



# Application of MAPS and experience in development of Inner Tracking System (ITS) for ALICE at the LHC

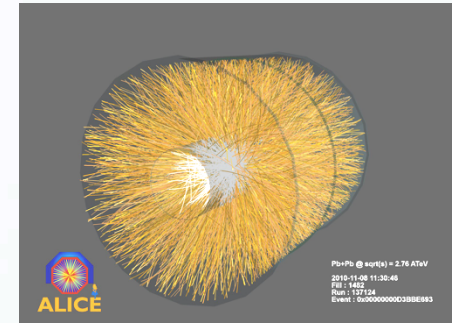
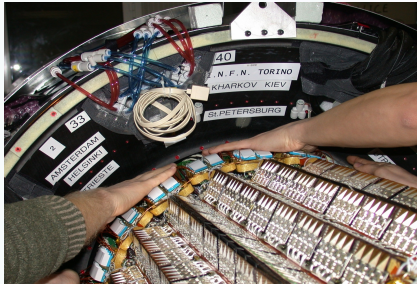
Grigory Feofilov, Vladimir Zherebchevsky

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Hardware meeting of SPD@NICA on Thu at 10:00

<https://indico.jinr.ru/event/3239/>

<https://us02web.zoom.us/j/83505798654?pwd=dU5FOS9IUU1mTEtNaFR0Sk8rZm1pUT09>



Лаборатория в настоящее время принимает участие в международных научных коллаборациях на установках класса мегасайенс в ЦЕРН и в ОИЯИ:

- 1) С 1992 года – в эксперименте ALICE на БАК в ЦЕРН. В 1992-2002 годах - лидер по 2-м системам ALICE. Мировой рекордный уровень радиационной прозрачности Внутренней трековой системы (ITS).
- 2) 1992-2002 – Полная инженерная проработка ITS-CMA (Cooling-Mechanics-Assembly) ALICE, + технологии, + изготовление систем поддержки кремниевых детекторов и охлаждения front-end электроники ITS
- 3) 1996 -2003: в эксперименте NA57 по исследованию выхода странных частиц в адронных столкновениях на SPS в ЦЕРН
- 4) С 2006 года – в эксперименте NA61/SHINE по исследованию фазового перехода и поиску критической точки ядерной материи на SPS в ЦЕРН.
- 5) С 2018 года - участие в подготовке экспериментов MPD и SPD на коллайдере NICA в ОИЯИ

# Учебная лаборатория ядерных процессов (руководитель В.И.Жеребчевский)

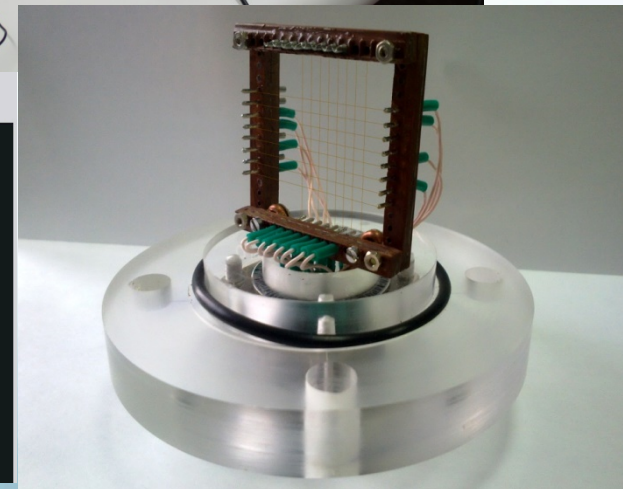
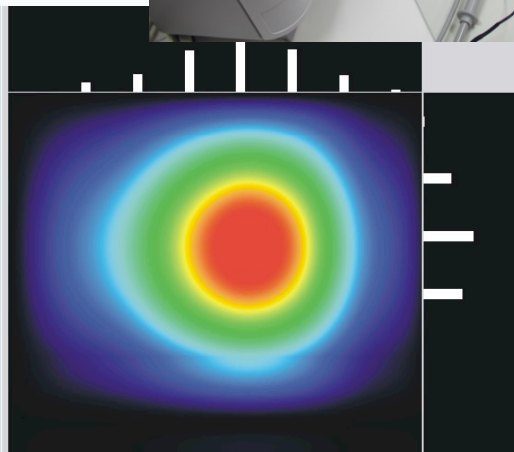
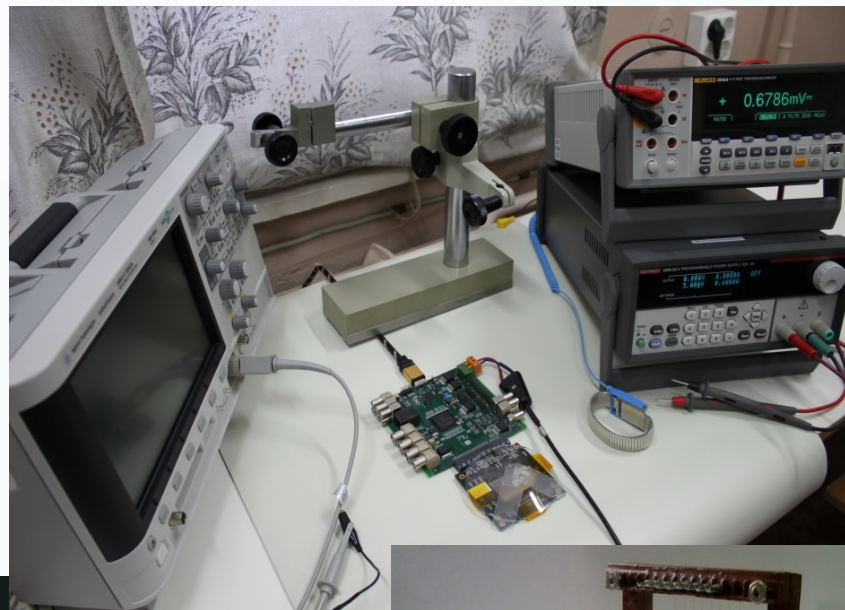


Испытания КМОП детекторов для экспериментов ALICE и NA61(SHINE) в ЦЕРН

Ядерные реакции

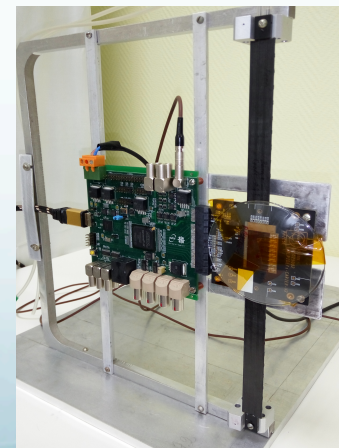
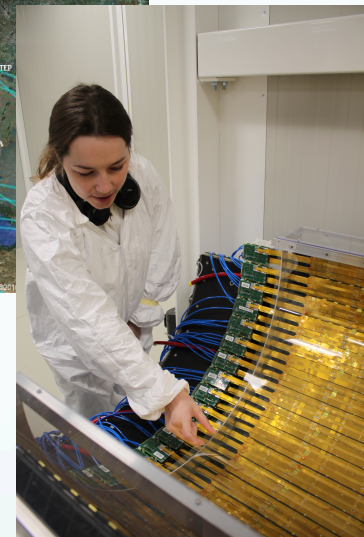
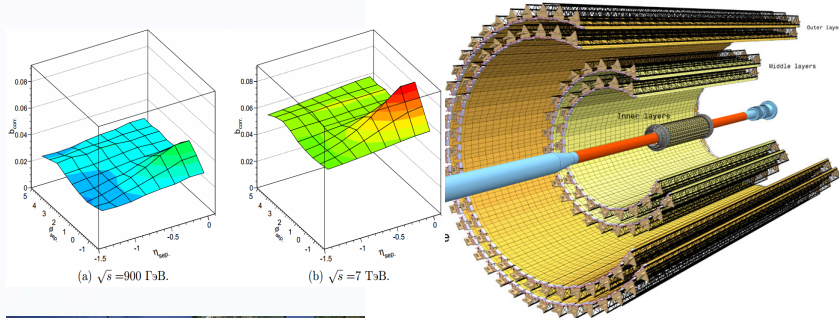
Ускорительные технологии

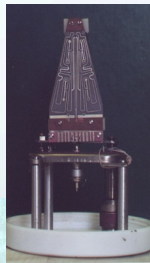
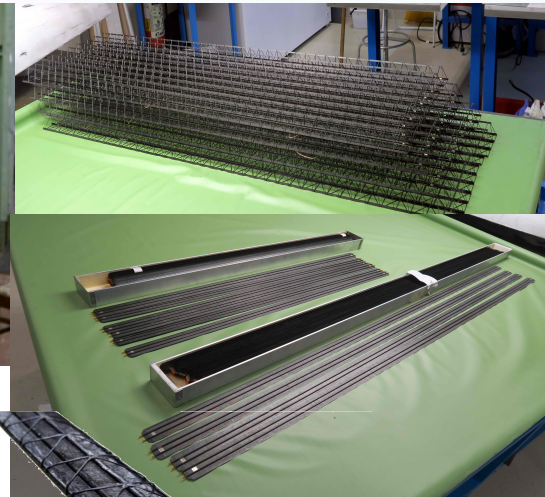
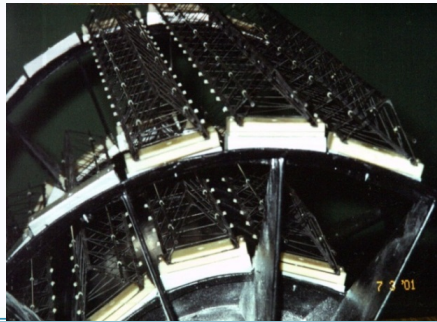
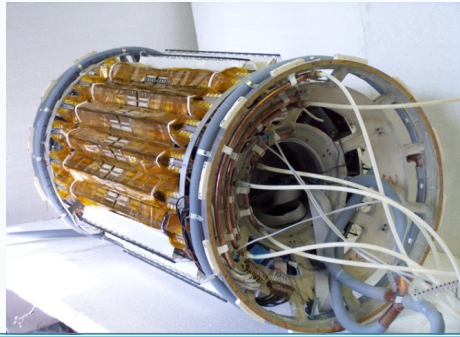
Ядерная медицина





- 1) Теоретические исследования и поиск новых физических явлений в адронных столкновениях при энергиях коллайдеров БАК и NICA
- 2) Участие в подготовке и проведении экспериментов ALICE и NA61(SHINE) в ЦЕРН, анализ и обработка данных по ядро-ядерным столкновениям при высоких энергиях
- 3) Координация грид-сайтов ALICE в РФ, Развитие Грид-технологий в СПбГУ и в РФ (World wide Large hadron collider Computing Grid - WLCG) с целью обеспечения накопления, обработки и анализа данных мегаустановки ALICE на БАК
- 4) Исследования свойств кварк-глюонной среды в экспериментах по  $pp$ ,  $p$ -A и A-A столкновениям и обработка больших объемов данных
- 5) Разработка новейших детектирующих систем вершинных кремниевых детекторов для экспериментов ALICE, NA61(SHINE) и MPD и SPD на коллайдере NICA
- 6) Разработка системы мониторинга пучков коллайдера NICA
- 7) Ядерная медицина: адронная терапия
- 8) Проориентационная работа со школьниками: практика, мастер-классы по работе с данными БАК, лекции, дни Науки





- Полномасштабный тепловой макет Вершинного трекового детектора ALICE ITS/SDD (более 2000 элементов) и углекомпонитный макет ITS (2002)
- Сверхлегкие углекомпонитные структуры поддержки кремниевых детекторов ALICE: ферма длиной 1.1м весом 24 г удерживает 2кг груз (2002 год)
- Сверхлегкие углекомпонитные фермы (L=1500 мм, вес ~33.6г) и тепловые панели (L=1500 мм, вес 80 г) для новейших пиксельных детекторов модернизированной установки ALICE на БАК (2019 год).
- Углекомпонитная тепловая панель с интегрированной системой охлаждения (0.5 Ватт/см<sup>2</sup>) (2019 год)
- Стенд с криогенным охлаждением для испытания КМОП детекторов для экспериментов ALICE и NA61(SHINE) в ЦЕРН
- Детектор на МКП в тонкостенной (100 мкм) вакуумной камере с геттерным насосом

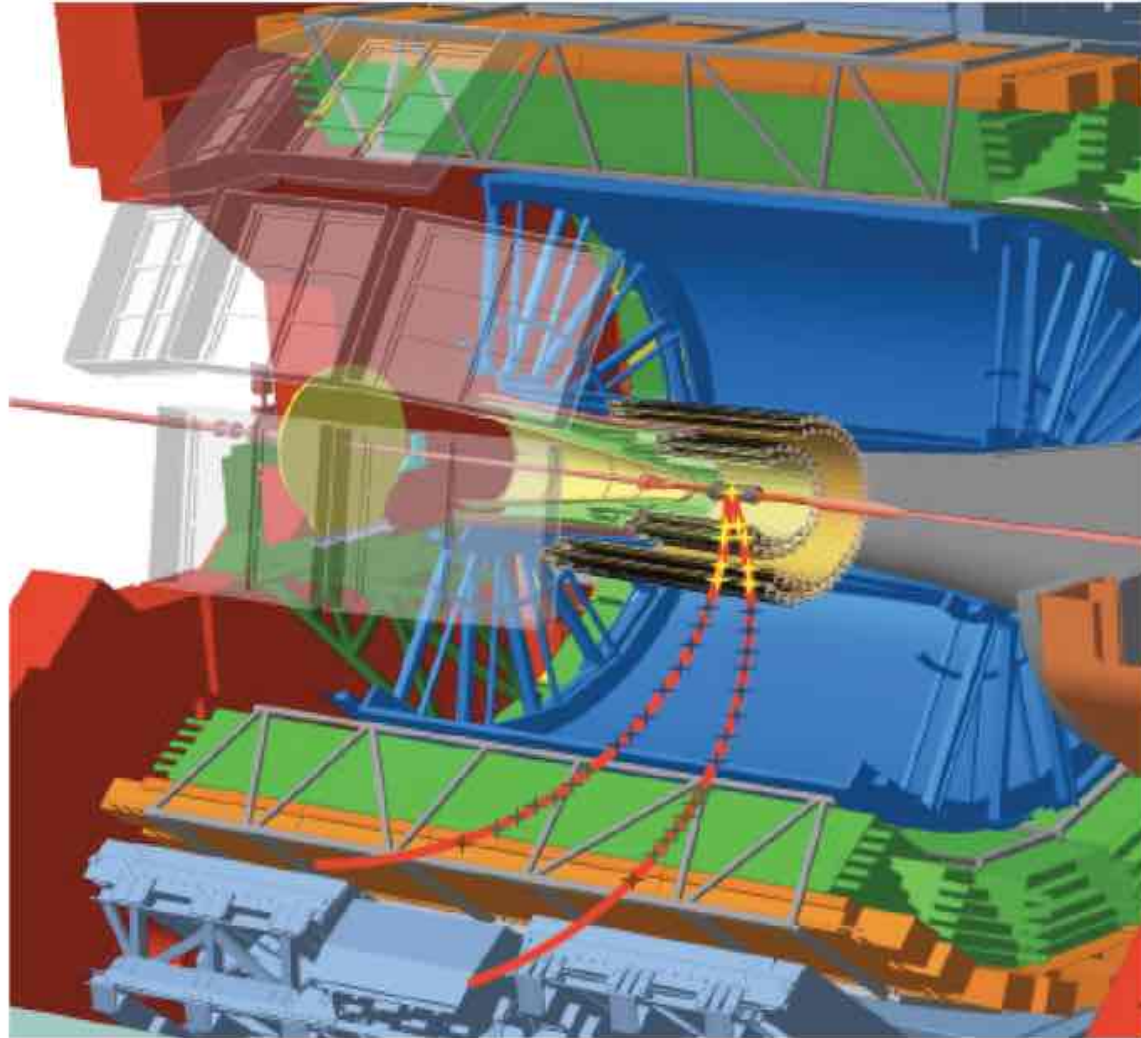


Illustration of ALICE detectors used in track reconstruction and particle identification<sup>[1]</sup>

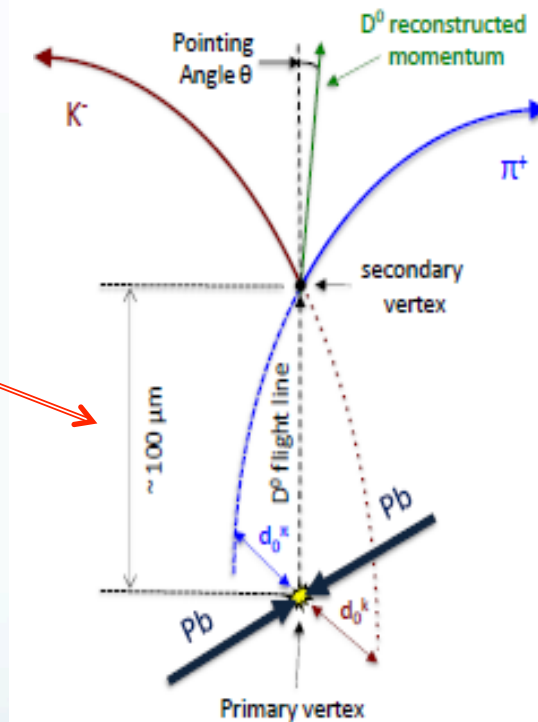
- ITS
- TPC (blue)
- TRD (green)
- TOF(orange)

[1] “Track Reconstruction in the ALICE TPC using GPUs for LHC Run 3”, David Rohr et al., arXiv:1811.11481

➤ **Challenge-1: Short life-time of D-mesons** ( $\langle \tau \rangle = 410.1 \pm 1.5 \times 10^{-15} \text{ s}$  [1])

Small mean decay length !

**Reconstruction  
from hadronic decay channels,**  
 $c\tau \sim 100 \mu\text{m}$  (!)



Vito Manzari,  
LXV Conf.Nucl.Phys.,  
29.06-03.07.2015, SPb

Meson	Decay Channel	$c\tau$	Branching Ratio
$D^0$	$D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$	$122.9 \mu\text{m}$	$(3.91 \pm 0.05)\%$
$D^0$	$D^0 \rightarrow K^- + \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$	$122.9 \mu\text{m}$	$(8.14 \pm 0.20)\%$
$D^+$	$D^+ \rightarrow K^- + \pi^+ + \pi^+$	$311.8 \mu\text{m}$	$(9.2 \pm 0.25)\%$
$D_s^+$	$D_s^+ \rightarrow K^+ + K^- \pi^+$	$149.9 \mu\text{m}$	$(5.50 \pm 0.28)\%$
$D^{*+}$	$D^{*+} \rightarrow D^0 + \pi^+$	-----	$(61.9 \pm 2.9)\%$

[1]PDG, PL B667, 1 (2008)

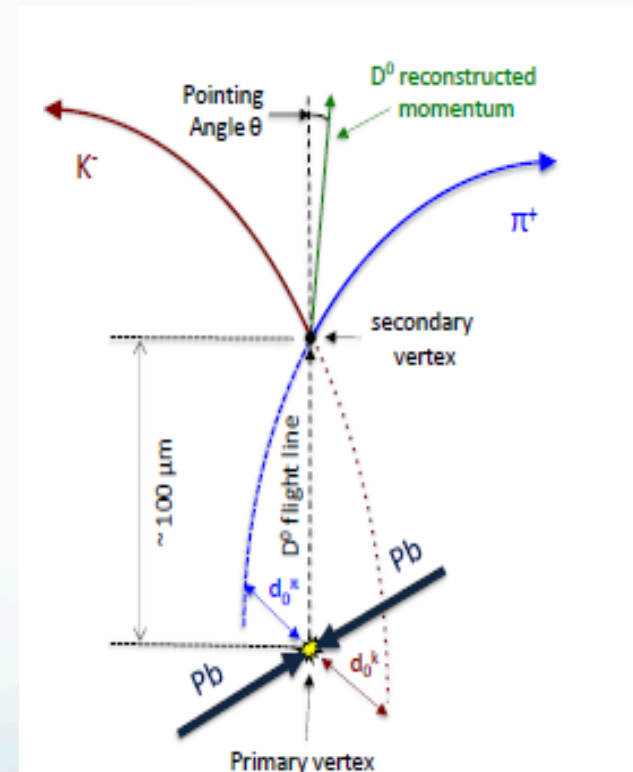
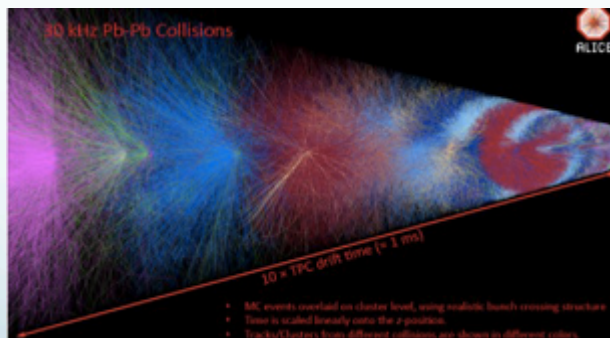


# Challenges for open charm measurements

- **Challenge-2: high efficiency is needed for rare-probe registration**

Coverage in transverse momentum to be as complete as possible, **in particular down to very low momenta.**

- **Challenge-3:** Fast detectors and continuous readout<sup>[1]</sup> to ensure statistics

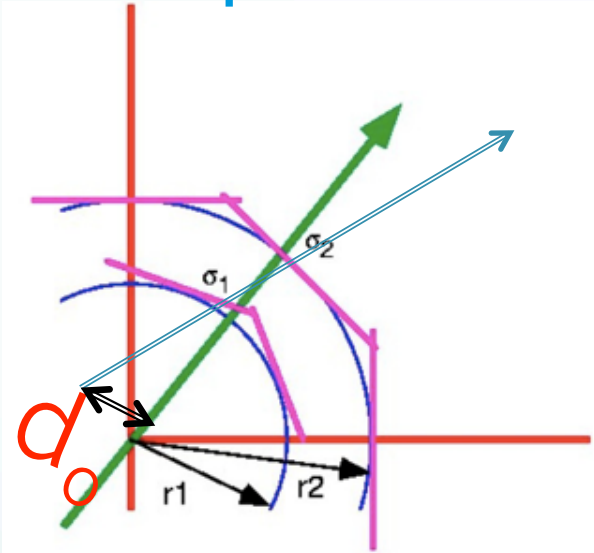


[1] David Rohr et al., arXiv:1811.11481



# Impact parameter ( $d_0$ ) resolution in particle tracking

➤ Example with two-layer setup:  $\sigma_{d_0}^2 = \sigma_{MS}^2 + \sigma_{geom}^2$



with

$$\sigma_{geom}^2 = \left( \frac{\sigma_1 r_2}{r_2 - r_1} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_2 r_1}{r_2 - r_1} \right)^2 \quad \text{and} \quad \sigma_{MS}^2 = \sum_{j=1}^{n_{scatt}} (R_j \Delta \theta_j)^2$$

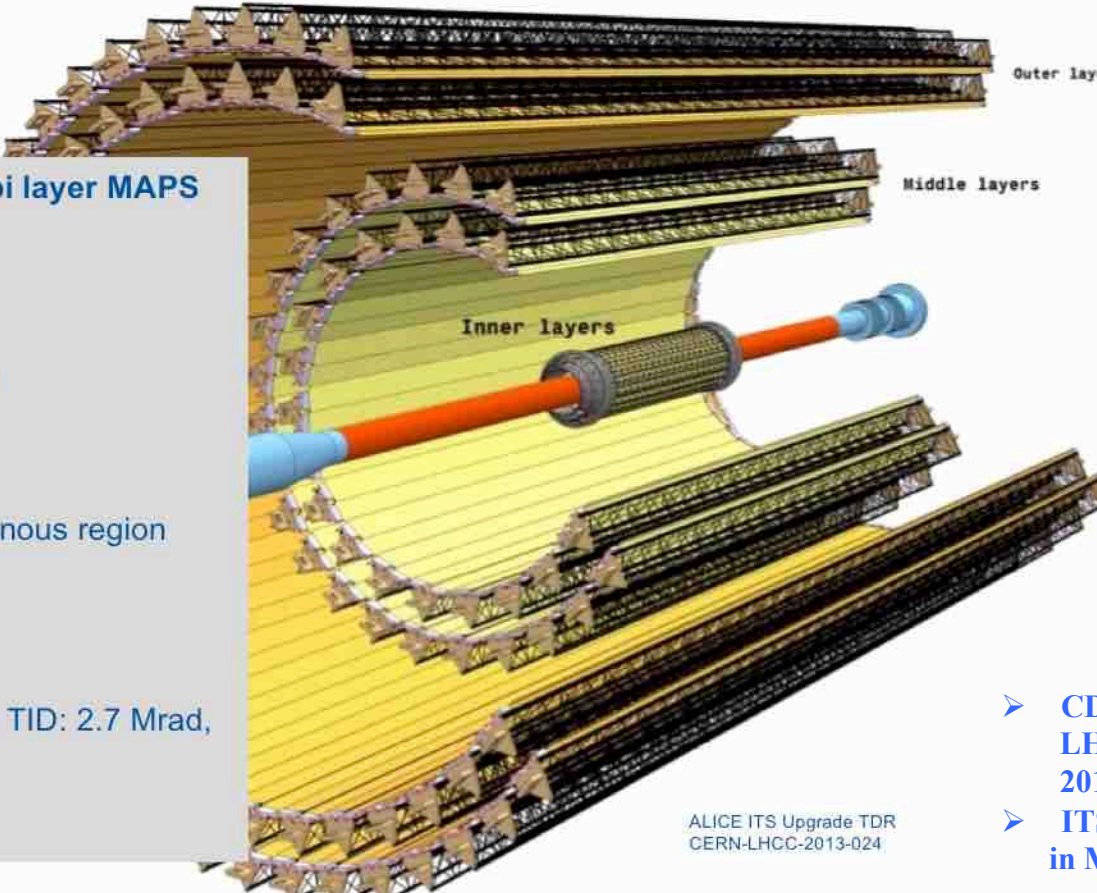
➤ Strong effect of Multiple Scattering (MS):

$$\sigma_{d_0} = \frac{r}{p} 13.6 \text{ MeV} \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left[ 1 + 0.038 \log \left( \frac{x}{X_0} \right) \right]$$

**REQUIREMENTS are very contradictory (!):**

- Sensors with high coordinate resolution -- minimize  $\sigma_1$  and  $\sigma_2$  (!)
- The first layer close to interaction point (IP) -- decrease  $r_1$  (!)
- **The multiple scattering** should be minimized – apply low-mass, low-Z materials to provide **the minimal possible  $X/X_0$**  (!)
- **Ensure high thermo- and mechanical stability  $\sim 10 \mu\text{m}$**  (!)

# ITS-2 concept



**Based on high resistivity epi layer MAPS**

3 Inner Barrel layers (IB)  
4 Outer Barrel layers (OB)

Radial coverage: 21-400 mm

~ 10 m<sup>2</sup>

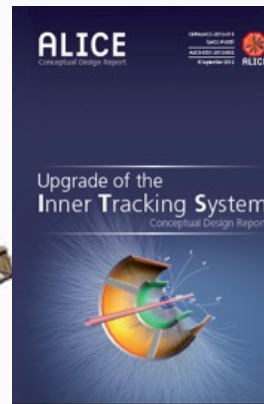
$|\eta| < 1.22$  over 90% of the luminous region

0.3%  $X_0$ /layer (IB)  
0.8 %  $X_0$ /layer (OB)

**Radiation level (IB, layer 0):** TID: 2.7 Mrad,  
 $1.7 \times 10^{13}$  1 MeV  $n_{eq}$  cm<sup>-2</sup>

**Installation during LS2**

ALICE ITS Upgrade TDR  
CERN-LHCC-2013-024

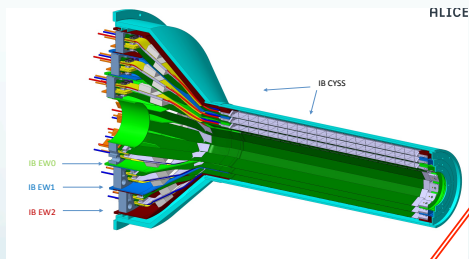


- CDR: Endorsed by LHCC in Sept. 2012
- ITS Upgrade TDR: in March 2014

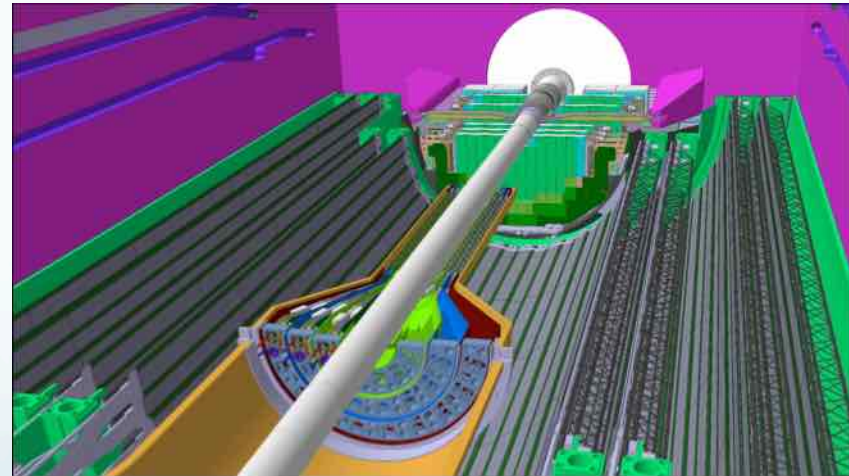
## ➤ 12.5 Gpixel ITS-2 based on Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)

# Comparison of ALICE with ATLAS and CMS upgrade

	current ALICE	ALICE upgrade	ATLAS upgrade	CMS upgrade
innermost point (mm)	39.0	22.0	25.7	30.0
$x/X_0$ (innermost layer)	1.14%	0,35%	1.54%	1.25%
$d_0$ res. $r\phi$ ( $\mu\text{m}$ ) at 1 GeV/c	60	20	65	60
hadron ID $p$ range (GeV/c)	0.1–3	0.1–3	–	–



ALICE Inner Barrel

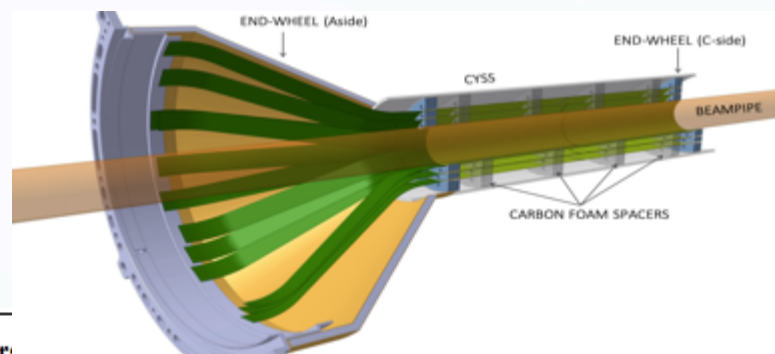
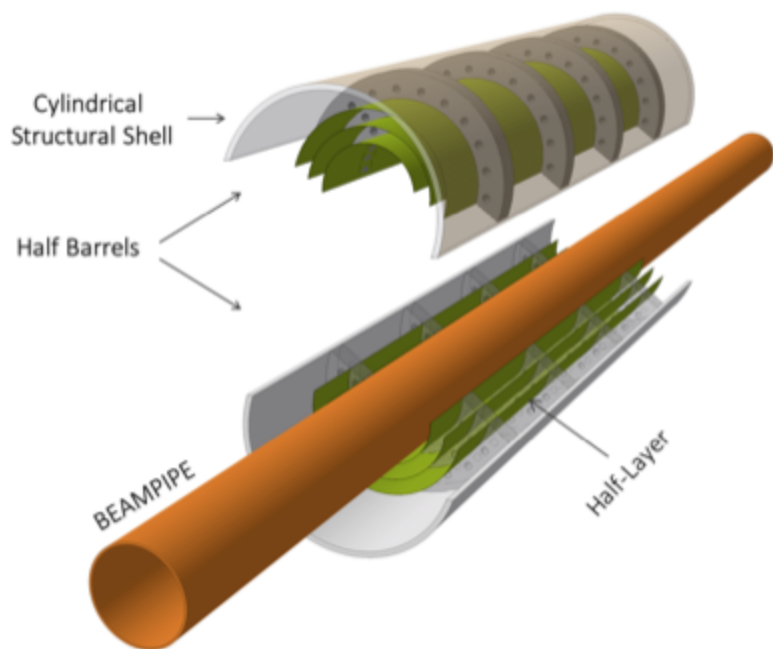


ALICE ITS-2 general design

CERN-LHCC-2012-013 (LHCC-P-005)



## Ultra-thin bent Si wafers



IB Layer parameters	Layer 0	Layer 1	Layer 2
Radial position (mm)	18.0	24.0	30.0
Length (sensitive area) (mm)	270	270	270
Pseudo-rapidity coverage <sup>a</sup>	$\pm 2.5$	$\pm 2.3$	$\pm 2.0$
Active area (cm <sup>2</sup> )	305	408	508
Pixel sensors dimensions (mm <sup>2</sup> )	280 × 56.5	280 × 75.5	280 × 94
Number of pixel sensors / layer	2		
Pixel size (μm <sup>2</sup> )	$O(15 \times 15)^b$		

<sup>a</sup> The pseudorapidity coverage of the detector layers refers to tracks originating from a collision at the nominal interaction point ( $z = 0$ ).

<sup>b</sup> For the fallback solution the pixel size is about a factor two larger ( $O(30 \times 30) \mu\text{m}^2$ ).

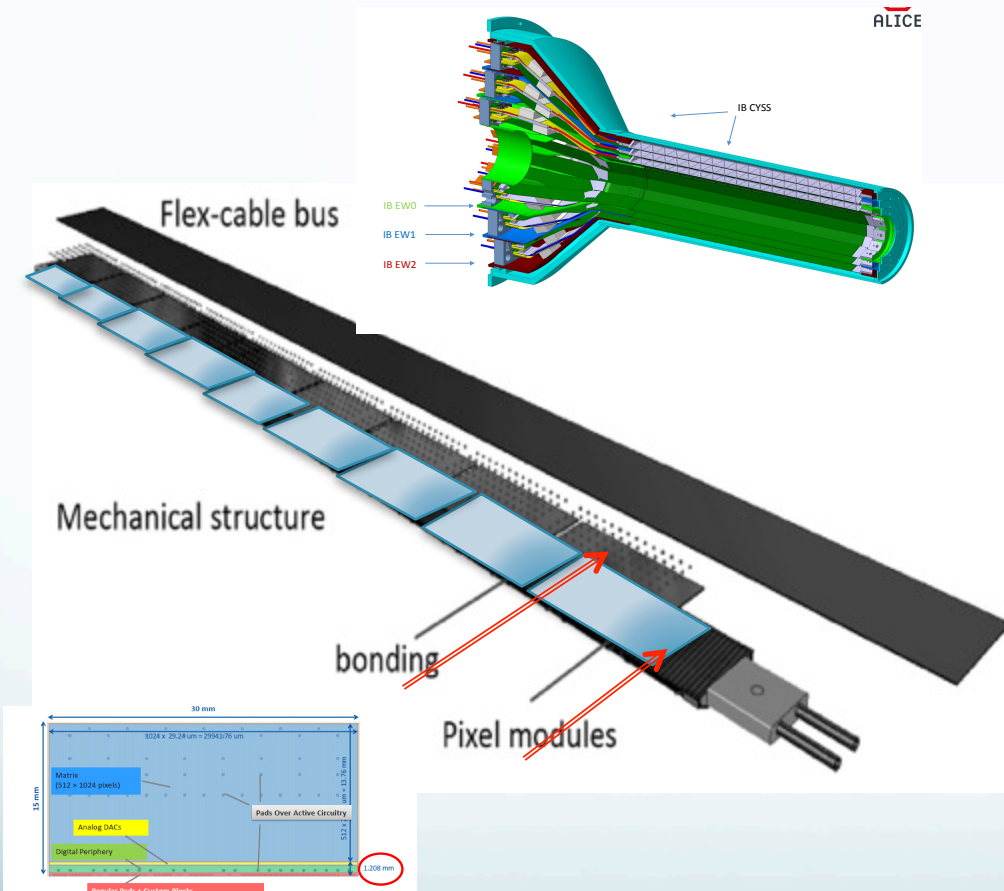
➤ Gaseous cooling and vibrations of 20 micron thick large area sensors

[1] ALICE-PUBLIC-2018-013

**MAPS tests : see the next report by  
Vladimir Zherebchevsky**

**Back-up slides**

# ALICE technology for Inner Barrel staves of ITS-2



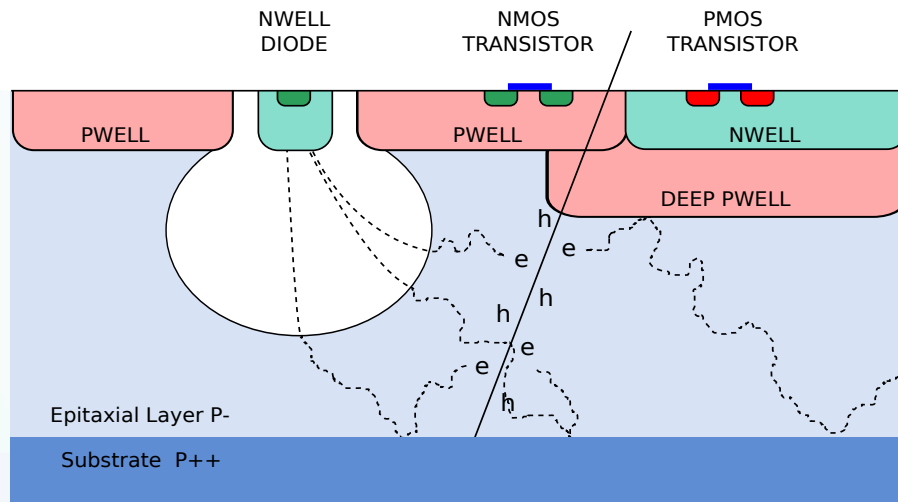
Thickness of detector components in terms of fraction of radiation length  $X/X_0$  -

Material	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	$X_0$ (cm)	$X/X_0$ (%)
Polyimide cooling pipe wall	25 $\mu\text{m}$	28.41	0.003
Carbon fleece	40 $\mu\text{m}$	106.8	0.004
Water	1mm	35.76	0.032
Carbon fiber plate K13D2U	70 $\mu\text{m}$	26.08	0.027
Graphite foil	30 $\mu\text{m}$	26.56	0.011
Thermal grease (glue)	100 $\mu\text{m}$	44.37	0.023
Si-sensor	50 $\mu\text{m}$	9.36	0.064
Total (without FPC)			<b>0.164</b>
<b>Total</b>			<b>~0.3</b>

➤ Record level of radiation transparency  $< 0.35\% X_0$  [1].

[1] arXiv:1706.02110v2

## TowerJazz 0.18 $\mu\text{m}$ CMOS Imaging Process



- Pixel pitch  $\sim 30 \mu\text{m}$
- High-resistivity ( $> 1 \text{ k}\Omega \text{ cm}$ ) p-type epitaxial layer ( $25 \mu\text{m}$ ) on p-type substrate
- Small n-well diode ( $2 \mu\text{m}$  diameter),  
=> low capacitance
- Reverse bias voltage to substrate (contact from the top) can be used to increase depletion zone around NWELL collection diode
- Deep p-well shields n-well L of PMOS Transistors
- Very low power dissipation ( $< 300 \text{ nW/pixel}$ )

## Schematic of MAPS pixel

[1] J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **41** (2014) 087002