

Cherenkov Aerogel Detector for the Identification of Hadrons at High Energy at the planned LHC Facilities

Aleksei Makarov



*Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences (INR RAS), Moscow
On behalf of the INR RAS-CERN RD51 Team*

XV Черенковские чтения '22

Содержание

- Теоретическая база проблемы
- Концепт FARICH
 - ~ главные цели
 - ~ пучок
 - ~ PDPC readout
 - ~ что дальше?
- Заключение

Теоретическая база проблемы

- Столкновения тяжёлых ионов в экспериментах PHENIX [1] и STAR [2] (RHIC, BNL) показали неожиданное подавление количества частиц с большим поперечным моментом P_t (нейтральные пионы и заряженные адроны в центральных соударениях Au–Au при $P_t > 2 \text{ GeV}/c$).

Недавние экспериментальные данные PHENIX (RHIC) [3,4] свидетельствуют о значительном увеличении барионов и антибарионов по сравнению с пионами при $P_t > 2\text{--}5 \text{ GeV}/c$ почти в три раза.

Этот экспериментальный факт назван “baryon puzzle” или “jet quenching effect” на RHIC.

References:

- [1] K. Adcox, PHENIX Collab., et al., Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 022301 [3] S.S. Adler, PHENIX Collab., et al., Phys. Rev. C 69 (2004) 034909
[2] C. Adler, STAR Collab., et al., Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 202301 [4] S.S. Adler, PHENIX Collab., et al., Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 172301

Теоретическая база проблемы

- Среди наиболее популярных теоретических моделей наблюдаемого подавления адронов - модели, основанные на рекомбинации кварков [5,6]. Другие подходы предсказывают, что 'jet quenching' указывает на различную потерю энергии партонами и глюонами в сжатом ядерном веществе.

Для детального изучения этого явления все детекторные PID-системы должны расширить свои возможности разделения частиц при импульсах более 10 ГэВ/с.

References:

[5] R.J. Fries, et al., Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 202303

[6] R.J. Fries, et al., Phys. Rev. C 68 (2003) 044902

Концепт FARICH

- Задача: Разработать прототип детектора, который бы смог расширить границы импульса по идентификации заряженных частиц:

До 10 GeV/c для пион-каон различия и

До 14 GeV/c для каон-протон различия

Для системы ALICE HMPID [1, 2]. Этот проект был предложен профессором Алексеем Курепиным (INR RAS, Moscow) в 2008 году.

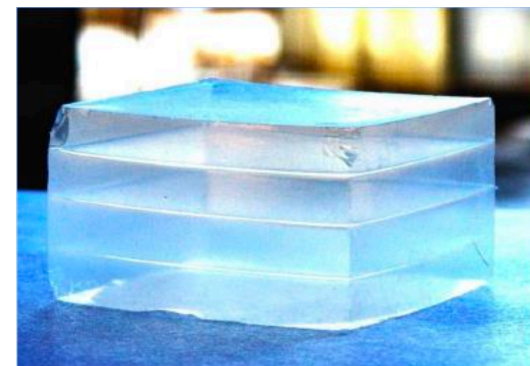
- **Focusing Aerogel Ring Imaging Cherenkov (FARICH)** детектор - такой предлагаемый детектор использует несколько слоёв кремниевого аэрогеля в качестве радиатора.

В июне 2012, прототип был испытан с Digital Photon Counters (DPC - dSiPM) от компании Phillips на установке CERN PS T10 с импульсом частиц вплоть до 6 GeV/c [A.Yu. Barnyakov (Novosibirsk, IYF) et al., Nucl.Instrum.Meth. A732 (2013) 352-356].

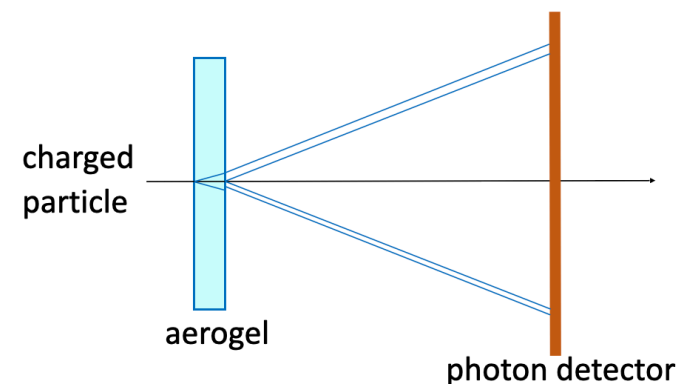
References:

[1] Berlev (Moscow, INR) et al., Nucl.Instrum.Meth. A598 (2009) 156-159.

[2] A Very High Momentum Particle Identification Detector (VHMPID) for ALICE. Letter of Intent, Version 19.0, ALICE VHMPID Upgrade, 2012.



Aerogel



Aerogel setup

Концепт FARICH

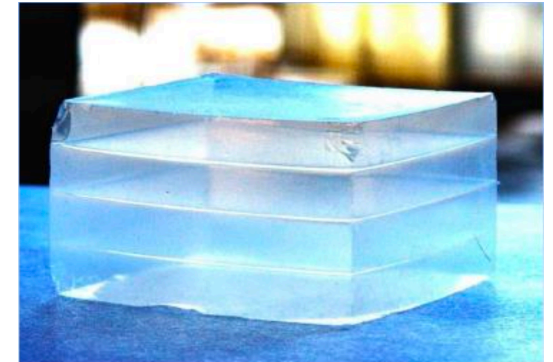
Аэрогель из оксида кремния (SiO_2) представляет собой высокопористый материал, который содержит воздух более чем на 90% объема. Он прозрачен для видимого света. Коэффициент пропускания при длине волны 400 нм составляет примерно 77% при $n=1,05$

$$\cos\vartheta_c = \frac{1}{n\beta} \rightarrow \beta_{th} = \frac{1}{n} \rightarrow p_{th} = \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

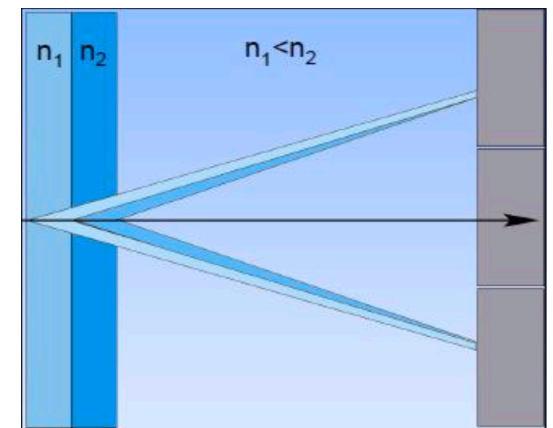
Cherenkov relation

Momentum threshold
as the function of n

Material	Refractive index	p_{th} [GeV/c]				λ_{cut} [nm]
		e	π	K	P	
C_4F_{10}	1.0015	0.009	2.5	9.0	17	136
Aerogel	1.05	0.0016	0.44	1.54	2.9	300



Aerogel



Aerogel setup

Концепт FARICH - главные цели

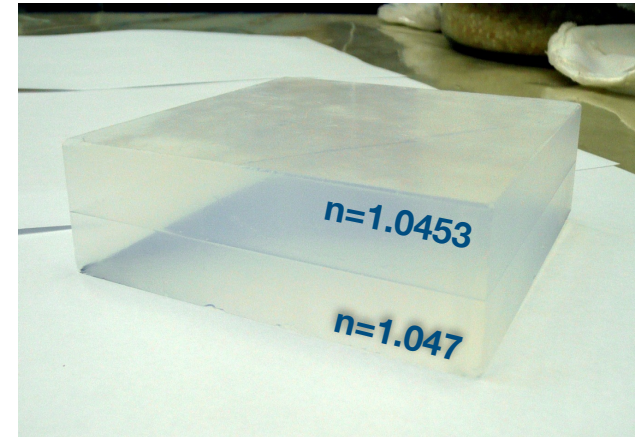
- увеличить количество излучаемых фотонов за счет использования более толстого радиатора
- использовать несколько слоев аэрогеля для фокусировки конусов Черенкова на чувствительной плоскости детектора без ухудшения углового разрешения

Simulation data for multilayer aerogel radiator (10GeV/c)

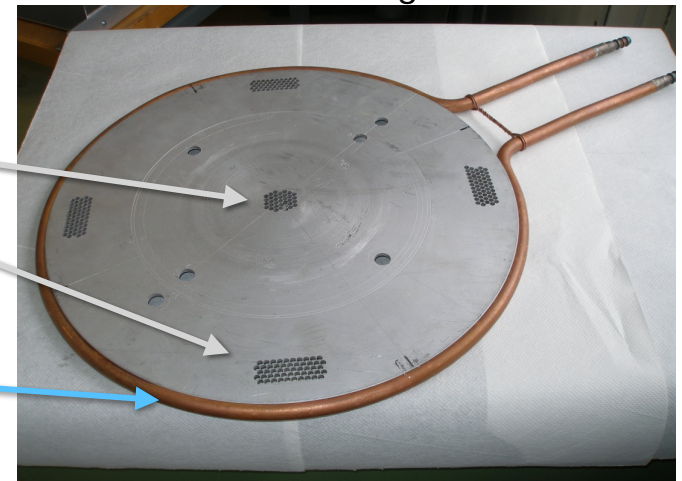
Radiator type	T total, mm	N _{photoelectrons}	r _{Cherenkov ring} , mm	σ_r , mm	Ring area, mm ²	$\sigma(\theta)$, mrad	π/K separation, σ
n=1.03 , 2 layers	33.1	20	121.3	1.5	$6.86 \cdot 10^3$	0.65	7.1
n=1.03 , 3 layers	45.8	26	121.5	1.4	$6.41 \cdot 10^3$	0.53	8.7
n=1.05 , 2 layers	35.6	35	157.2	2.0	$1.19 \cdot 10^4$	0.61	5.8
n=1.05 , 3 layers	50.0	47	157.4	1.9	$1.13 \cdot 10^4$	0.49	7.2

Концепт FARICH - пучок

- Свето-изоляц. короб $400 \times 400 \times 1000 \text{ mm}^3$;
- Тонкое углеродное окошко для входящих частиц;
- Двуслойный focusing Aerogel Cherenkov radiator $120 \times 120 \times 31 \text{ mm}$ (made in Novosibirsk);
- Тарелка с наборами “Winston-cone holes”;
- Массивы из MRS Avalanche PhotoDiodes: пять кластеров по 25 APDs (125 всего);
- Водяное охлаждение;
- Time Readout Modules (TRB) на основе NINO-chip процессоров.



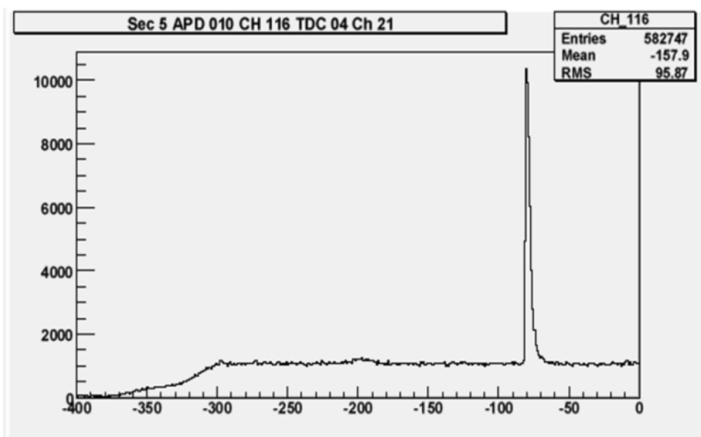
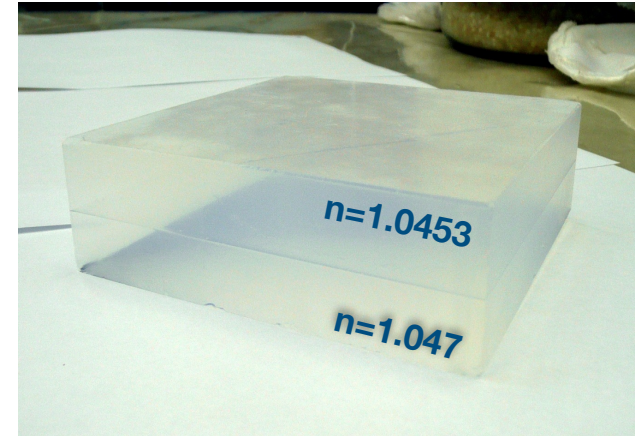
Aerogel



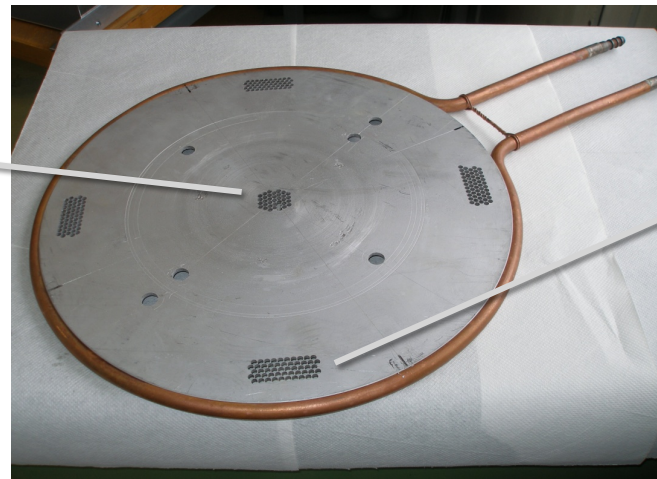
MRS APD setup

Концеп FARICH - пучок

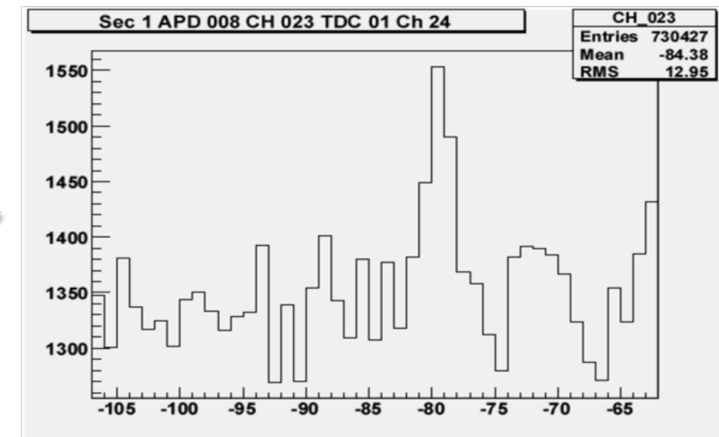
NAME OF THE EXPERIMENT: FARICH-Prototype (ALICE)
TEST CHANNEL: T10 PS / Bld.157/EP-T10
SPOKESPERSON: Andrei RESHETIN
TECHNICAL COORDINATOR: Arturo TAURO
START AND COMP-N DATES: (in according to PS
Schedule-2011, P2): 14 – 29 June, 2011



Typical MRS APD time spectrum - center
(scintillation photons)



MRS APD setup



Typical MRS APD time spectrum - radial
(Cherenkov photons from a two-layer Aerogel)

Концепт FARICH - PDPC readout



The setup

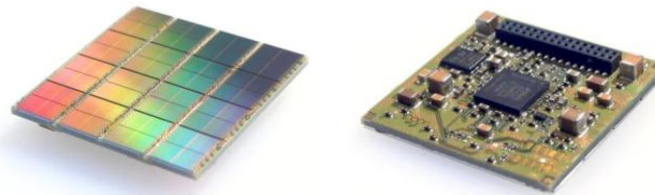
Philips Digital Photon Counting:

PDPC построена на основе масштабируемой технологии digital Silicon PhotoMultiplier (dSiPM) – новым типом продвинутых твёрдотельных детекторов.

Она характеризуется хорошим временным разрешением и включает фронт-энд электронику (discriminators, TDC)

DPC3200-22-44

1 tile is 8x8 pixels



The setup is 6x6 tiles,
or 48x48 pixels,
20x20 cm²

Requirements for photon readout:

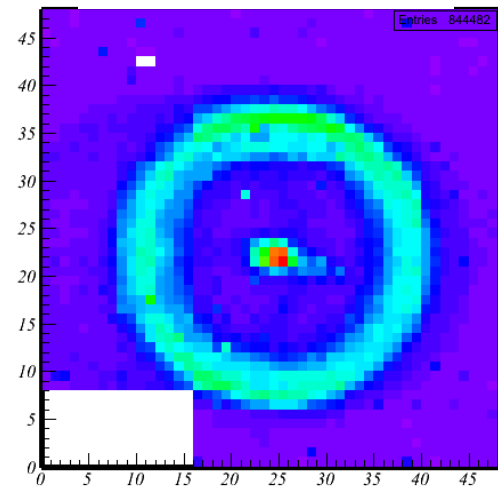
- Operation in magnetic field
- High proton detection efficiency
- Resolution approx. 1 mm

It features 576 time channels
and 2304 amplitude channels

Концепт FARICH - PDPC readout



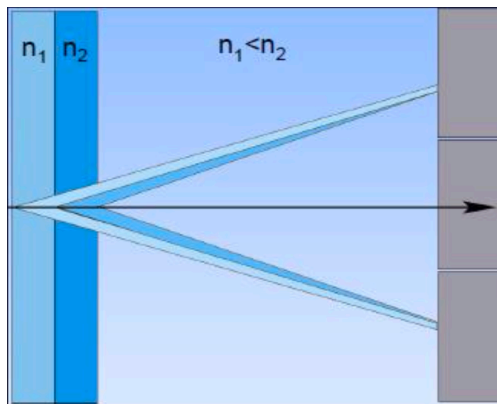
The setup



Pixel map of Cherenkov ring



Aerogel setup



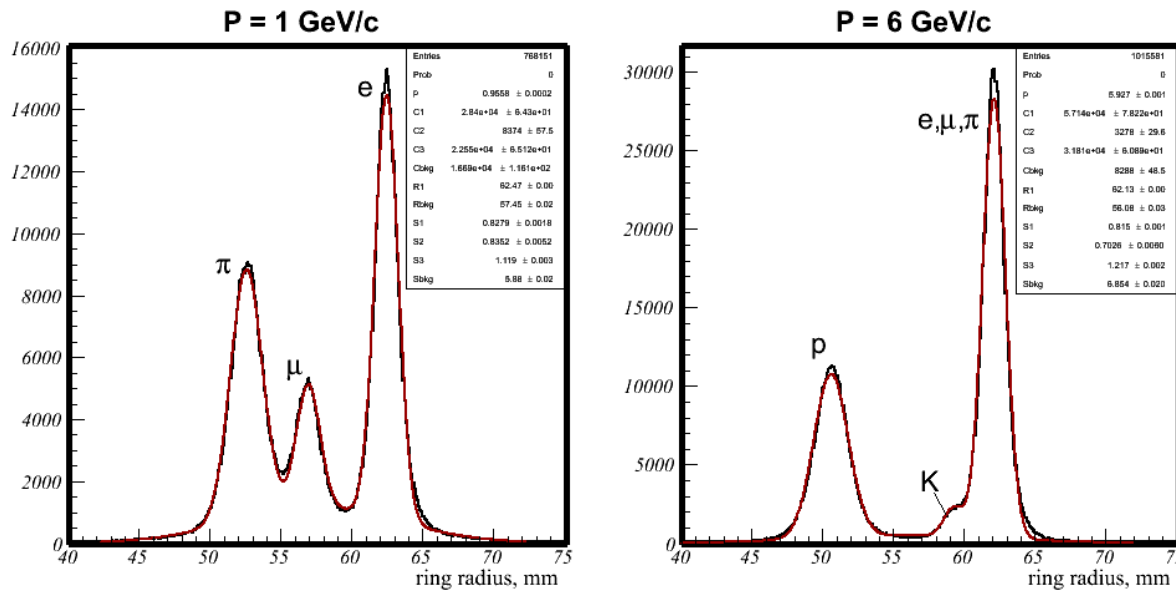
Thomas Frach,
Inventor of DPC



FARICH prototype at
CERN PS T10 beam channel

Концепт FARICH - PDPC readout

A.Yu. Barnyakov et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 732 (2013) 352-356



The distribution of the radiuses of the Cherenkov ring

The article concludes:

“A beam test of the FARICH detector prototype with DPCs has been successfully carried out. An excellent timing resolution of $\sigma_t = 48$ ps for single proton has been obtained. We observed Cherenkov rings with 12 photoelectrons in average and a Cherenkov angle resolution of $\sigma_{\theta_C} = 3.61 \pm 0.04$ mrad for relativistic particles. π/K separation at 6 GeV/c is 3.5σ and μ/π separation at 1 GeV/C is 5.3σ . A satisfactory agreement with the Geant4 simulation results is achieved.”

Studied aerogel samples were produced in Novosibirsk.

Концепт FARICH - что дальше?

Antonello Di Mauro on “ALICE 3: First workshop on physics and detector” (October 2020) made a new Aerogel-RICH proposal for ALICE 3 Upgrade:

- The ALICE 3 detector introduced in the EoI fully covers the requirements of flagship cases for which PID is focused on low p_t (approx. 3 GeV/c).
- However, in the ongoing discussion to define the physics programme, various measurements could require PID at larger p_t . In addition one cannot exclude the possibility of unexpected new physics channels which would benefit of a larger PID coverage.
- A proximity focusing RICH using aerogel Cherenkov radiator represents the simplest and potentially most cost-effective solution to complement the TOF measurement and extend the hadron PID range up to 15-20 GeV/c, still remaining consistent with the original idea of a new experiment fully based on silicon sensors.
- A timing layer for TOF based on SPADs has intrinsically single photon detection capability, therefore...

This is a slide from:

A. Di Mauro, E. Nappi, R. Preghenella, G. Volpe

ALICE 3: First workshop on physics and detector

14/10/2020

The FARICH concept - further usage

Antonello Di Mauro on “ALICE 3: First workshop on physics and detector” (October 2020) made a new Aerogel-RICH proposal for ALICE 3 Upgrade:

Aerogel-RICH first idea

Shower Pixel Detector (SPD)

Time Of Flight (TOF)

aerogel

~20 cm

~100cm

insert-able conversion layer

~400cm

ALICE³

...in the ideal case of MIPs and Cherenkov photons detection by the same layer, one would implement the RICH by increasing the radius of the TOF layer by ~ 20 cm to insert the aerogel radiator and a Cherenkov expansion gap

This is a slide from:

A. Di Mauro, E. Nappi, R. Preghenella, G. Volpe

ALICE 3: First workshop on physics and detector

14/10/2020

Концепт FARICH - что дальше?

- Текущая версия Letter of Intent коллаборации ALICE3 уже содержит детектор с применением аэрогеля, при этом исследуются возможности использования различных твердотельных SiPM. Причём, их планируется охлаждать по необходимости

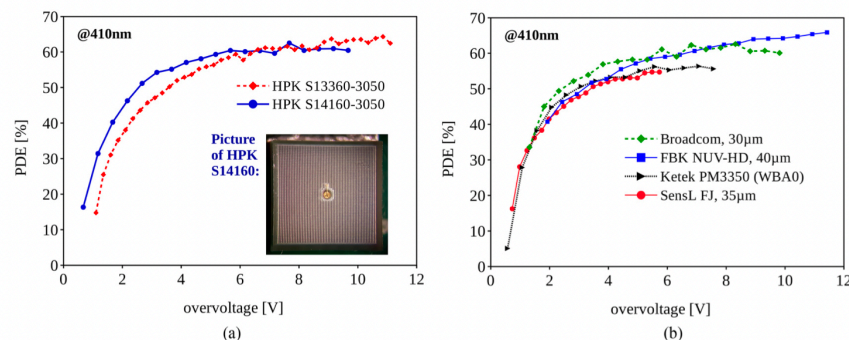


Figure 94: PDE as a function of SiPM overvoltage measured at 410 nm, for sensors from Hamamatsu (a) and other vendors (b).

Заключение

- Аэрогель из оксида кремния является хорошим материалом для расширения эффективного диапазона разделения частиц
- Focusing Aerogel Ring Imaging Cherenkov (FARICH) использует многослойный кремниевый аэрогель в качестве излучателя для увеличения количества фотоэлектронов и для фокусировки Черенковских конусов на чувствительной плоскости детектора
- Прототип с Phillips DPCs имеет отличное временное разрешение $\sigma_t = 48$ ps для одного протона; Разрешение для черенковского угла $\sigma_{\theta_c} = 3.61 \pm 0.04$ mrad для релятивистских частиц. π/K разделение на 6 GeV/c на уровне 3.5σ и μ/π разделение на 1 GeV/c на уровне 5.3σ было показано на экспериментальной установке

4.4.1 Specifications

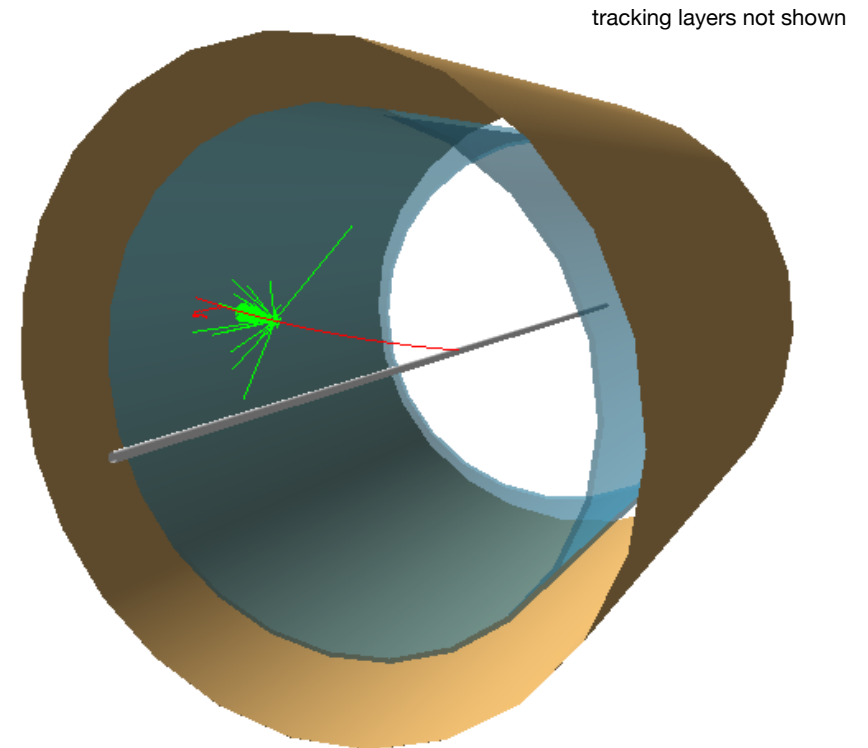
The specifications of a Ring-Imaging Cherenkov (RICH) system installed following the TOF detector are derived from the requirement to extend the e/π separation from 500 MeV/c (TOF limit) to ~ 2 GeV/c and the charged hadron identification (3σ π/K separation) up to ~ 10 GeV/c. To this end, a RICH detector with a 2 cm thick aerogel tile and a photo-detection layer at 20 cm from

Thank you for your attention!

Backup slides

Geant4 geometry

- aerogel radiator
 - cylinder, inner R = 100 cm
 - 2 cm thick
 - refractive index $n = 1.03$
 - material properties to be tuned
 - optical properties from measurements
- expansion region
 - 20 cm thick
 - Argon gas
 - $n = 1.00$ (it is anyway small < 1.0003)
- Photo-detector surface
 - cylinder at R = 122 cm
 - silicon sensors, SiPM HPK 3050CS
 - $3 \times 3 \text{ mm}^2$ active area, $3.14 \times 3.14 \text{ mm}^2$ pitch, 3.1 M channels (91% fill factor)



This is a slide from:

A. Di Mauro, E. Nappi, R. Preghenella, G. Volpe

ALICE 3: First workshop on physics and detector

14/10/2020

DPC3200-22-44

