

# Использование излучения Вавилова-Черенкова в аэрогеле диоксида кремния для регистрации элементарных частиц

Е.А. Кравченко,

*ИЯФ СО РАН им. Г.И Будкера, Новосибирск, Россия  
НИУ НГУ, Новосибирск, Россия*



**Семинар посвящен 110-летию  
со дня рождения  
П.А.Черенкова и 80-летию  
открытия излучения  
Вавилова-Черенкова**

02.12.14

Семинар ФФ НГУ

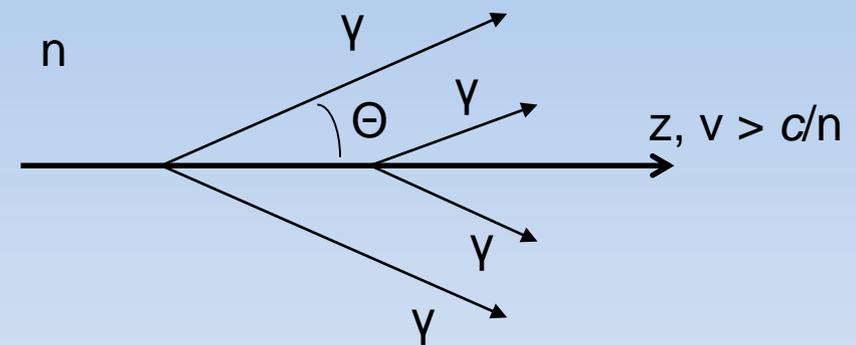
# План

- Черенковское излучение и его особенности.
- Что такое аэрогель?
- Аэрогелевые пороговые Черенковские счетчики.
- Детекторы Черенковских колец с аэрогелевыми радиаторами.
- Детекторы частиц с рекордным временным разрешением.
- Заключение

# Черенковское излучение и его особенности

- Направление излучения фотонов и интенсивность излучения являются функциями скорости частицы.
- Квадратичная зависимость интенсивности от заряда частицы
- Мгновенная вспышка
- Низкая интенсивность

Год открытия: 1934



$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta}, \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$\frac{d^2N}{dx d\lambda} = \frac{2\pi\alpha z^2}{\lambda^2} \left( 1 - \frac{1}{\beta^2 n^2(\lambda)} \right)$$

# Что такое аэрогель?(1)

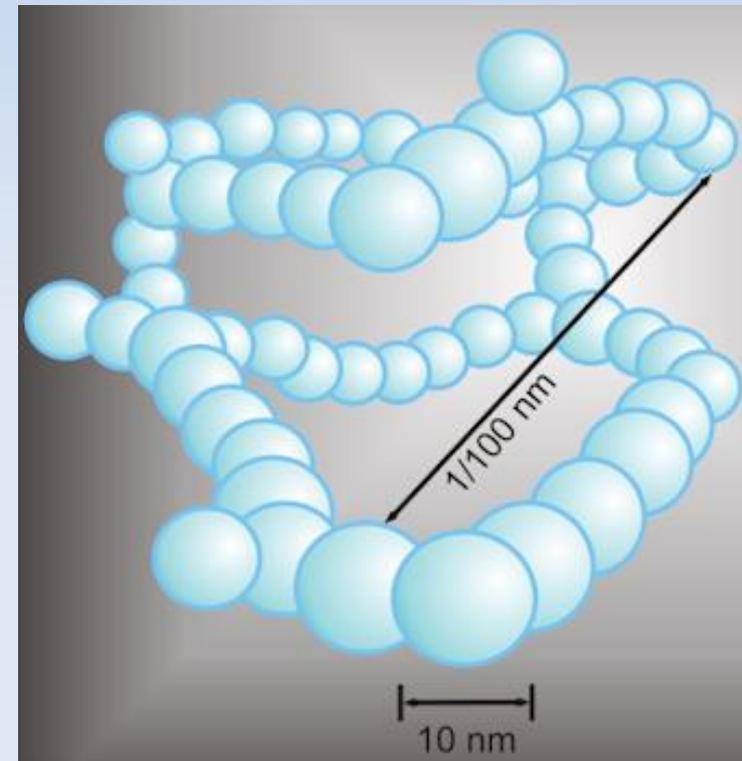


Открыт Стивеном Кистлером в 1931 г.

S.S.Kistler, "*Coherent Expanded Aerogels and Jellies*", *Nature*, 1931, vol. 127, p. 741

**Аэрогель** – это пористое вещество с размером пор меньше длины волны видимого света, **наноматериал**.

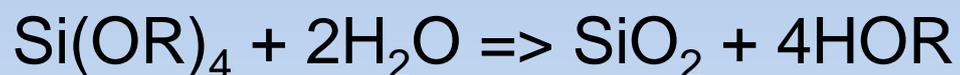
Наиболее широко распространены аэрогели диоксида кремния, хотя бывают аэрогели на основе оксидов металлов, углерода, желатина.



# Что такое аэрогель?(2)

## Метод производства:

- Синтез алкогеля:



алкоксид вода кремнезем спирт

- Сверхкритическая сушка в автоклаве для удаления спирта  
 $P_{\text{max}}=100$  атм.,  $t_{\text{max}}=260^\circ\text{C}$

(изопропанол  $P_{\text{cr}}=53$  атм.,

$t_{\text{cr}}=235^\circ\text{C}$ )

## Свойства аэрогеля:

- Плотность от 0.003 до 1.0 г/см<sup>3</sup> (плотность кварца 2.2 )
- Оптически однороден,  
 $n \approx 1 + 0.2 \cdot \rho[\text{г/см}^3] \Rightarrow$   
( $n = 1.0006 \div 1.2$ )
- Пористость до 99.8%
- Внутренняя поверхность до 800 м<sup>2</sup>/г

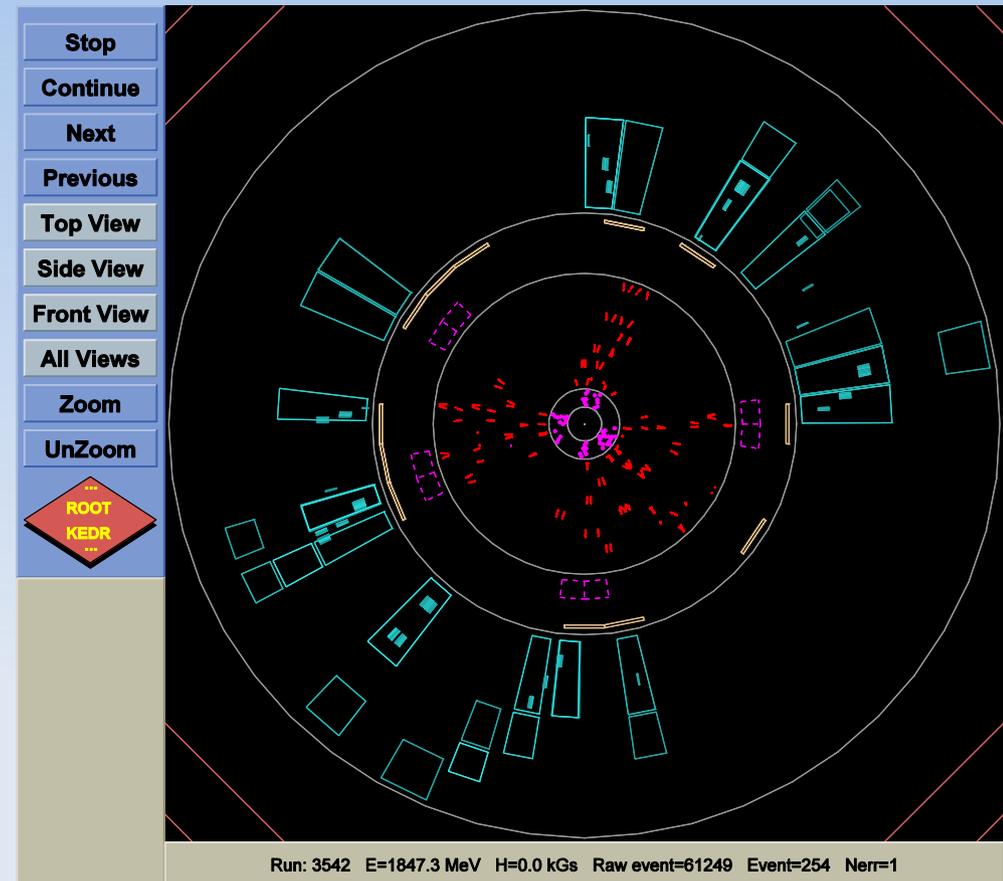
# Идентификация частиц в экспериментах со встречными пучками

Чтобы определить тип рожденной частицы надо знать ее импульс и скорость:

- $P_{\perp} = 0.3 \cdot B[T] \cdot R[m]$
- $P = Mc\beta\gamma$

Как определить скорость?

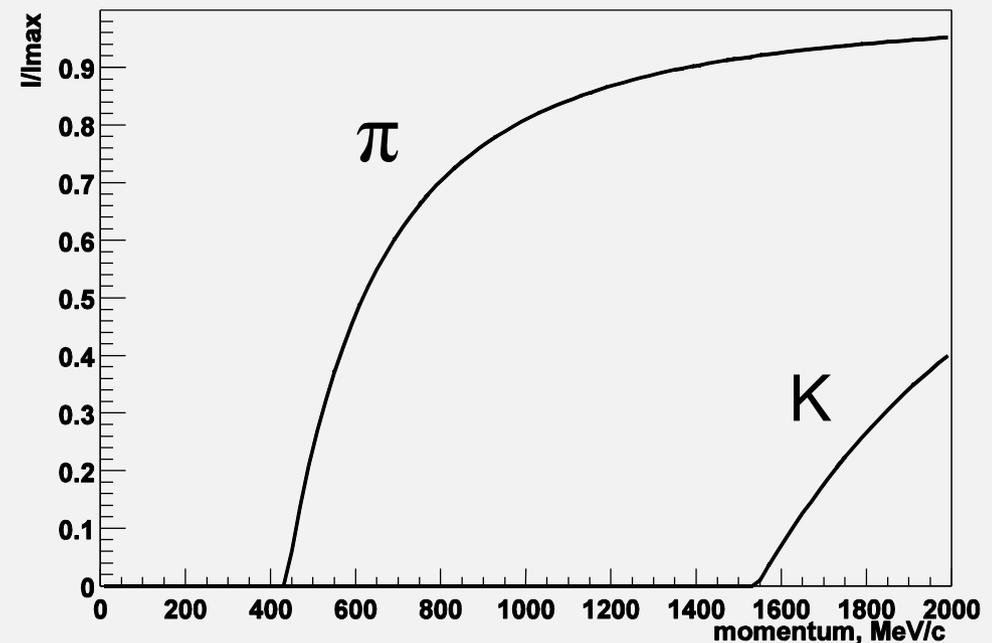
- Точно измерить время пролета
- Измерить плотность ионизации
- С помощью черенковского счетчика



# Аэрогелевые пороговые Черенковские счетчики(1)

Идентификация  $\pi$  и  $K$ -мезонов в пороговом счетчике:

- $I_{Ch} \sim 1 - \frac{1}{n^2 \beta^2}$
- $P_{thr} = \frac{mc}{\sqrt{n^2 - 1}}$



Да-Нет идентификация в области импульсов между  $P_{thr}(\pi)$  и  $P_{thr}(K)$

# Аэрогелевые пороговые Черенковские счетчики(2)

- до  $P \approx 600$  МэВ/с  $\pi$ - и К-мезоны идентифицируют по времени пролета и за счет измерения плотности ионизации.
- Нужно вещество, в котором  $P_{thr}(\pi) = 400--500$  МэВ/с  $\Rightarrow$

**$n=1.035-1.06$  !**

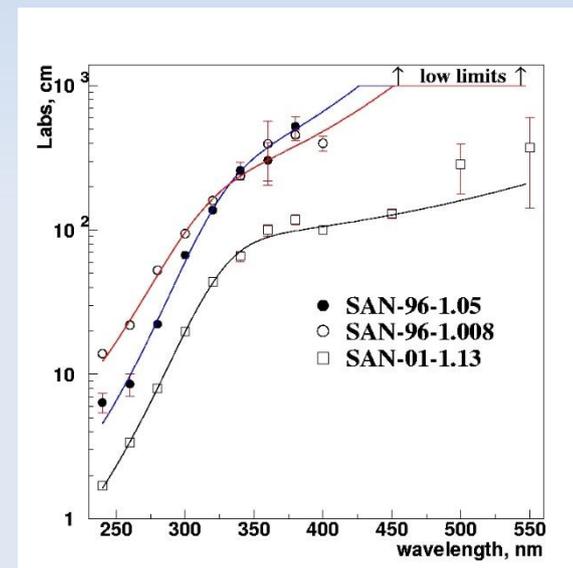
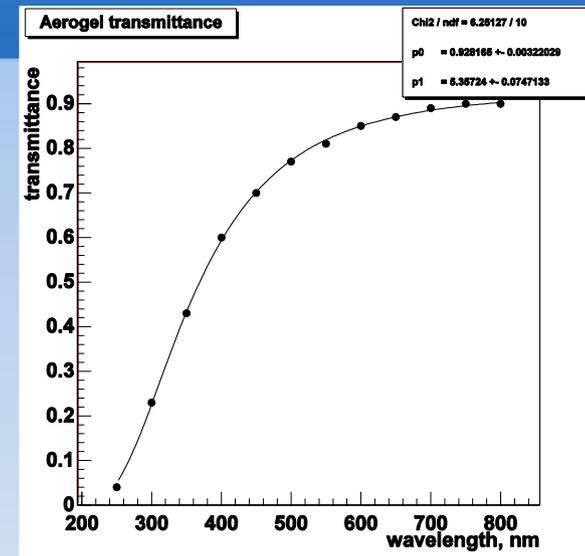
	$n$	$P_{\pi}$ , МэВ/с	$P_K$ , МэВ/с
Кварц	1.458	132	465
Вода	1.33	159	563
Фреон 114, 1 атм.	1.0014	2640	9330
CO <sub>2</sub> , 1 атм.	1.00043	4760	16800
CO <sub>2</sub> , 10 атм.	1.0043	1500	5320
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , 25 атм.	1.02	600	2460

M.Cantin, M.Casse, L.Koch et al.,  
'Silica aerogels used as Cherenkov radiators',  
Nucl. Instr. and Meth. 118(1974)177-182

# Оптические параметры аэрогеля

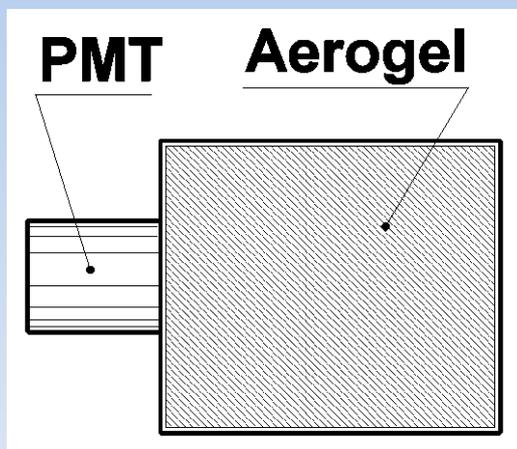
Длина рассеяния света в аэрогеле в разы больше, чем длина поглощения

- $\frac{I}{I_0} = A \cdot e^{-\frac{h}{L_{sc} \left(\frac{\lambda}{400}\right)^4}}$
- При  $\lambda=400$  нм
  - $L_{sc} \sim 4-5$  см,  $L_{abs} \sim 4-5$  м

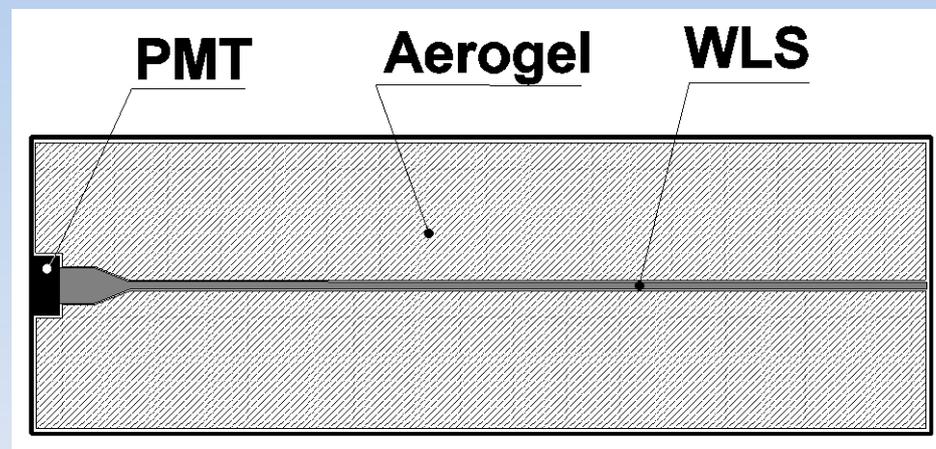


# Конструкция аэрогелевого порогового счетчика(1)

Прямой светосбор света



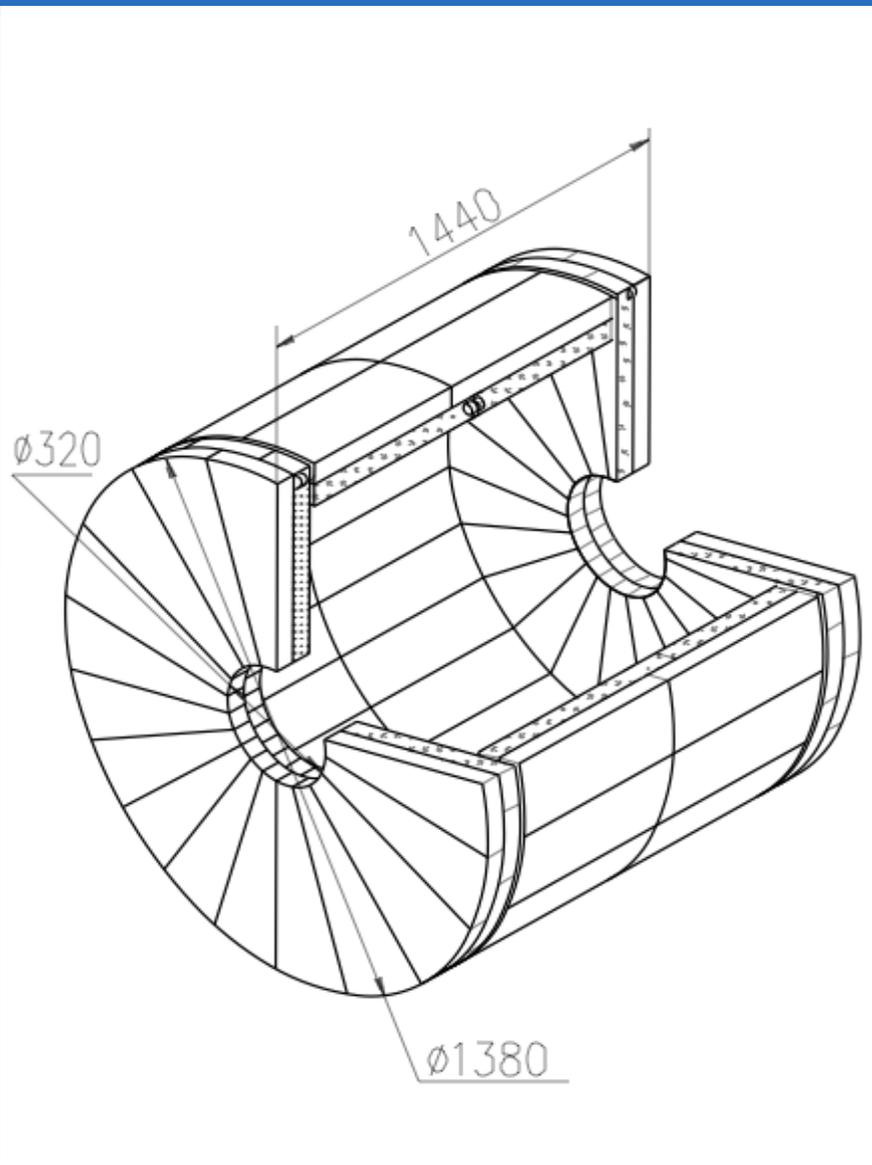
Сбор света с помощью переизлучателя (метод АШИФ)



Диффузный светосбор. Коэффициент отражения на стенках 98% (Тефлон)

- Детектор TASSO (2000 л., 1980 г., Германия)
- Детектор Belle (2000 л., 1998 г., Япония)
- Детектор КЕДР (1000 л., 2003-2013 г., ИЯФ)
- Детектор СНД (1000 л., 2005 г., ИЯФ)

# Система АШИФ детектора КЕДР



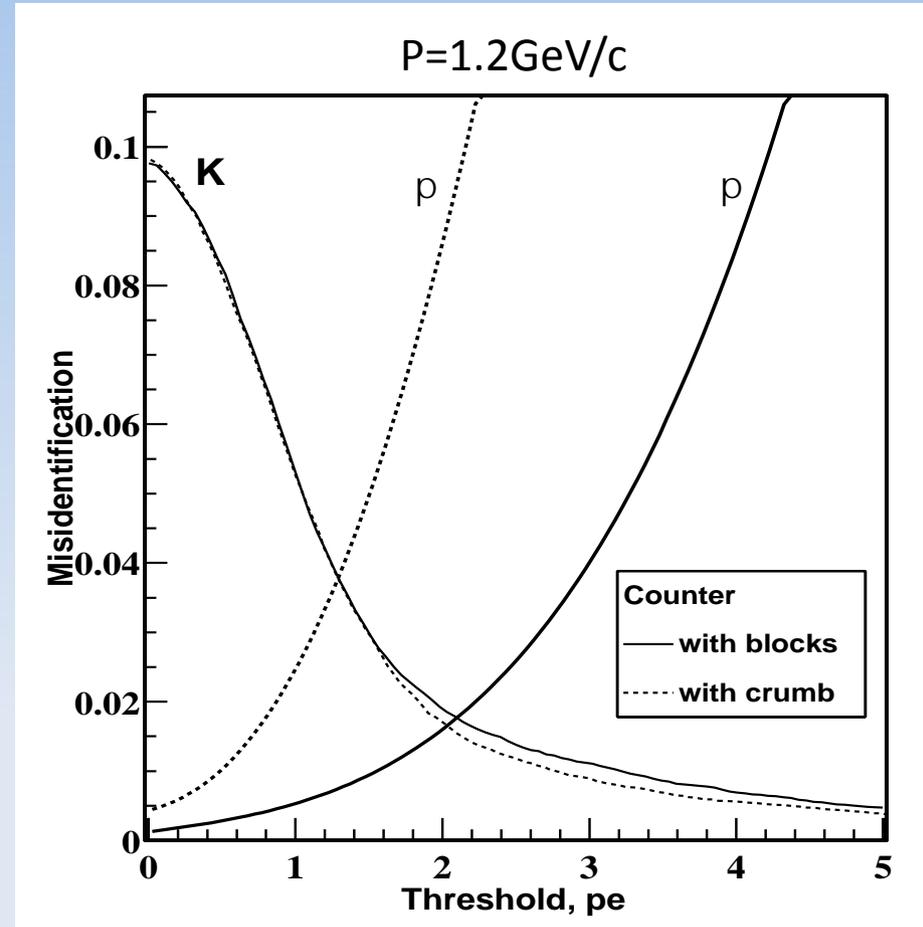
- 160 счетчиков в 2 слоях
- телесный угол 96%
- 1000 литров аэрогеля,  $n=1.05$
- п/К- разделение в диапазоне импульсов  $0.6 \div 1.5$  ГэВ/с
- Светосбор с помощью спектросмещающих пластин
- 160 ФЭУ с МКП, диаметр фотокатода  $\varnothing 18\text{mm}$ , работают в сильных магнитных полях до 2Т

Семинар ФФ НГУ

# Тест на пучке счетчика АШИФ

P, GeV/c	Pion supp. factor	Kaon reg. eff.	Separation
0.86	900	94%	4.7 $\sigma$
1.2	1300	90%	4.5 $\sigma$

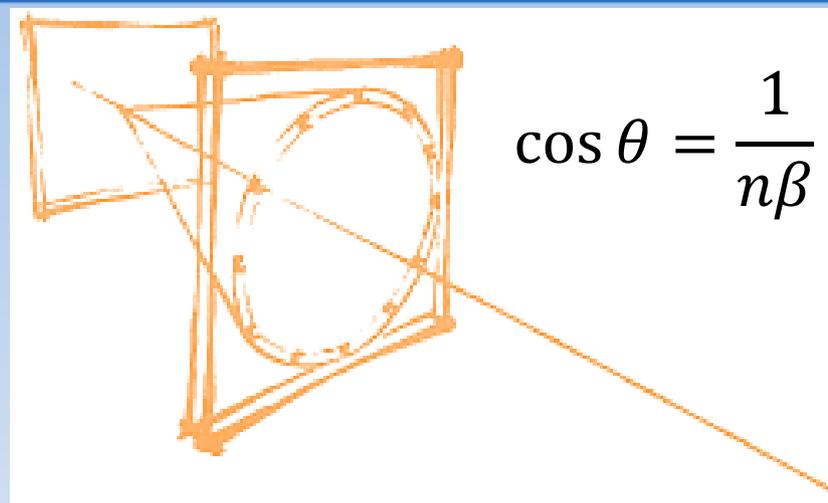
A.Yu.Barnyakov et al. NIM A478 (2002) 353-356



# Детектор черенковских колец

Очевидно, что если измерить угол черенковского излучения, то точность определения массы частицы (идентификация) будет выше, чем в пороговых счетчиках.

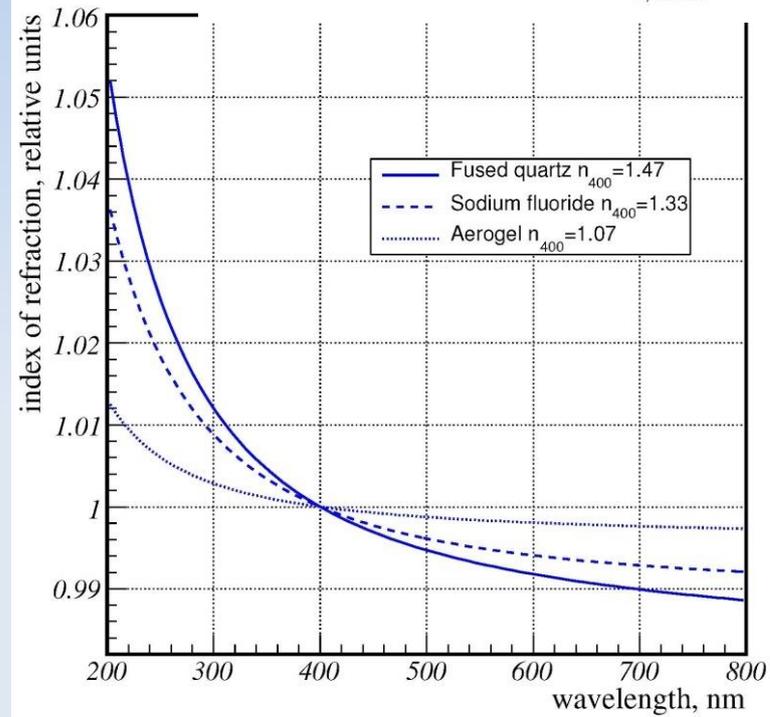
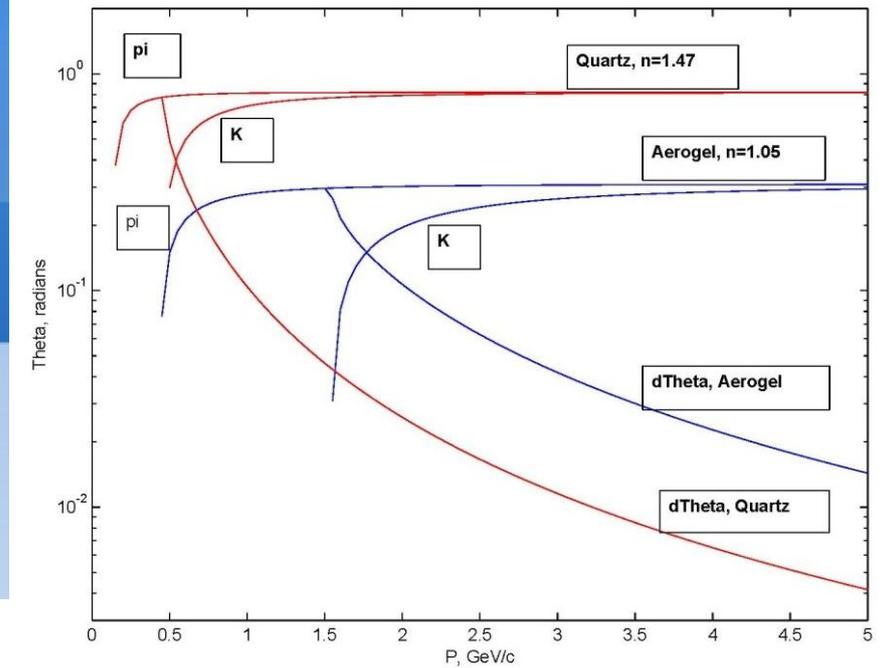
- CRID, детектор SLD, СЛАК, США (C6F14  $n=1.277$ , C5F12/N2  $n=1.0017$ )
- RICH, детектор Delphi, ЦЕРН, Швейцария (C5F12|C6F14, C4F10)
- RICH, детектор CLEOIII, Корнелл, США (LiF,  $n=1.50$ )
- DIRC, детектор BaBar, СЛАК, США (SiO2,  $n=1.47$ )



- A.Roberts, Nucl. Instrum. and Methods 9(1960)55
- J.Seguinot and T.Ypsilantis, Nucl. Instrum. and Methods 142(1977)377

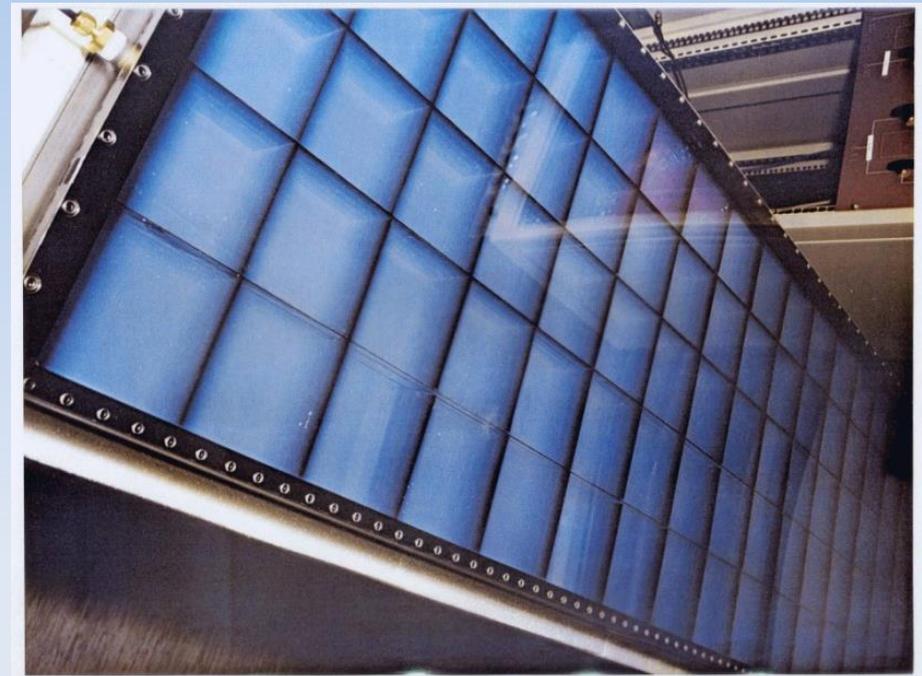
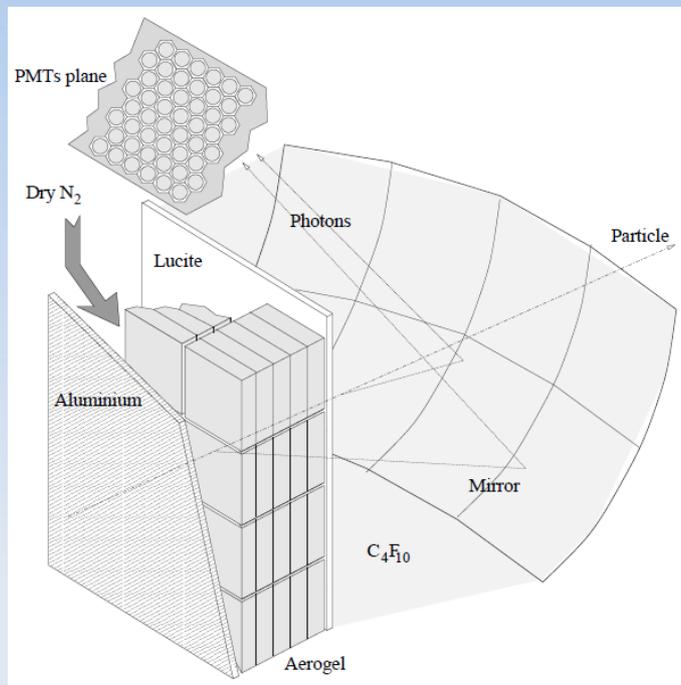
# Почему аэрогель?

- 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 ( $\sim 1/\sqrt{N_{pe}}$ )



# Примеры RICH с аэрогелевыми радиаторами(1)

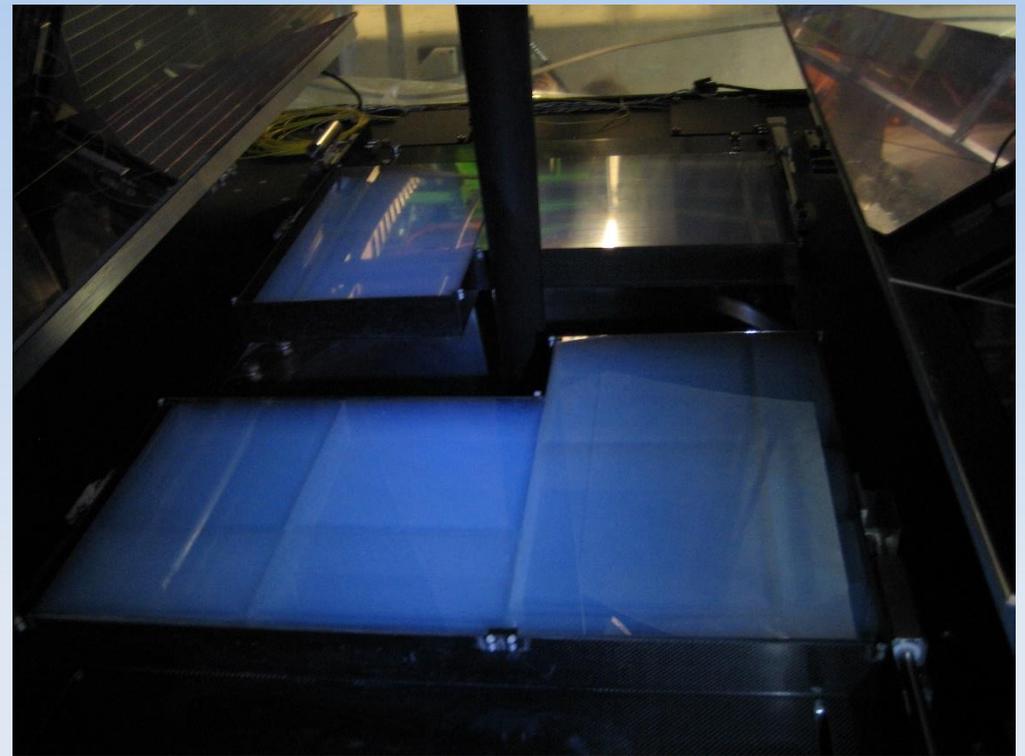
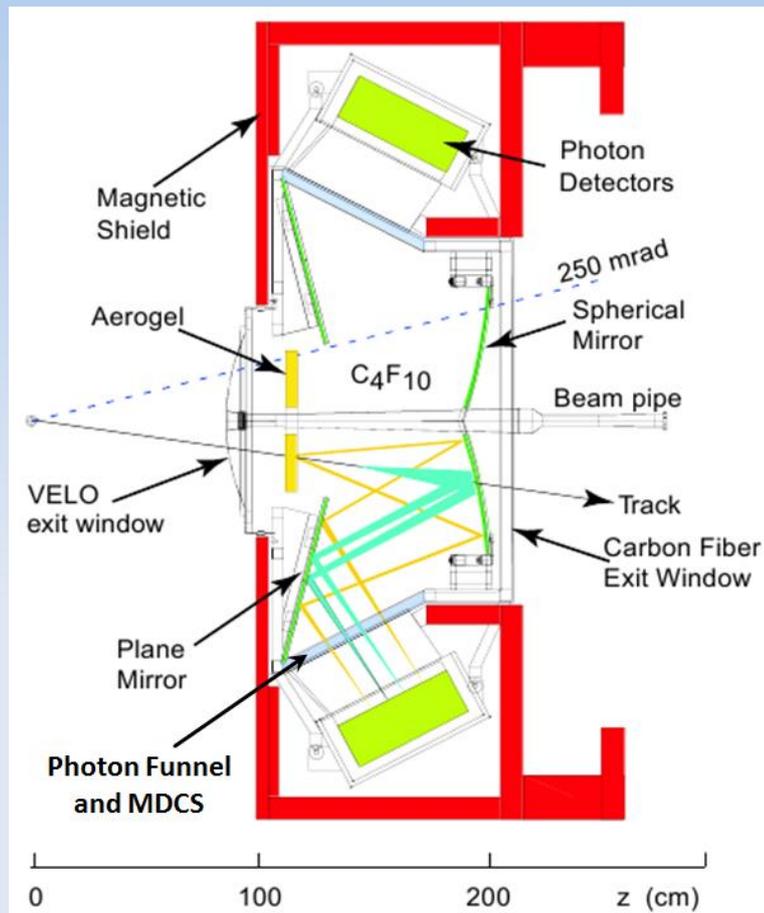
## Hermes RICH (ДЕЗИ, Германия)



Аэрогель производства Matsushita,  $n=1.03$

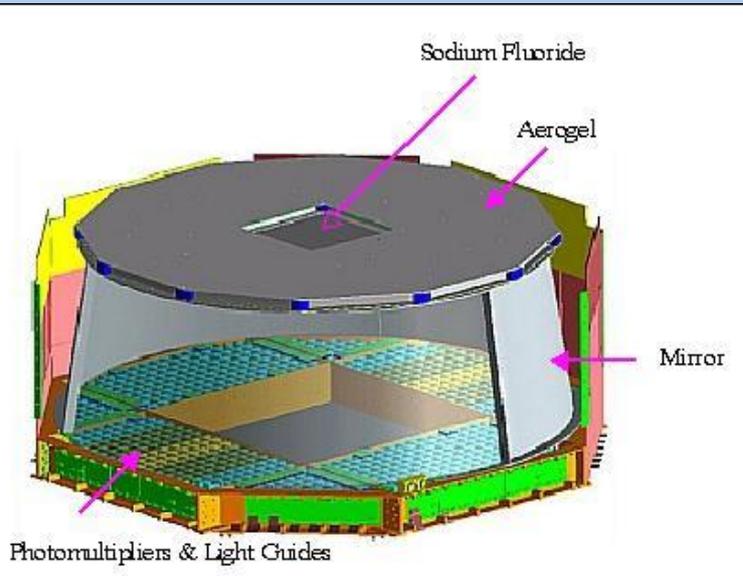
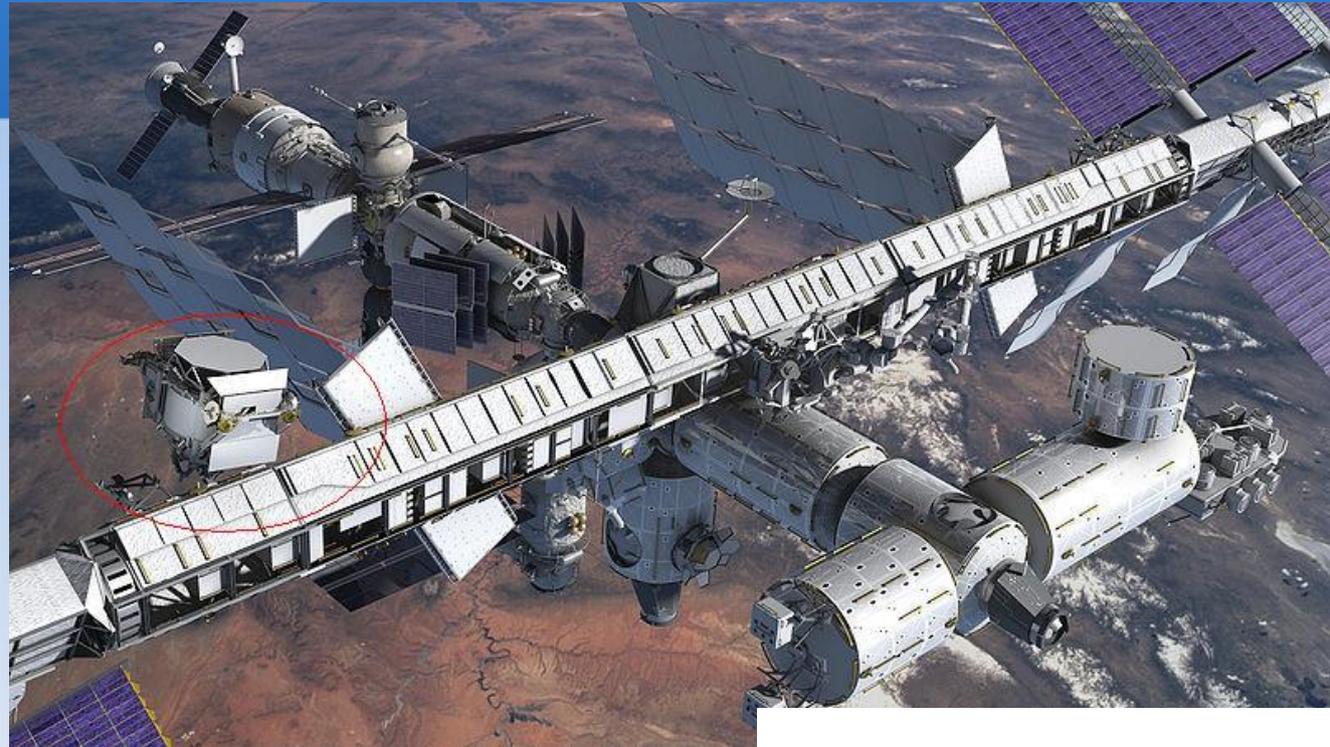
# Примеры RICH с аэрогелевыми радиаторами(2)

## LHCb RICH1 (ЦЕРН, Швейцария)



Аэрогель производства ИК/ИЯФ СО РАН,  $n=1.03$

# Примеры RICH с аэрогелевыми радиаторами(3)

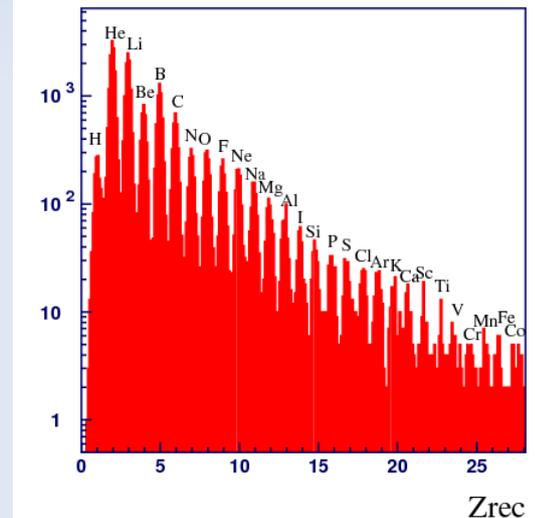


Особенность: **измерение Z!**  $N_{pe} \sim Z^2$

Аэрогель производства ИК/ИЯФ СО РАН,  $n=1.05$

02.12.14

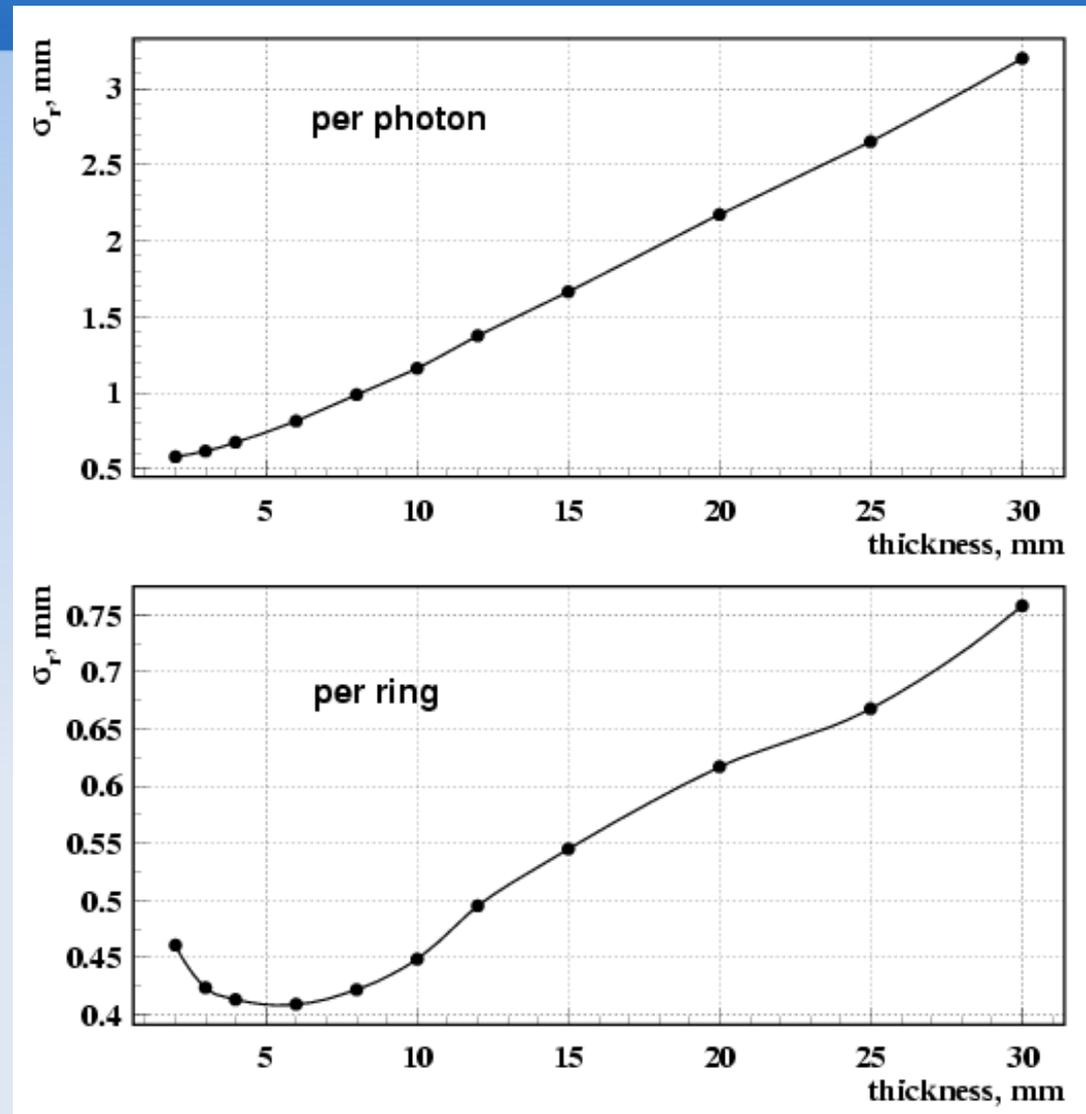
Семинар ФФ НГУ



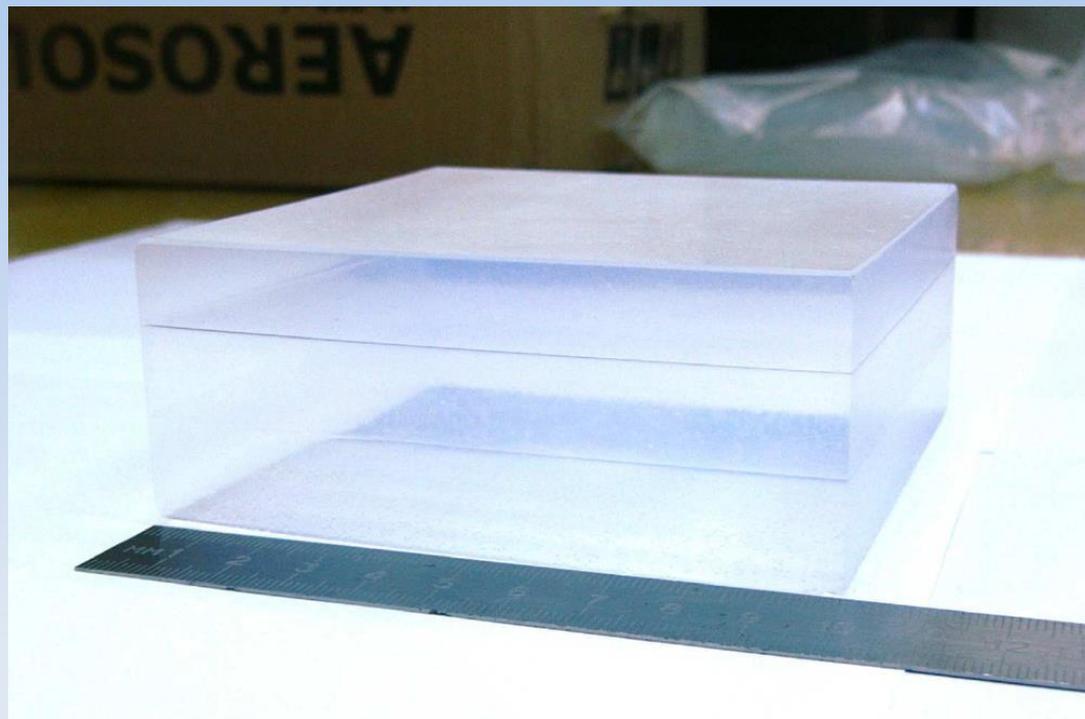
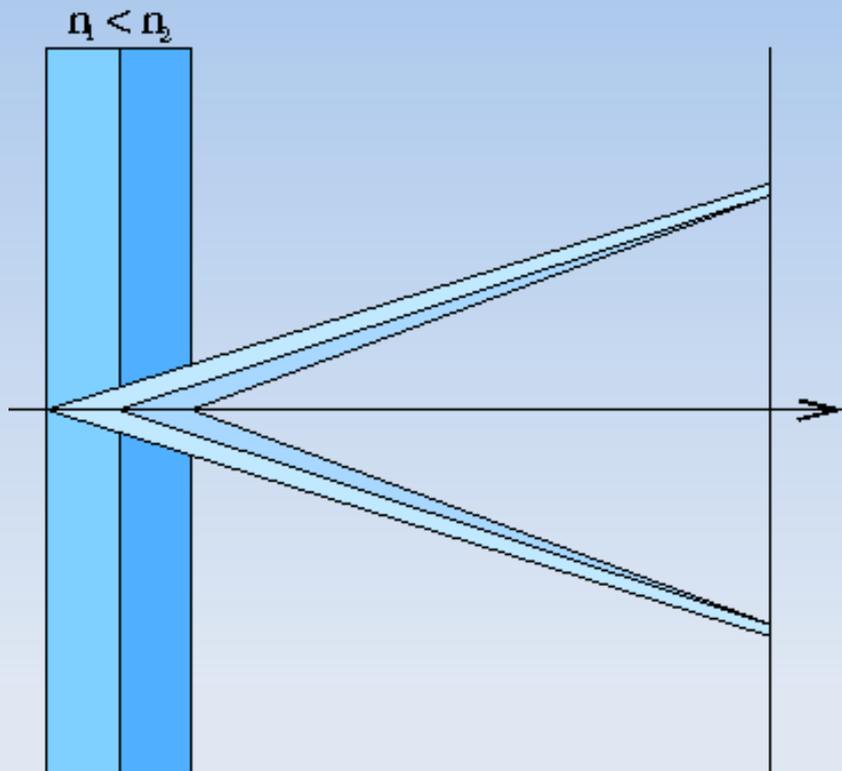
# Зачем нужен «фокусирующий» аэрогель?(1)

При увеличении толщины радиатора:

- увеличивается число фотонов, что приводит к уменьшению разрешения по углу ( $\sigma_{\Theta} \sim \sigma_{1pe}/\sqrt{h}$ )
- Увеличивается ширина черенковского кольца, что приводит к увеличению разрешения по углу ( $\sigma_{\Theta} \sim h$ )



# Зачем нужен «фокусирующий» аэрогель?(2)



Уменьшает вклад от толщины радиатора в точность измерения Черенковского угла.

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

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

02.12.14

Семинар ФФ НГУ

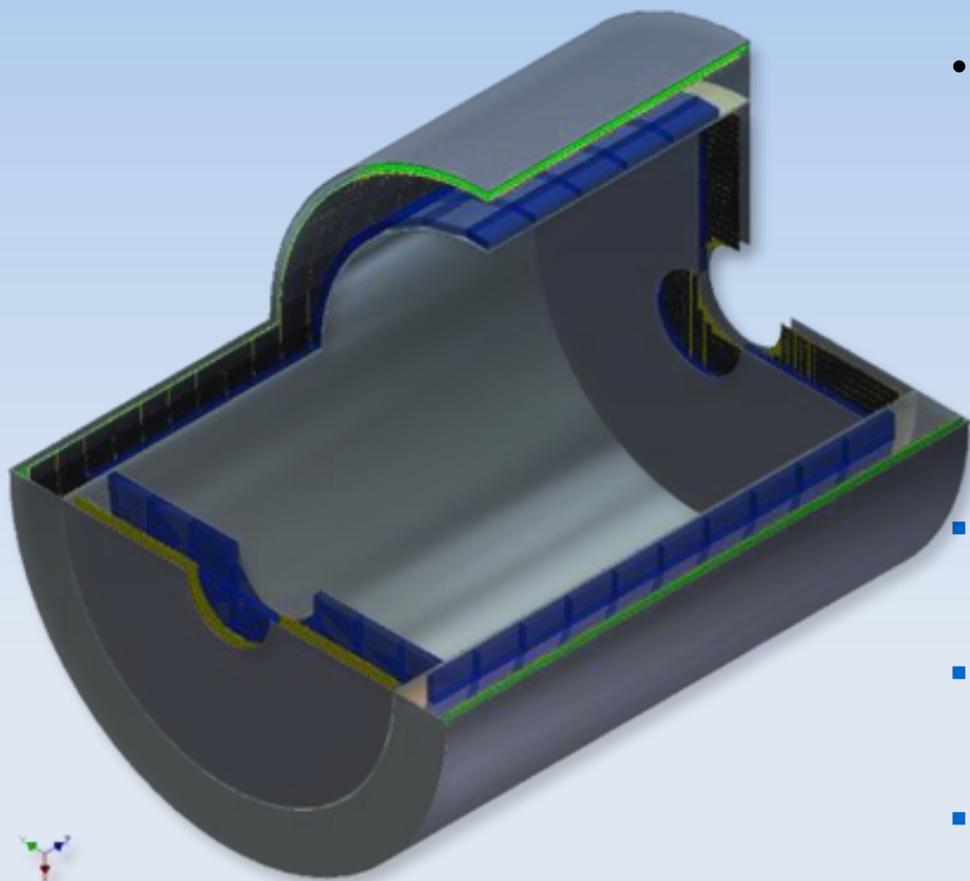
# Детектор Черенковских колец на фокусирующем аэрогеле – система идентификации в экспериментах на Супер Чарм-Тау фабрике.

## Основная мотивация

- Для поиска распада с нарушением лептонного числа  $\tau \rightarrow \mu \gamma$  на уровне  $10^{-9}$  требуется надежное  $\mu/\pi$  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<sup>2</sup>
- Площадь радиатора: 14 м<sup>2</sup>
- ~1 миллион каналов



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

## Основные цели:

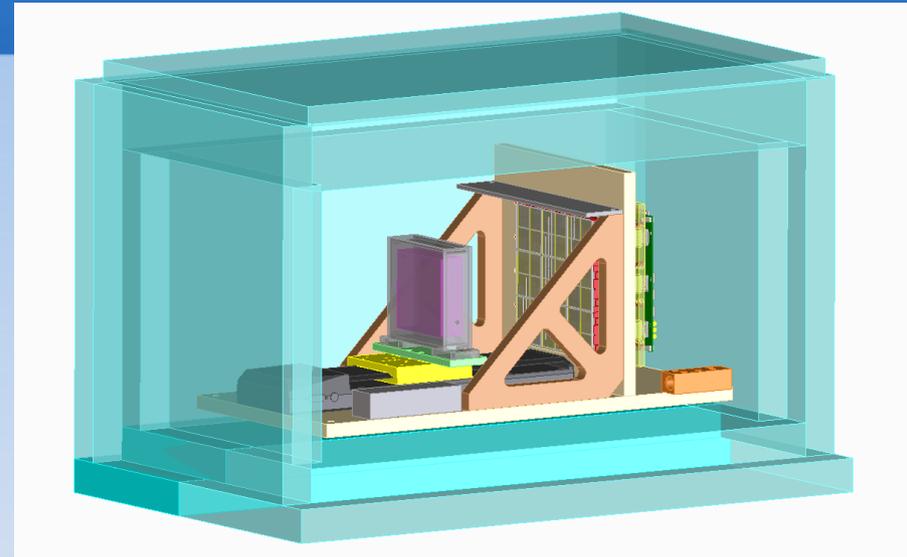
- Продемонстрировать работоспособность фотонных детекторов DPC в составе детектора Черенковских колец
- Подтвердить рекордные параметры фокусирующего аэрогелевого радиатора

*Прототип был сделан за 2 месяца!*



02.12.14

Семинар ФФ НГУ



# RDPC ФАРИЧ прототип



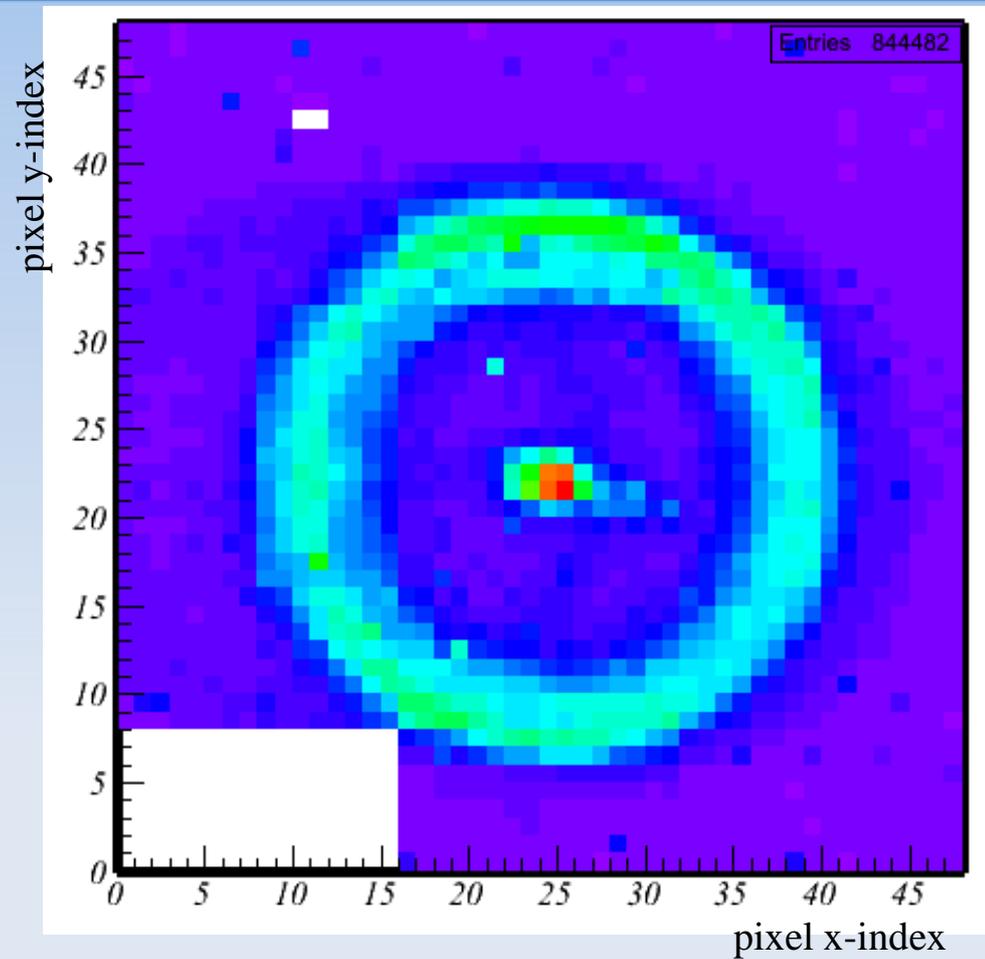
- 4-слойный аэрогель
- $n_{\max} = 1.046$
- толщина 37.5 мм
- 'фокусное' расстояние 200 мм
- Чтобы предотвратить конденсацию влаги аэрогелевый радиатор был помещен в герметический объем с окном из оргстекла



- 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  $-40^\circ \text{C}$

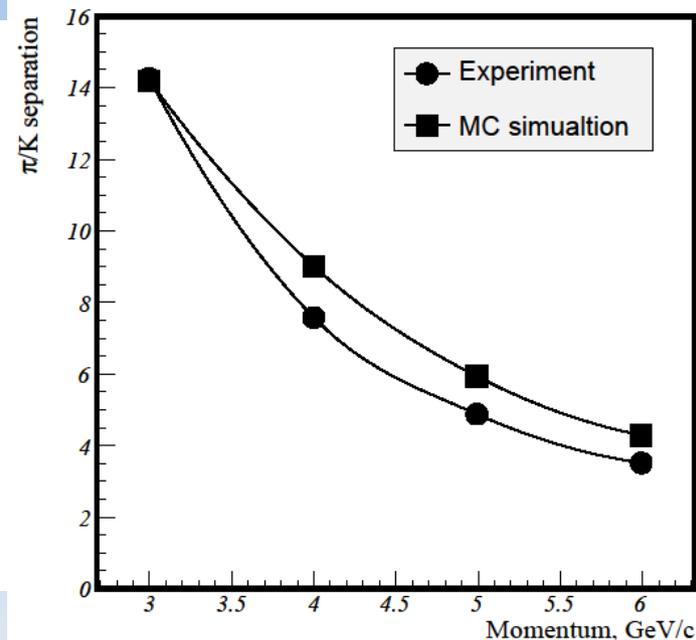
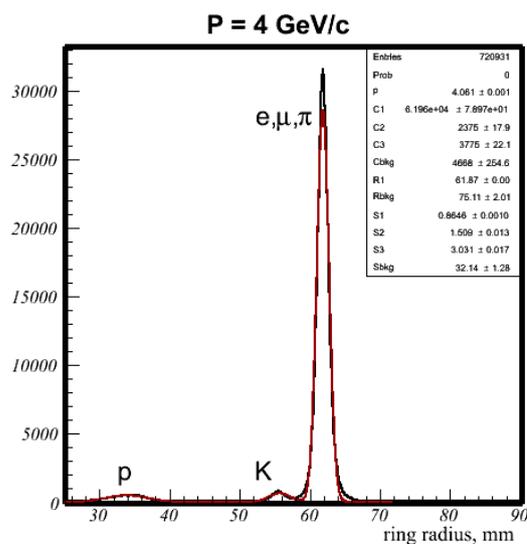
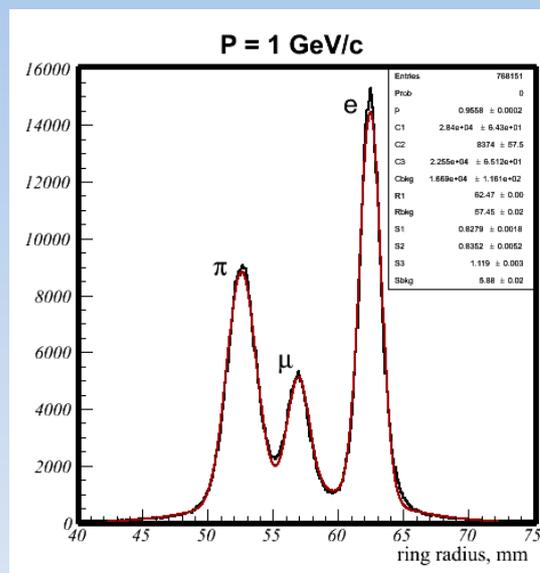
# Наблюдение Черенковского кольца

Pixel hit map



# Результаты измерений на пучке: идентификация частиц

Разрешение по радиусу Черенковского кольца

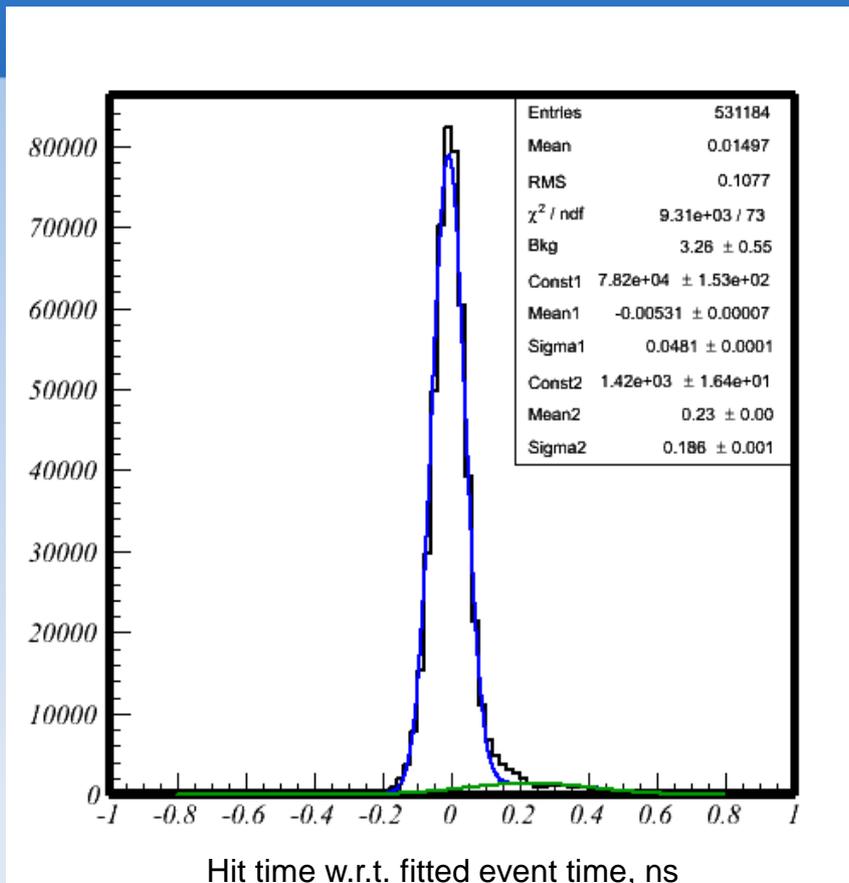


$\mu/\pi$ : **5.3 $\sigma$**  @ 1 ГэВ/c  
 $\pi/K$ : **7.6 $\sigma$**  @ 4 ГэВ/c  
 $\pi/K$ : **3.5 $\sigma$**  @ 6 ГэВ/c

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

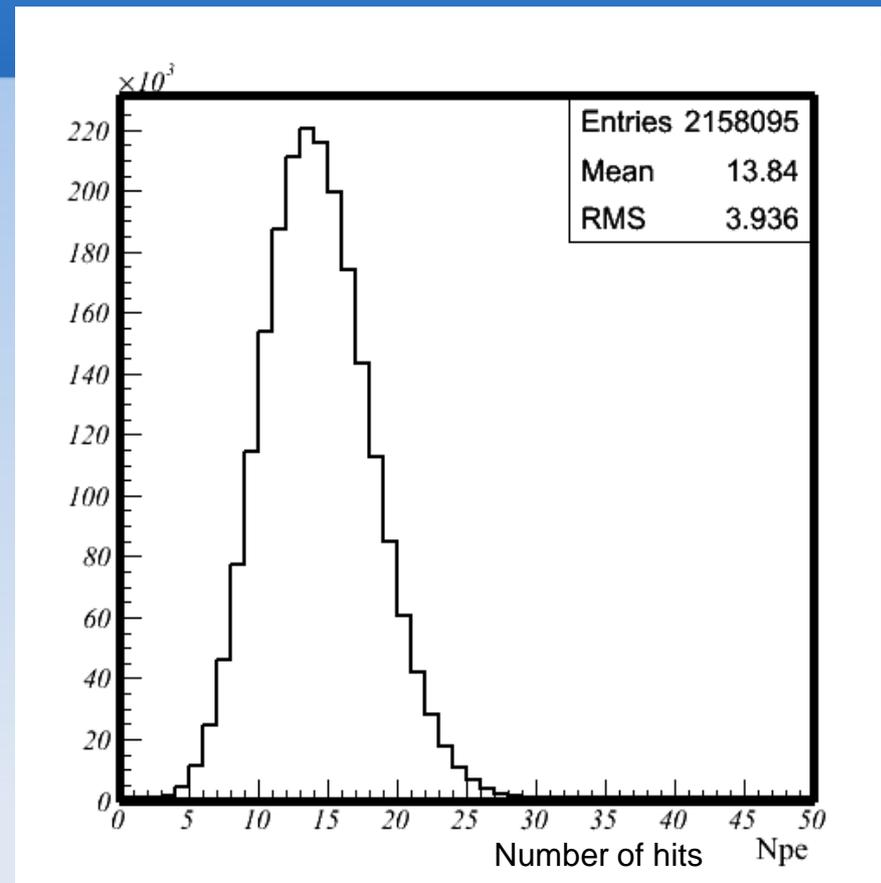
A.Yu. Barnyakov, et al., Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A (2013),  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2013.07.068>, Article in Press

# Результаты измерений на пучке: временное разрешение и число фотоэлектронов



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

Рекордное разрешение для КФЭУ



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

(с учетом перекрестных наводок)

В 1.7 раза меньше, чем в моделировании

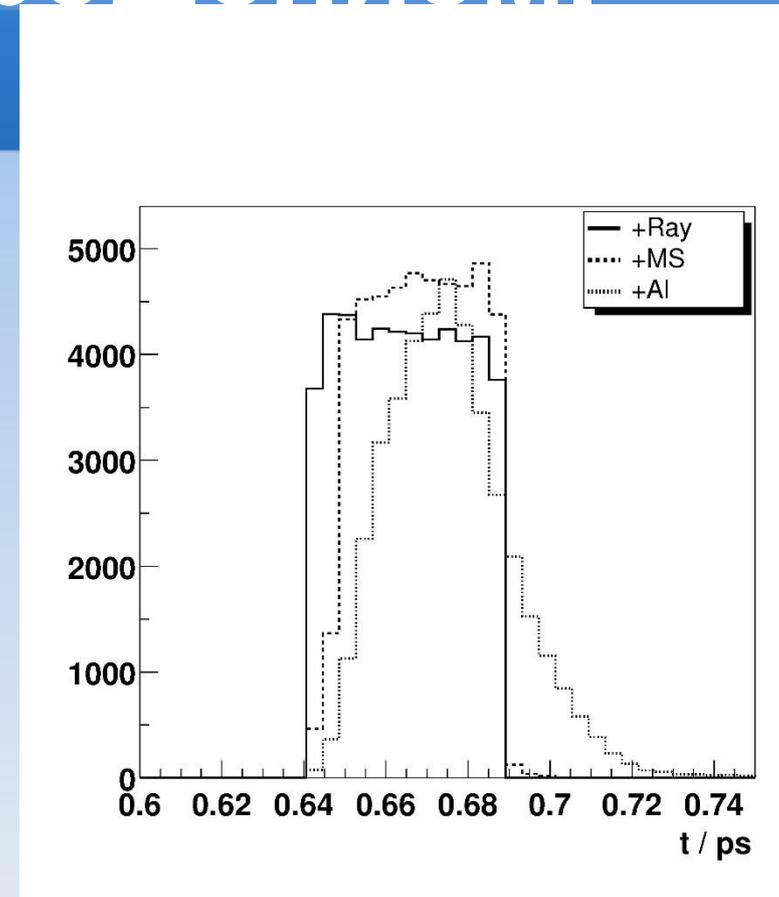
# Детекторы частиц с рекордным временным разрешением.

- Задача:

Измерение продольного профиля пучка заряженных частиц.

- Обычно для этого используется переходное излучение.
- Преимущество Черенковского излучения:

- Более высокая интенсивность
- Направленность



	n=1.01	n=1.03	n=1.05	n=1.01
h, mm	20	2	1	1
RMS, пс	0.58	0.110	0.091	0.017

J.Bahr, A.Onuchin et.al., NIM A538(2005)597

# Заключение

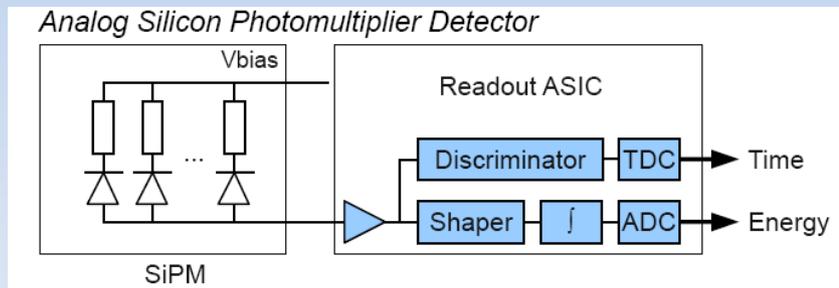
Черенковское излучение + аэрогель =

**МНОГО ИНТЕРЕСНЫХ НАУЧНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ !!!**

# Additional slides

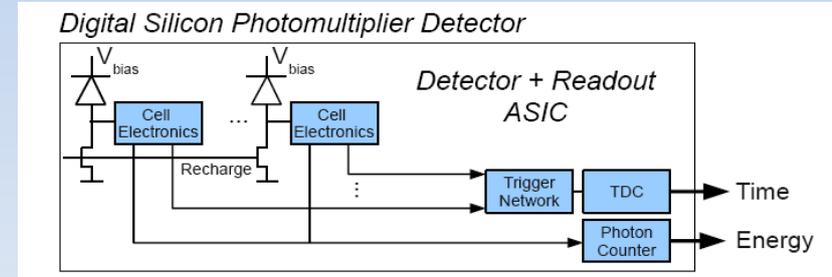
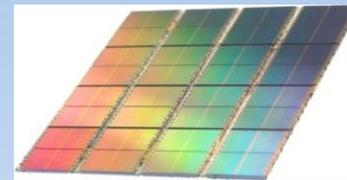
# DPC: Интегрирование цифровой обработки сигналов с матрицей лавинных фотодиодов

## Аналоговый КФЭУ (SiPM)



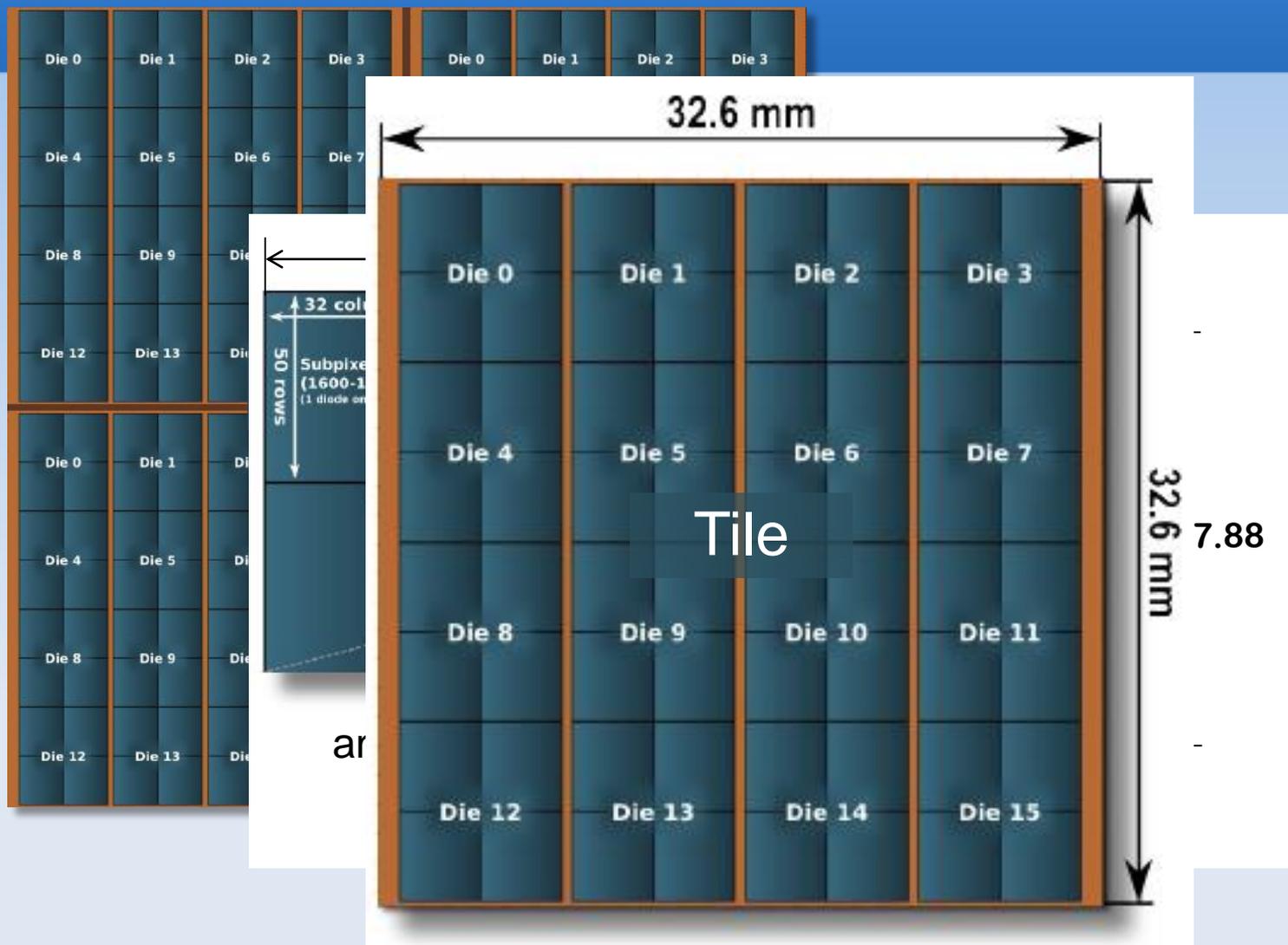
- Требуется оцифровка аналоговых сигналов
- Требуется специализированный ASIC
- трудно масштабируется

## Цифровой КФЭУ



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

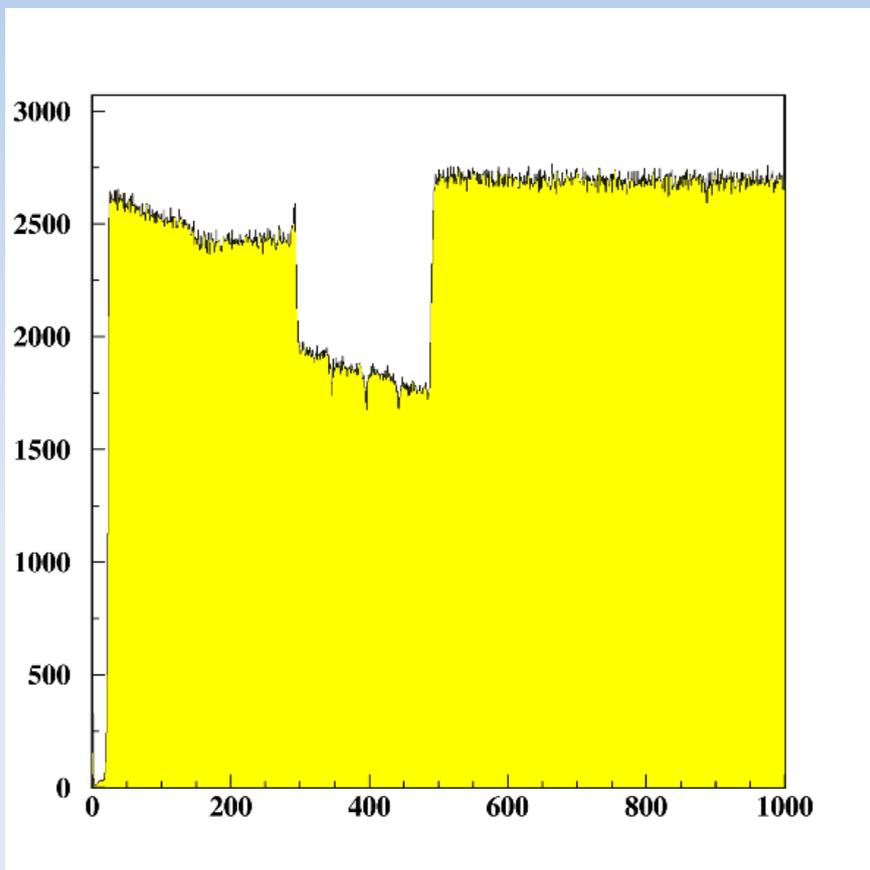
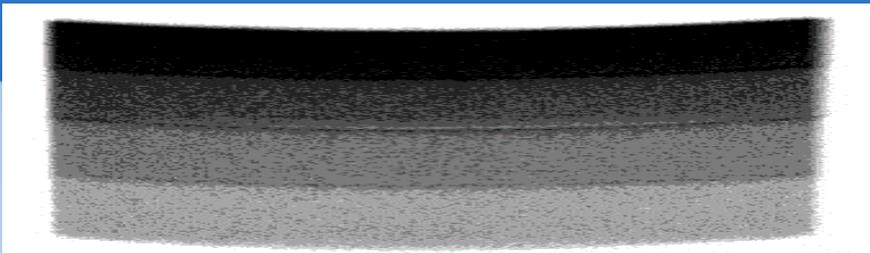
# Иерархия детектора DPC



02.12.14

Семинар ФФ НГУ

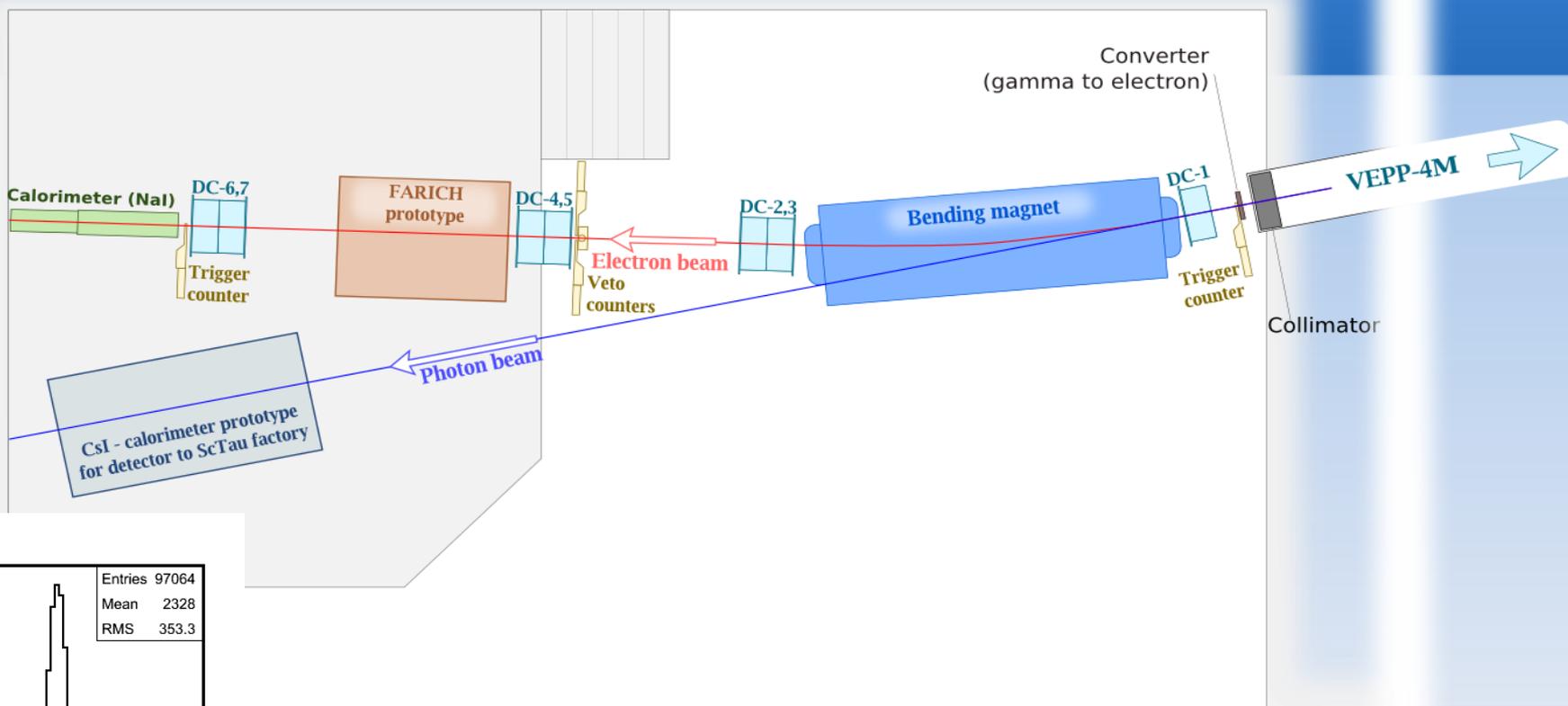
# Разработка фокусирующих аэрогелевых радиаторов



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

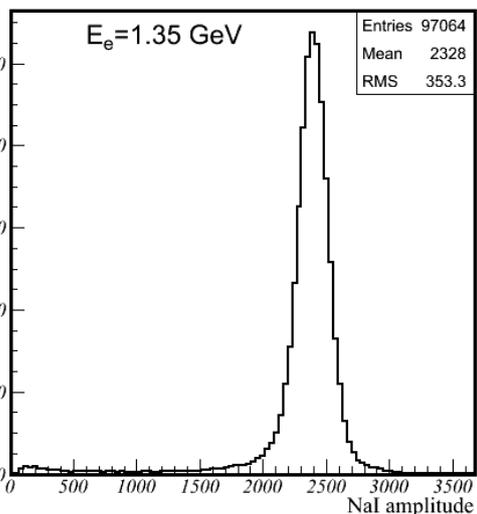
# Вторичный пучок электронов на ВЭПП-4М



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

Control room →

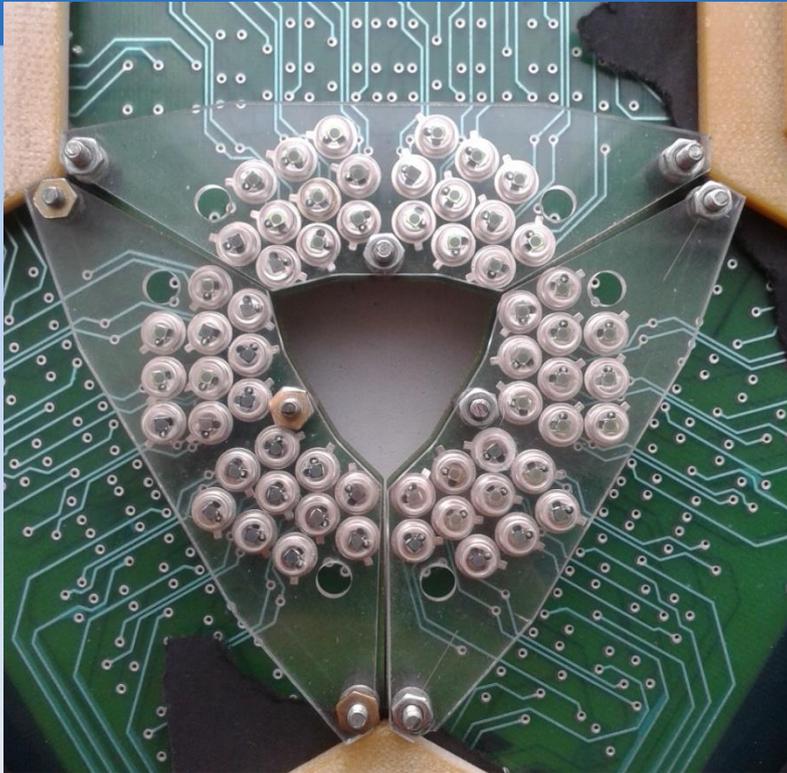
- Полезная нагрузка ~100 Гц при  $E=3$  ГэВ
- Сечение пучка  $50 \times 15$  мм<sup>2</sup> (определяется размером триггерного счетчика)
- Координатное разрешение трека 0.1--0.5 мм



02.12.14

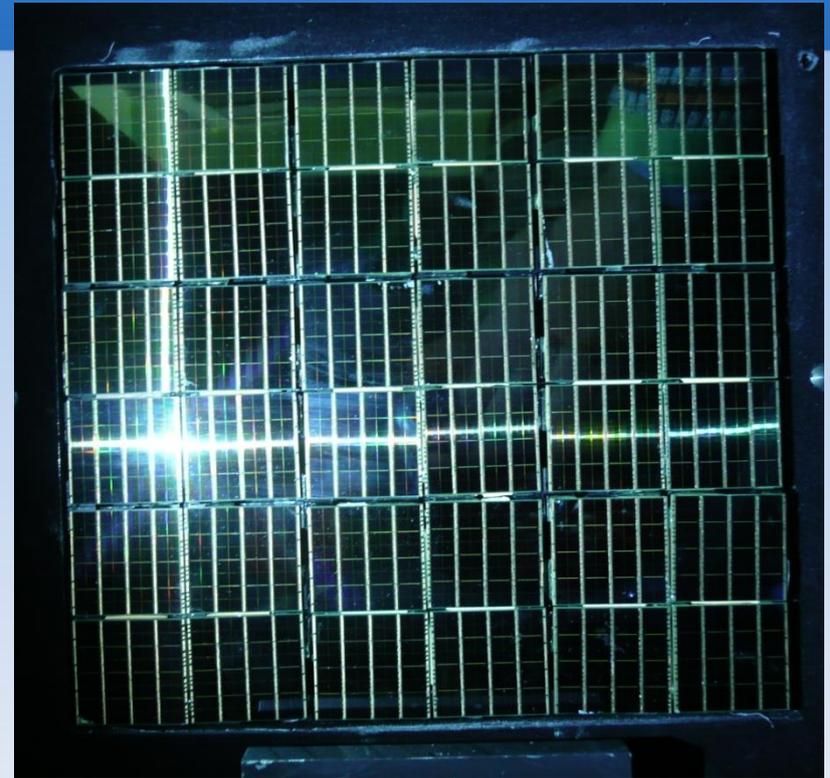
# ФАРИЧ с высоким координатным разрешением по фотонам

## Прототип №2



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

## RDPC ФАРИЧ

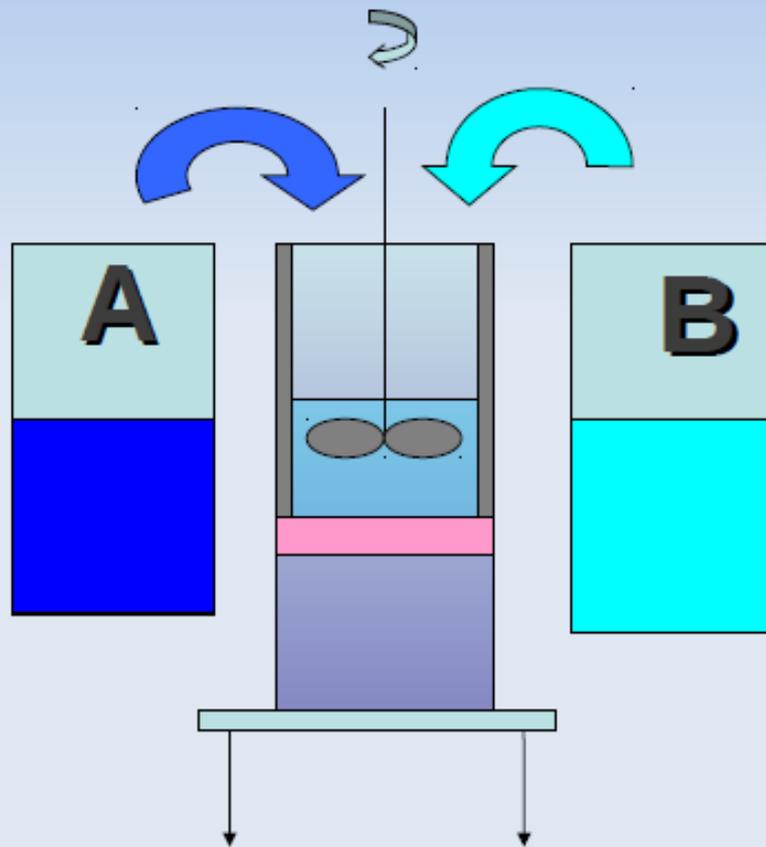


92% микро-пикселей в каждом пикселе  
блокируется, активная площадь  
уменьшается с 3.2x3.9 мм<sup>2</sup> to 1x1 мм<sup>2</sup>,  
 $\sigma_{\text{pixel}} = \Delta / \sqrt{12} = 300 \mu\text{m}$

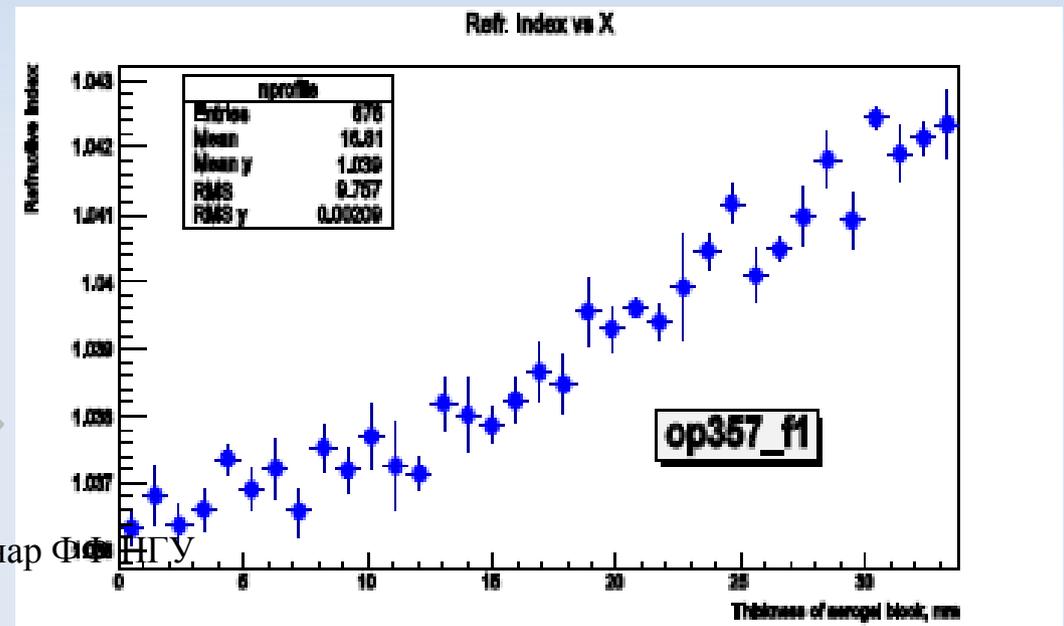
# Аэрогель с непрерывным градиентом

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



Зависимость показателя преломления по толщине



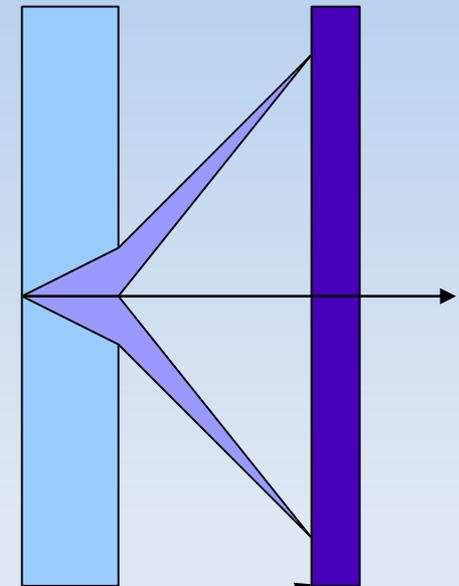
# Дальнейшее развитие

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

# Стоимость проекта

	Миллионы .евро
Ускоритель	207.5
Детектор	91.0
Инфраструктура	100.0
Итого	398.5

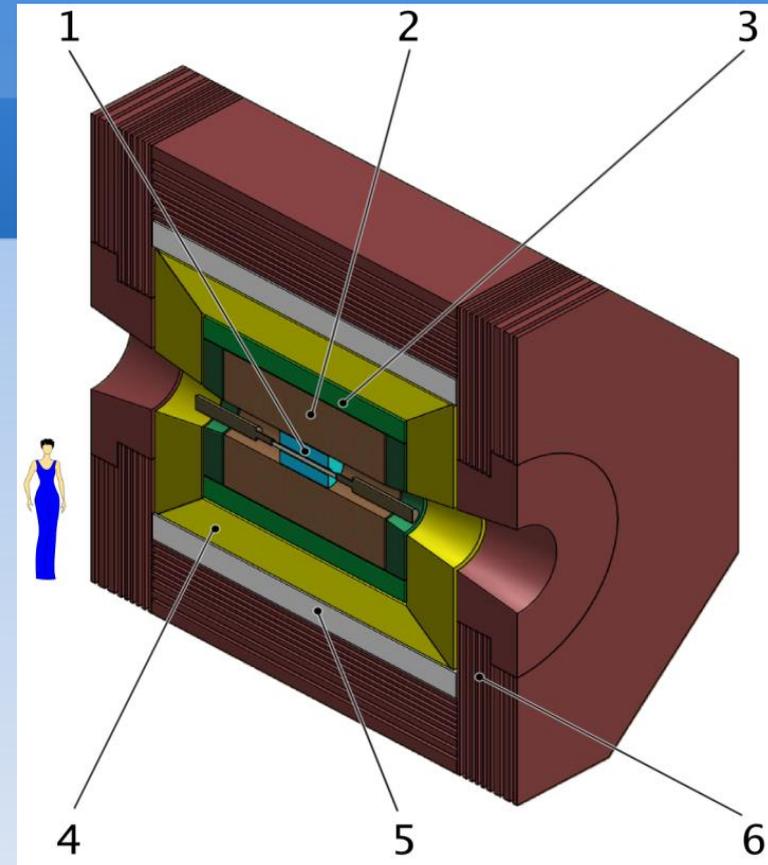


ИЯФ уже вложил 37.5 миллионов Евро в инфраструктуру и инжекционный комплекс.

# Детектор

## Основные требования к детектору:

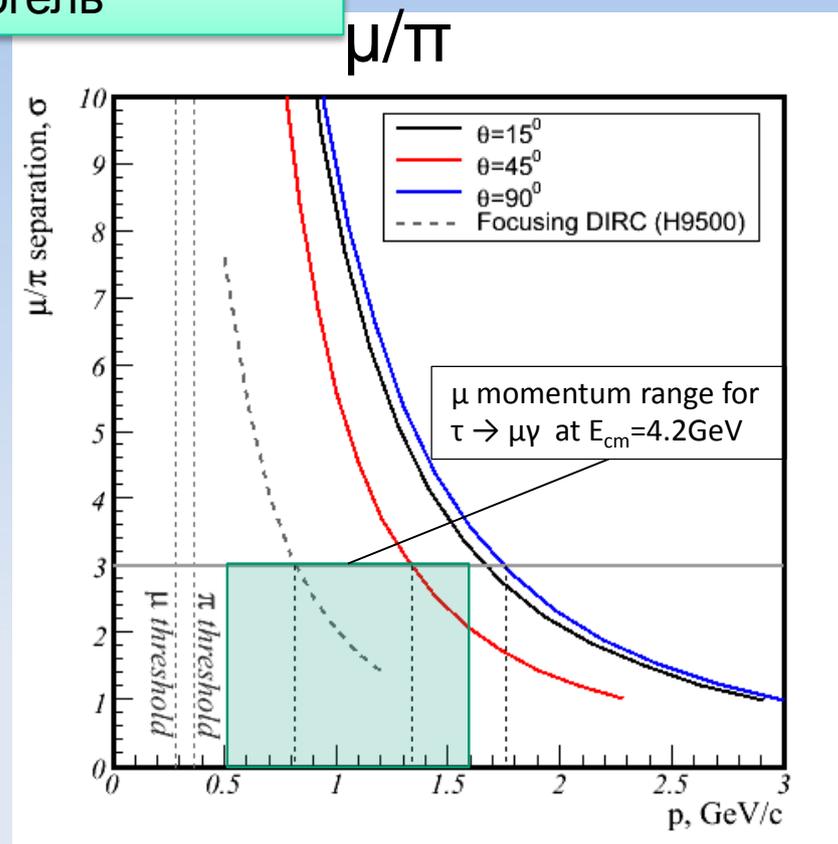
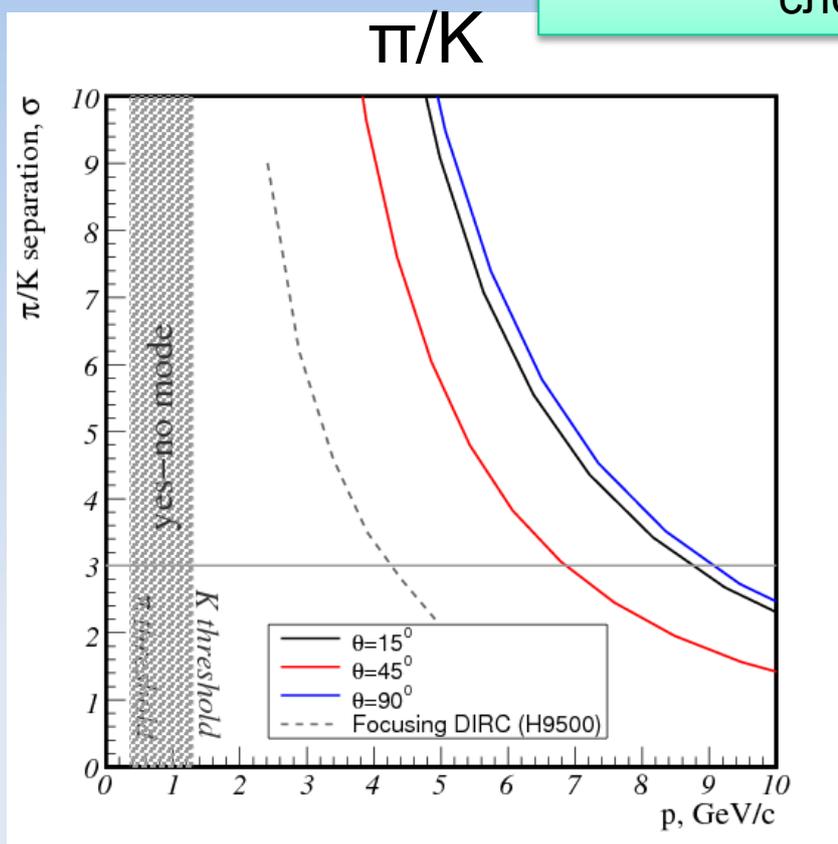
- Очень большой поток данных:
  - $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$   $f=50$  kHz
  - $e^+e^- \rightarrow J/\psi$   $f=300$  kHz
  - $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)$   $f=50$  kHz
  - $f_{DAQ} = 300-500$  kHz (!)
- Высокое разрешение электромагнитного калориметра
- Очень хорошая идентификация



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

# Расчет параметров идентификации частиц FARICH @ Супер Чарм-Тау

МС моделирование: MPPC&4-  
слойный аэрогель



Данный уровень идентификации  
недостижим для других систем (F)DIRC

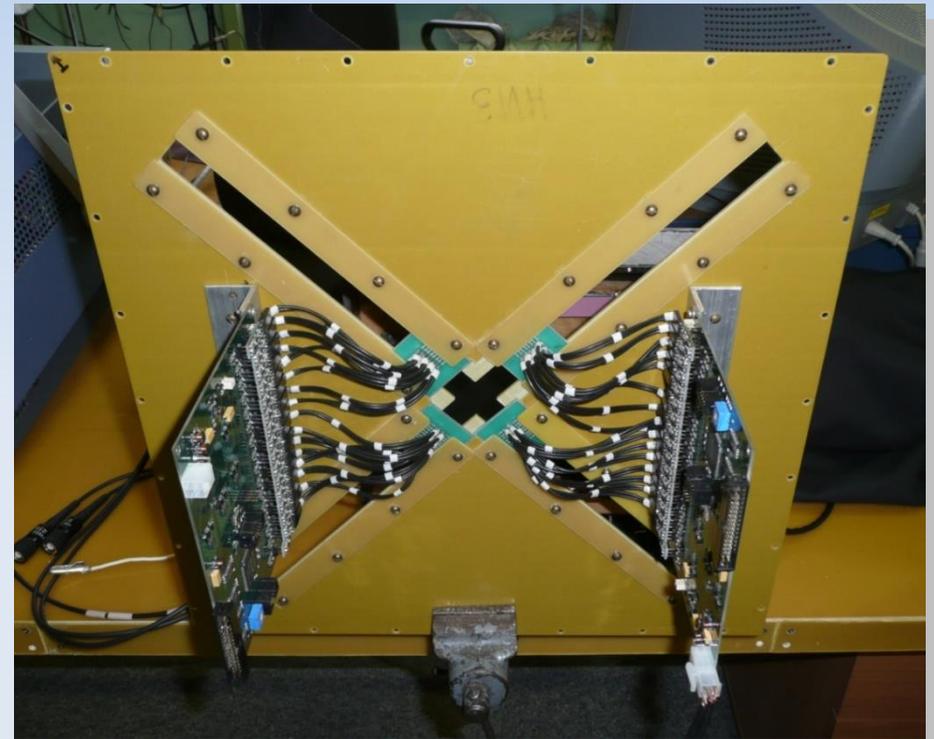
Диапазон  $\mu/\pi$  разделения требуемый  
для поиска  $\tau \rightarrow \mu\gamma$ .

# FARICH prototype №1

- Photon detectors: 32 SiPMs (CPTA 149-35), 2.1x2.1 mm
- Distance from aerogel to photon detector could be changed from 30 to 700 mm.
- 2 special 16-channel amplifier-discriminator boards with LVDS output
- 64-channel multihit TDC CAEN V1190B
- 100x100x31 mm<sup>3</sup> 4-layer aerogel tile (focal distance 60 mm),  $n_{\max}=1.05$

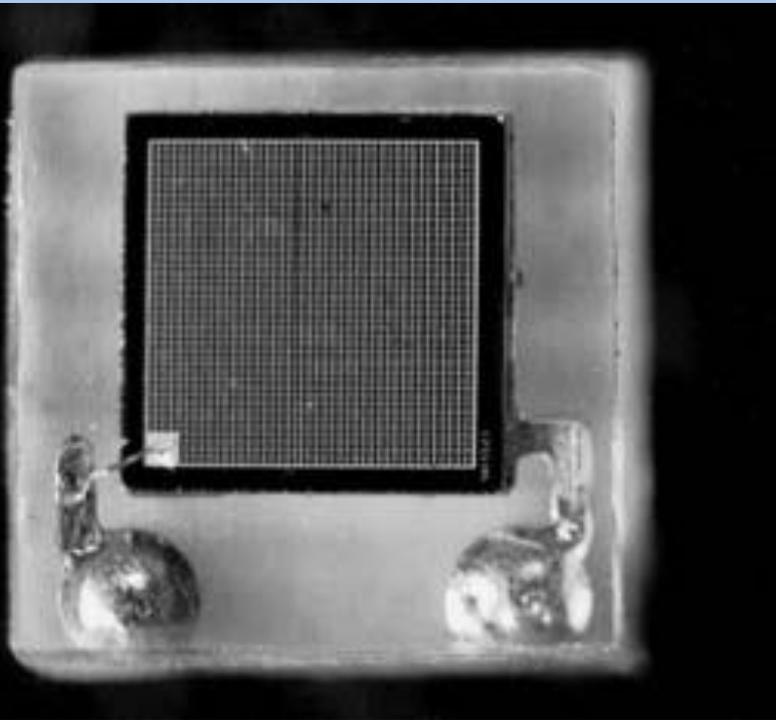


02.12.14



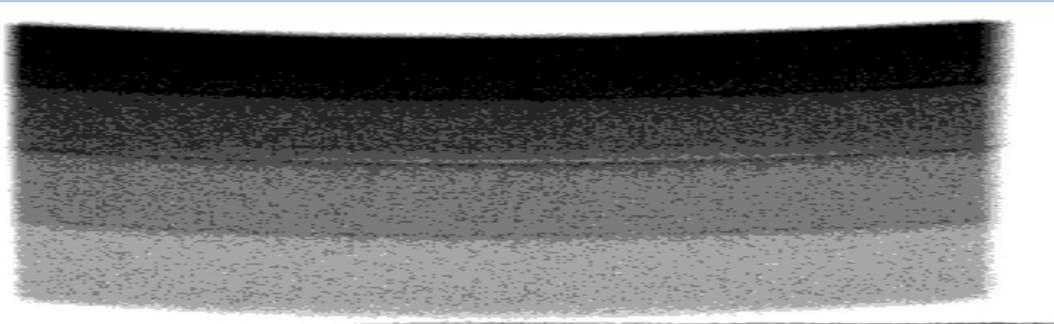
Семинар ФФ НГУ

# MRS APD (SiPM) Parameters



- Producer - Center of Perspective Technology and Apparatus – CPTA, Moscow  
<http://www.spta-apd.ru/>
- Genuine name - MRS APD (other names: silicon photomultiplier, PPD, MPPC...)
- 2.1x2.1 mm sensor
- 4x4 mm case size
- PDE=40% @ 600 nm (?)
- Gain  $\sim 4 \cdot 10^5$
- Time resolution  $\sim 100$  ps
- Dark counts  $\sim 5\text{--}10$  MHz (0.5pe threshold)

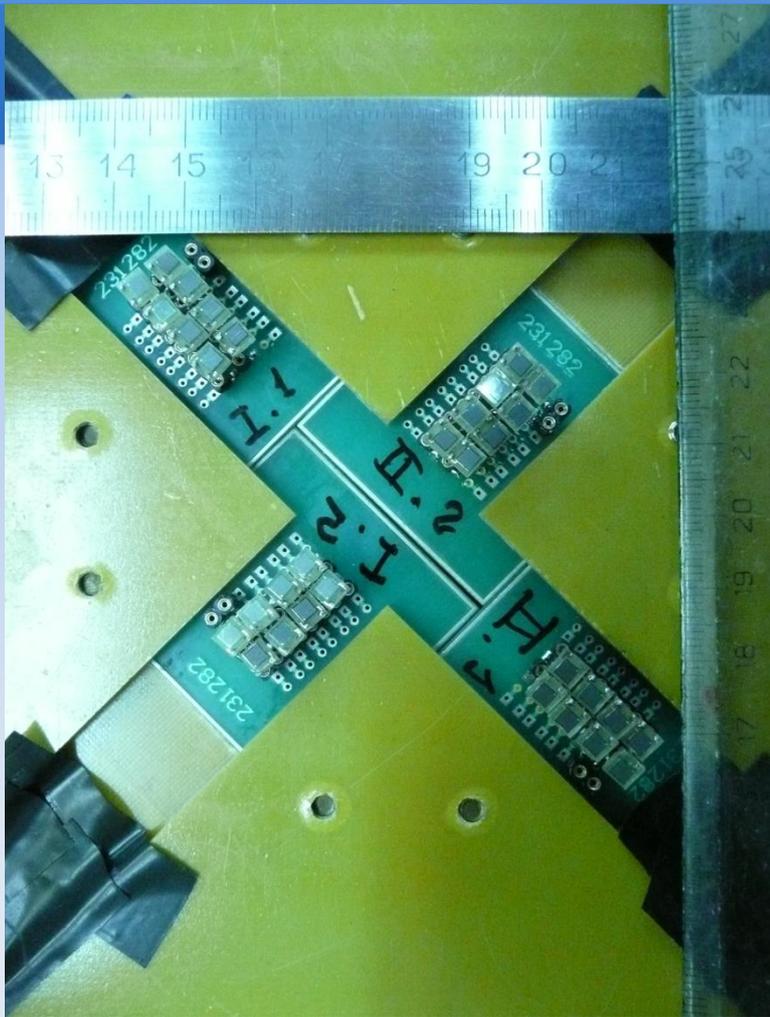
# Aerogel sample



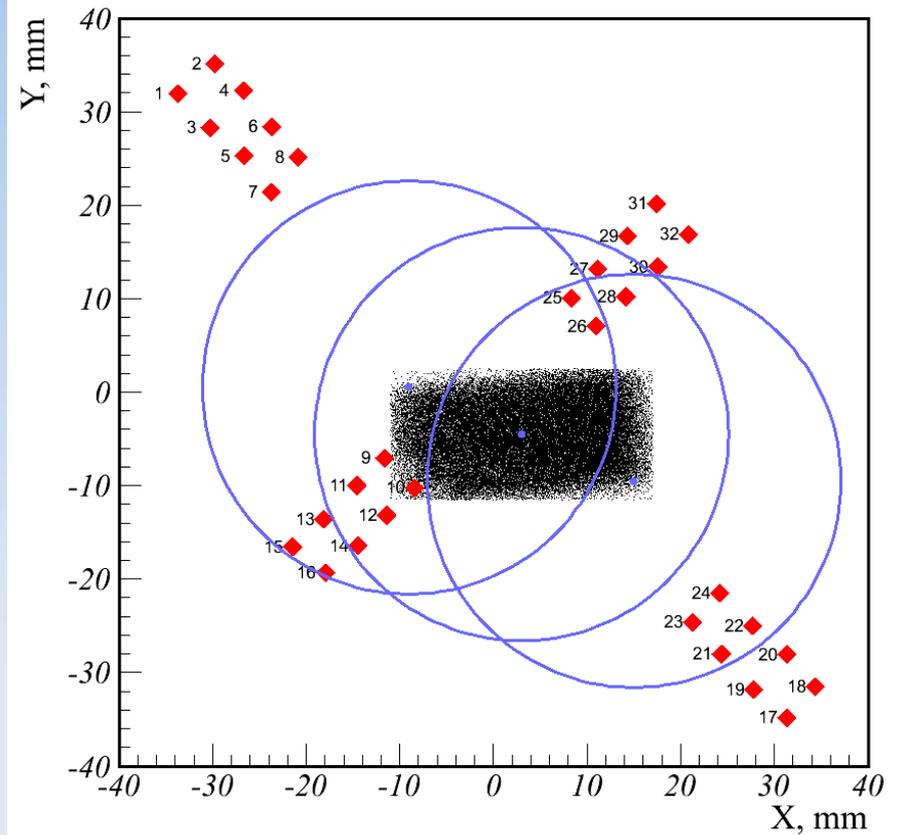
	n	h, mm
Layer 1	1.050	6.2
Layer 2	1.041	7.0
Layer 3	1.035	7.7
Layer 4	1.030	9.7

- $100 \times 100 \times 31 \text{ mm}^3$
- $L_{sc}(400\text{nm}) = 43 \text{ mm}$
- $n^2 = 1 + 0.438 * \rho$

# Photodetectors layout



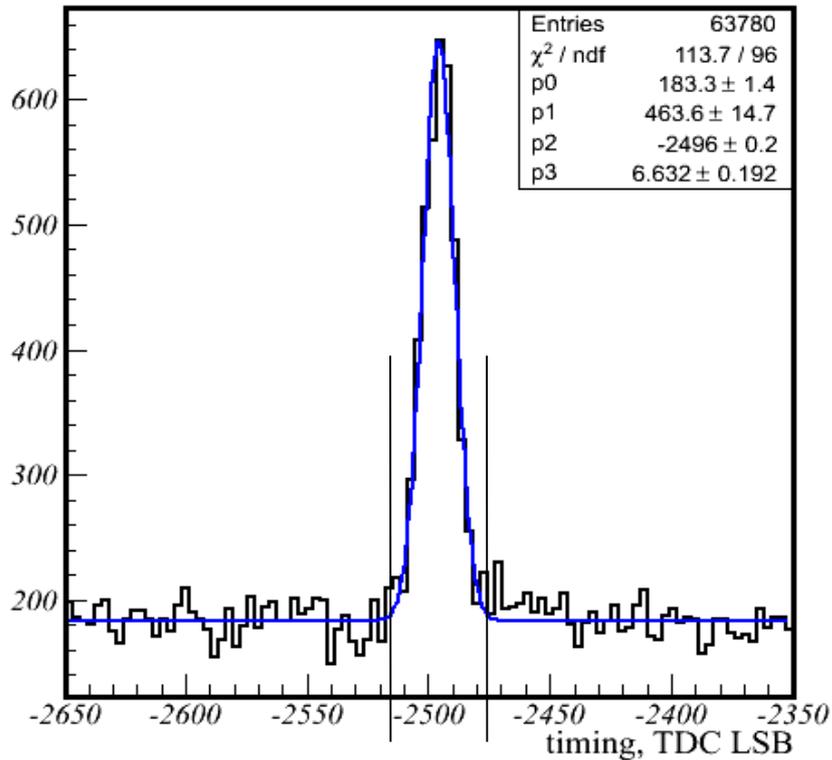
## SiPM coordinates and trigger area



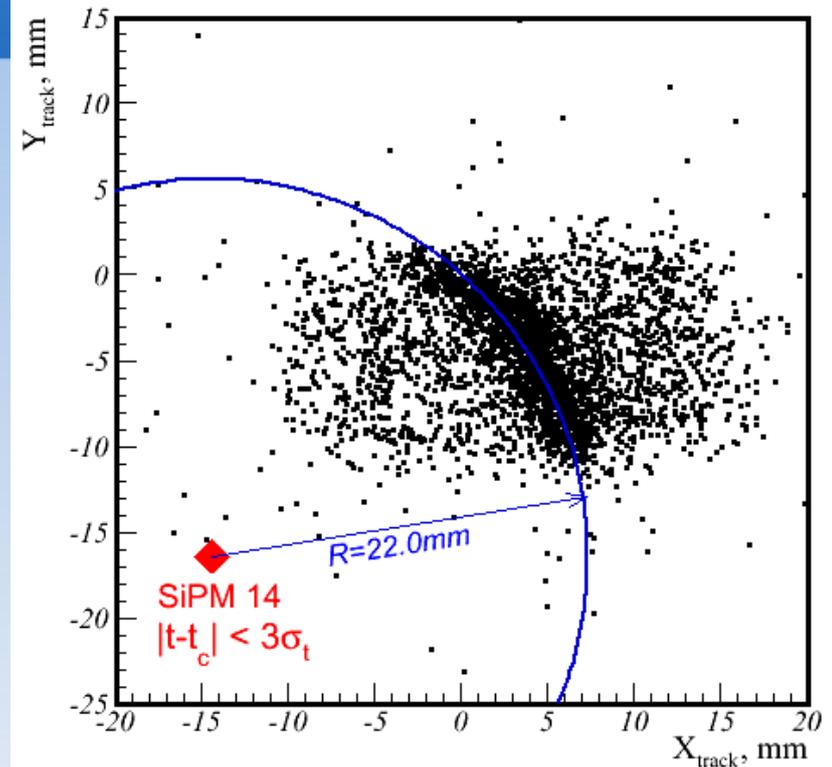
**Electrons could pass at different distances from SiPM.**

# Event selection (1-st prototype)

Channel #14 phase adjusted timing



Hits in SiPM #14

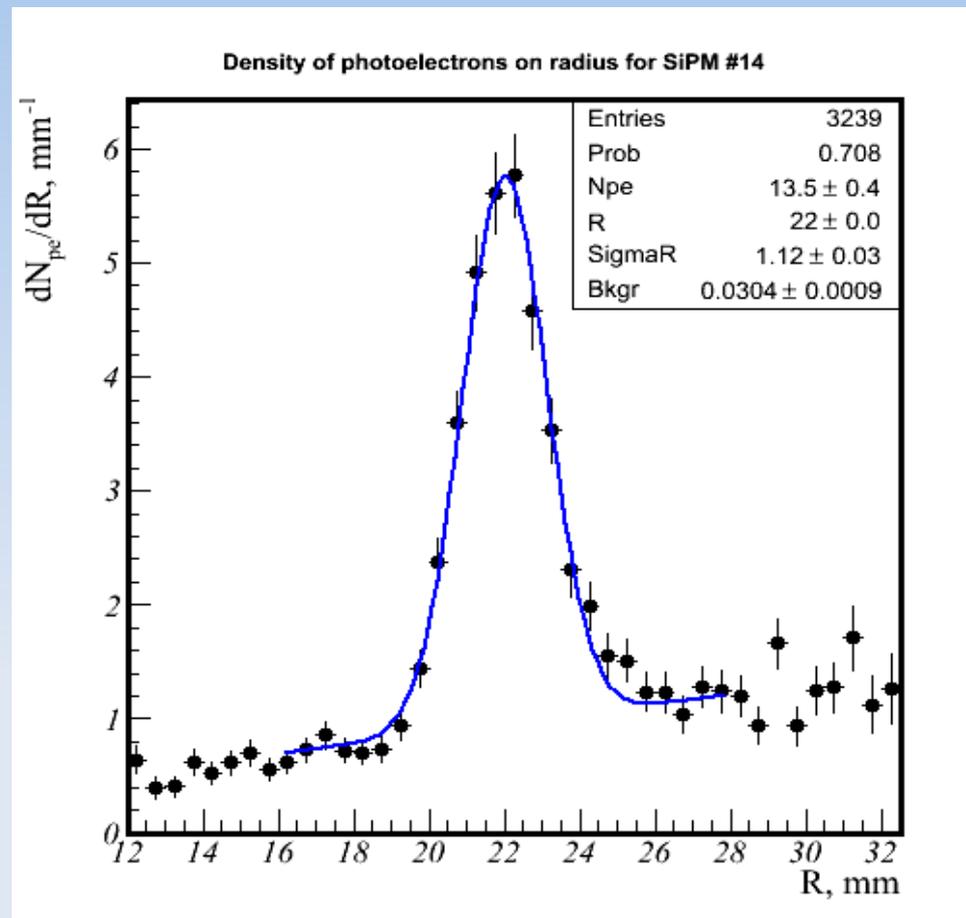
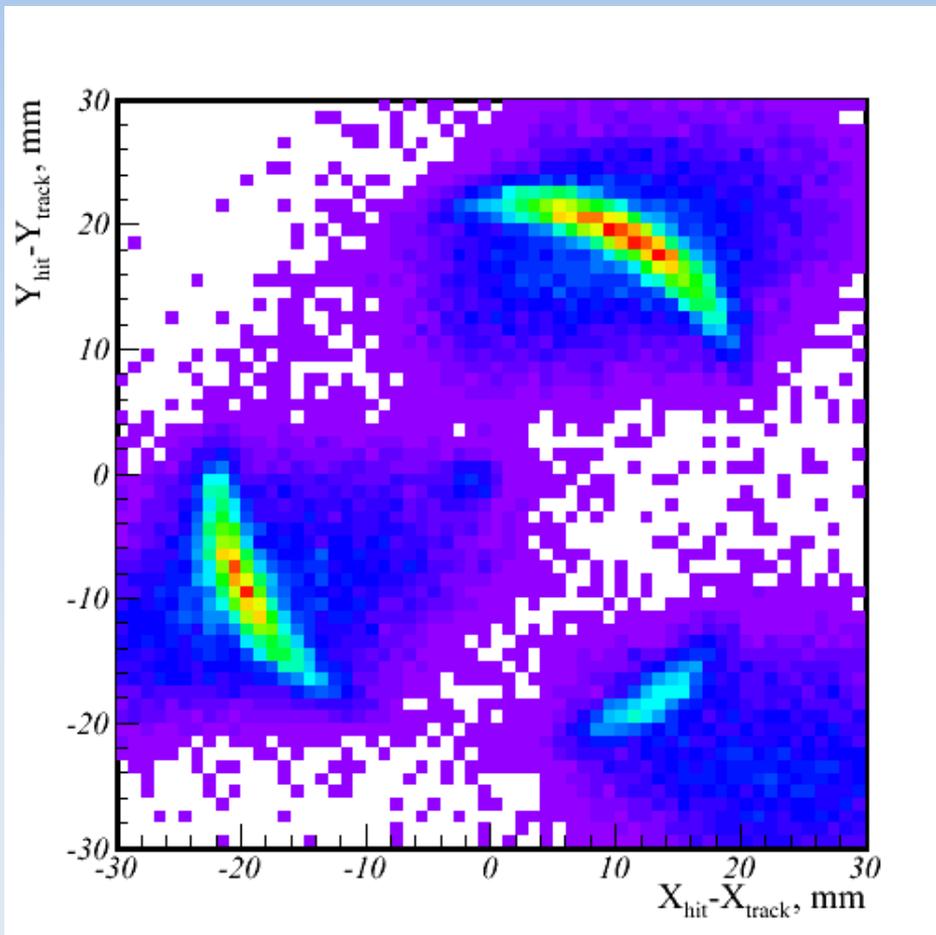


- We select events with  $|t-t_{\text{ch}}| < 3\sigma_t$

# Cherenkov ring radius measurement (2011)

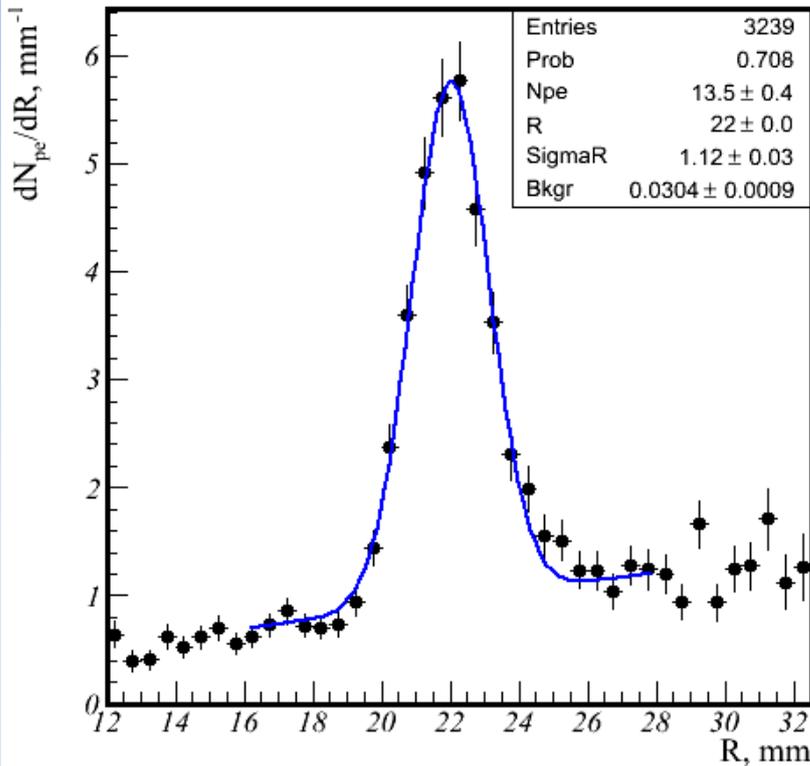
$(X, Y)_{\text{hit}} - (X, Y)_{\text{track}}$

$$R^2 = (X_{\text{hit}} - X_{\text{track}})^2 + (Y_{\text{hit}} - Y_{\text{track}})^2$$



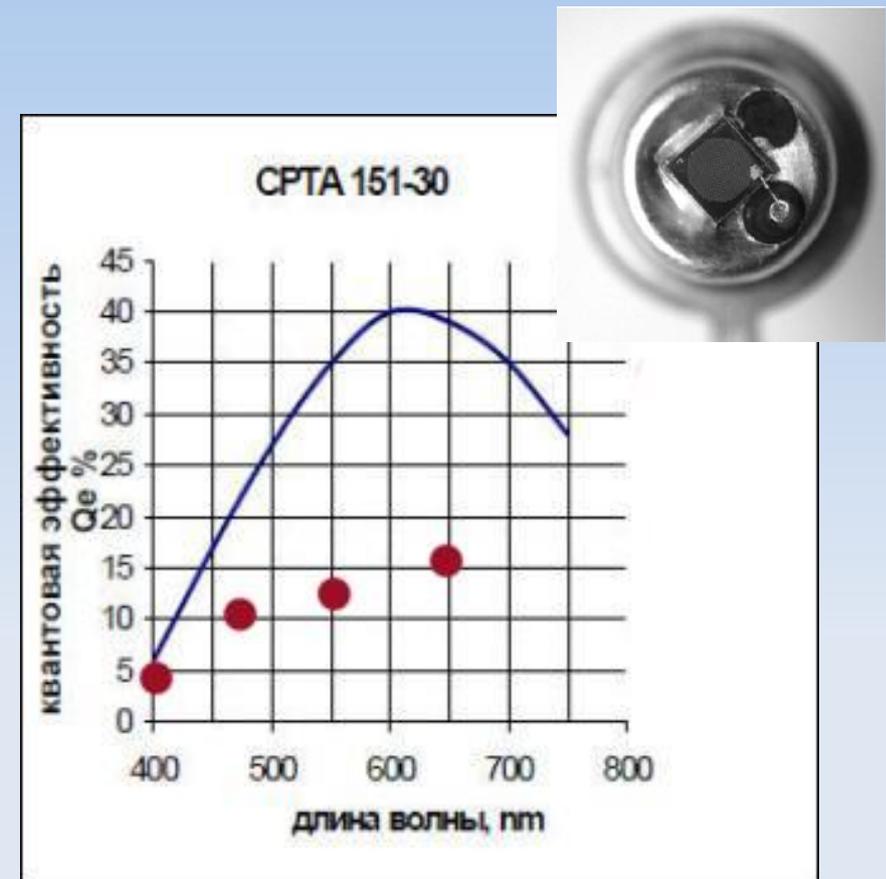
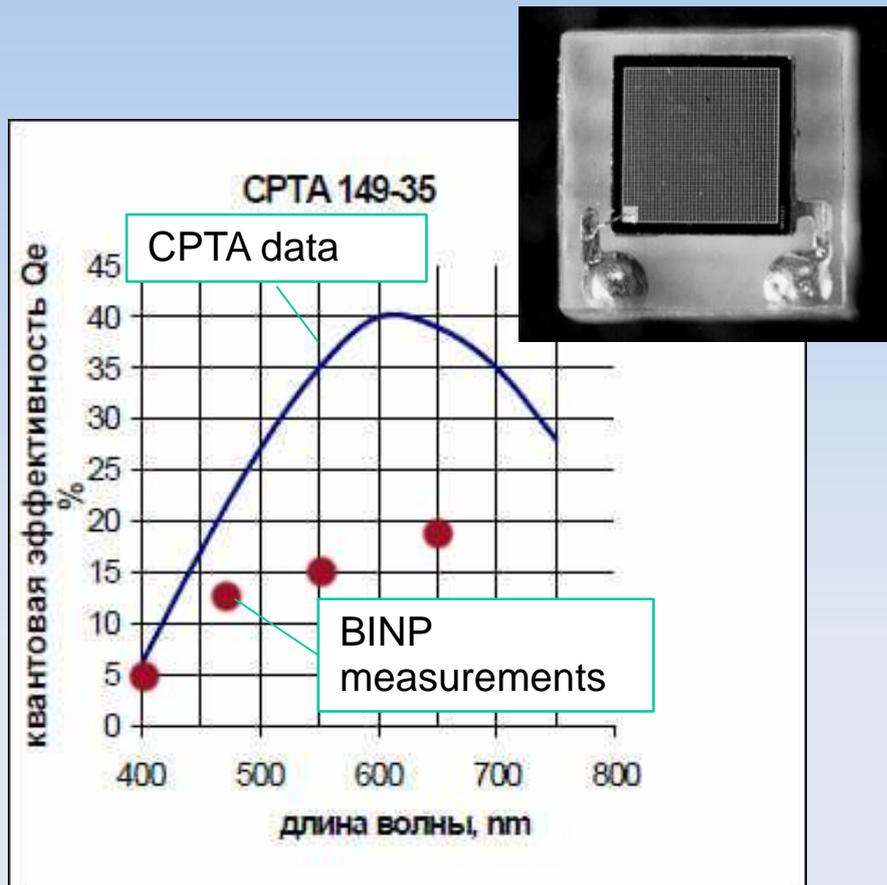
# Conclusions from experiment with prototype №1

Density of photoelectrons on radius for SiPM #14

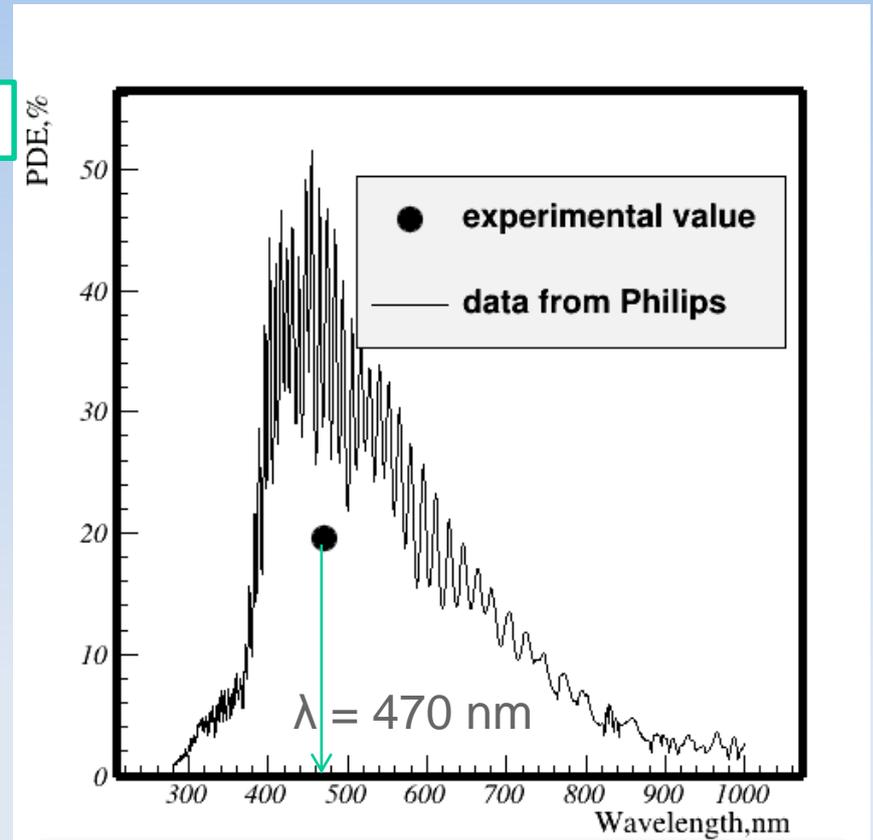
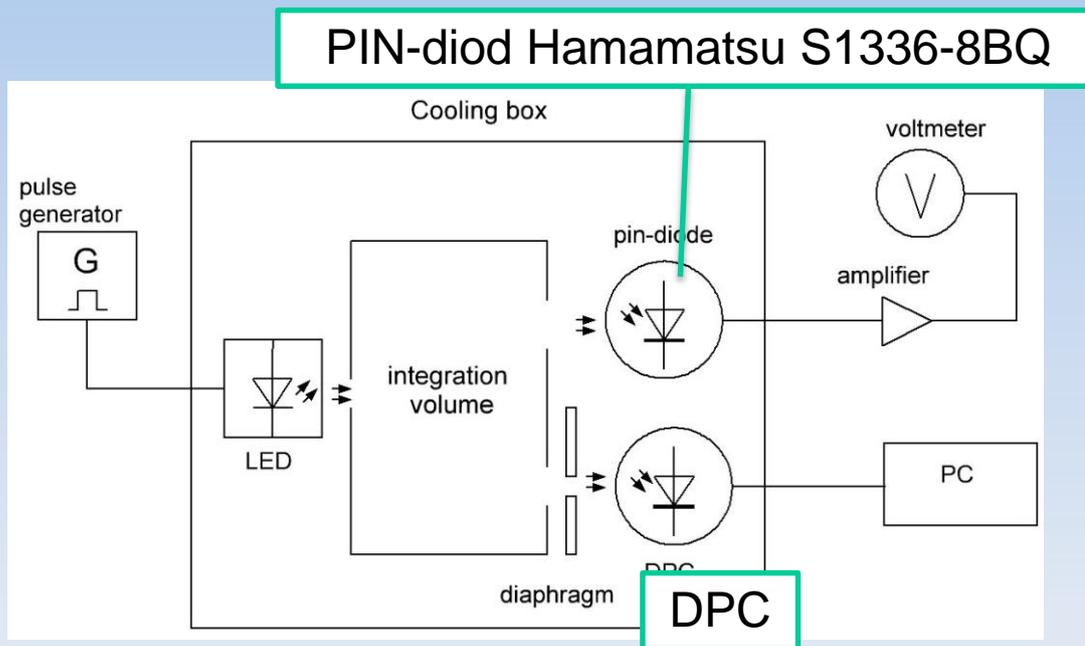


- Test beam experiment with full ring detection is needed
- Npe from particle is 2 times less than in MC simulations
- It is possible to work with SiPM noise upto 2 MHz/mm<sup>2</sup> (single photon timing resolution <1 ns required)
- dN/dR distribution: "Pure Gaussian" + flat background (from random coincidence with SiPM noise) at least in  $\pm 5\sigma$  region
- $\sigma_r^2 = \sigma_{\text{aerogel}}^2 + \sigma_{\text{pixel}}^2 + \sigma_{\text{track}}^2 \Rightarrow$   
 $\sigma_{\text{aerogel}} = \text{sqrt}(\sigma_r^2 - \sigma_{\text{pixel}}^2 - \sigma_{\text{track}}^2)$   
 $= \text{sqrt}(1.1^2 - 2.1^2/12 - 0.5^2) = 0.8 \text{ mm}$
- To investigate parameters of focusing aerogel tiles we need to improve coordinate resolution of photon detection.

# Single photon detection efficiency measurements (CPTA)



# Single photon detection efficiency measurements (PDPC)



PDE(470nm)= $19 \pm 1\%$

VS

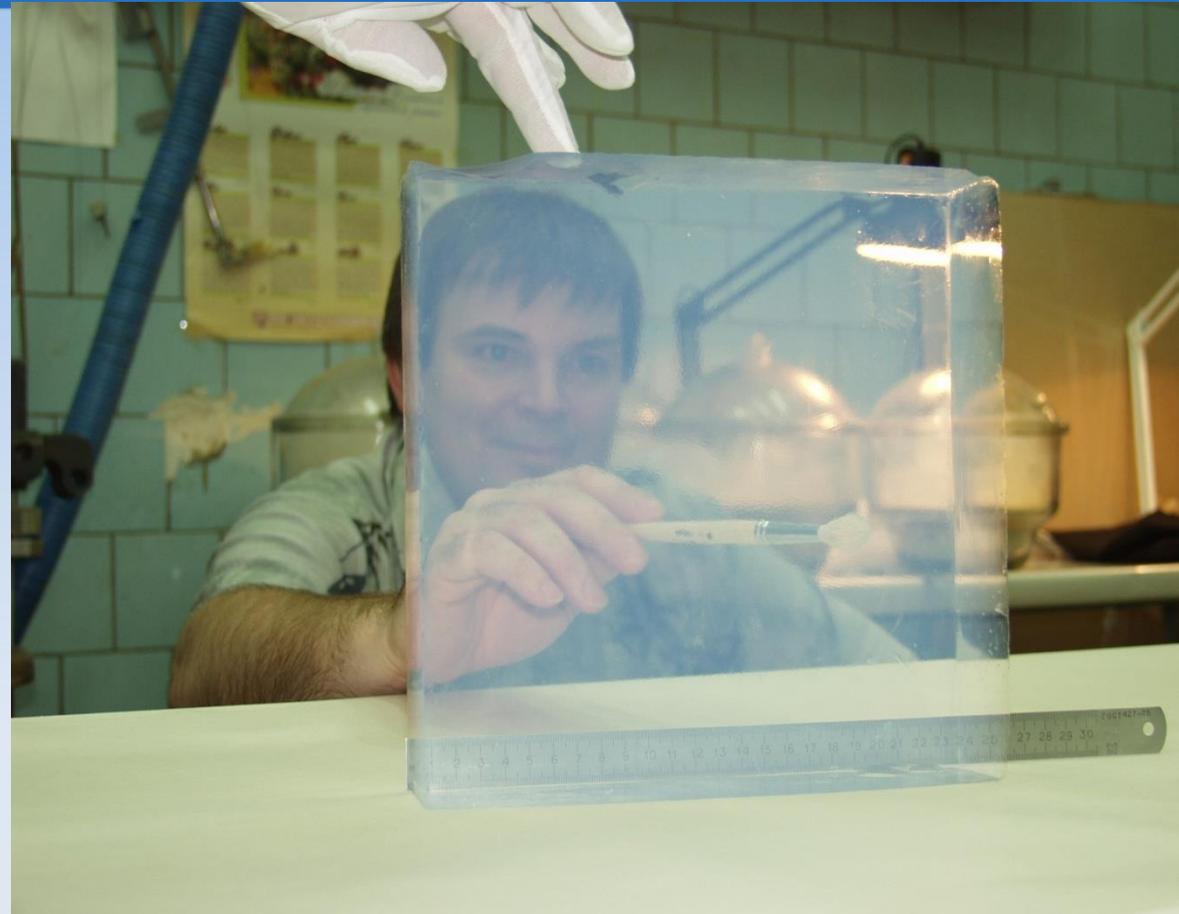
36% PDPC measurement

# Разработка аэрогеля для Черенковских счетчиков в Новосибирске

Aerogel development has started in 1986 (KEDR detector project)

More than 3000 liters have been produced:

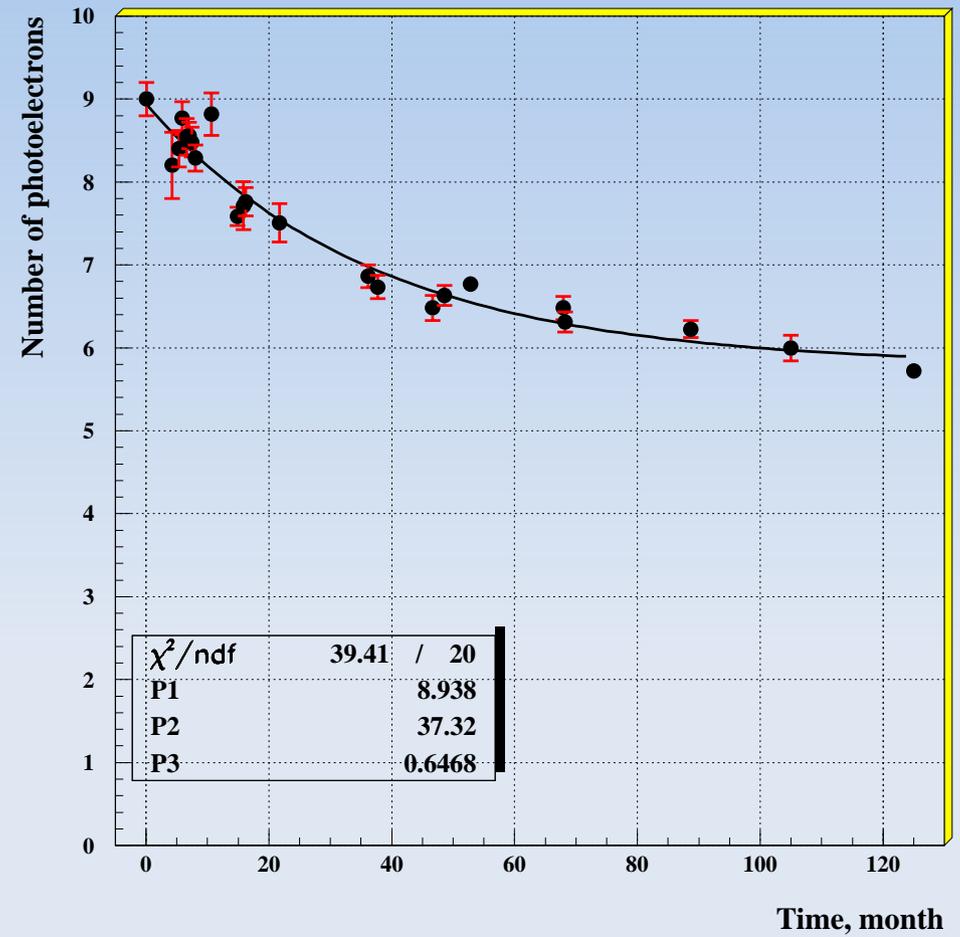
- 2000 liters – KEDR and SND ASHIPH counters
- ~ 1 м<sup>2</sup> LHCb RICH,
- ~ 2 м<sup>2</sup> AMS02 RICH



$$n = 1.006 - 1.06 (1.13)$$

# Long term stability

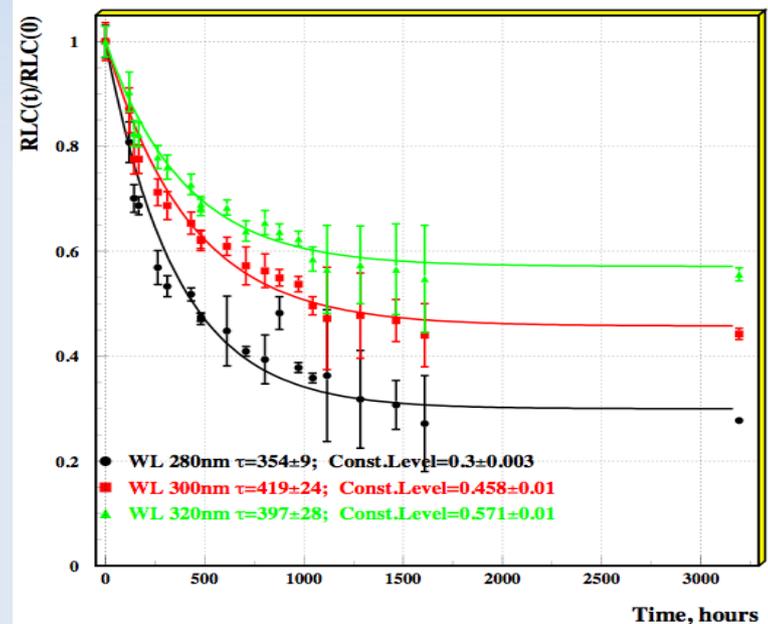
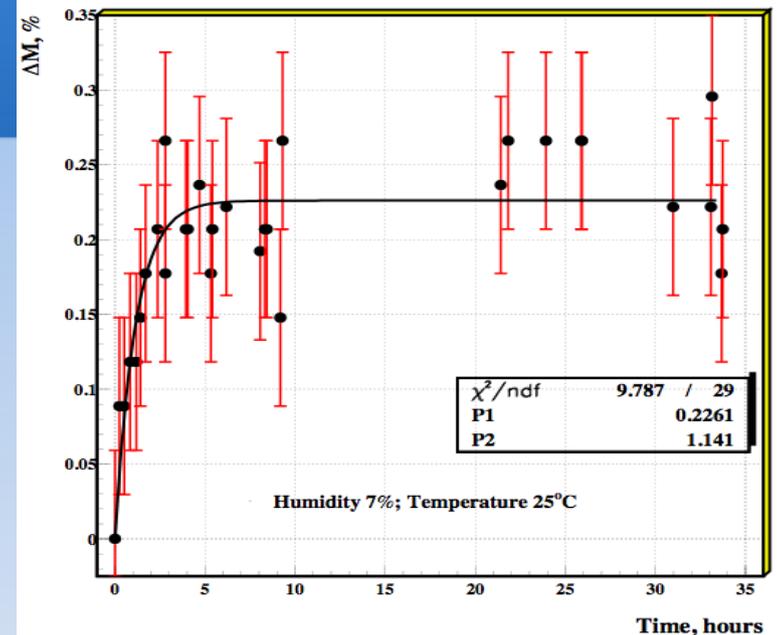
A prototype of the endcap ASHIPH counter are under operation since 2000. From time to time it is tested in Cosmic Ray Telescope (CRT). Its signal degradation now has stabilized at the level of 60% from initial value.



# Aerogel degradation due to water adsorption(1)

- Aerogel internal surface is  $10^6$  times greater than external. Adsorption of water is very fast process (1-10 hours).
- Degradation of the light absorption length is very slow process (1-2 months) after water absorption.
- The time and the level of the degradation are depend on the impurities in aerogel from raw materials and production procedure (Fe, Mn, Cr, etc.).

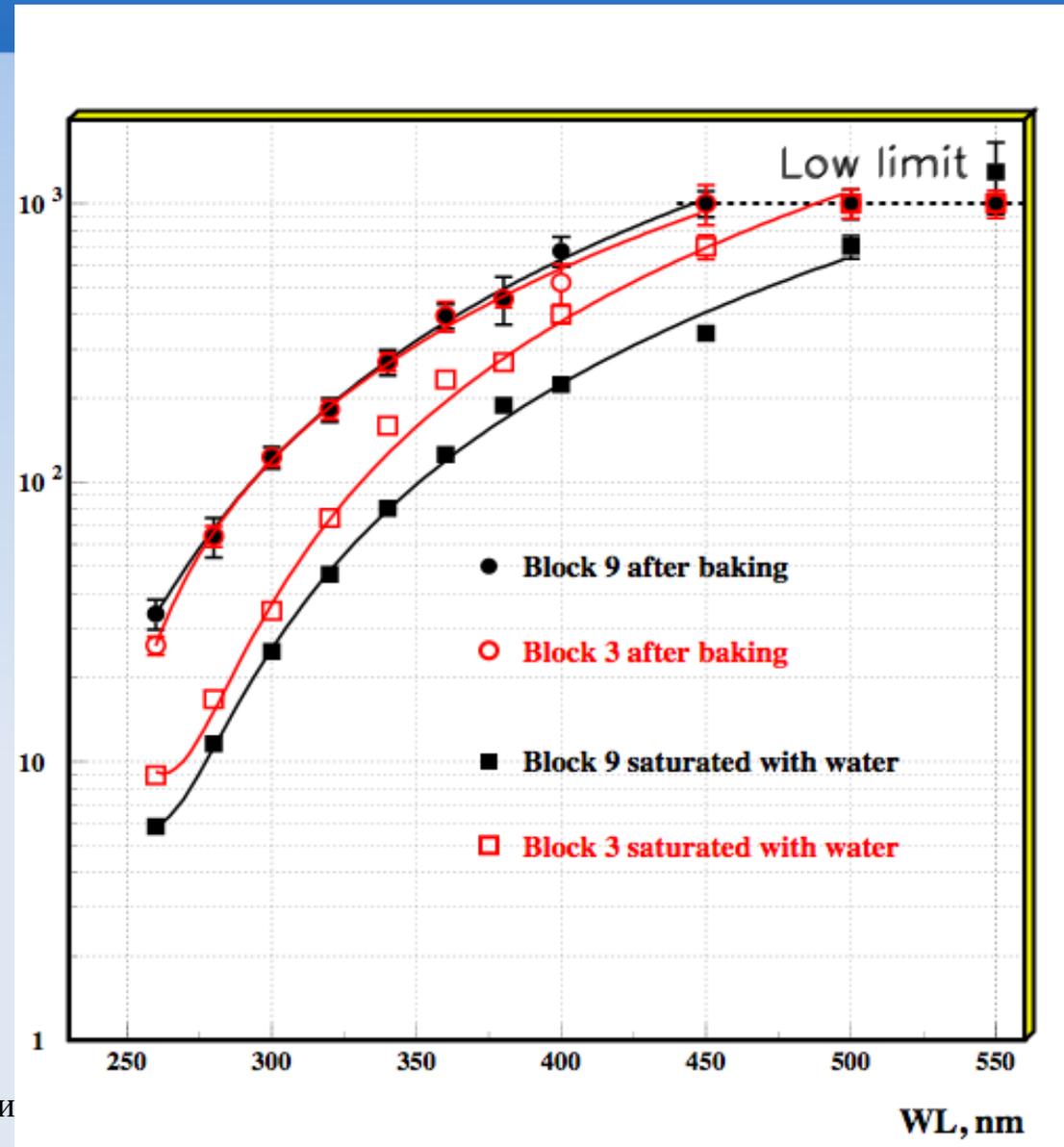
Concentration of metals in aerogel, ppb				
Fe	Cu	Mn	Cr	Ni
500	56	7	26	



# Aerogel degradation due to water adsorption(2)

- The refractive index ( $n-1$ ) and light scattering length depends on amount of adsorbed water and are changed less than 10% after water adsorption of 2-4% of aerogel mass.
- The light absorption length ( $L_{abs}$ ) in different aerogel samples after baking is the same, but after water impregnation could be very different
- It is possible to make aerogel selection after water impregnation
- One atom Fe is able to attract 6 molecules of water
- To achieve maximum degradation of  $L_{abs}$  it is enough to adsorb 1ppm of water.

(NIM A598 (2009) 166-168)



# History and status of the project

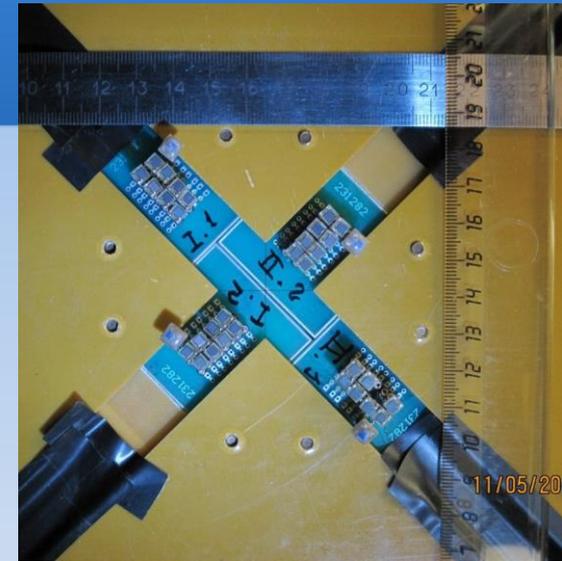
- 1990-2000 – several projects of Charm Tau factories under consideration with luminosity  $1.0 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , BINP project with  $1.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,
- 2008 – Crab Waist collision scheme suggested => new luminosity frontier  **$1.0 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$**
- 2009 – BEPCII Charm-Tau Factory has started its operation (luminosity  $0.6 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
- Autumn 2010 - Conceptual Design Report of Super Charm Tau Factory (SCTF) has been prepared at BINP
- Summer 2011 - 6 projects have been selected for the Examination by Russian Ministry of Education and Science, SCTF among them (Mega-Science projects)
- Autumn 2011 – SCTF `Roadmap` was developed by a request of Ministry of Education and Science
- January 2012 – 3 projects were selected for financing in 2013 as the 1-st stage, SCTF was at the 2-d stage list (but financing has not started for all projects)
- 2012-2013 – continuation of the review procedure for all 6 projects
- June 2013 – project of SCTF got the highest rating among 6 projects at EU-Russia meeting on research Infrastructures
- November 25, 2013 -- Minister of Education and Science D.Livanov has announced SCTF as one of the 4 megascience projects of the 1-st stage

# FARICH detector prototype with CPTA MRS APDs. BINP e-test beam in 2011.



02.12.14

Семинар ФФ НГУ

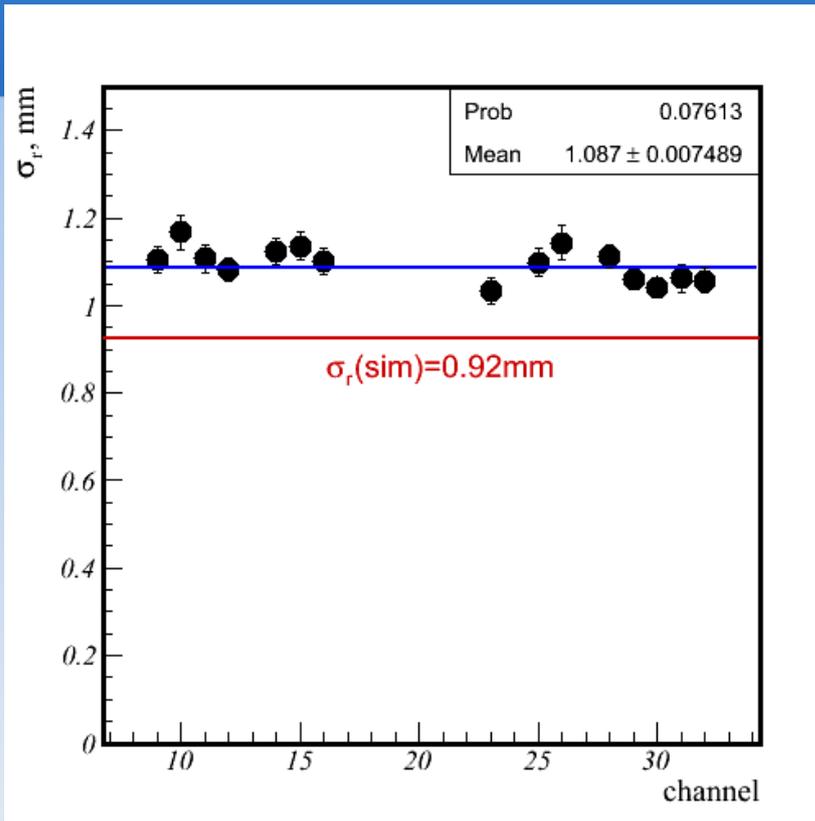


32 CPTA MRS APDs with active pixel size  $2.1 \times 2.1 \text{ mm}^2$

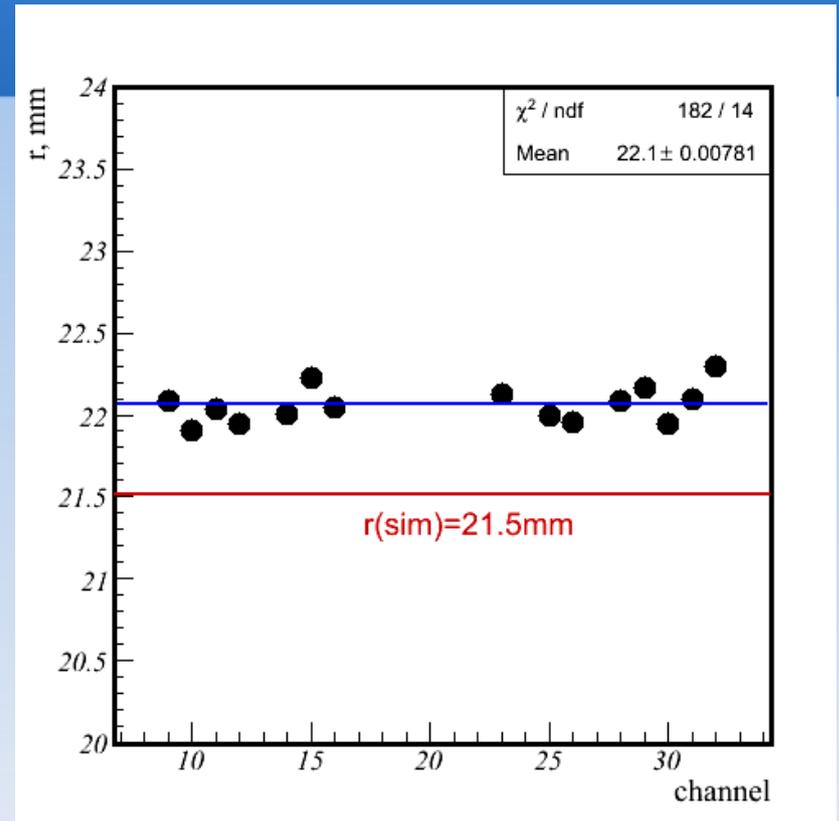
4-layer aerogel focusing at 62 mm  
 $n_1=1,050$   $t_1=6,2\text{mm}$   
 $n_2=1,041$   $t_2=7,0\text{mm}$   
 $n_3=1,035$   $t_3=7,7\text{mm}$   
 $n_4=1,030$   $t_4=9,7\text{mm}$   
Size:  $100 \times 100 \times 31 \text{ mm}^3$   
 $L_{sc}(400\text{nm}) = 43\text{mm}$



# Cherenkov ring radius measurement(2)

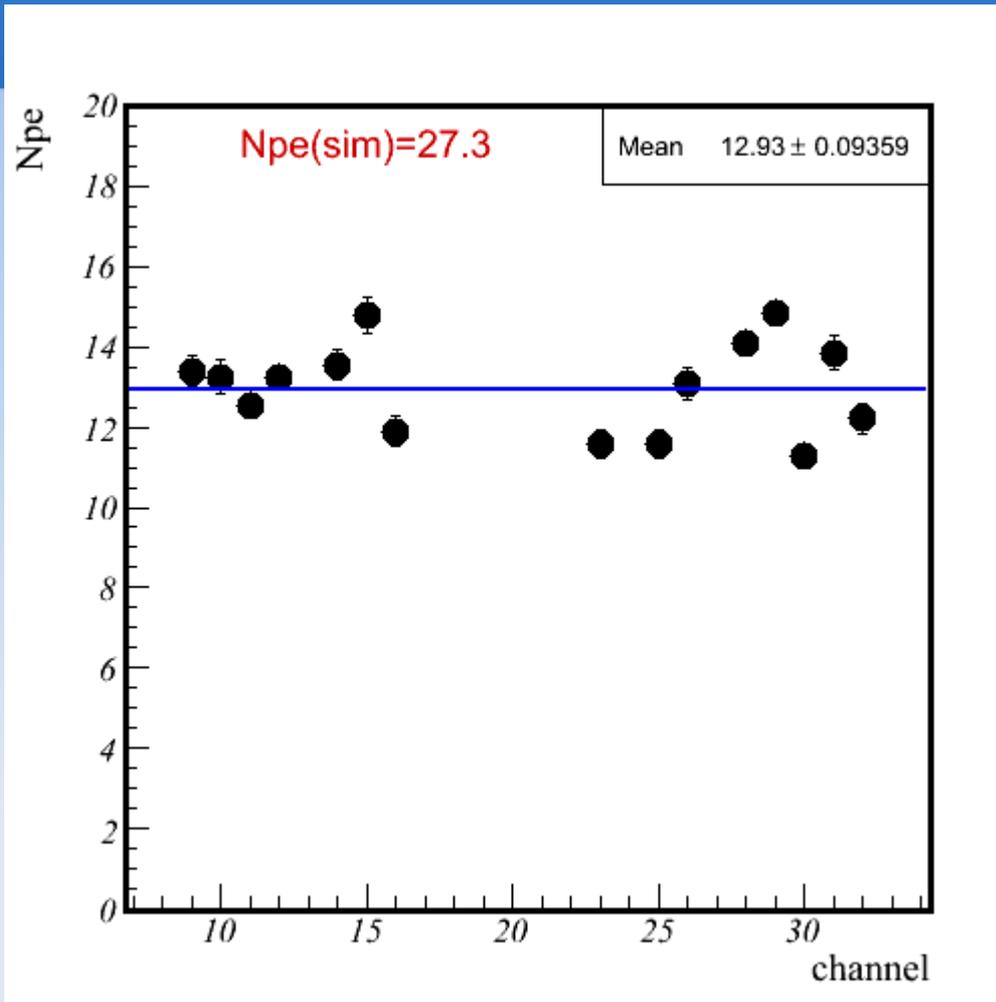


Difference between  $\sigma_r$  and  $\sigma_r(\text{sim})$  comes mainly from track resolution ( $\sim 0.5 \text{ mm}$ )



$22.1 - 21.5 = 0.6 \text{ mm} \rightarrow 2.7\%$   
Position accuracy  $\rightarrow 1.7\%$   
error in  $n_{\text{aerogel}}$  from density  $\rightarrow$

# Number of photoelectrons (4-layer)



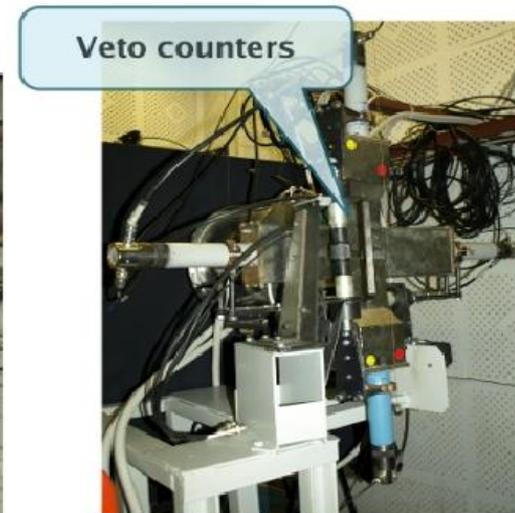
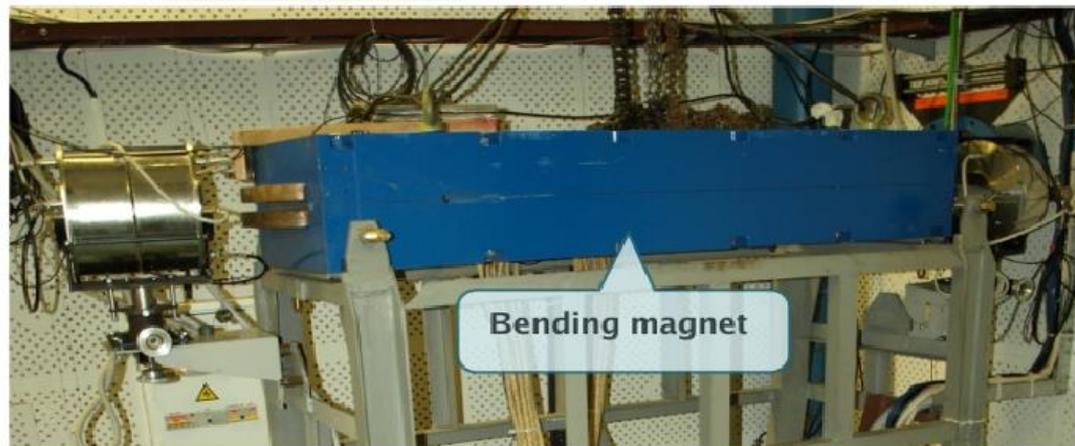
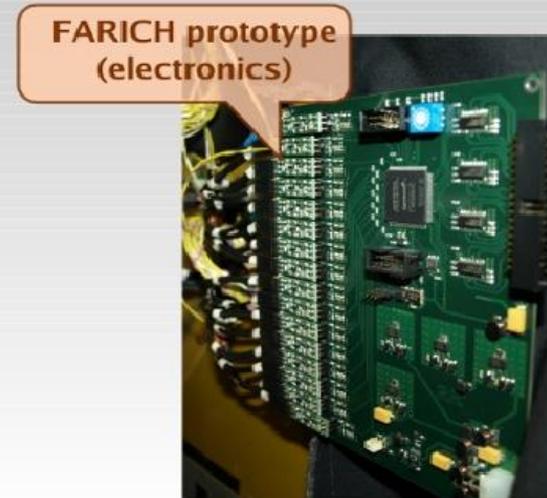
Discrepancy between  $N_{pe}$  in simulation and experiment could be explained by:

- real detection efficiency of G-APDs is smaller than in data book
- electronics miscount

# Test beam line

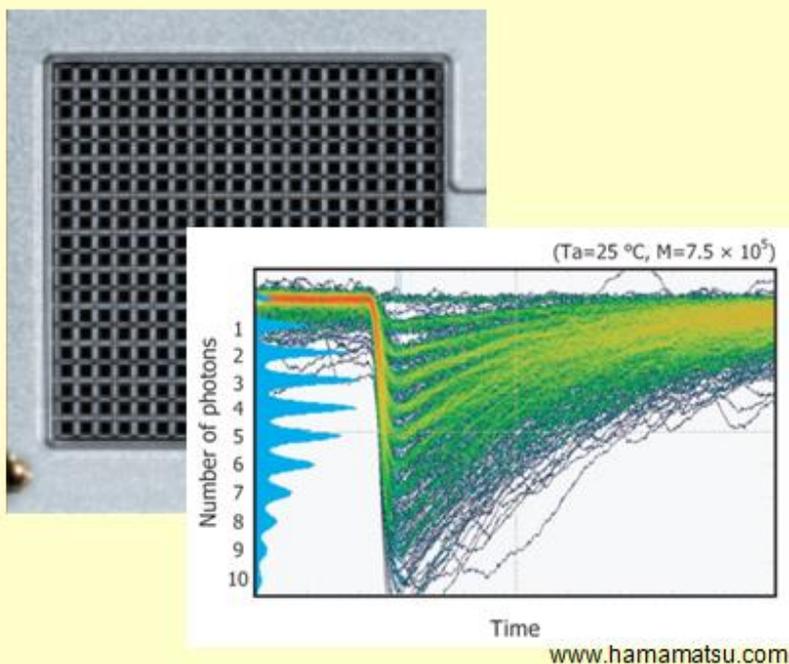


# Test beam apparatus



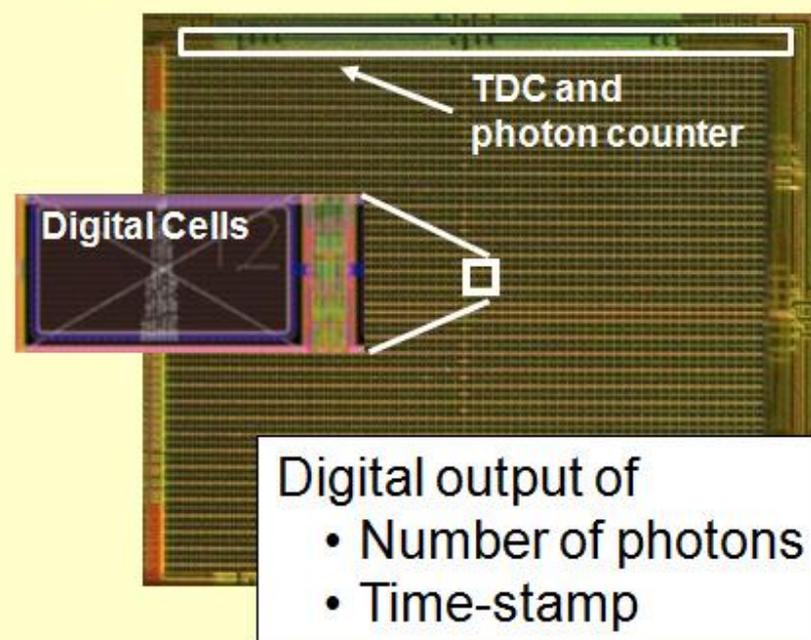
# DPC: Front-end Digitization by Integration of SPAD & CMOS Electronics

## analog SiPM



Summing all cell outputs leads to an analog output signal and limited performance

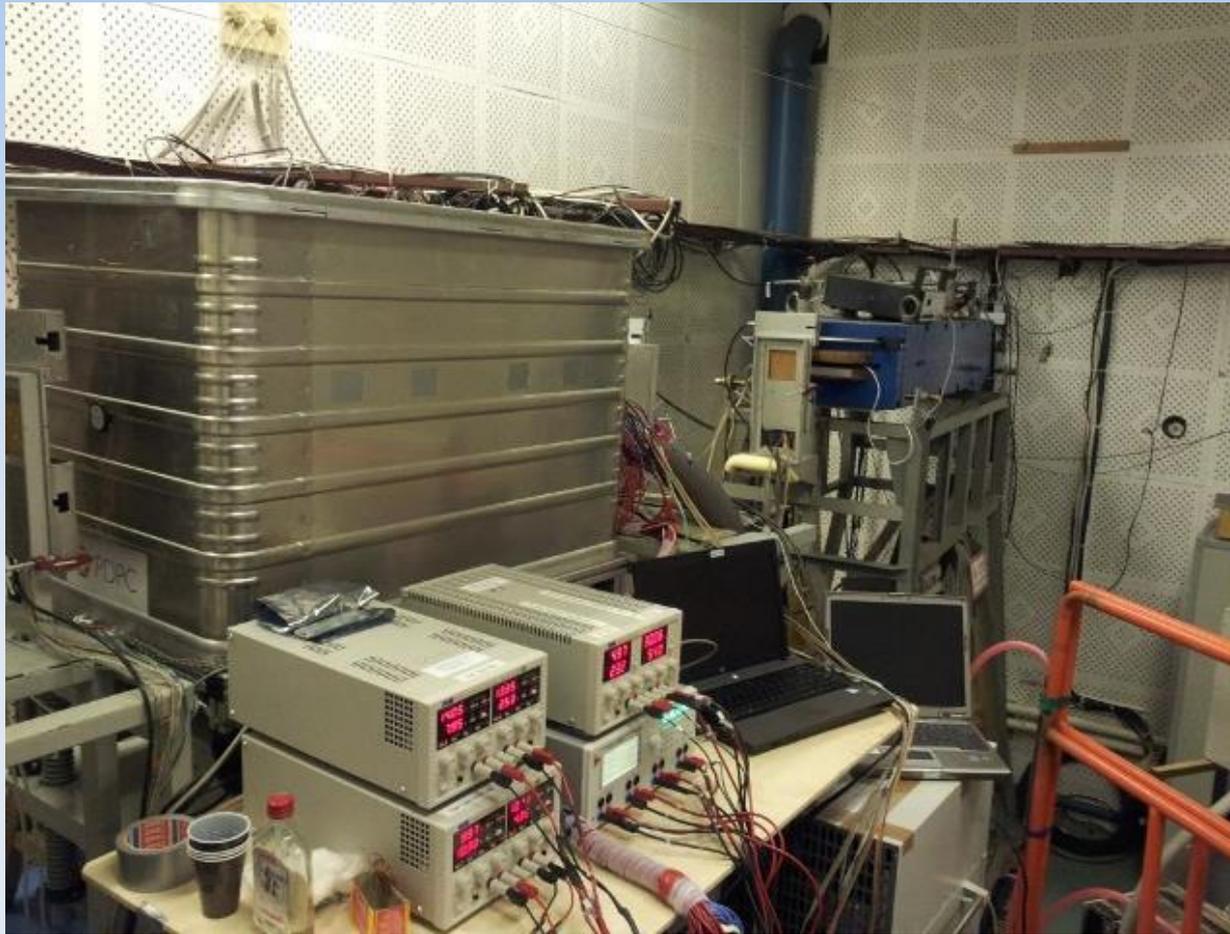
## Digital Photon Counter (DPC)



Integrated readout electronics is the key element to superior detector performance

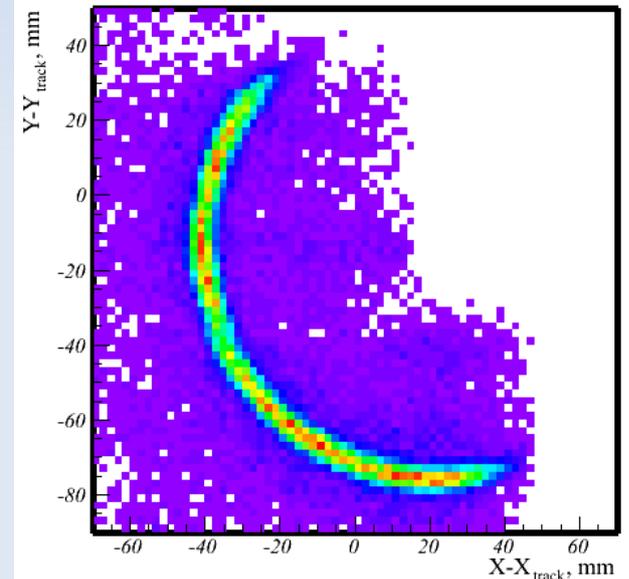
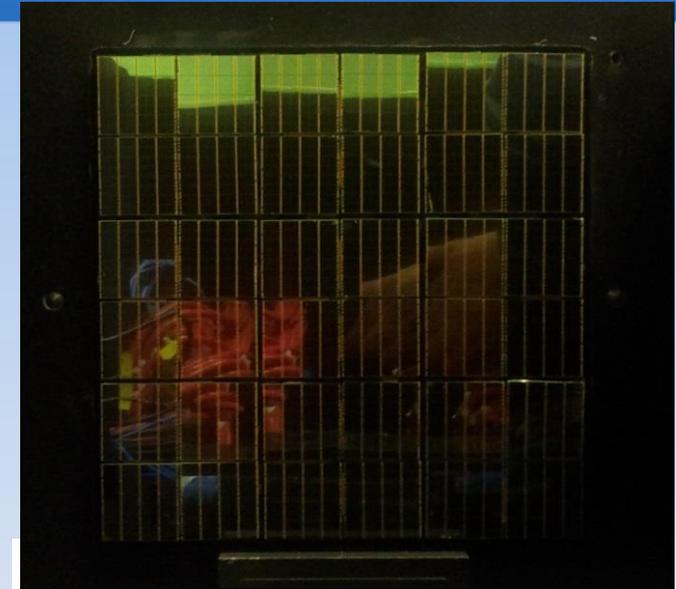


# Upgraded PDPC-FARICH prototype at BINP e- test beam in 2013



02.12.14

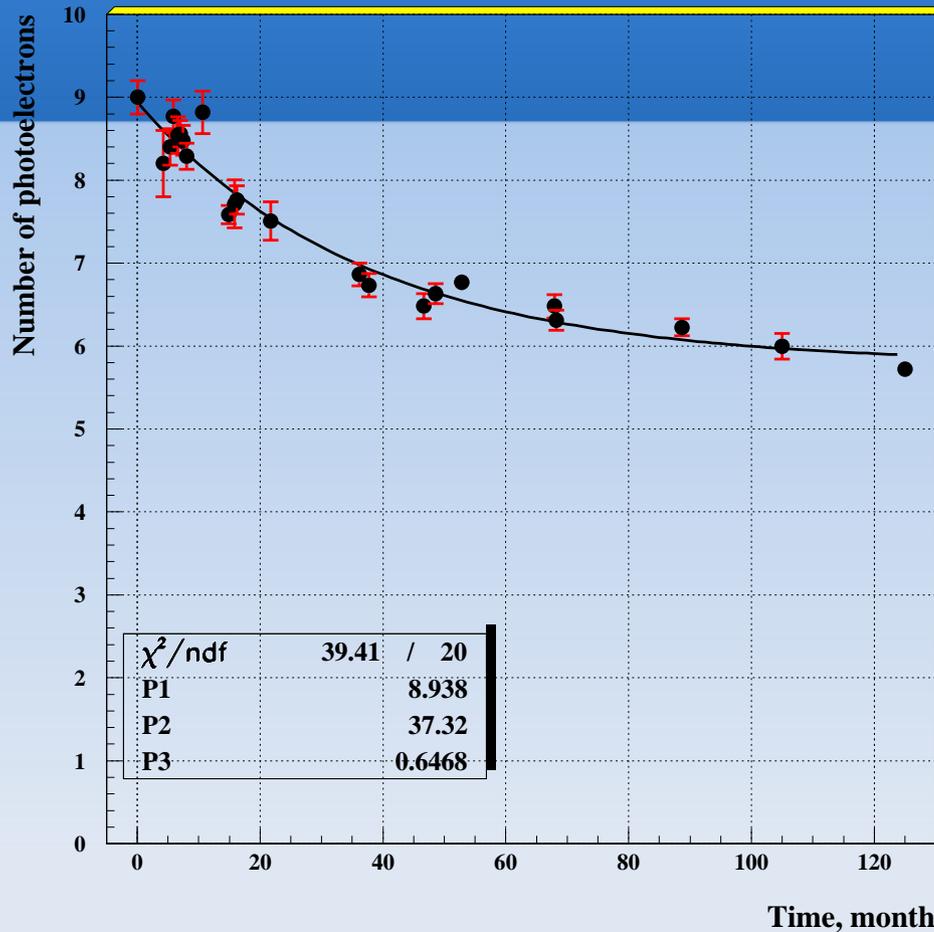
Семинар ФФ НГУ



# Long term stability

80 counters (1<sup>st</sup> layer of the system) were under operation in the KEDR detector from 2003 to 2011. Approximately 3.5 years of operation in magnetic field 0.6T.

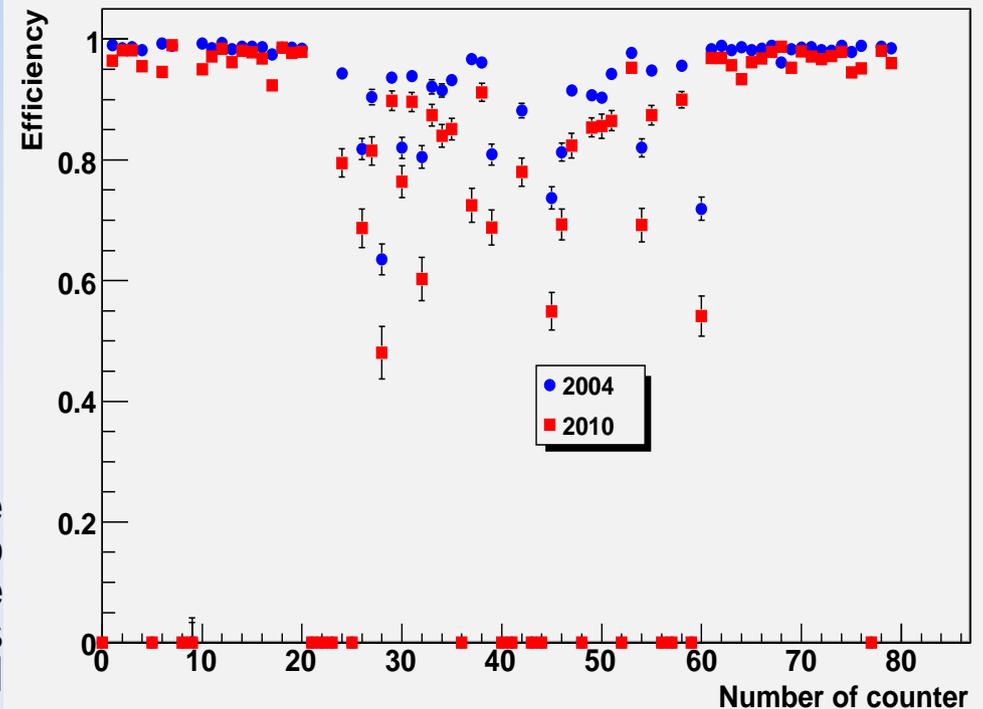
17 counters were non operational due to drops of magnetic field. All barrel counters had efficiency worse than expected.



Prototype endcap ASHIPH counter are under operation since 2000. From time to time it is tested in Cosmic Ray Telescope (CRT) and its signal degradation now is stabilized at the level of 60% from initial value.

02.12.14

ATC efficiency in KEDR (BhaBha events)



# Reasons of degradation of ASHIP counters

The main reasons of the signal degradation

Aerogel 0-45%. In average:

22% for endcap

34% for barrel

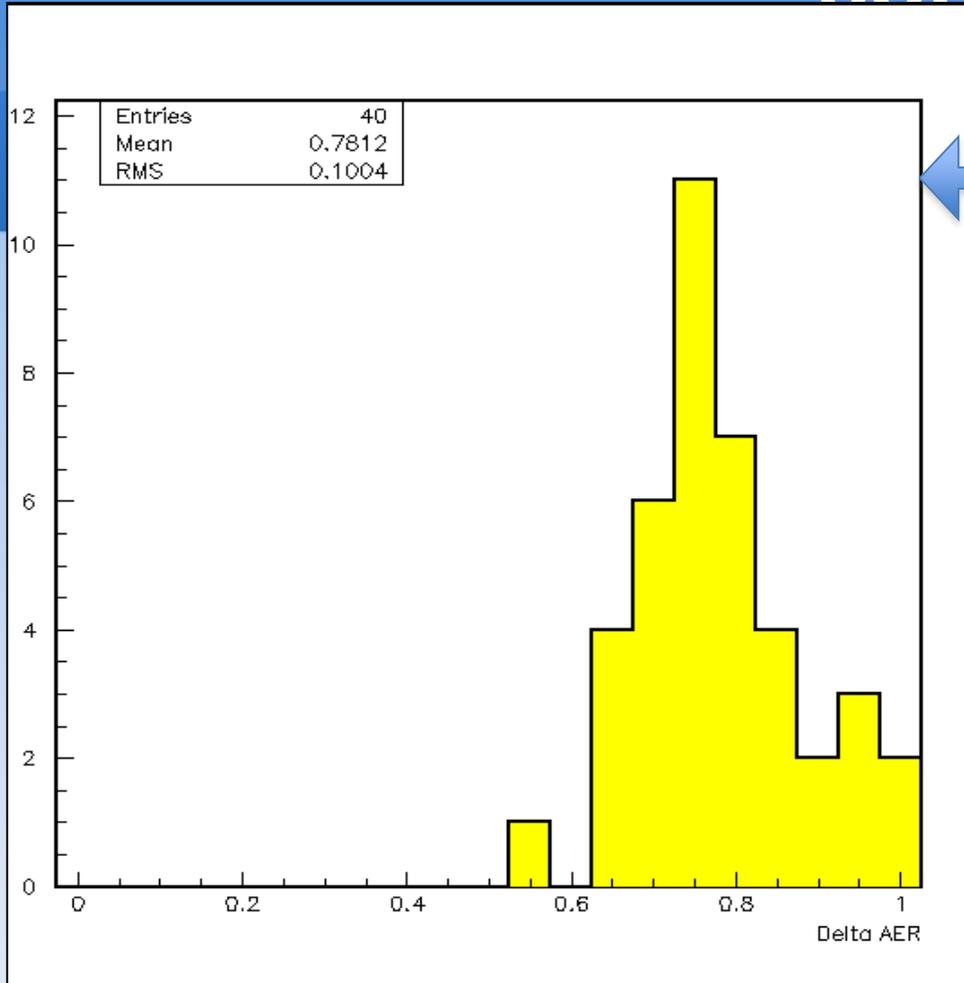
QE of PMT 0-50%. In average 18%

Magnetic field:

Tilt PMTs in endcap 4-6° (up to 20%)

Tilt PMTs in barrel 15-17° (up to 30%)

Broken optical contacts 0-54%. In average 9.5%



All counters of the 1<sup>st</sup> layer were inspected for the reasons of degradation, repaired and upgraded during the stop of the KEDR experiment in 2011-2013

