



Детектор Черенковских колец на основе фокусирующего аэрогелевого радиатора

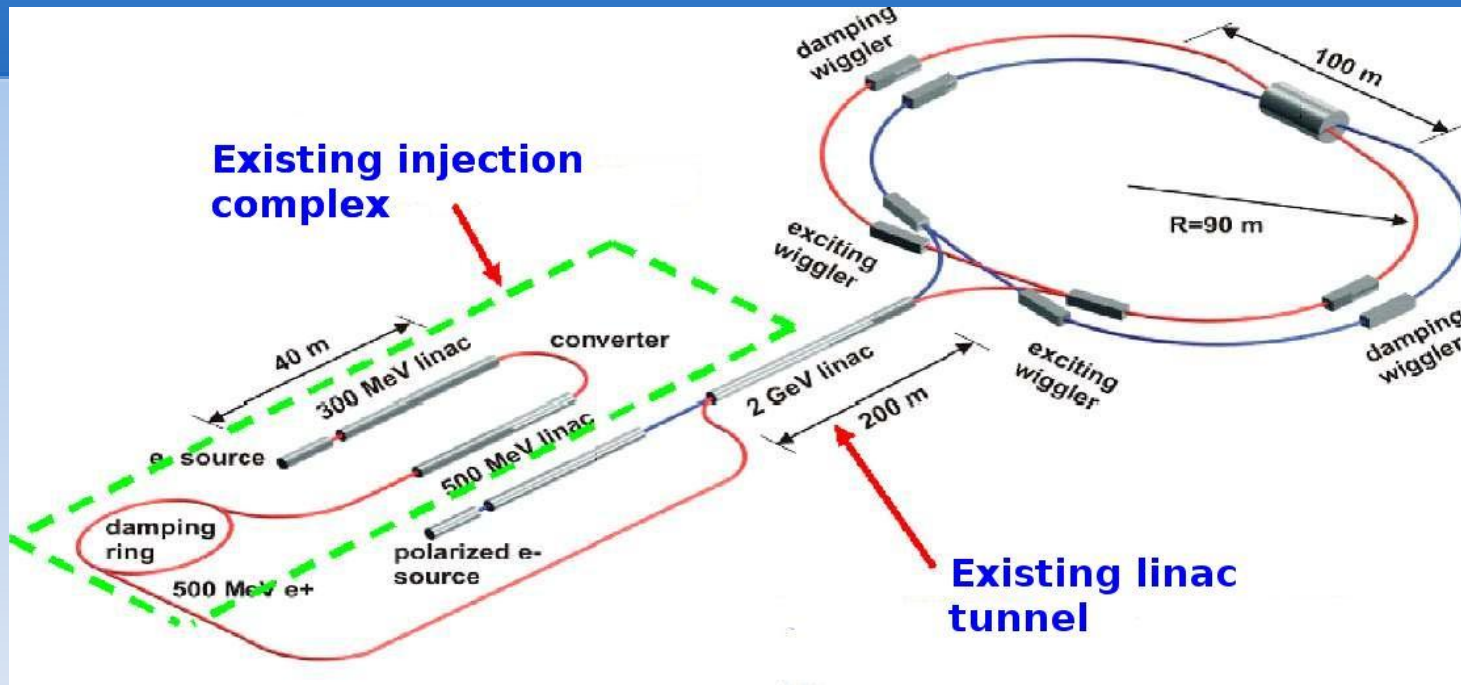
А.Ю. Барняков, М.Ю. Барняков,
В.С. Бобровников, А.Р. Бузыкаев, А.Ф. Данилюк,
С.А. Кононов, Д.В. Корда, Е.А. Кравченко,
И.А. Куянов, А.П. Онучин, И.В. Овтин,
Н.А. Подгорнов, В.А. Родякин

*ИЯФ СО РАН им. Г.И Будкера, Новосибирск, Россия
ИК СО РАН им. Г.К. Борескова, Новосибирск,
НГУ, Новосибирск,
Докладчик: Е.А. Кравченко*

План

- Проект Супер Чарм-Тау фабрики в Новосибирске
- Детектор Черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля – система идентификации частиц для Супер Чарм-Тау фабрики
- Разработка аэрогелевых радиаторов для Черенковских детекторов в Новосибирске.
- Заключение

Проект Супер Чарм-Тау фабрики

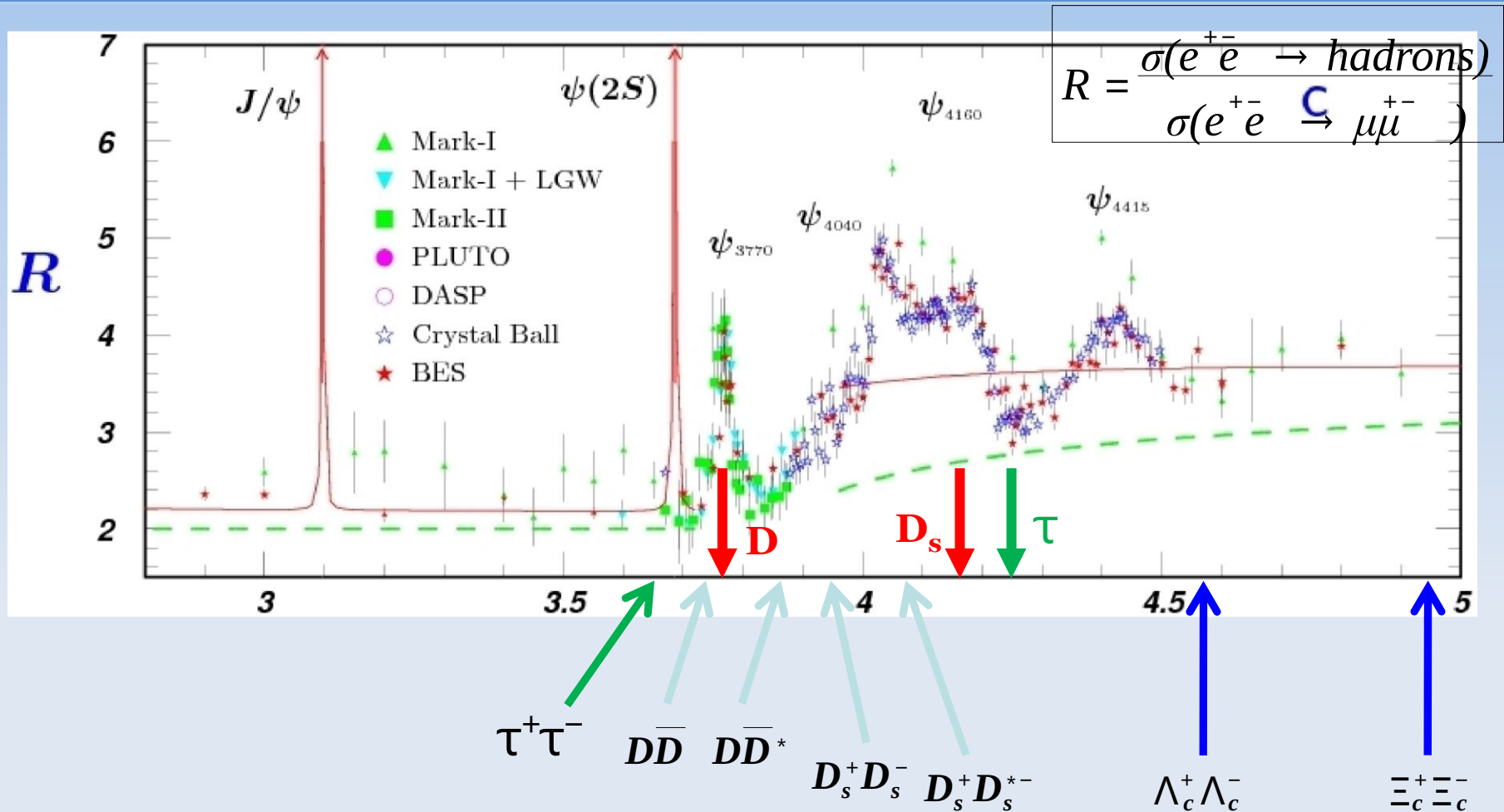


Основные параметры ускорительного комплекса:

- Энергия пучков $1.0 \div 2.5$ ГэВ
- Периметр 813 м
- Ток пучков 1.7 А
- **Светимость** $1.0 \times 10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Для достижения сверх высокой светимости планируется использовать новейшую схему столкновения пучков типа "Crab Waist".

Физическая программа(1)



Физическая программа(2)

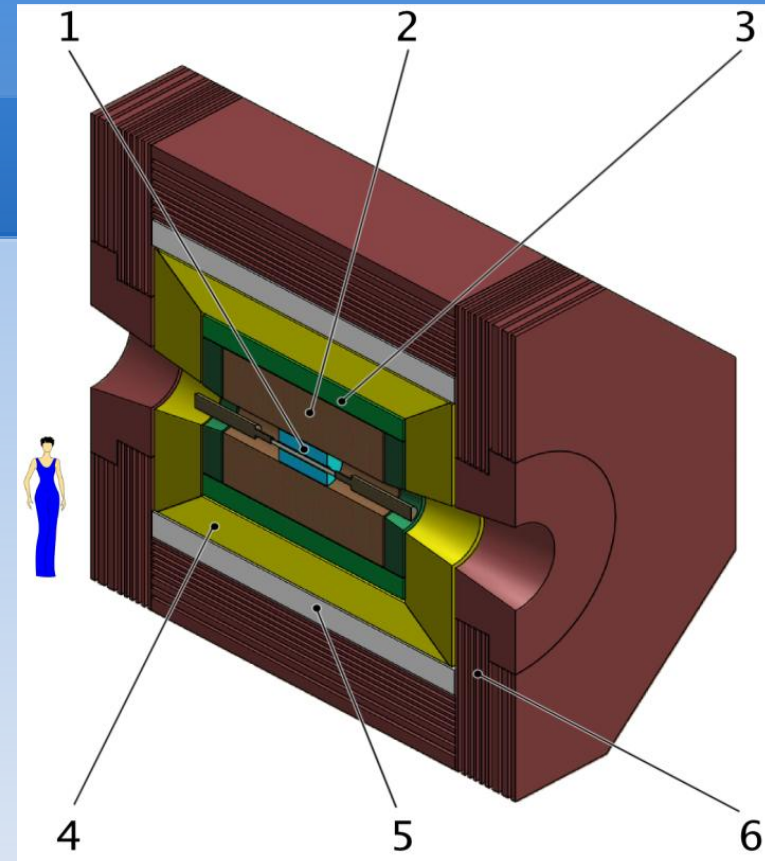
	CLEO-C		BES-III/год	Супер Чарм-Тау
J/ψ	–	–	10×10^9	} $\times 100$
$\psi(2S)$	54 pb^{-1}	27×10^6	3×10^9	
$\psi(3770)$	818 pb^{-1}	$5 \times 10^6 \text{ D-pairs}$	3×10^7	
4.17 ГэВ	586 pb^{-1}	$7 \times 10^5 \text{ D}_s\text{-pairs}$	2×10^6	
$\tau^+\tau^-$		4×10^6	2×10^7	10^{10}
$\Lambda_c^+\Lambda_c^-$				5×10^8

Основная задача экспериментов – это поиск эффектов CP-нарушения в распадах ‘очарованных’ частиц, проверка Стандартной Модели в распадах тау-лептона, поиск и изучение ‘экзотических’ частиц: глюболлы, гибриды и др.

Детектор

Основные требования к детектору:

- Очень большой поток данных:
 - $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ $f=50$ kHz
 - $e^+e^- \rightarrow J/\psi$ $f=300$ kHz
 - $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)$ $f=50$ kHz
 - **$f_{DAQ} = 300-500$ kHz (!)**
- Высокое разрешение электро-магнитного калориметра
- Очень хорошая идентификация



- 1 – Вершинный детектор
- 2 – Дрейфовая камера
- 3 – FARRICH
- 4 – Электро-магнитный калориметр
- 5 –Сверхпроводящий соленоид
- 6 – Ядро с мюонной системой

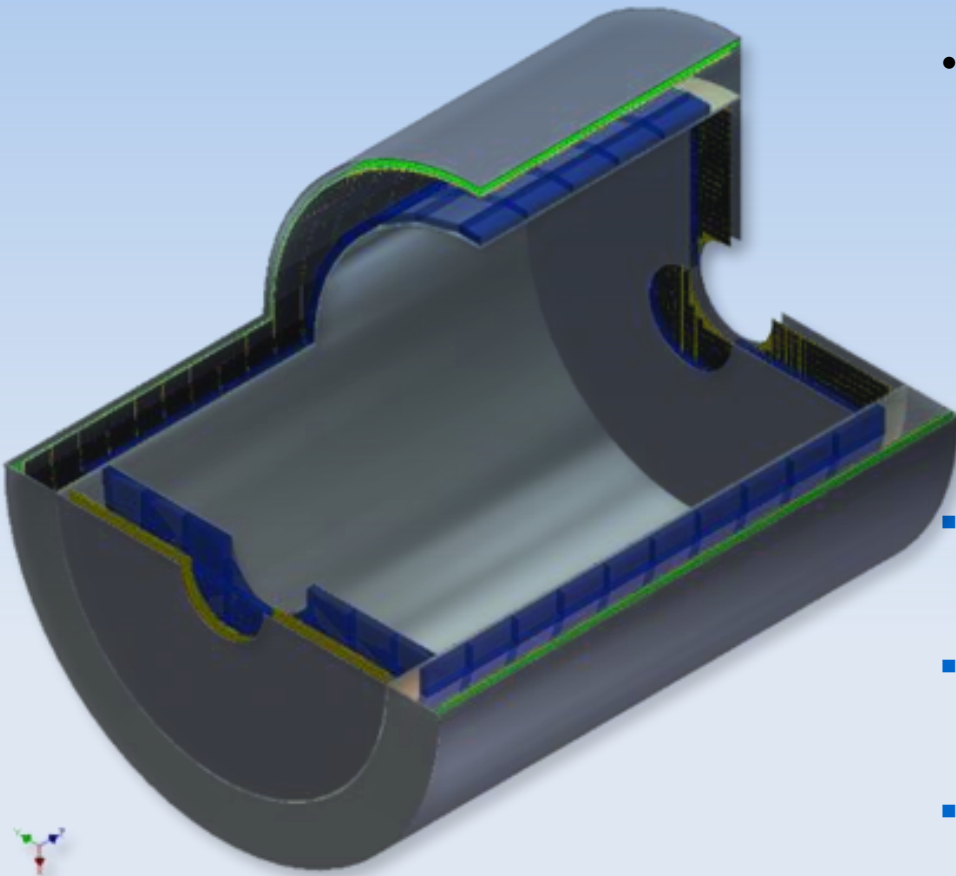
Детектор Черенковских колец на фокусирующем аэрогеле – система идентификации в экспериментах на Супер Чарм-Тау фабрике.

Основная мотивация

- Для поиска распада с нарушением лептонного числа $\tau \rightarrow \mu \gamma$ на уровне 10^{-9} требуется надежное μ/π разделение в диапазоне импульсов 0.5 to 1.5 ГэВ/с для подавления фона от распада $\tau \rightarrow \pi \pi^0 \nu$ ($Br=0.25$)

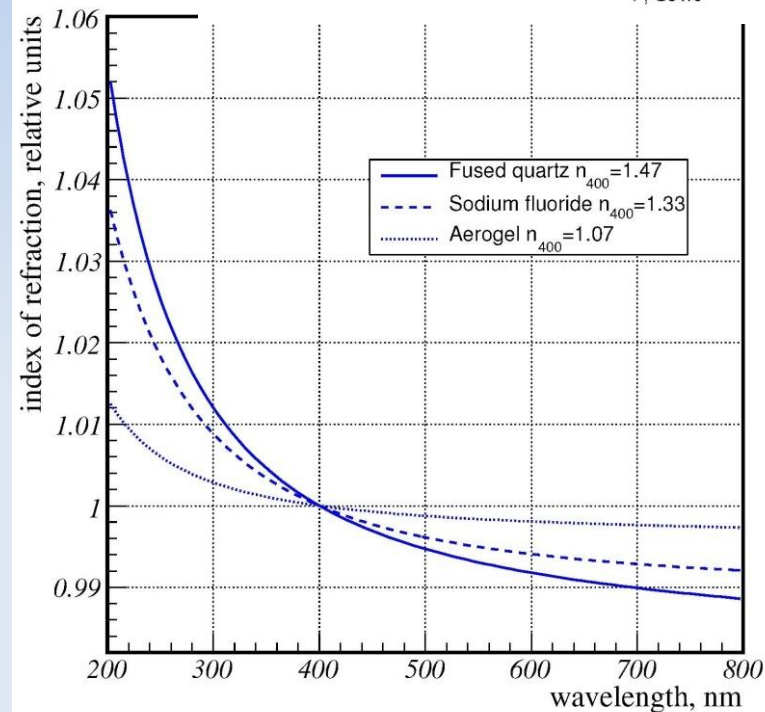
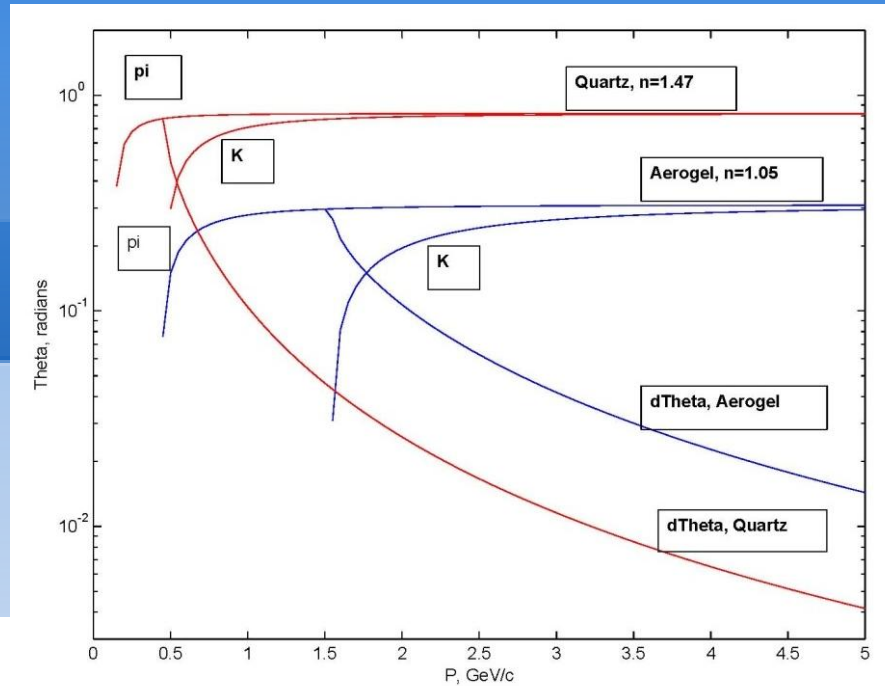
Основные параметры ФАРИЧ

- Фокусирующий аэрогелевый радиатор, $n_{\max}=1.07$, 4 слоя
- Фотонный детектор: кремниевый ФЭУ типа PDPC или MPPC, $\sim 3 \times 3 \text{ мм}^2$, шаг 4 мм
- Площадь фотонного детектора: 20 м^2
- Площадь радиатора: 14 м^2
- ~ 1 миллион каналов

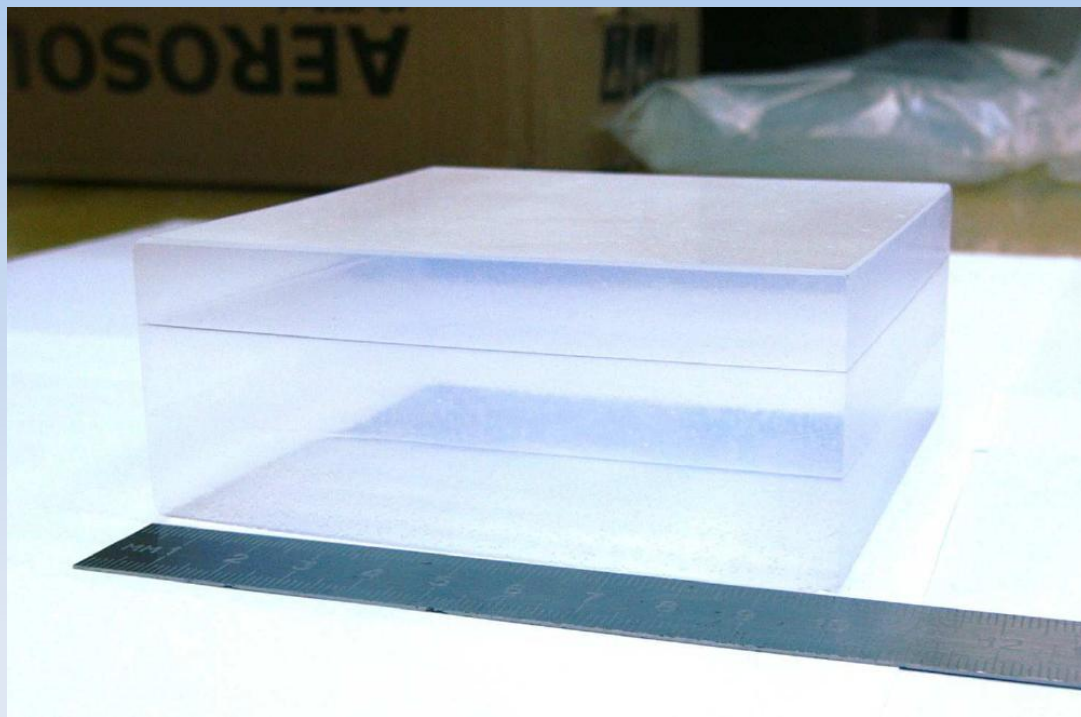
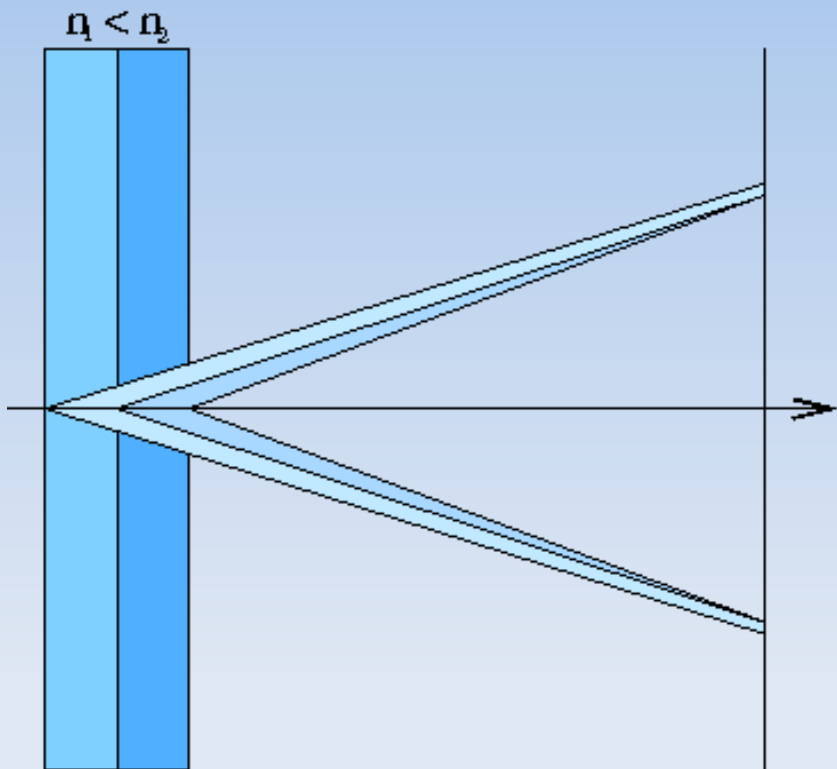


Почему аэрогель?

- С уменьшением показателя преломления растет разность углов Черенковского излучения различных частиц
- Аэрогель обладает наименьшей дисперсией показателя преломления
- Улучшение разрешения при выборе большого показателя преломления за счет увеличения числа фотонов незначительно ($\sim 1/\sqrt{N_{pe}}$)



Почему «фокусирующий» аэрогель?



Уменьшает вклад от толщины радиатора в точность измерения Черенковского угла.

T.Iijima et al., NIM A548 (2005) 383

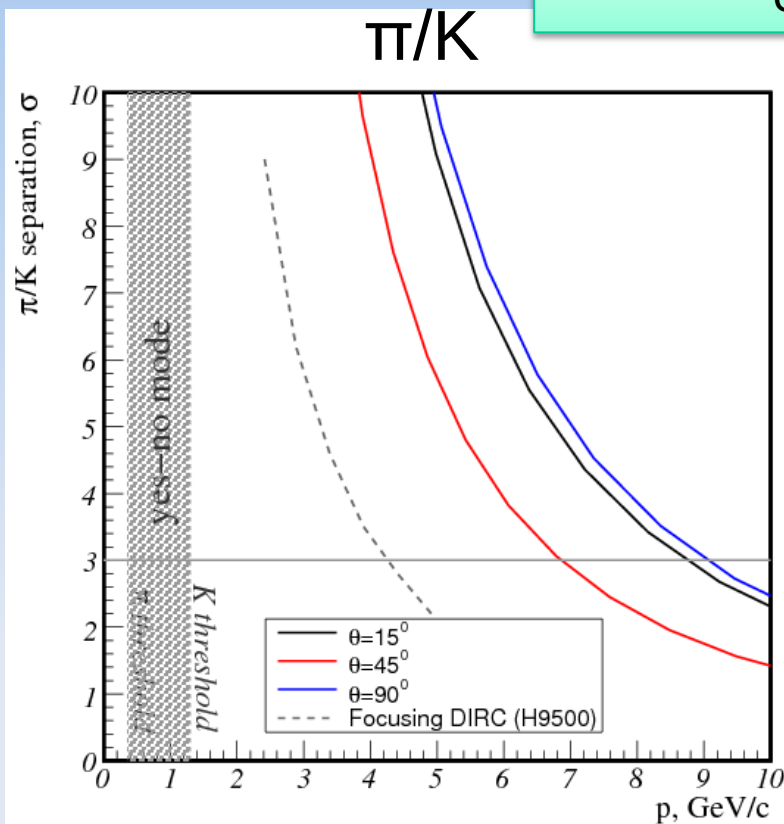
A.Yu.Barnyakov et al., NIM A553 (2005) 70

15.04.14

7-е Черенковские чтения

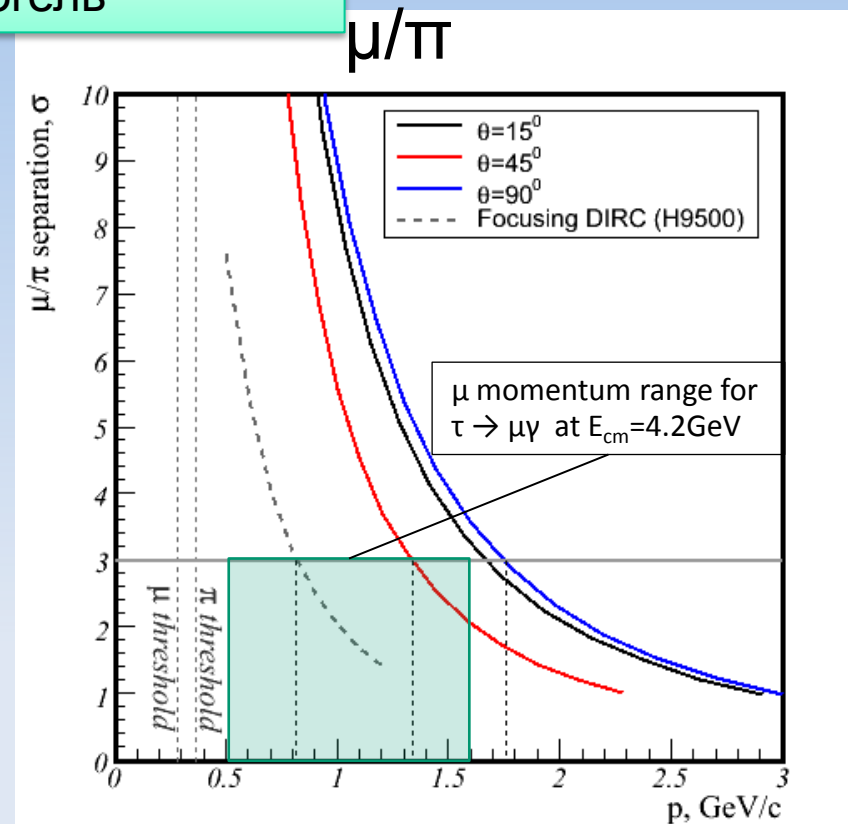
Расчет параметров идентификации частиц FARICH @ Супер Чарм-Тау

МС моделирование: MPPC&4-
слойный аэрогель



Данный уровень идентификации
недостижим для других систем (F)DIRC

15.04.14



Диапазон μ/π разделения требуемый
для поиска $\tau \rightarrow \mu\gamma$.

7-е Черенковские чтения

Испытания на пучке прототипа ФАРИЧ с фотонным детектором DPS: CERN, June 2012

Основные цели:

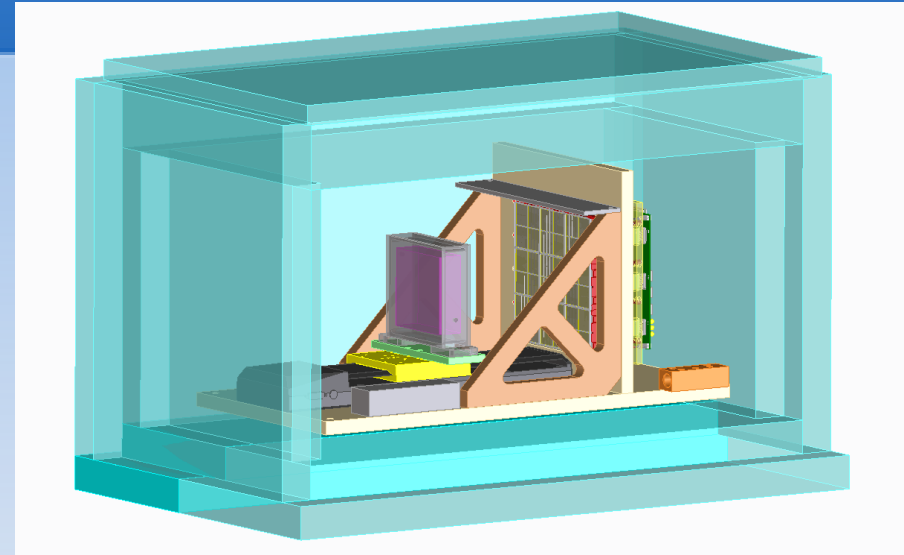
- Продемонстрировать работоспособность фотонных детекторов DPS в составе детектора Черенковских колец
- Подтвердить рекордные параметры фокусирующего аэрогелевого радиатора

*Прототип был сделан за 2
месяца!*



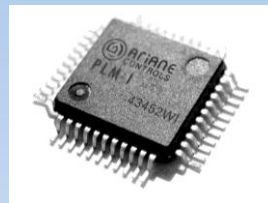
15.04.14

7-е Черенковские чтения

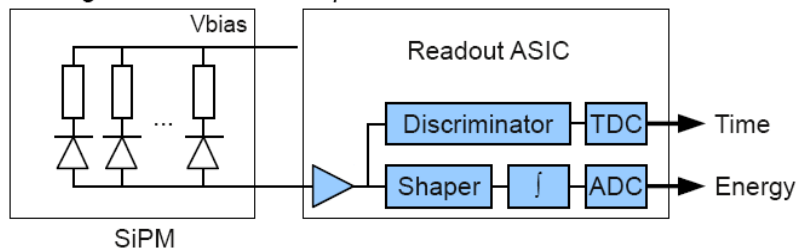


DPC: Интегрирование цифровой обработки сигналов с матрицей лавинных фотодиодов

Аналоговый КФЭУ (SiPM)

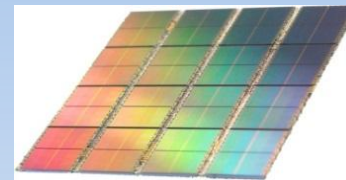


Analog Silicon Photomultiplier Detector

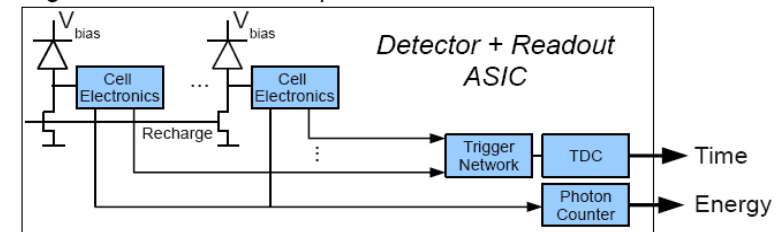


- Требуется оцифровка аналоговых сигналов
- Требуется специализированный ASIC
- трудно масштабируется

Цифровой КФЭУ



Digital Silicon Photomultiplier Detector



- полностью интегрированная электроника
- цифровые сигналы
- не нужен специализированный ASIC
- полностью масштабируется

РДРС ФАРИЧ прототип



- 4-слойный аэрогель
- $n_{\text{max}} = 1.046$
- толщина 37.5 мм
- 'фокусное' расстояние 200 мм
- Чтобы предотвратить конденсацию влаги аэрогелевый радиатор был помещен в герметический объем с окном из оргстекла

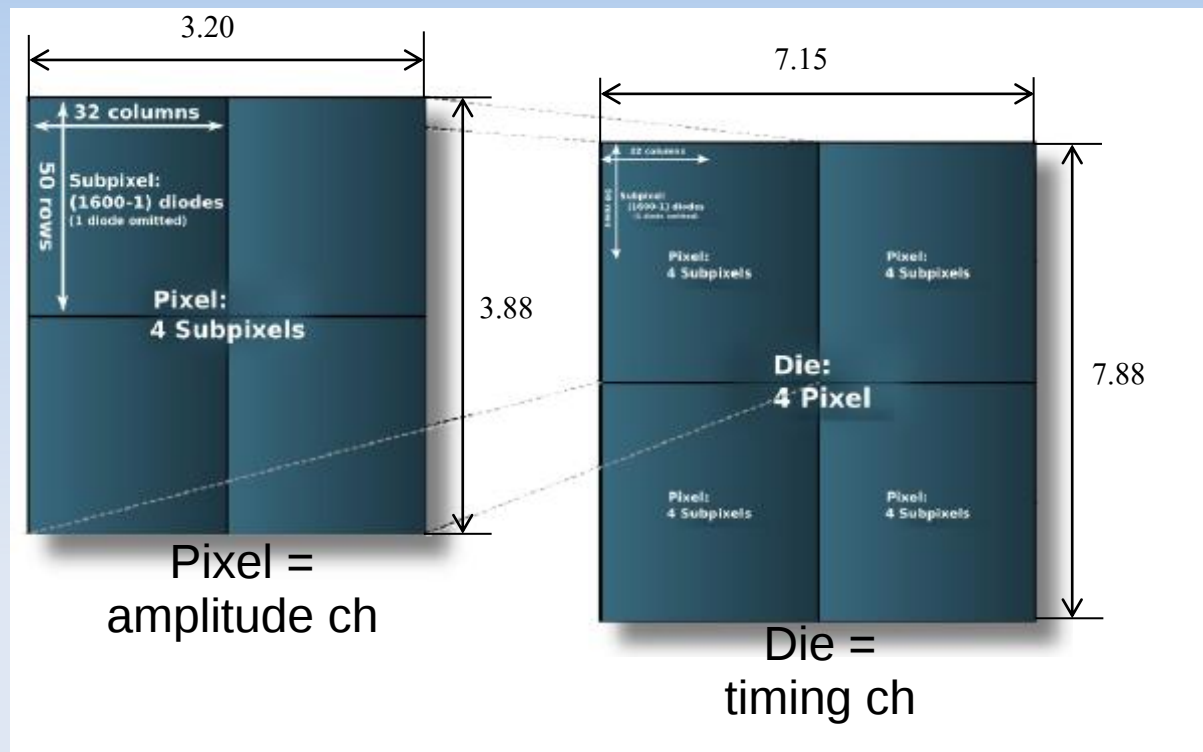


- Фотонный координатный детектор $20 \times 20 \text{ см}^2$
 - Тип сенсора DPC3200-22
 - 3200 микро-пикселей в одном пикселе,
 - 3x3 модуля = 6x6 тайла = 24x24 матрицы = 48x48 пикселей
 - 576 временных канала
 - 2304 амплитудных (координатных) каналов
 - Размер пикселя $3.2 \times 3.9 \text{ мм}^2$
 - Для работы в однофотонной моде детектор охлаждался до -40°C

Иерархия детектора DPRC



15.04.14

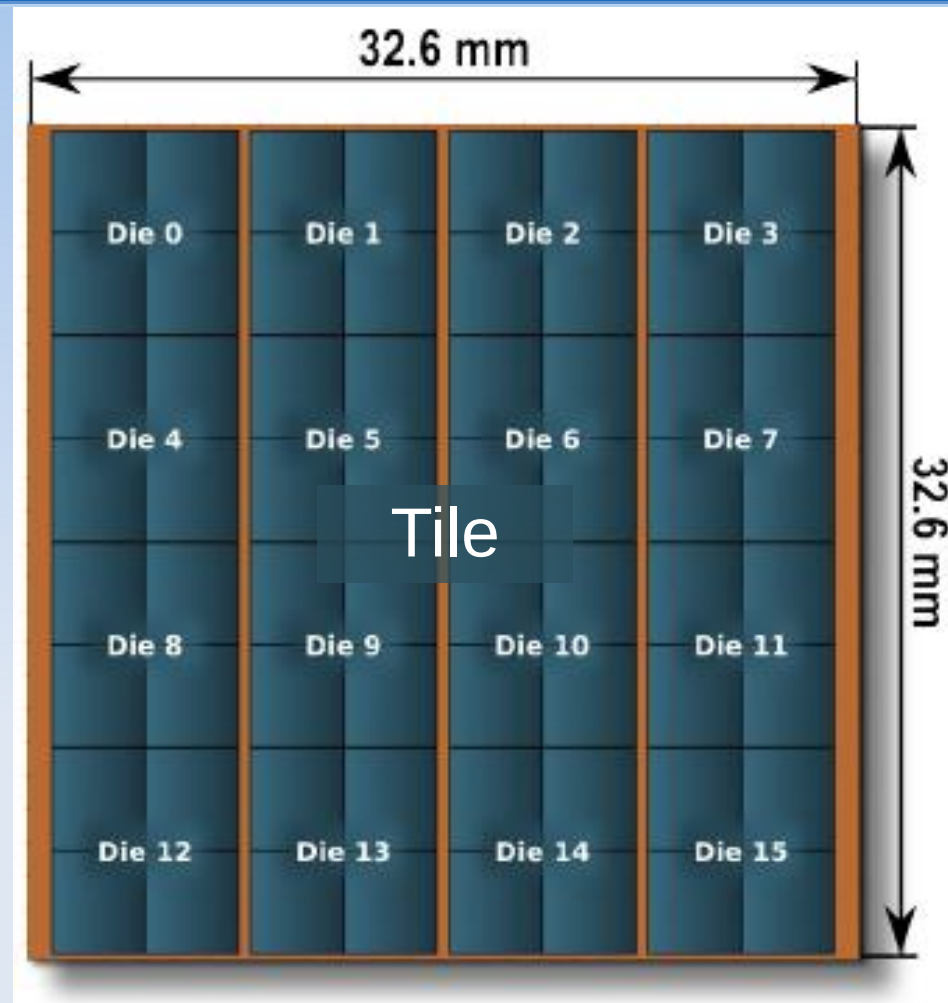


Tile

Иерархия детектора DPC

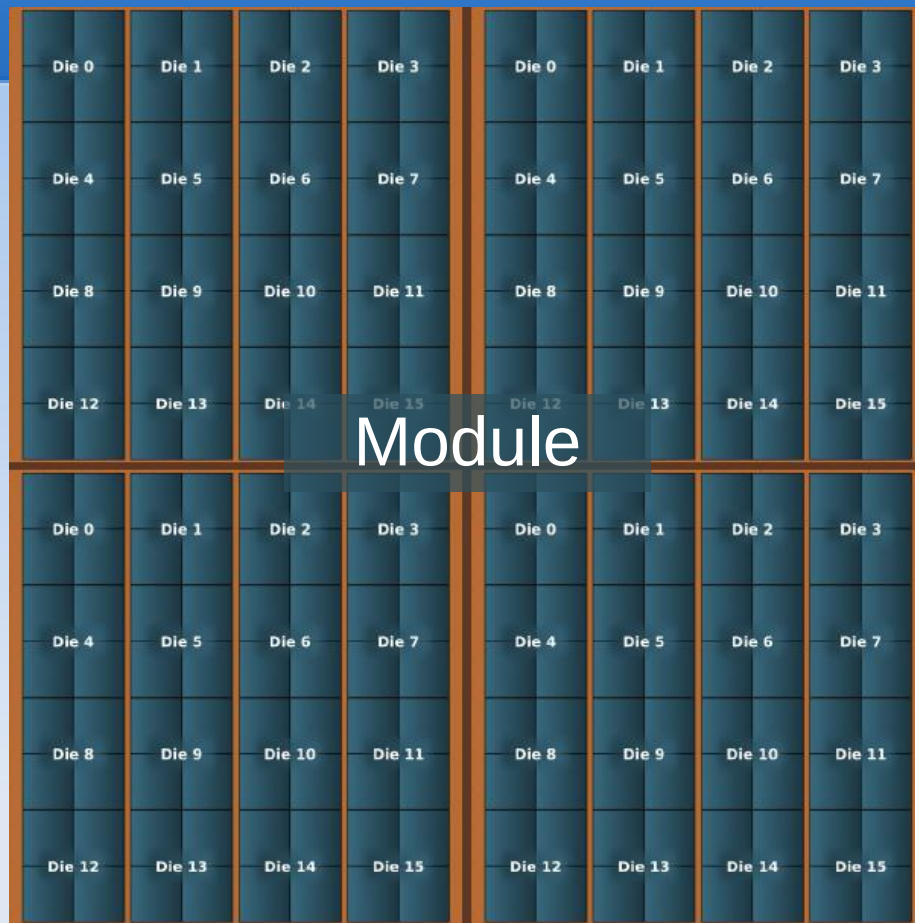


15.04.14



7-е Черенковские чтения

Иерархия детектора DPC

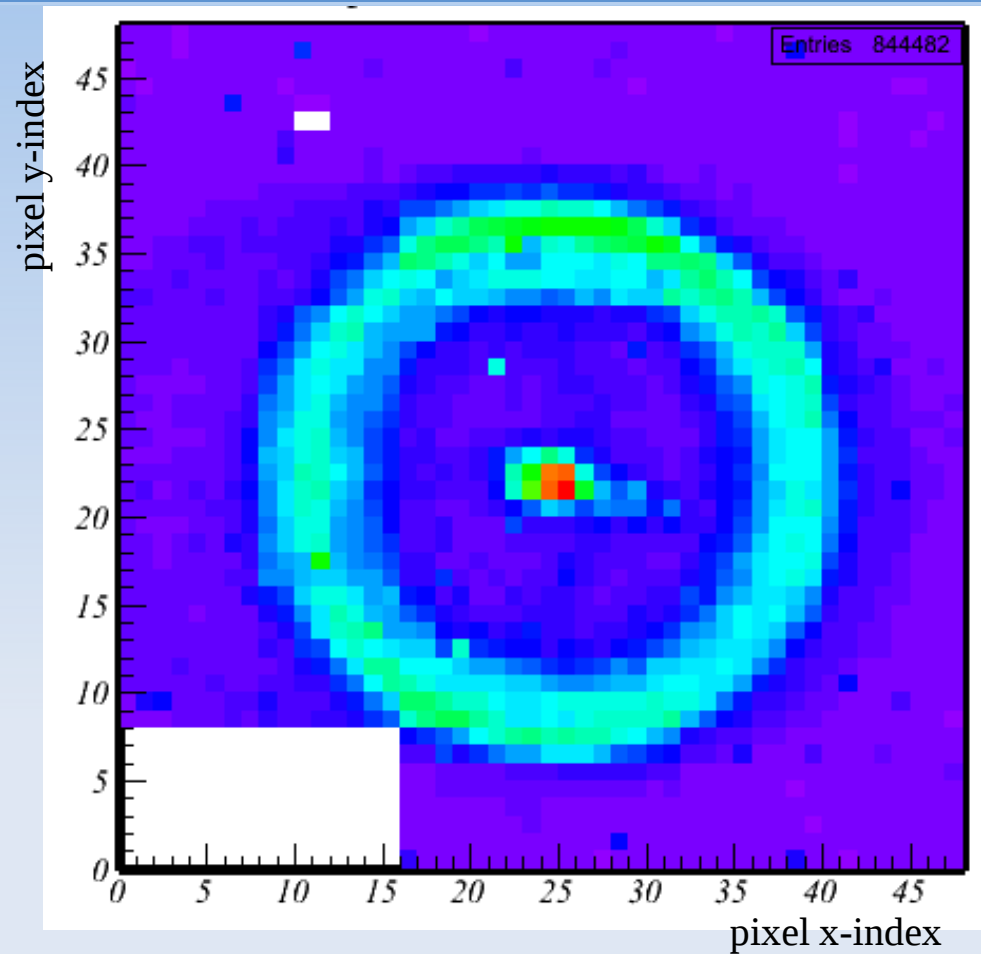


15.04.14

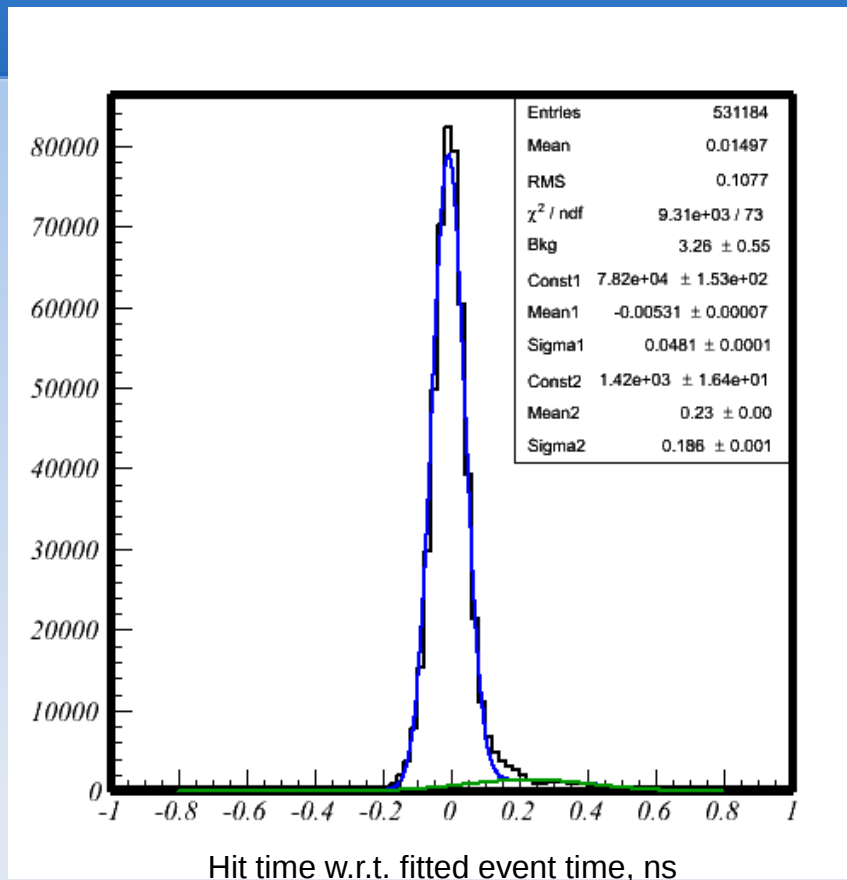
7-е Черенковские чтения

Наблюдение Черенковского кольца

Pixel hit map

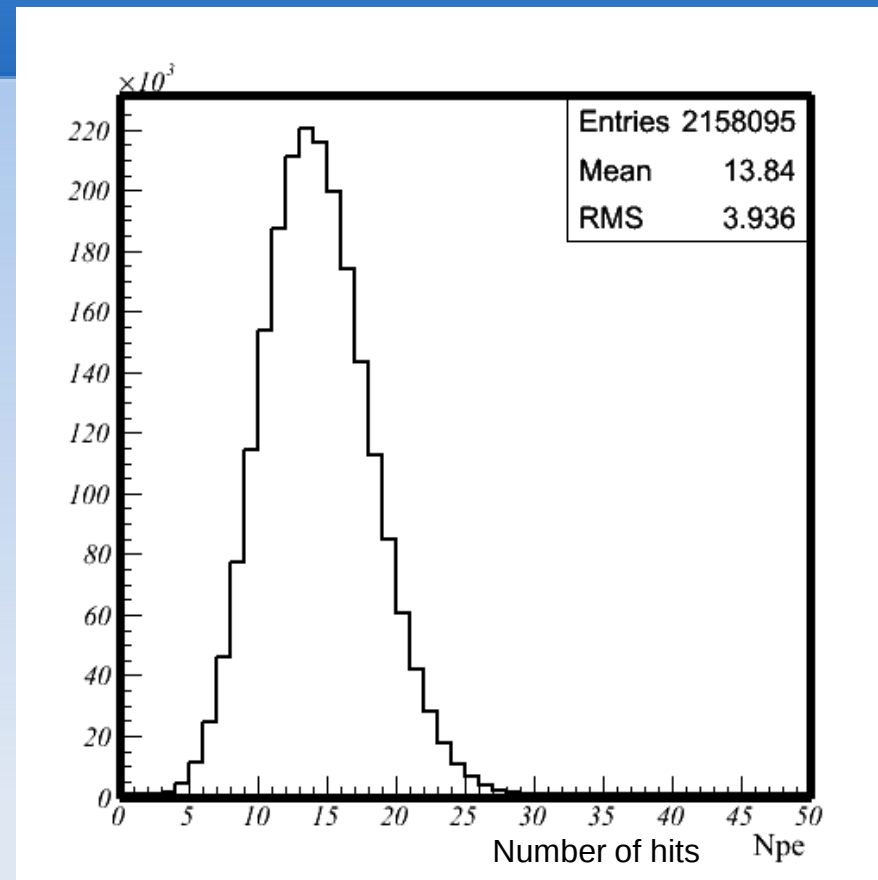


Результаты измерений на пучке: временное разрешение и число фотоэлектронов



$$\sigma_{\text{narow}} = 48\text{пс}$$

Рекордное разрешение для КФЭУ



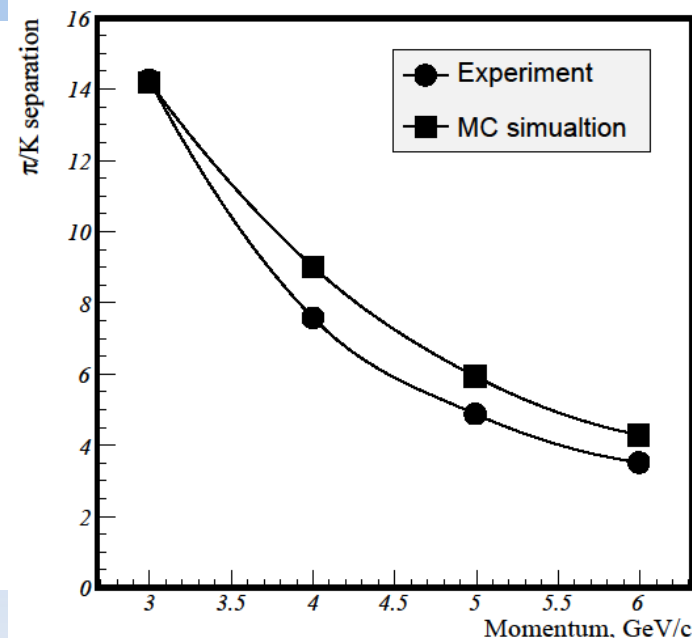
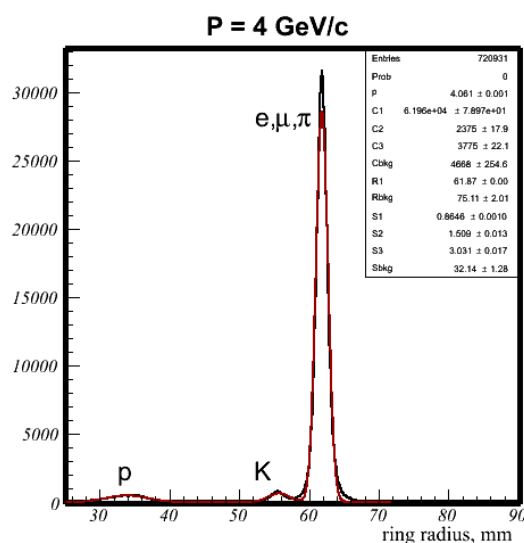
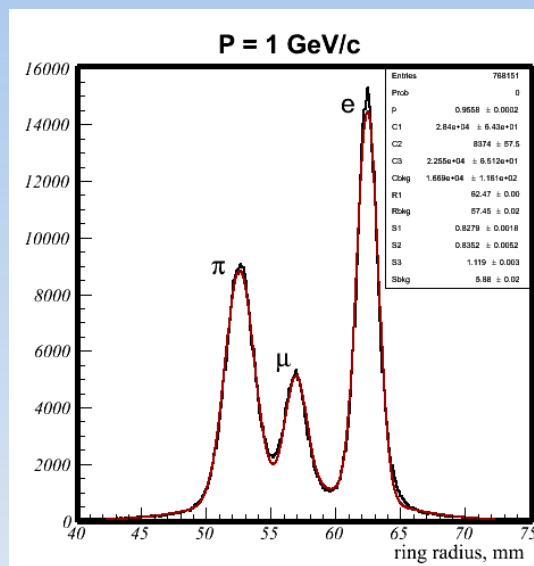
$$\langle N_{\text{pe}} \rangle = 12$$

(с учетом перекрестных наводок)

В 1.7 раза меньше, чем в моделировании

Результаты измерений на пучке: идентификация частиц

Разрешение по радиусу Черенковского кольца



μ/π : **5.3 σ** @ 1 ГэВ/c

π/K : **7.6 σ** @ 4 ГэВ/c

π/K : **3.5 σ** @ 6 ГэВ/c

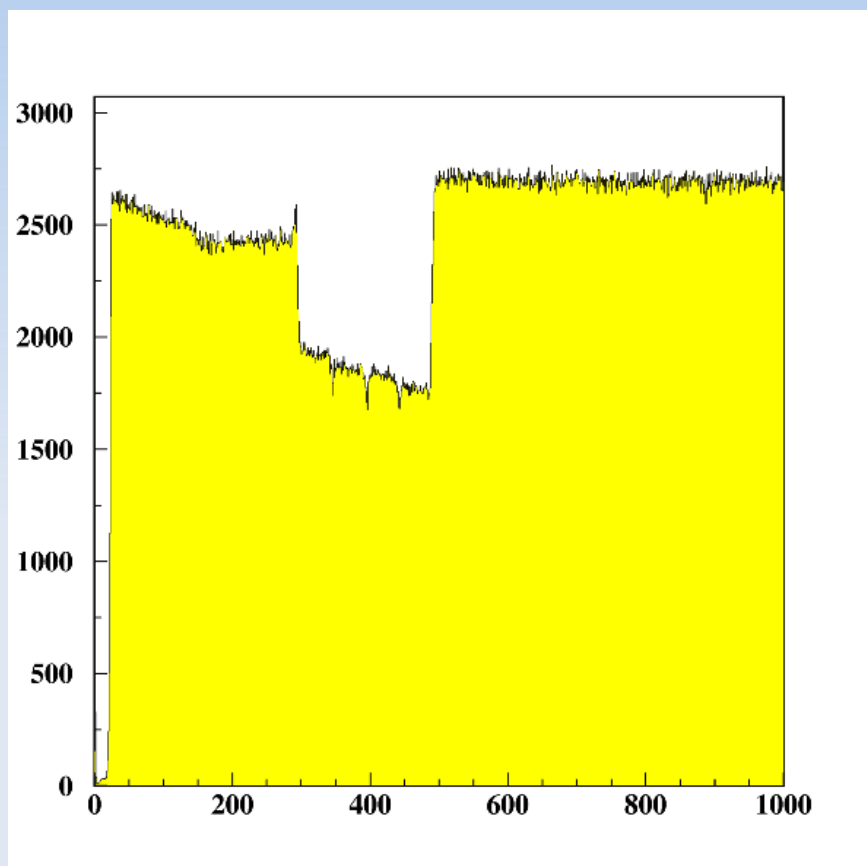
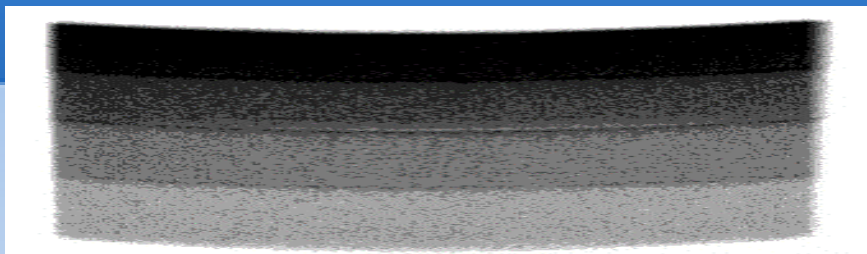
В 2.3 лучше, чем SuperB FDIRC

В 1.4 лучше, чем Belle II ARICH

Но в 2.6 раза хуже, чем в первоначальном моделировании

A.Yu. Barnyakov, et al., Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A (2013),
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2013.07.068>, Article in Press

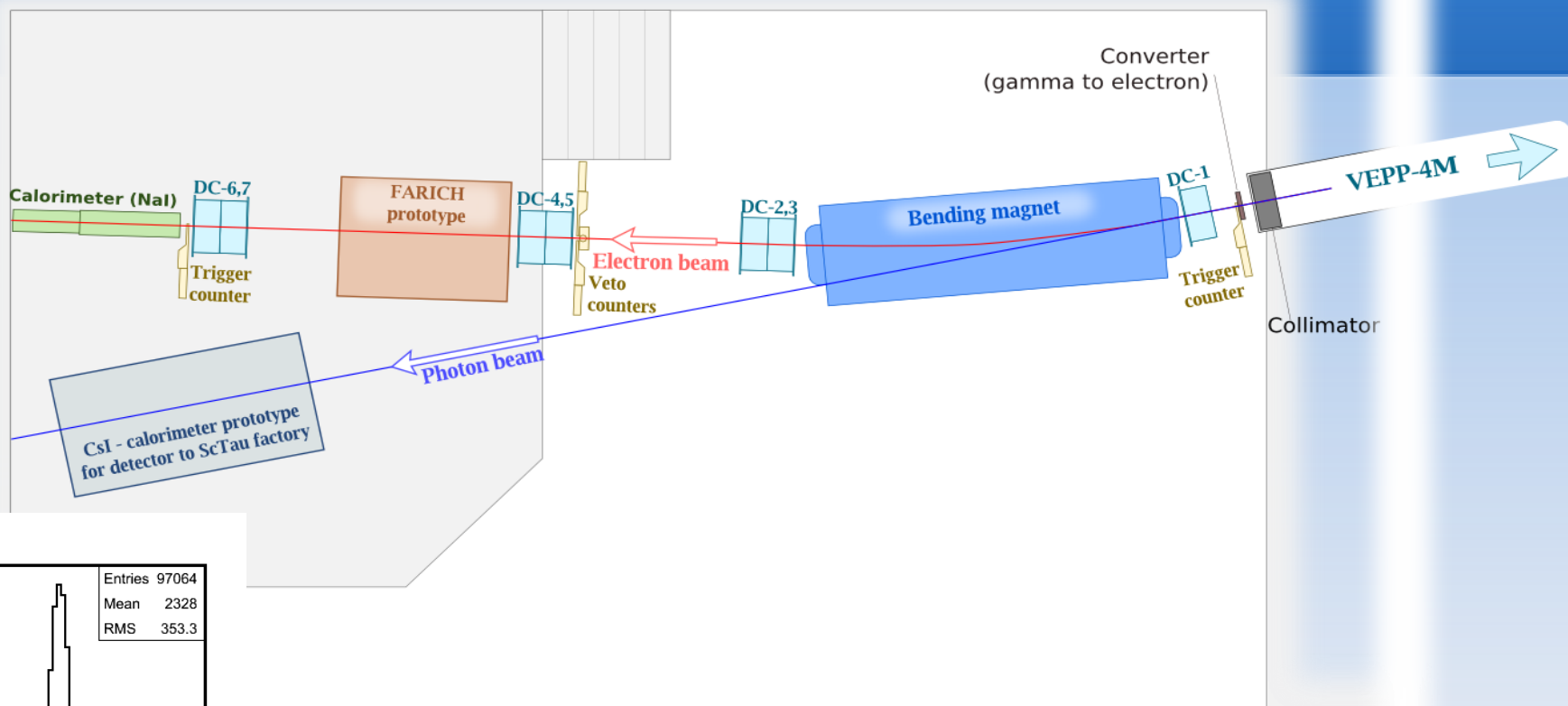
Разработка фокусирующих аэрогелевых радиаторов



Эффекты разрушающие фокусировку:

- Разность между полученным и расчетным показателем преломления в слоях.
- Неконтролируемые вариации плотности (показателя преломления) по толщине
- Начаты работы по разработке технологии получения с непрерывным заданным градиентом показателем преломления (бесконечное число слоев)
- Для изучения эффектов фокусировки планируется использовать прототип ФАРИЧ с высоким координатном разрешением для фотонов

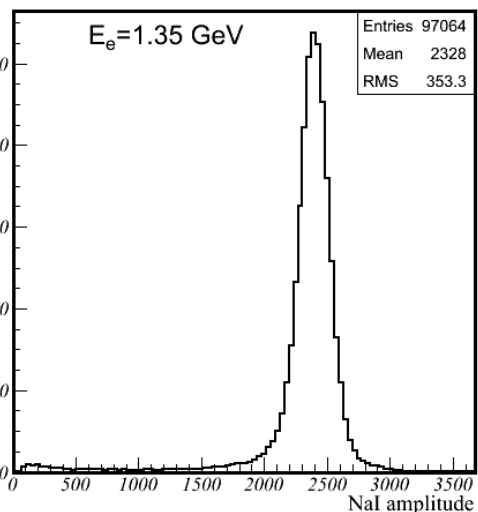
Вторичный пучок электронов на ВЭПП-4М



- The coordinate system based on drift chambers.
- Trigger system on the basis of scintillation counters.

Control room →

- Полезная нагрузка ~100 Гц при $E=3$ ГэВ
- Сечение пучка $50 \times 15 \text{ мм}^2$ (определяется размером триггерного счетчика)
- Координатное разрешение трека 0.1--0.5 мм

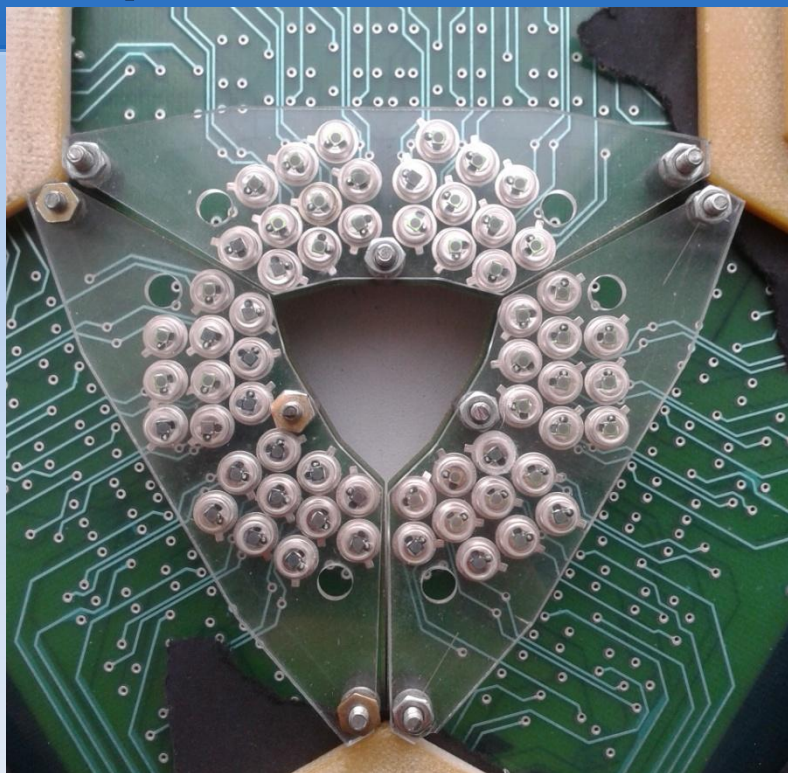


15.04.14

7-е Черенковские чтения

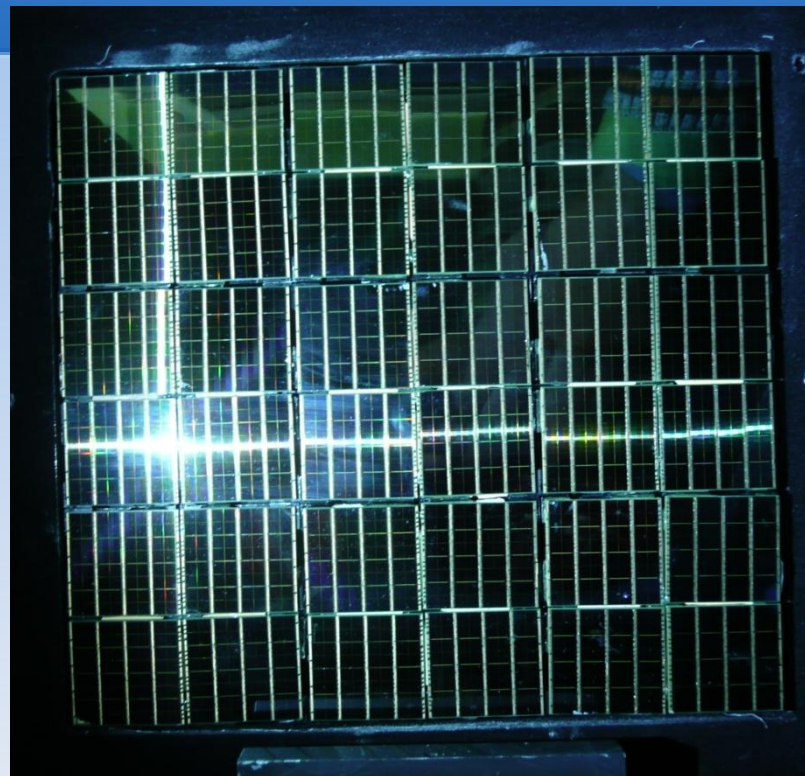
ФАРИЧ с высоким координатным разрешением по фотонам

Прототип №2



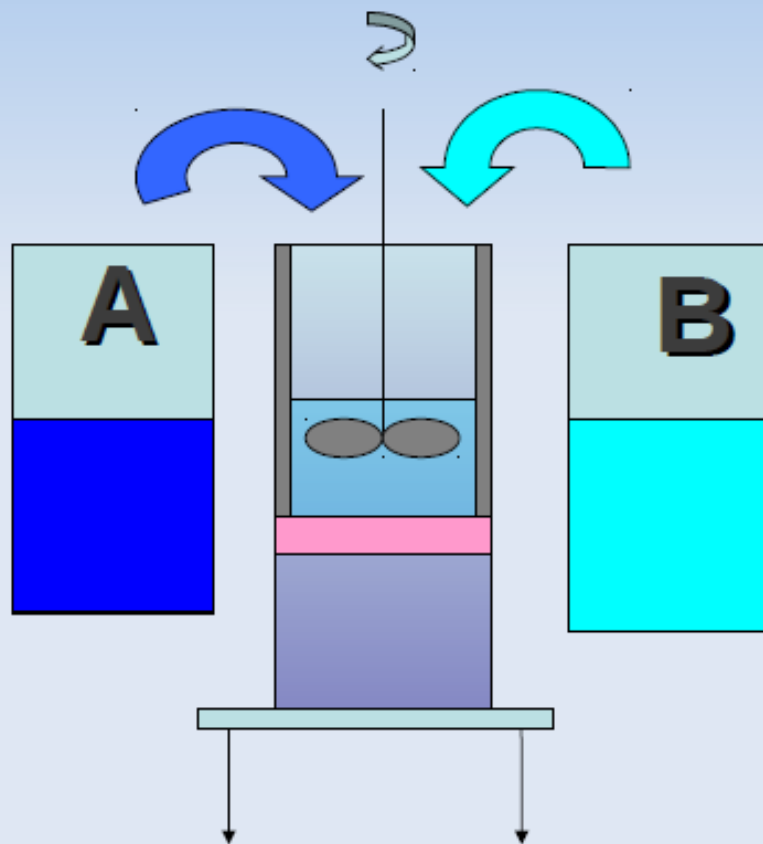
60 SiPMs CPTA 151, $\varnothing 1.28$ мм,
шум 1-2 МГц/мм² при комнатной
температуре $\sigma_{\text{pixel}} = \varnothing / \sqrt{12\pi} = 200 \mu\text{m}$

PDPC ФАРИЧ



92% микро-пикселей в каждом пикселе
блокируется, активная площадь
уменьшается с 3.2×3.9 мм² to 1×1 мм²,
 $\sigma_{\text{pixel}} = \Delta / \sqrt{12} = 300 \mu\text{m}$

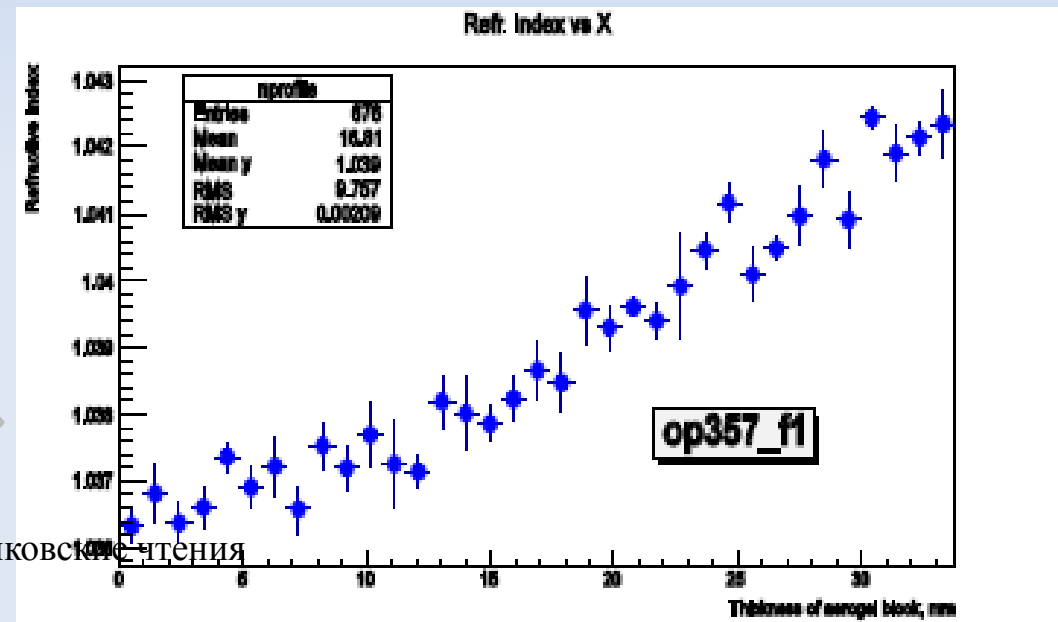
Аэрогель с непрерывным градиентом



Зависимость показателя преломления по толщине

Мы модернизировали метод предложенный S.M. Jones [S.M. Jones "A method for producing gradient density aerogel", J Sol-Gel Sci Technol. 44 (2007) 255]

- Подготавливается два раствора с разным содержанием TEOS
- С помощью перистальтических насосов смеси подаются в объем где перемешиваются
- Смесь с заданным содержанием TEOS проникает через фильтр в кювету где в дальнейшем гелируется.
- Кювета располагается на подвижном столе. Производительность насосов и скорость движения стола по вертикали управляется от компьютера



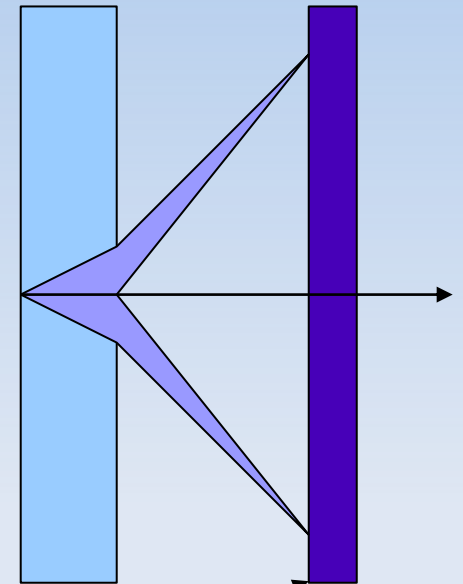
Дальнейшее развитие

Есть 3 основных вклада в точность измерения Черенковского угла:

$$\sigma_{\Theta}^2 = \sigma_{\text{chr}}^2 + \sigma_{\text{geom}}^2 + \sigma_{\text{phot}}^2$$

- Предложенная технология производства фокусирующих аэрогелей с непрерывным градиентом позволяет получить $\sigma_{\text{geom}} \ll \sigma_{\text{chr}}$
- Philips Digital Photon Counting работает над следующей версией сенсора с возможностью вывода номера микро-пикселя, в котором произошла регистрация фотона, $\sigma_{\text{phot}} \approx 20 \mu\text{m} \ll \sigma_{\text{chr}}$
- **Можно ли сделать ДЧК с $\sigma_{\Theta}^2 \approx \sigma_{\text{chr}}^2$?**

Фокусирующий аэрогель с непрерывным градиентом



Фотонный детектор с регистрацией координаты сработавшего микро-пикселя

Conclusion

- Проект Супер Чарм-Тау Фабрики предложен в ИЯФ СО РАН им. Г.И.Будкера. Проект рассматривается в Министерстве Науки и Образования Российской Федерации в рамках программы мега-проектов.
- Детектор Черенковских колец на основе фокусирующего аэрогеля предложен в качестве системы идентификации
- Разработках новейших радиаторов на основе аэрогеля продолжается в ИЯФ СО РАН им. Г.И.Будкера и в ИК СО РАН им. Г.К.Борескова.

Additional slides

Стоимость проекта

	Миллионы .евро
Ускоритель	207.5
Детектор	91.0
Инфраструктура	100.0
Итого	398.5



ИЯФ уже вложил 37.5 миллионов Евро в инфраструктуру и инжекционный комплекс.