

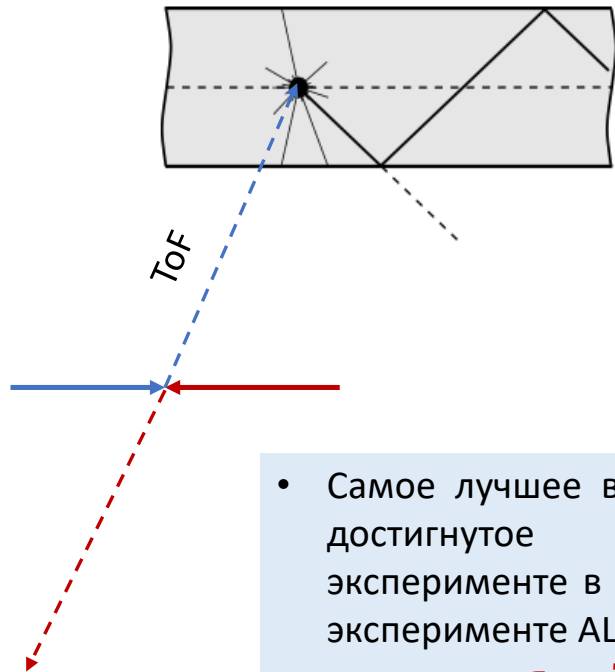
Проект ВЭПП-6: детектор *или* *Идентификация для Φ – ψ фабрики в ИЯФ*

А.Ю. Барняков

- *ToF*
- *DIRC-like-ToF*
- *ASHIPH*
- *FARICH*

**Собрание рабочей группы по разработке CDR
ИЯФ СО РАН, Новосибирск 24/04/2025г.**

Time of Flight (ToF)



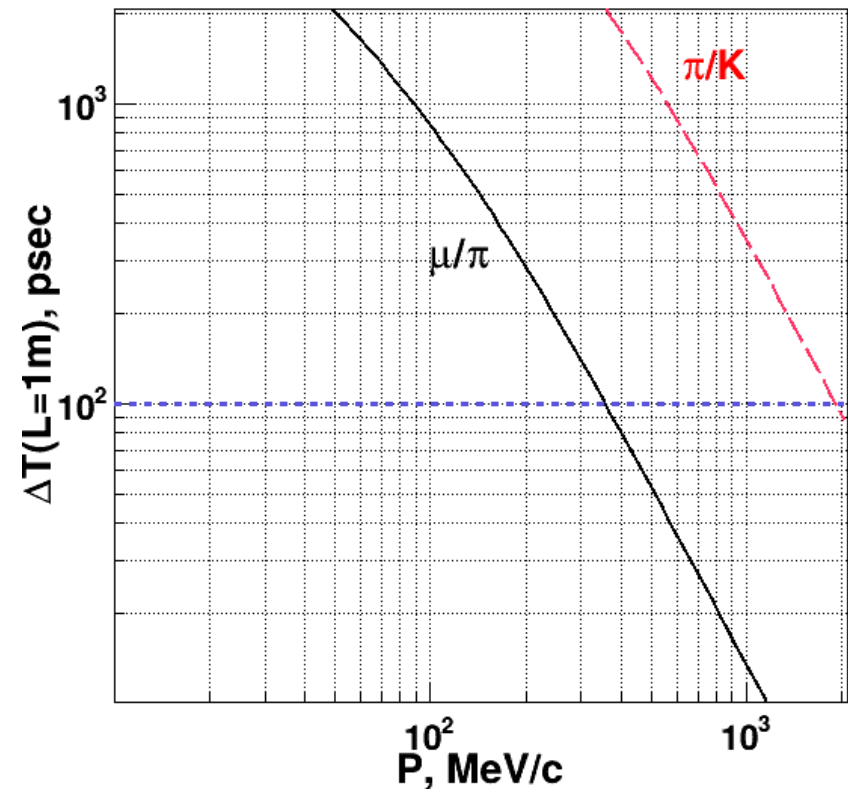
- Самое лучшее временное разрешение, достигнутое в коллайдерном эксперименте в системе ToF (BES-III) и в эксперименте ALICE

$$\sigma_t = 70 \div 90 \text{ пс}$$

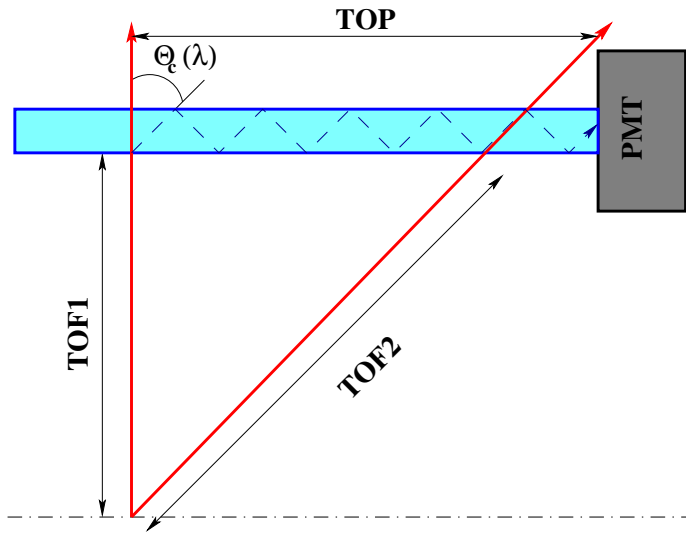
- Неопределенность t_0 квадратично добавляется к σ_t и зависит от параметров пучка:

$$l_{bunch} = 5 \div 10 \text{ мм} \rightarrow \sigma_{t_0} = 15 \div 30 \text{ пс}$$

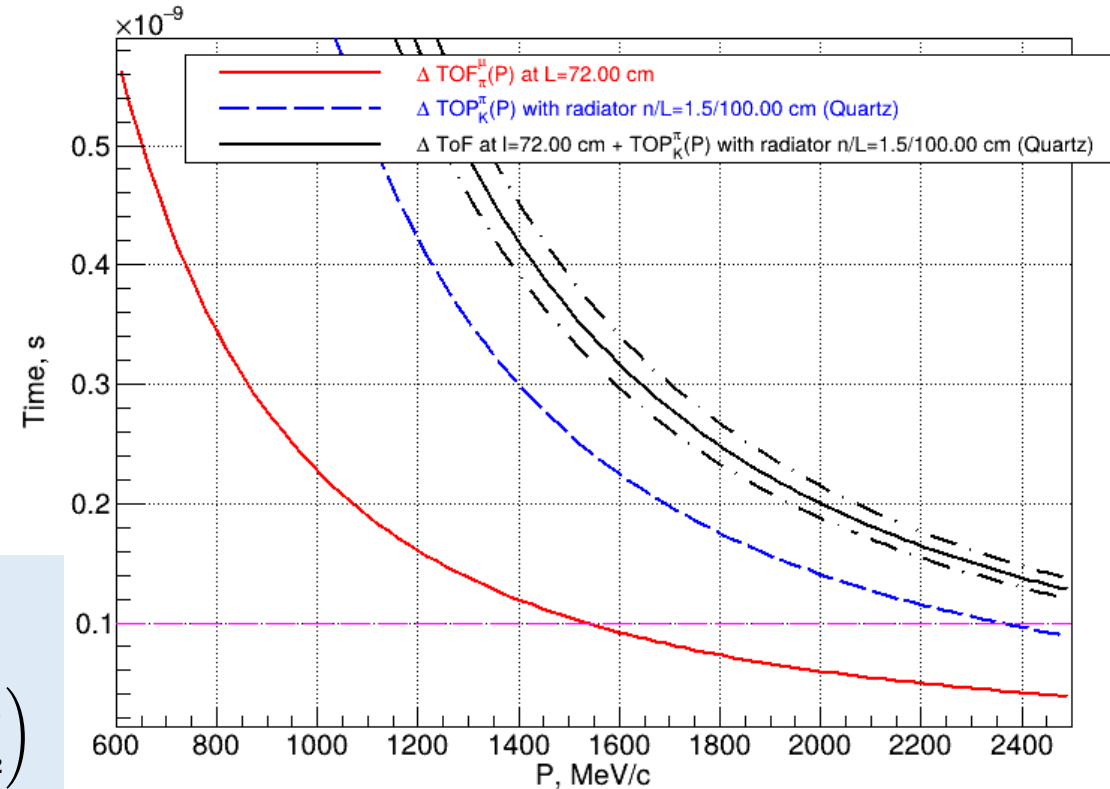
- При пролетной базе $\sim 1 \text{ м}$ возможно обеспечить π/K -разделение до 1 ГэВ/с



DIRC-like-ToF (DToF)



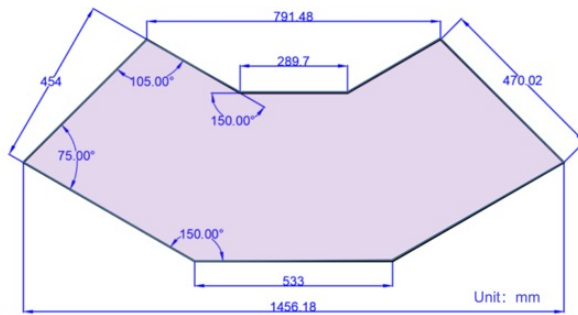
- $\Delta_{ToF} = \frac{L_{tof}}{c} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{m_2^2}{p^2}} - \sqrt{1 + \frac{m_1^2}{p^2}} \right)$
- $\Delta_{ToP} = \frac{L_{top} \cdot n(\lambda)^2}{c} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{n(\lambda)^2 - 1 - \frac{m_2^2}{p^2}}} - \frac{1}{\sqrt{n(\lambda)^2 - 1 - \frac{m_1^2}{p^2}}} \right)$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



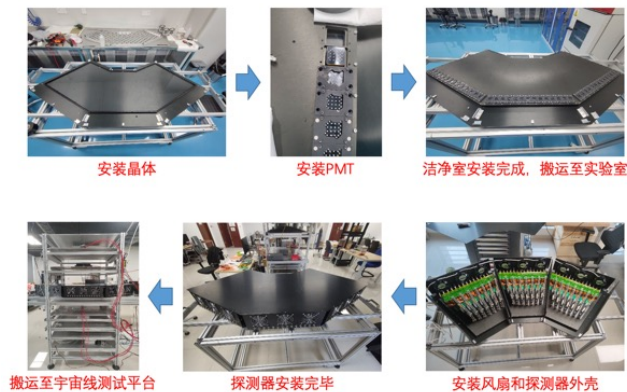
Расчет для перпендикулярного пролета:

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

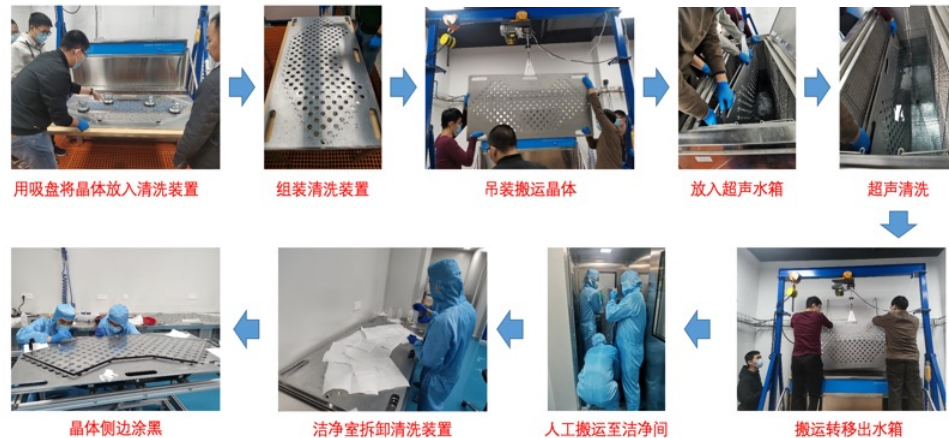
PID Endcap: A full-sized DTOF prototype



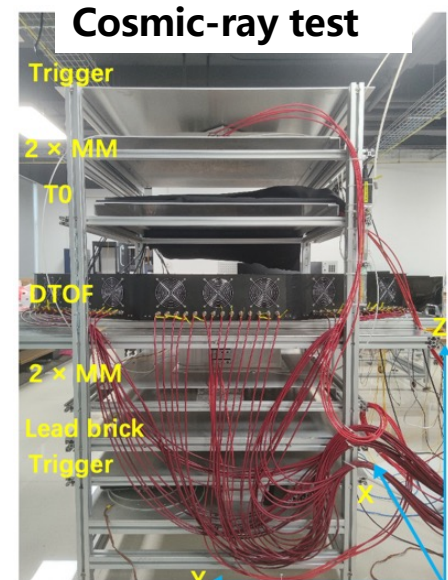
Detector assembling



石英清洗和安装



Quartz radiator cleaning and mounting

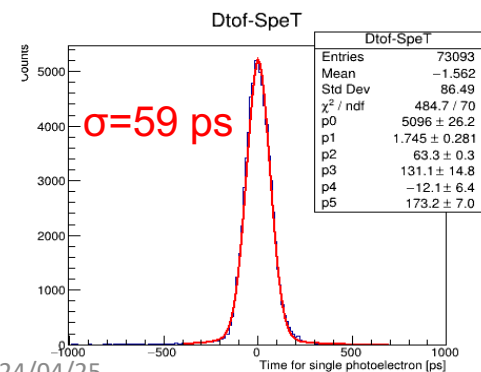


Cosmic-ray test

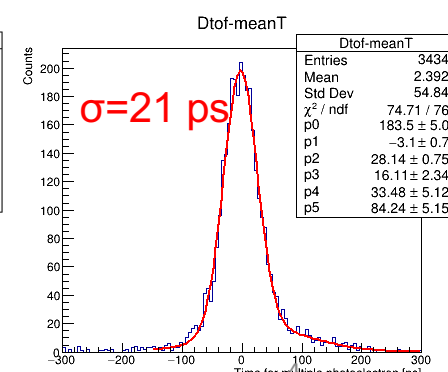


Hamamatsu R10754

- 灵敏面积: $23 \times 23 \text{ mm}^2$
- 像素分布: 4×4 阵列
- 像素大小: $5.5 \times 5.5 \text{ mm}^2$
- 光谱响应范围: 200-850 nm
- 量子效率: $25\% @ \lambda = 400 \text{ nm}$
- 单光子灵敏
- 高增益: $> 10^6$
- 增益非均匀性: $14\% (\sigma/\mu)$
- 时间性能: $\sim 27 \text{ ps}$



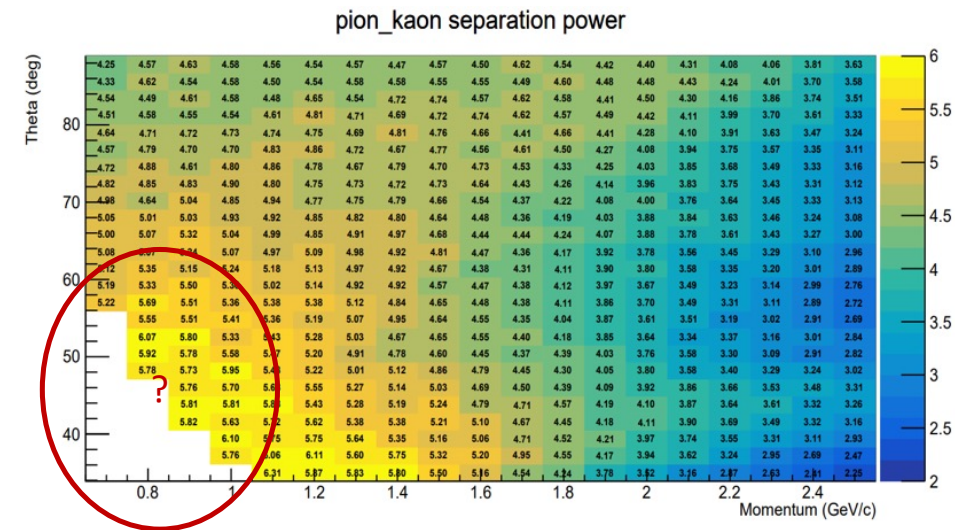
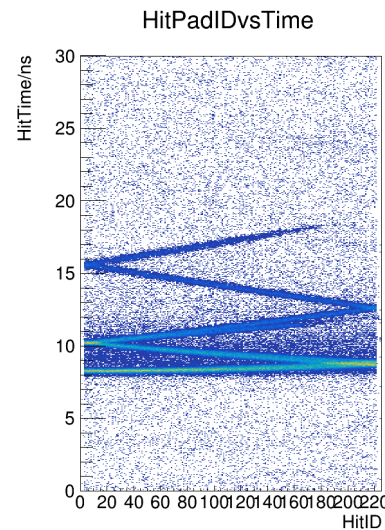
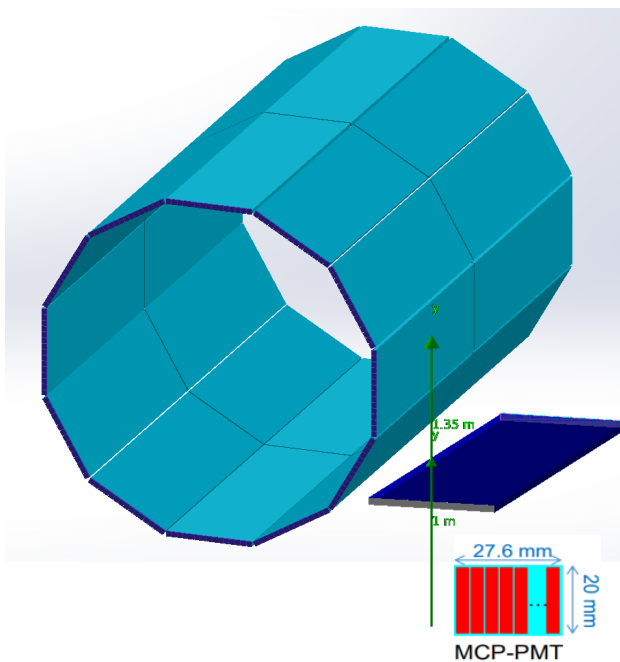
single photon time resolution



Single track time resolution

Application of DTOF in Barrel

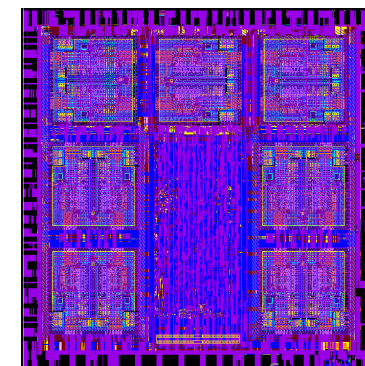
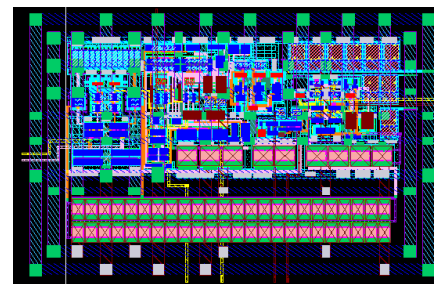
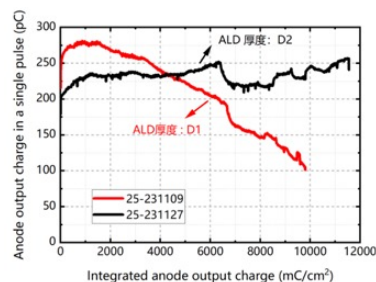
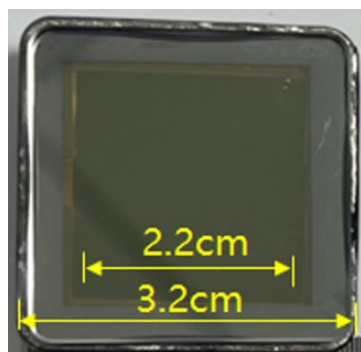
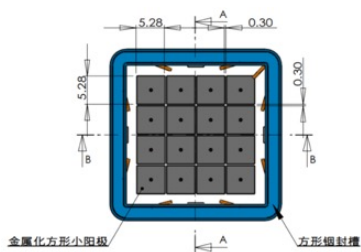
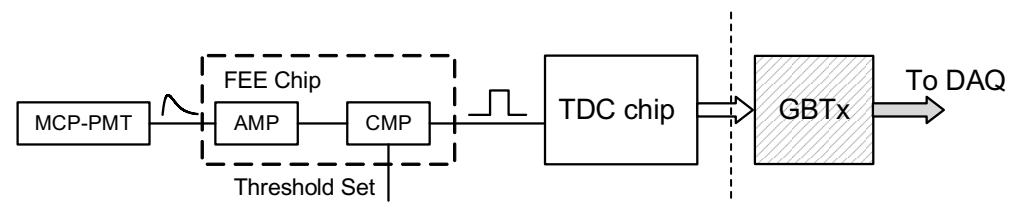
- Conceptual design of barrel PID based on the DTOF technology
- Design optimization by scanning a variety of key design parameters
- Performance with full simulation mostly meet PID requirements
- More studies and work are planned



DTOF R&D on MCP-maPMT and Readout ASICs

- MCP-maPMT: a critical component of the DTOF technology
- Designed and produced 1-inch MCP-maPMT with 16 annodes, TTS < 40 ps
- Intensive R&D on techniques (ALD and electron scrubbing) to produce long-life MCP-PMT (target > 10 C/cm²)

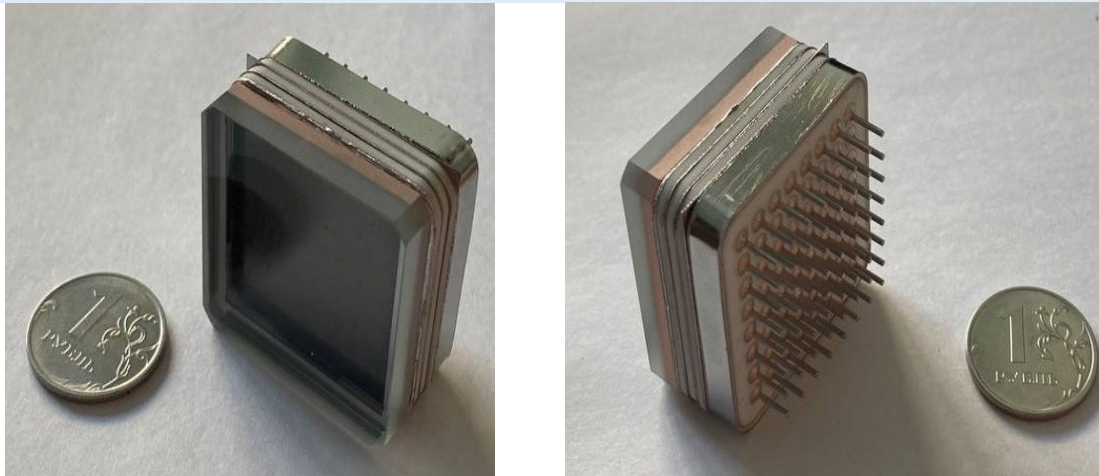
- Two ASICs designed for MCP-maPMT readout.
 - FET (taped out) , target ~ 15 ps
 - TDC (taped out), target ~ 15 ps



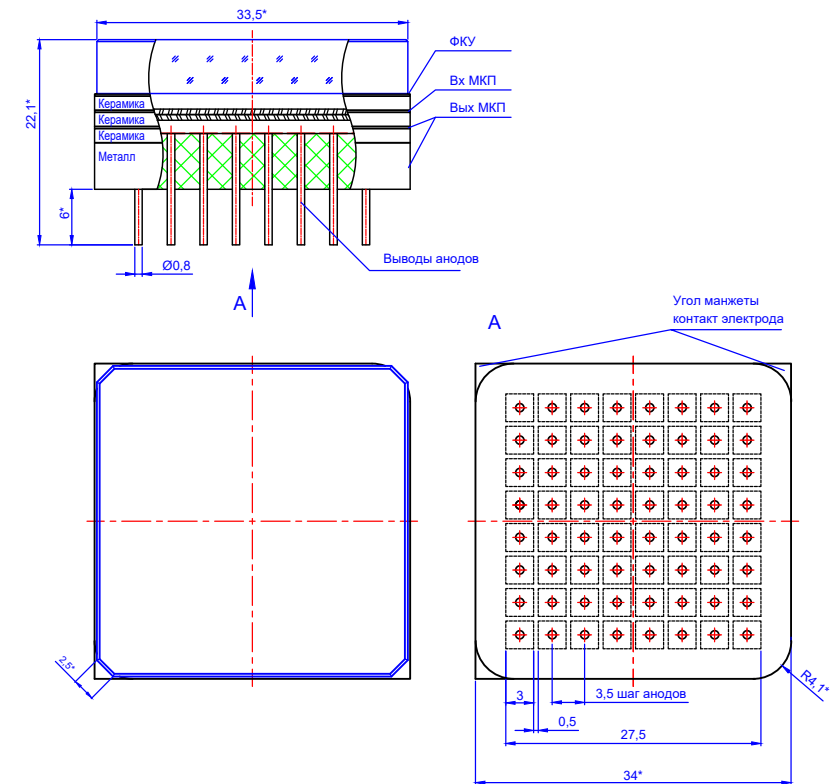
Status of MCP PMT development in Russia

Square MCP PMT from “Ekran FEP”:

- Construction and design is developed
- All details and components are produced in Russia
- All technological processes are developed and realized
- First samples for test will be available soon in 2025



The first prototype fully assembled and vacume sealed prototype

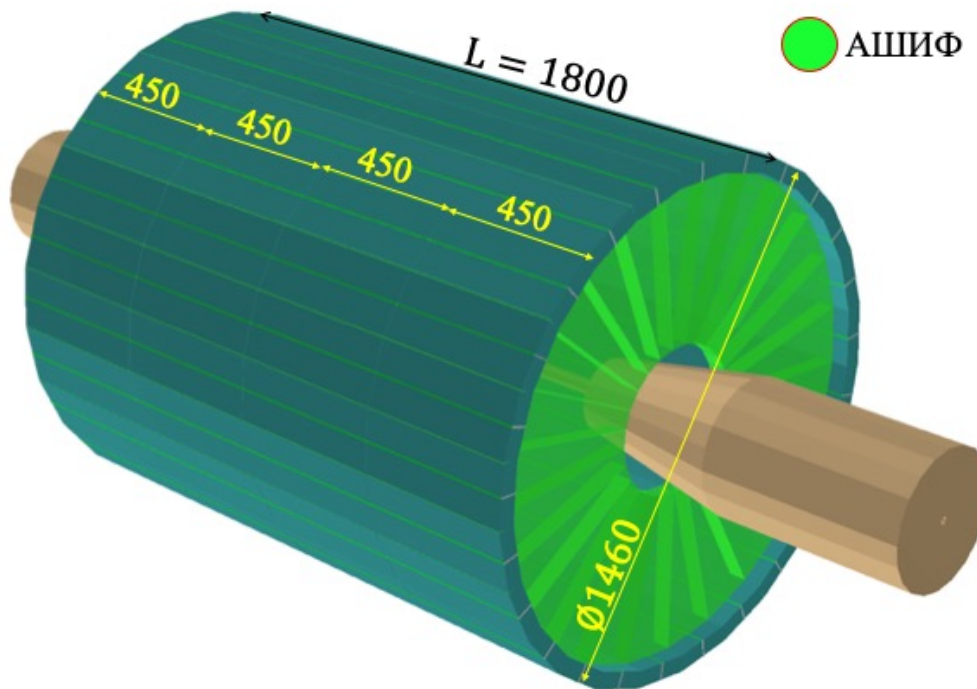


* Размер для справок. Возможны незначительные изменения.

DIRC-like-ToF для детектора ВЭПП-6?

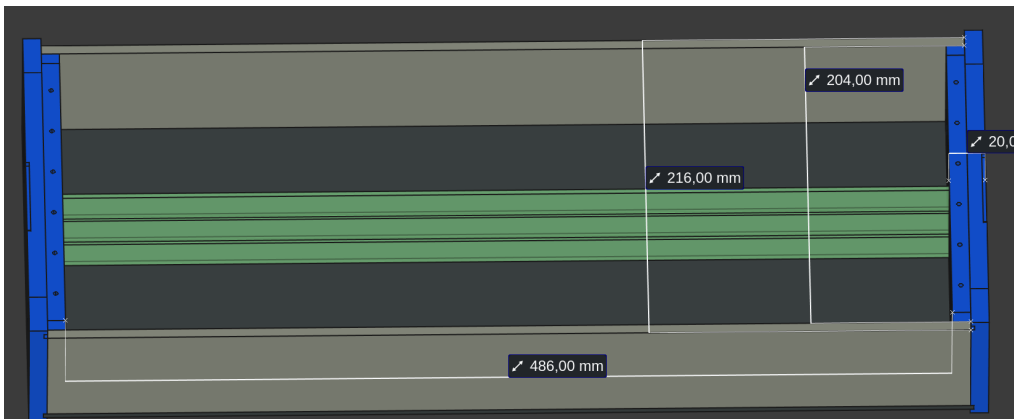
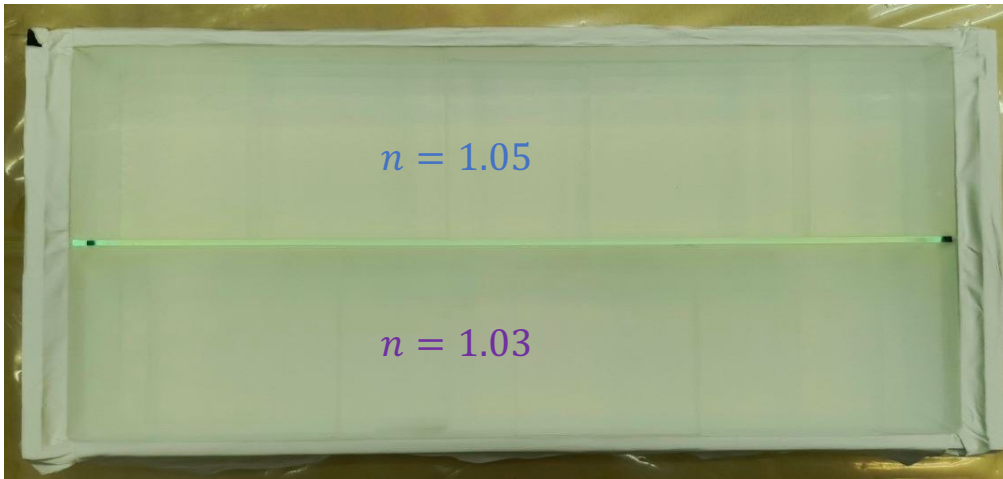
- В баррели с радиусом 72 см:
 - 25 пластин плавного кварца 200x18x2 см
 - По 6 ФЭУ с МКП («Экран ФЭП») на торец 3x3 см (фотокатод 2.4x2.4 см)
 - Объем занимаемый системой по радиусу ~ 4 см
 - Количество вещества $\sim 15\%X_0$
 - FEE – специализированный ASIC и остальная DAQ с jitter ≤ 30 пс
 - π/K –разделение до 2 ГэВ/с на уровне 3σ – кажется возможно?!
 - Стоимость:
 - ФЭУ с МКП – 300 шт. ~ 200 млн.р.
 - Кварцевые пластины – 25 шт. $\sim 50k\$ \times 25 \approx 100 \div 125$ млн.р.
 - FEE+DAQ – 300x64 канала по 15\$/канал ~ 25 млн.р.
- ИТОГО: ~ 350 млн.р.

Система идентификации: АШИФ + КФЭУ



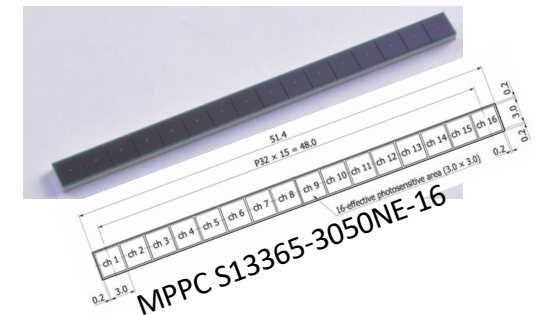
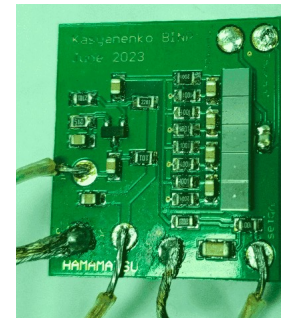
- $t[\text{cm}]/n$: $8[\text{см}]/1.05$ или $9 \div 12\% X_0$
 - $N_{pe}^{\Sigma}(\beta = 1) \approx 20$
 - 300 счетчиков $45 \times 17 \times 4 \text{ см}^3$ в 2 слоя
 - WLS – BBQ $45 \times 20 \times 3 \text{ мм}^3$
 - $(6 \div 12) \times 300 = 1800 \div 3600$ КФЭУ $3 \times 3 \text{ мм}^2$
- π/K – разделение:
 - $\geq 4\sigma$ – $0.5 \div 1.5 \text{ ГэВ/с}$ (порог $\sim 5\text{фэ}$)
 - $\geq 2.5\sigma$ – $1.5 \div 2.0 \text{ ГэВ/с}$ (порог $\sim 10\text{фэ}$)
- КФЭУ ~ 20 млн.р.
- Электроника (300÷600 кан) ~ 1.5 млн.р.
- Аэрогель
 - (производство нового) ~ 100 млн.р.
 - КЕДР (~ 85 млн.р.)
- Остальное (WLS, охл. и др.) ~ 3.5 млн.р.
- ИТОГО: ~ 125 млн.р.

Design of the 1st ASHIPH prototype for STCF



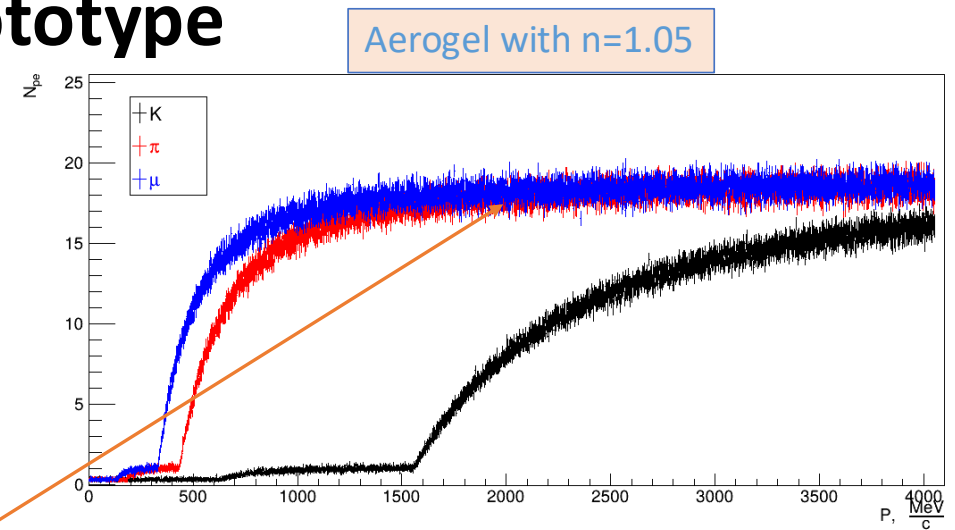
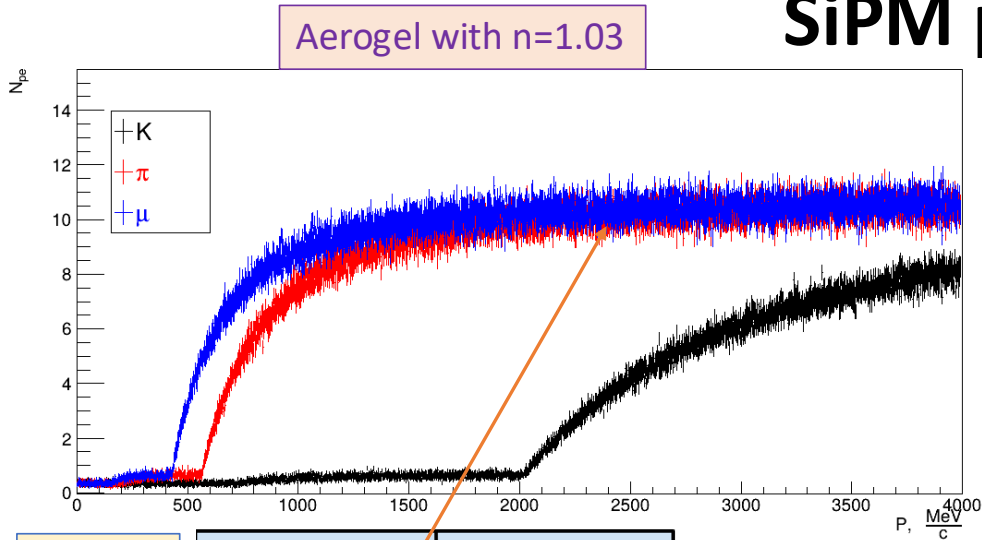
Main goals:

- To test light collection uniformity
- To test and chose WLS dye:
 - BBQ ($\tau=15$ ns)
 - NOL-14 ($\tau=0.74$ ns)
- To test and chose SiPMs
 - Hamamatsu
 - NDL
 - JoinBon and ...
- To test and develop FEE
- To test π/K -separation and chose aerogel



- 3 arrays 5 SiPMs each were made from MPPC S13365-3050NE-16 (Hamamtsu)
- 3 channels of V1742 (CAEN) digitizer will be used to readout

Expected and measured performances of the ASHIPH-SiPM prototype



N_{pe} from TBeam results from the BINP beam test facility for e^- with $E=2.5$ GeV

2 SiPMs			
p1 10.2±0.5	p13 -	p9 11.6±0.5	p5 10.8±0.5
p2 10.7±0.5	p14 -	p10 -	p6 10.8±0.5
p3 10.4±0.5	p15 13.8±0.5	p11 14.6±0.5	p7 13.1±0.5
$n=1.03$		$n=1.05$	
p4 12.0±0.5	p16 -	p12 -	p8 14.6±0.5
1 SiPM			

- Good agreement between measurements and estimations for relativistic particles is demonstrated with aerogel $n=1.03$
- Some disagreement with aerogel $n=1.05$ could be explained by worse aerogel optical parameters which could be improved soon

Summary:

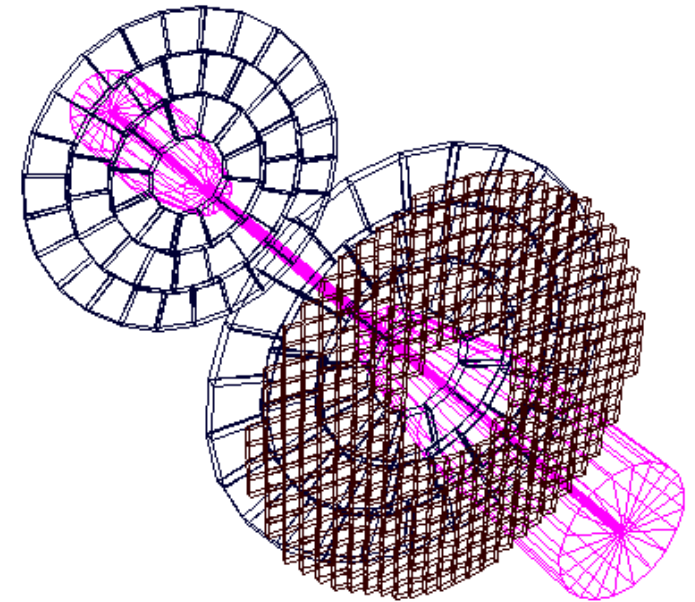
- π/K up to $P=2$ GeV/c with $n=1.05$ & threshold $\sim 7pe$ is possible
- π/K up to $P=3$ GeV/c with $n=1.03$ & threshold $\sim 7pe$ is possible

Торцевой ФАРИЧ

Мотивация

- $10^\circ \leq \theta \leq 22^\circ$ – нет МК →
НЕТ μ/π – разделения
- При физических фонах на малых R
 $\sim 10^3 \div 10^5 e^-(e^+) \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
АШИФ не эффективен
- Прямое измерение скорости частицы
 уточнение импульса в торце $\frac{\sigma_p}{p} = \gamma^2 \cdot \frac{\sigma_\beta}{\beta} \approx 1 \div 2\%$

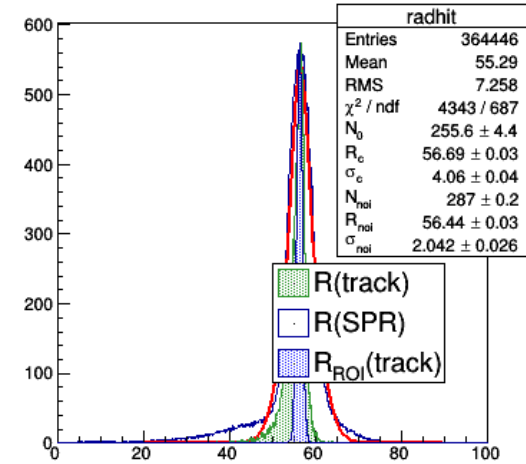
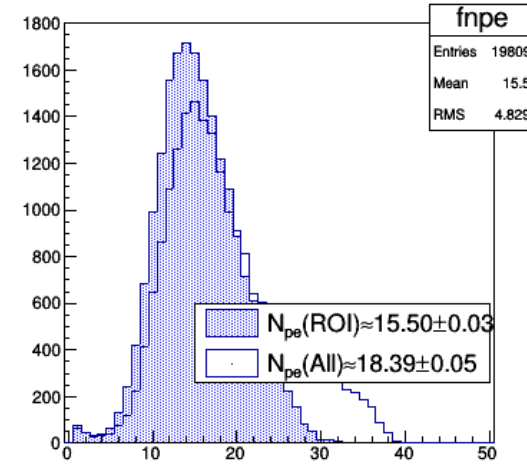
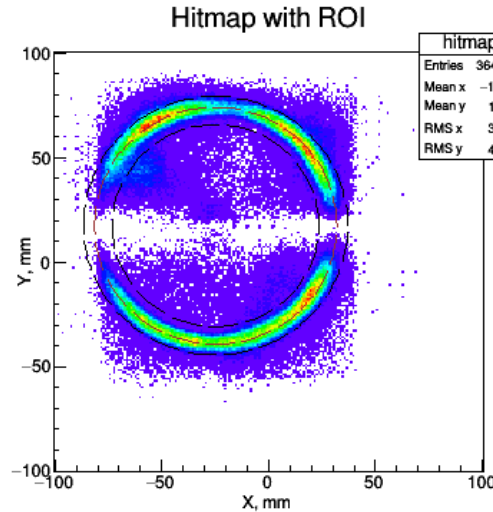
- Аэрогель
 - 4-слойный фокусирующий с $n_{\text{max}}=1.05$
 - 110 блоков $20 \times 20 \times 35 \text{ см}^3 \sim 35 \text{ млн.р.}$
- Фотодетекторы
 - ФЭУ с МКП «Экран ФЭП»
 - $2 \times 426 = 852$ $\sim 500 \div 680 \text{ млн.р.}$
- Электроника
 - HV $\sim 8.5 \text{ млн.р.}$
 - Оцифровка $\sim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



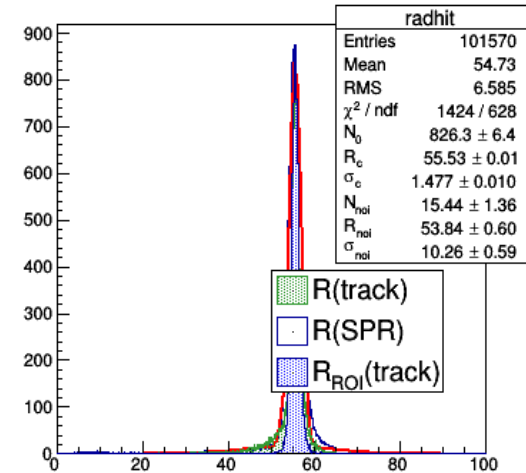
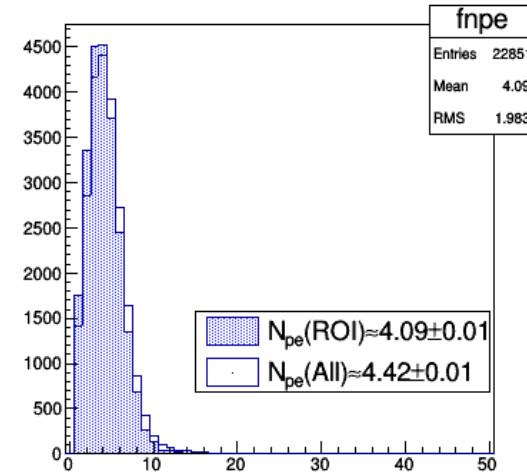
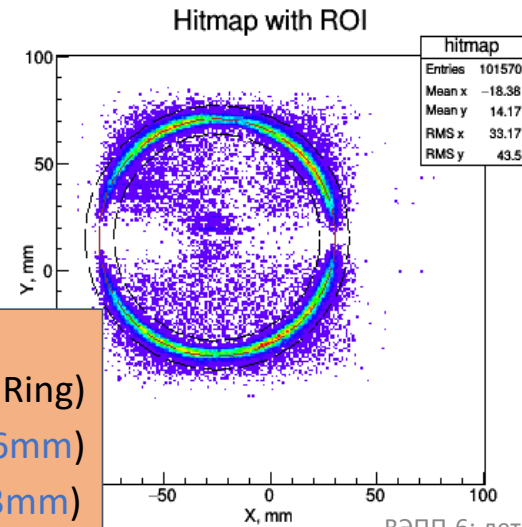
- π/K – разделение $\geq 3\sigma$ до 6 ГэВ/с
- μ/π – разделение $\geq 3\sigma$ до 1.5 ГэВ/с
- ToF на входном окне
 $\rightarrow \pi/K$ – разделение $\leq 0.5 \text{ ГэВ/с}$

Recent beam test results

Pixel 6x6 mm
Geom.Eff. ~ 80%



Pixel 3x3 mm
Geom.Eff. ~ 20%

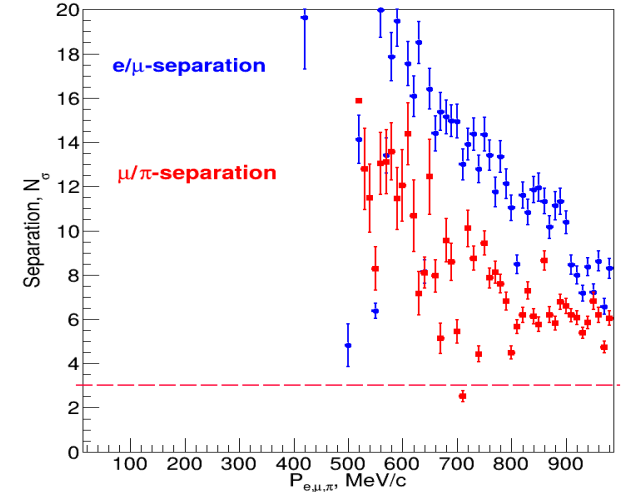
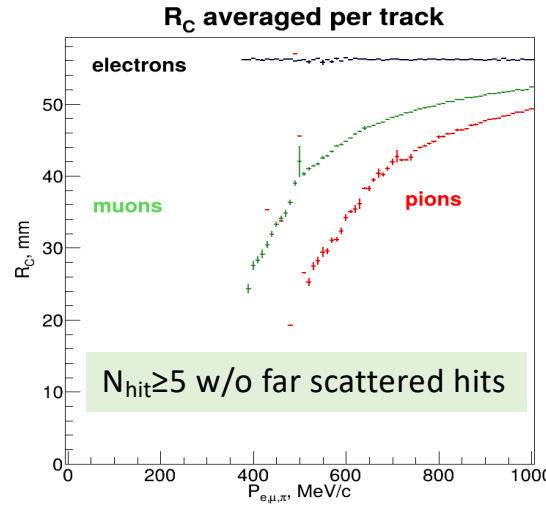
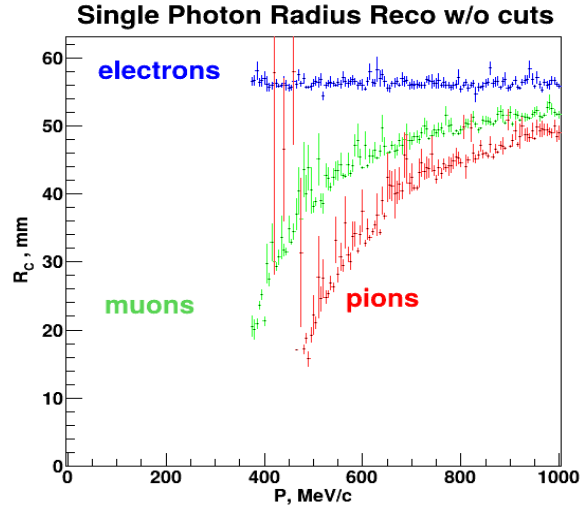
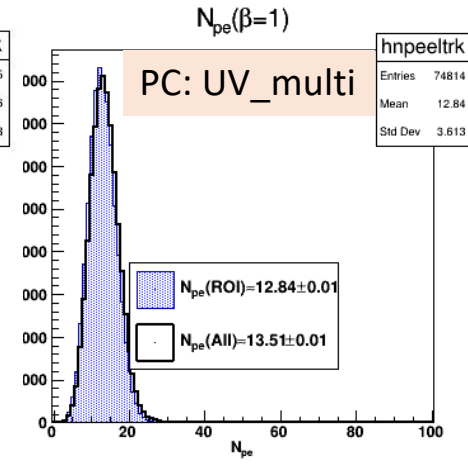
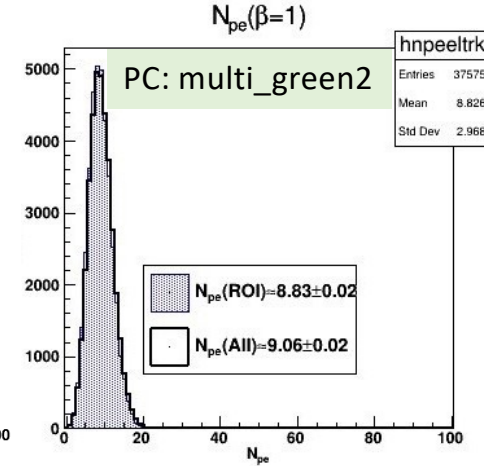
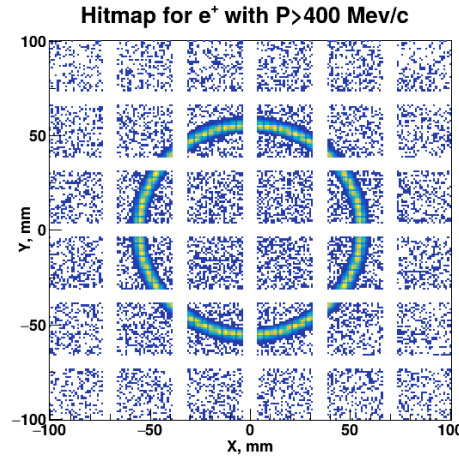
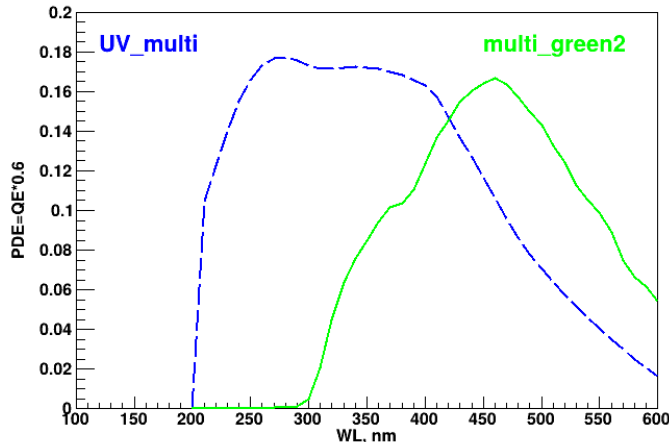


Main results:

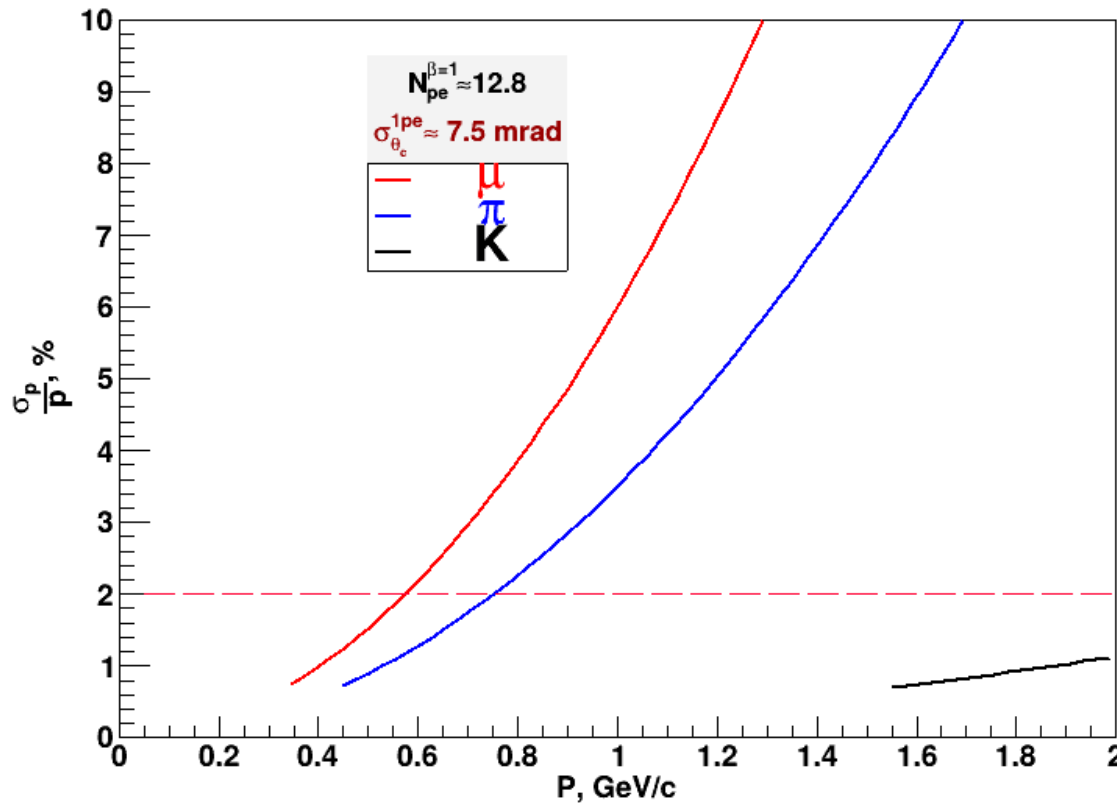
- $N_{pe} \approx 16$ (~ 0.8 of Ring)
- $\sigma_{\theta}^{1pe} \approx 13.5 \text{ mrad}$ (■ 6mm)
- $\sigma_{\theta}^{1pe} \approx 7.5 \text{ mrad}$ (■ 3mm)

FARICH prototype based on MCP-PMT (Ekran FEP)

(expected performances: Geant4 simulation results)



Momentum measurements with FARICH



$$\frac{\sigma_p}{p} = \gamma^2 \cdot \frac{\sigma_\beta}{\beta}$$

$$\frac{\sigma_p}{p} = \gamma^2 \cdot \tan \theta \cdot \sigma_\theta^{tr}$$

$$\sigma_\theta^{tr} = \frac{\sigma_\theta^{1pe}}{\sqrt{N_{pe}(p)}} = \frac{\sigma_\theta^{1pe}}{\sqrt{N_{pe}^{\beta=1}}} \cdot \frac{p\sqrt{n^2 - 1}}{\sqrt{p^2(n^2 - 1) - m^2}}$$

$$\frac{\sigma_p}{p} = \frac{p\sqrt{p^2 + m^2}}{m^2} \sqrt{n^2 - 1} \cdot \frac{\sigma_\theta^{1pe}}{\sqrt{N_{pe}^{\beta=1}}},$$

where m – particle mass, p – particle momentum, $n = 1.05$ – refractive index of aerogel, σ_θ^{1pe} and $N_{pe}^{\beta=1}$ are single photon Cherenkov angle resolution and number of detected photons per track correspondingly measured with relativistic electron beams.

Заключение

- **Система АШИФ:**

- Наиболее изученная и предсказуемая опция
- Толщина $\sim 8\text{см}$ по радиусу и $9\%X_0$
- Стоимость ~ 125 млн.р.

- **Система DIRC-like-ToF**

- Требуется серьезных R&D: производство кварцевых пластин и FEE
- Толщина $\sim 4\text{см}$ по радиусу и $15\%X_0$
- Стоимость ~ 350 млн.р.

- **Система ФАРИЧ:**

- Более или менее понятно как сделать для торцевой части детектора
- Толщина $\sim 25\text{см}$ по радиусу и $20\%X_0$
- Стоимость ~ 900 млн.р.