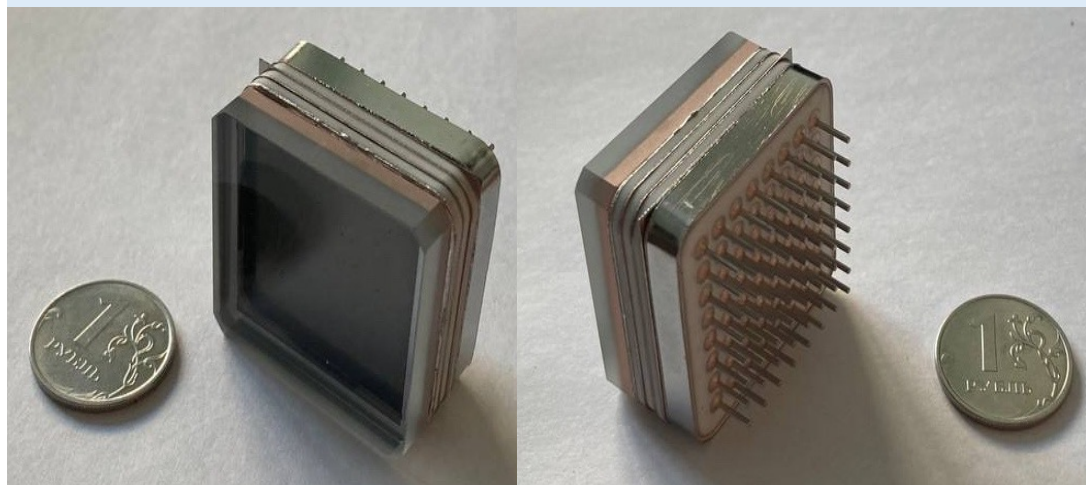
Nsigma vs Momentum & Theta (threshold=0.9)



PID: ToF

Square MCP PMT from “Ekran FEP”:

- All details and components are produced in Russia
- First samples for test will be available soon

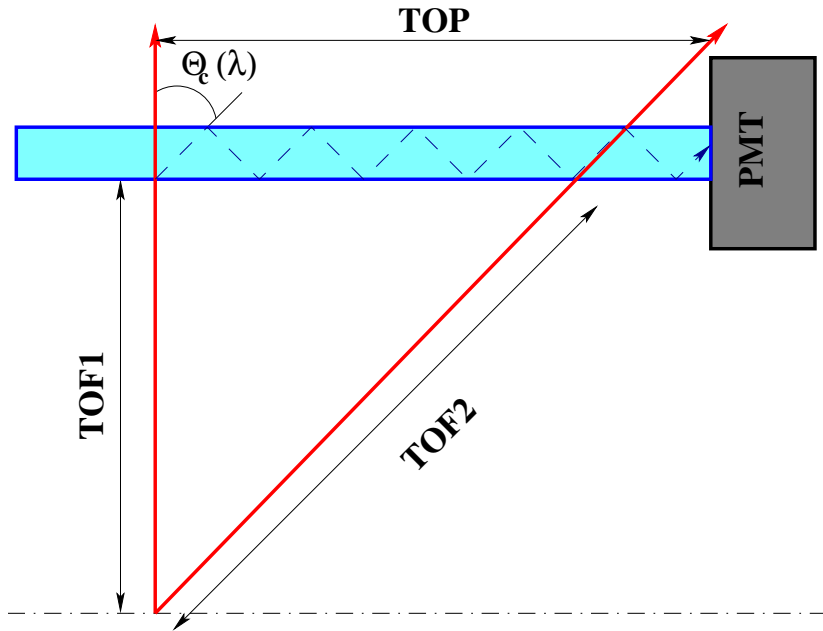


- В BES-III $\sigma_t = 70 \div 90 \text{ пс} \rightarrow \pi/K$ -разделение до 0.9 ГэВ/с

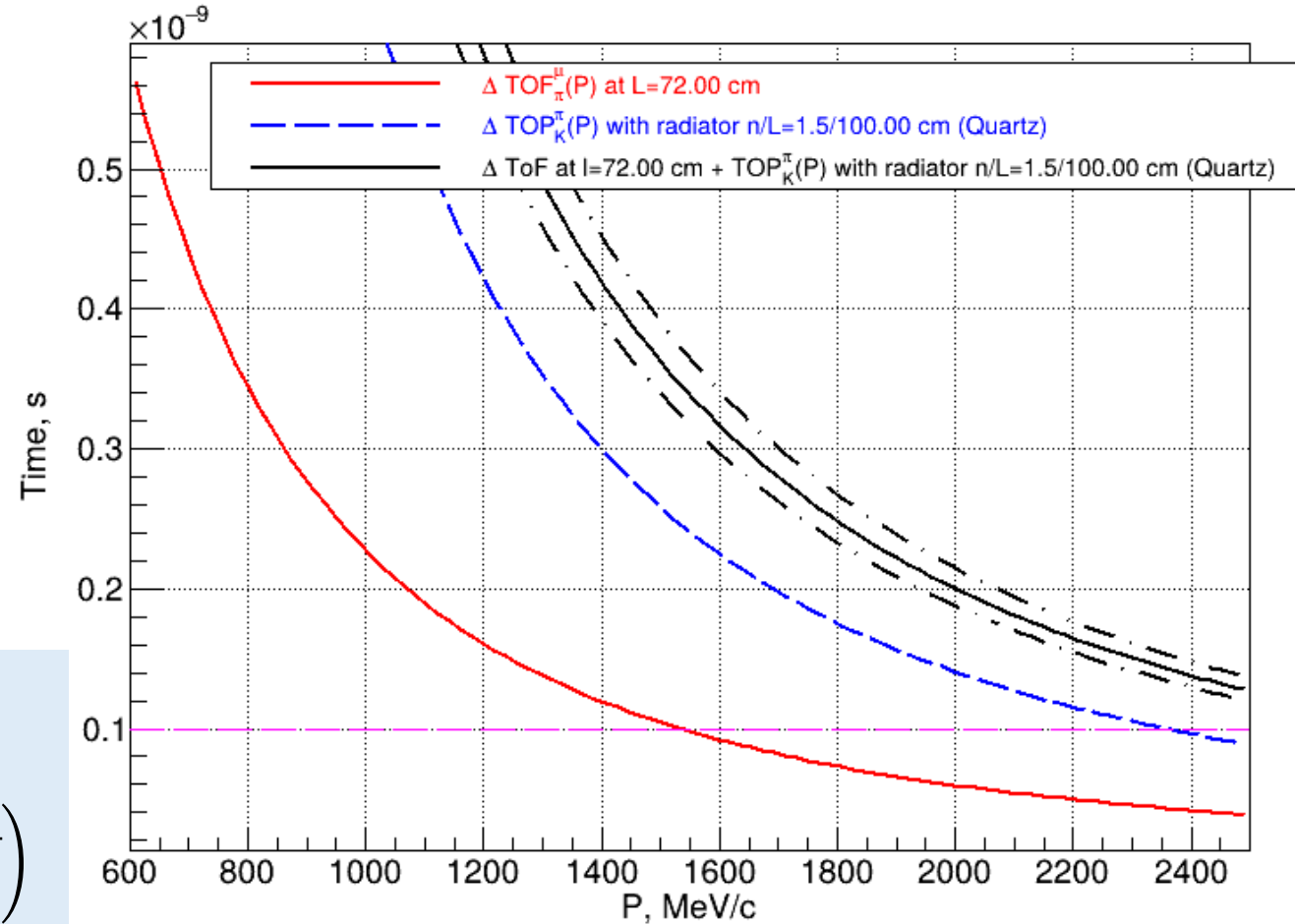
Если временное разрешение будет определяться длиной банча (15÷30 пс), то можно на базе 1 м разделять π/K до 2 ГэВ/с!

При регистрации ЧИ из входного окна прибором на основе МКП с CsI-фотокатодом получено $\sigma_t = 7 \div 12 \text{ пс}$

PID: DIRC-like-ToF (DToF)



- $\Delta_{ToF} = \frac{L_{tof}}{c} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{m_2^2}{p^2}} - \sqrt{1 + \frac{m_1^2}{p^2}} \right)$
- $\Delta_{ToP} = \frac{L_{top} \cdot n(\lambda)^2}{c} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{n(\lambda)^2 - 1 - \frac{m_2^2}{p^2}}} - \frac{1}{\sqrt{n(\lambda)^2 - 1 - \frac{m_1^2}{p^2}}} \right)$
- Черенковский радиатор увеличивает разницу времен прихода сигнала для разных частиц с одинаковым импульсом, но $n(\lambda)$ является дополнительным вкладом в σ_t

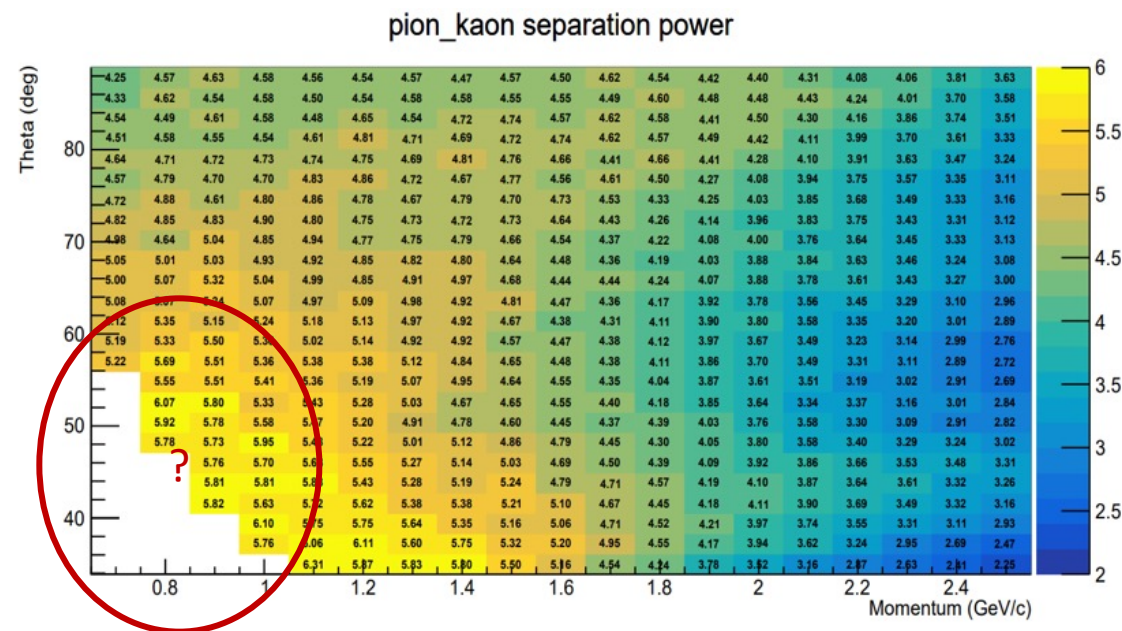
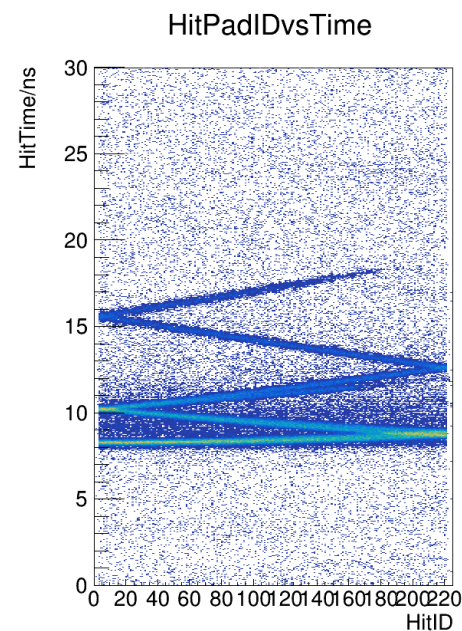
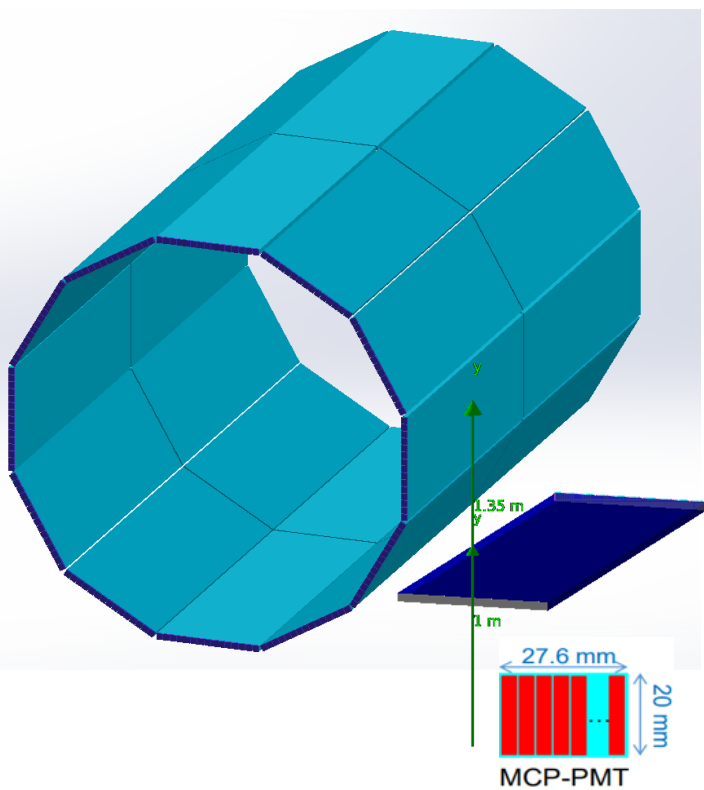


Расчет для перпендикулярного пролета:

- времяпролетная база – 72 см;
- черенковский радиатор – 100 см.

Application of DTOF in Barrel

- Conceptual design of barrel PID based on the DTOF technology
- Design optimization by scanning a variety of key design parameters
- Performance with full simulation mostly meet PID requirements
- More studies and work are planned



Нужна электроника с собственным временным разрешением $\leq 15\text{пс}$!!!

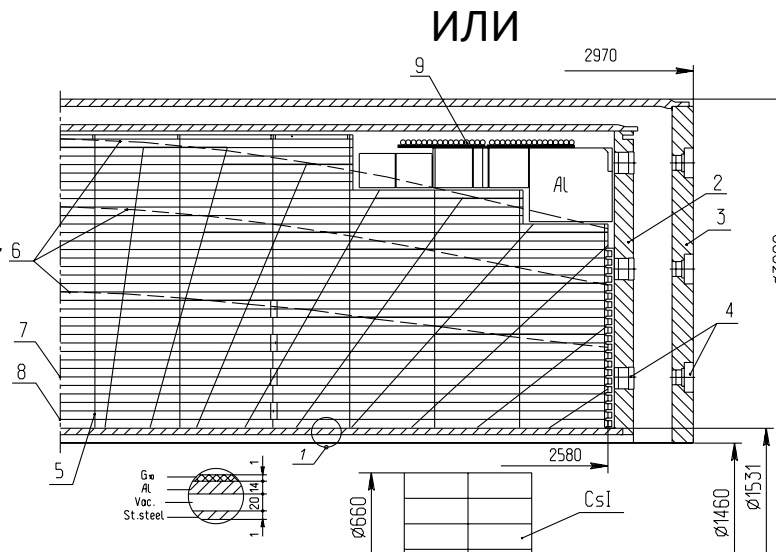
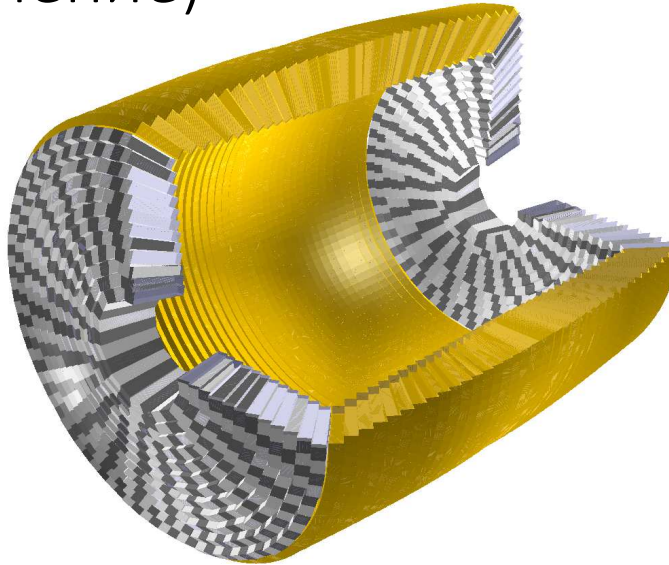
Калориметр: BGO vs LKr

(безответственное сравнение)

BGO:

- $X_0 = 1.13 \text{ см} \rightarrow 16X_0 = 18 \approx$ **20 см**
- $R_M \approx 2.26 \text{ см} \rightarrow$ **3x3 см**
- ФД : 2PiN(APD)~ **10x10 мм**
- Кристаллы/каналы эл.:~ **30k/60 k**
- $\sigma_E/E (1 \text{ ГэВ}) \sim$ **1.8 %?!**
- $\sigma_X(1 \text{ ГэВ}) \sim$ **$\leq 8 \text{ мм?!$**
- dE/dx **нет**
- $\tau =$ **300 нс**

Необходима спец. FE- и DAQ-электроника



Разлив - 2026

LKr:

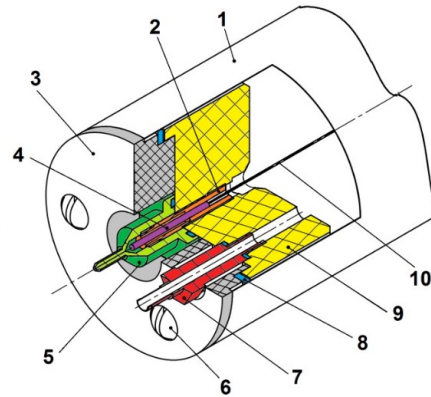
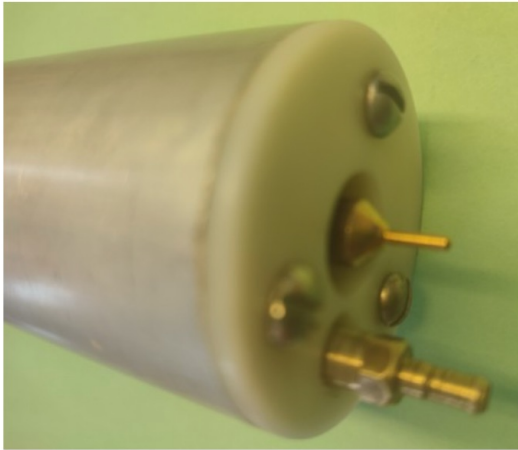
- $X_0 = 4.56 \text{ см} \rightarrow 15X_0 \approx$ **70 см**
- $R_M \approx 6.66 \text{ см}$
- Полосковая структура: **$\Delta \sim 10 \text{ мм}$**
- Полоски/башни: ~ **5k/2.3 k**
- $\sigma_E/E (1 \text{ ГэВ}) \sim$ **4 %?!**
- $\sigma_X(1 \text{ ГэВ}) \sim$ **$1 \div 2 \text{ мм?!$**
- $\sigma_{dE/dx} / dE/dx \approx$ **10%**
- $\tau =$ **1.5/4 мсек**

Необходима спец. FE- и DAQ-электроника

https://ctd.inp.nsk.su/wiki/images/3/32/LKr_vepp6.pdf

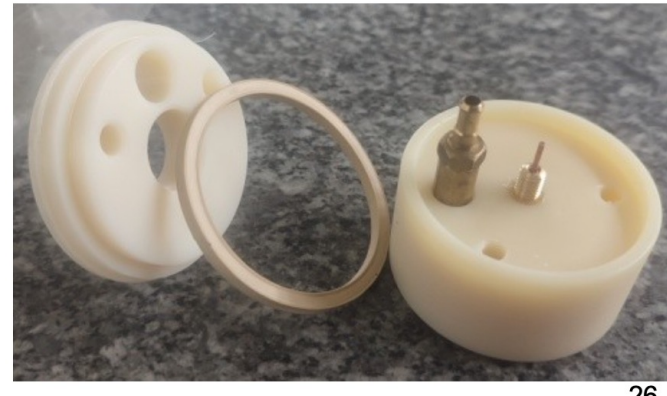
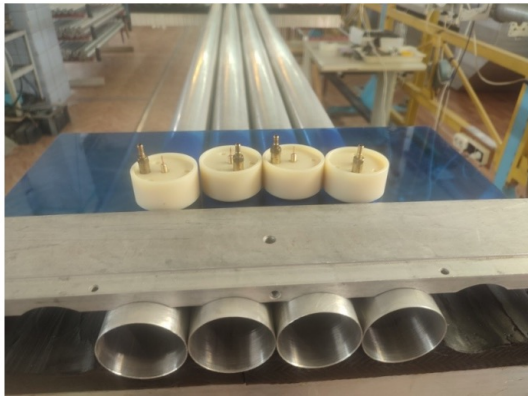
Мюонная система на трубках

Камеры из ДТ в алюминиевой трубе диаметром 52 мм, толщ. стенки 0.8 мм
(схематическая конструкция и компоненты ДТ в обновленном варианте)



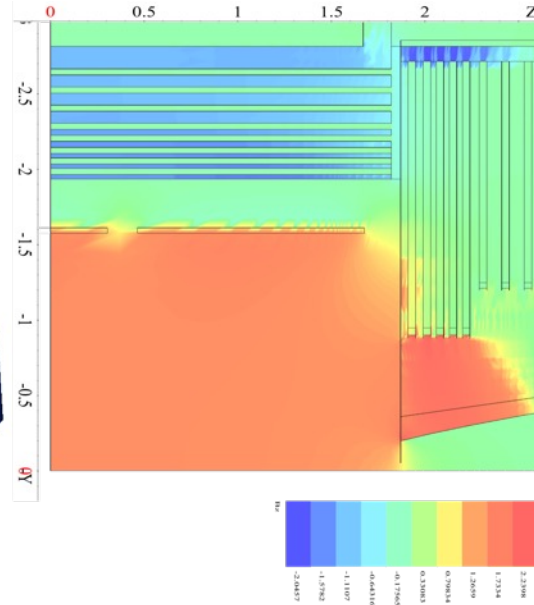
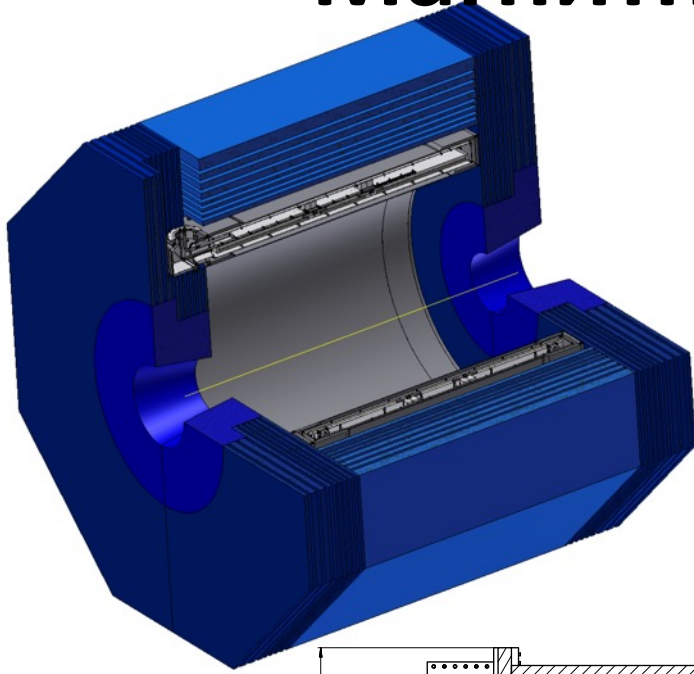
- 1 – корпус ДТ
- 2 – втулка латунная
- 3 – крышка заглушки (капролон)
- 4 – трубка обжимная капиллярная
- 5 – колпачок сигнальный
- 6 – винт
- 7 – штуцер
- 8 – прокладка уплотнительная
- 9 – корпус заглушки (капролон)
- 10 – сигнальная проволока

В ИФВЭ (Протвино) имеется полный цикл производства трековых детекторов на основе ДТ в алюминиевой трубе и в лавсане 125 мкм;

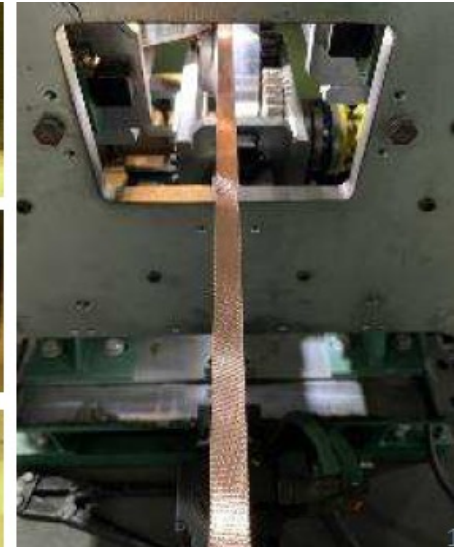
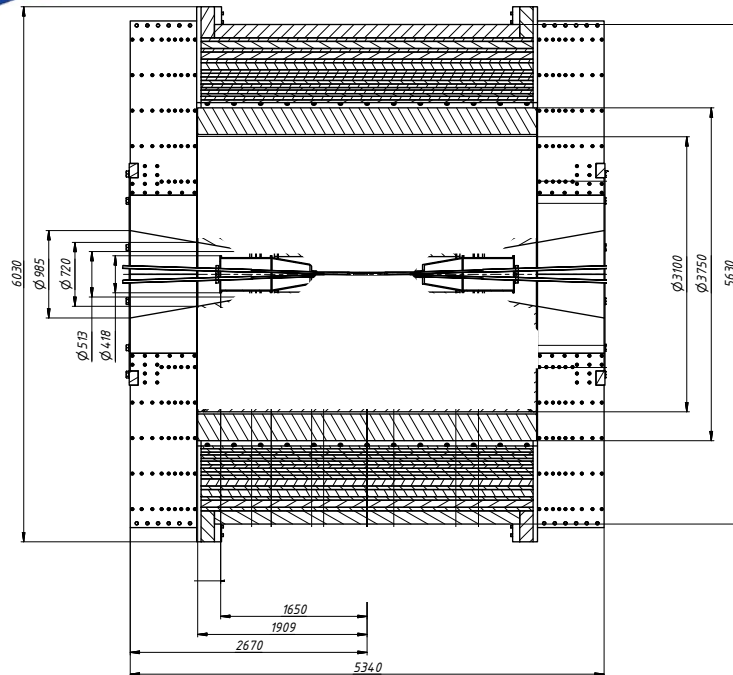


В отличии от мюонной системы на сцинтилляторах с WLS и КФЭУ все можно произвести внутри страны!!!

Магнитная система: ярмо и СП катушка



Разработка СП шины в РФ



Wuxi Toly Electric Works Co.,Ltd (Китай)

<https://indico.pnp.ustc.edu.cn/event/4580/contributions/31969/>

Разлив - 2026

Заключение

- 80% детекторных технологий, необходимых для разработки и создания детектора для ВЭПП-6 имеются в РФ;
- Недостающие 20% технологий можно пробовать привлечь через сотрудничество с Китаем;
- Критическим вопросом являлось, является и будет – разработка специализированной электроники;
- Для того, чтобы разработать детектор с систематиками в разы меньшими, чем у современных экспериментов в области рождения ψ -мезонов, необходимо моделировать детекторные системы и физические процессы.