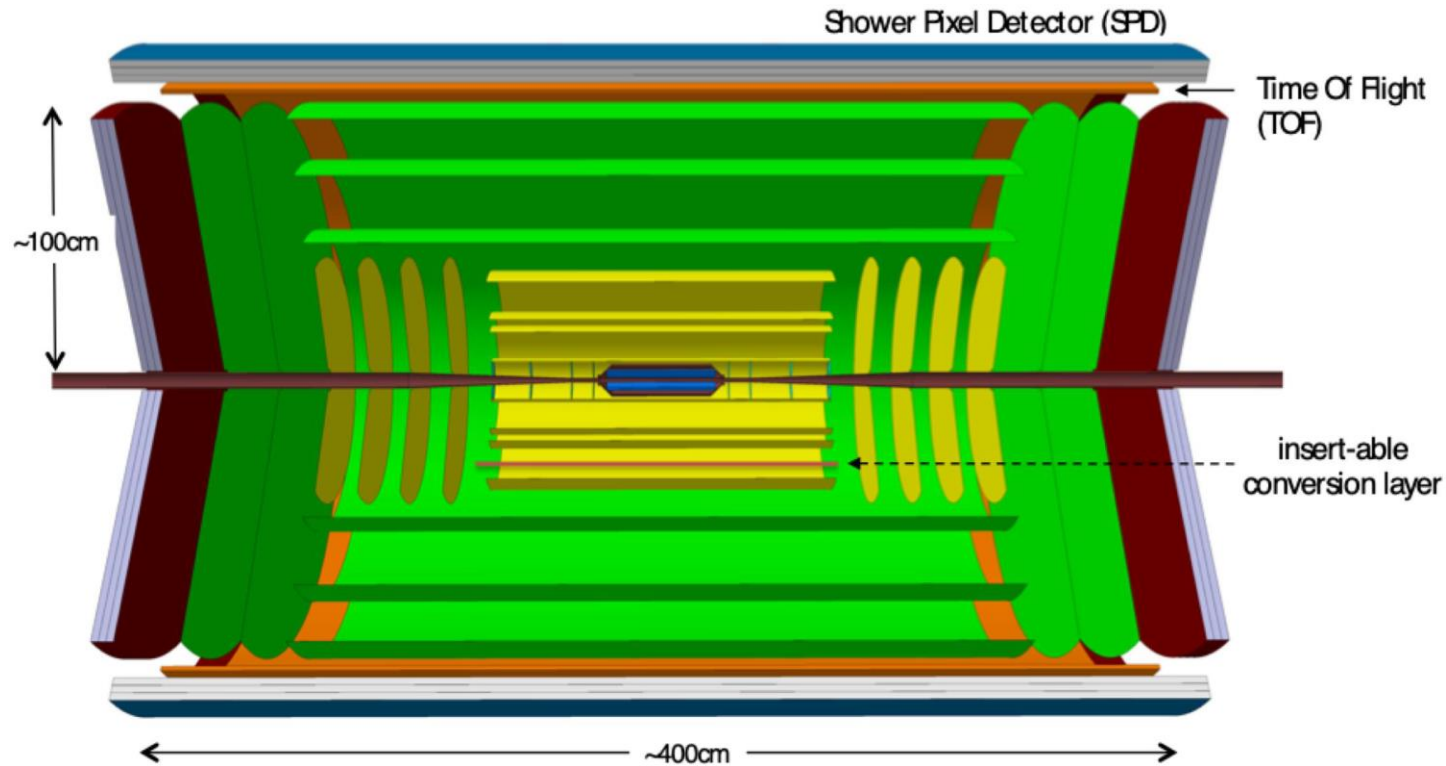


ALICE 3

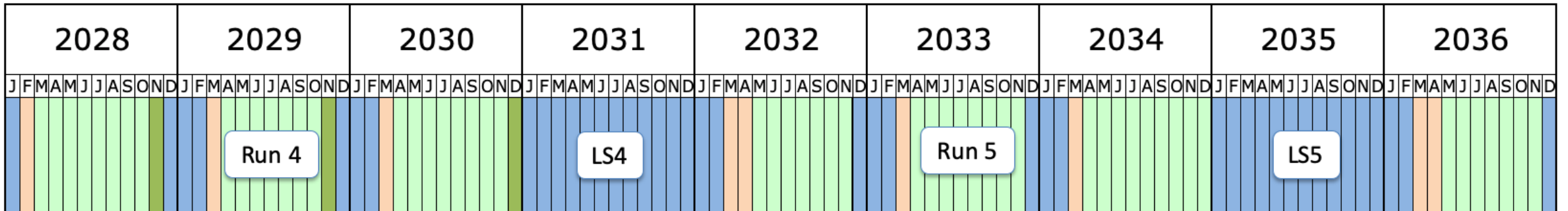
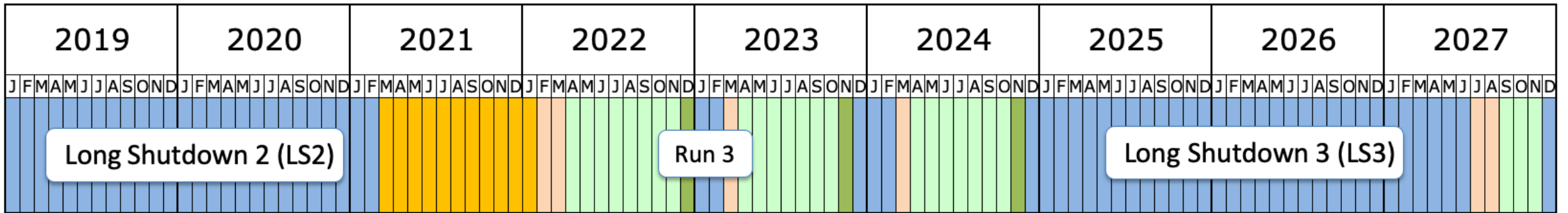


**Проект нового многофункционального детектора на LHC
Физическая программа и дизайн экспериментальной установки**

Е. Крышень
19.01.2021

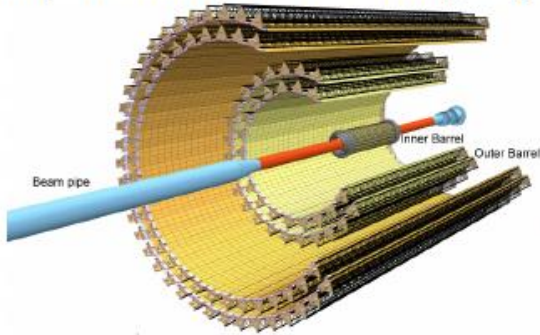
План

- Текущий апгрейд ALICE (для рана 3 и 4)
- Планируемый апгрейд **ITS** для рана 4
- Дизайн новой экспериментальной установки **ALICE 3** для рана 5 и далее
- Планируемая физическая программа для ALICE 3

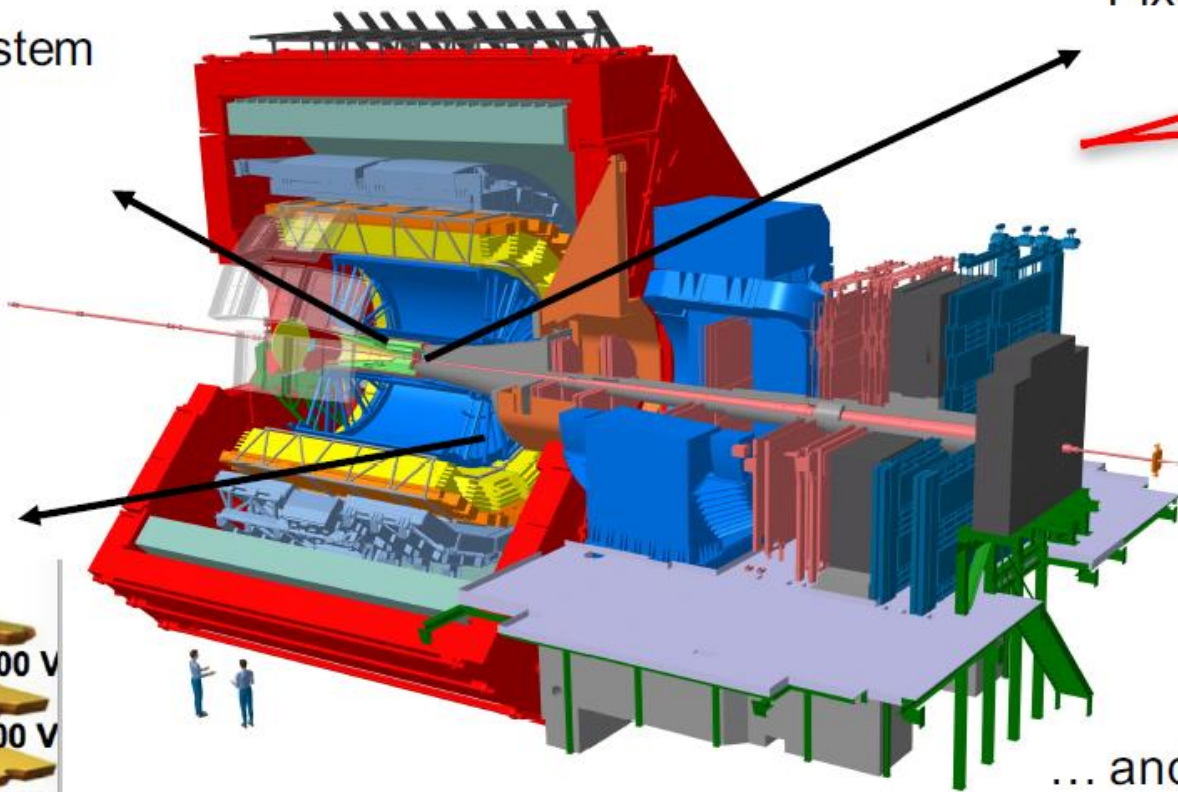
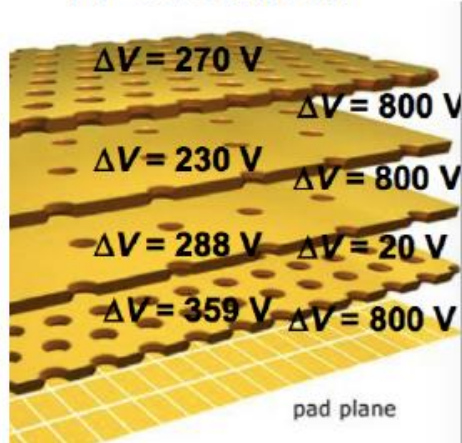


ALICE Upgrade for Run3 and 4

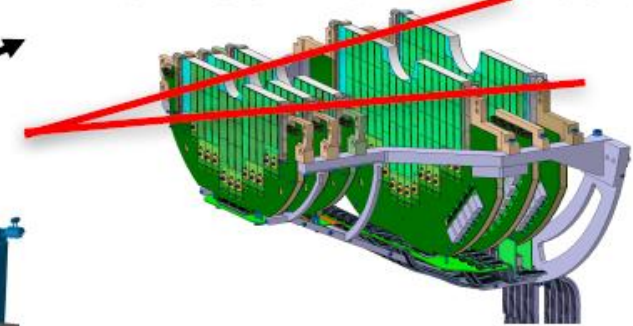
All-pixel Inner Tracking System



GEM-based TPC readout



Pixel Muon Forward Tracker



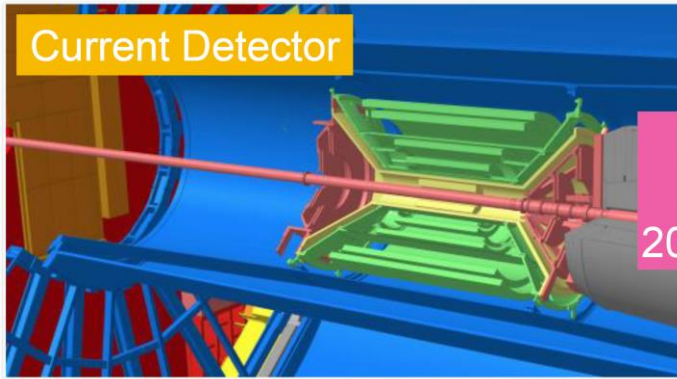
... and much more:

- Fast Interaction Trigger
- New Online-Offline system
- Readout upgrade of several detectors

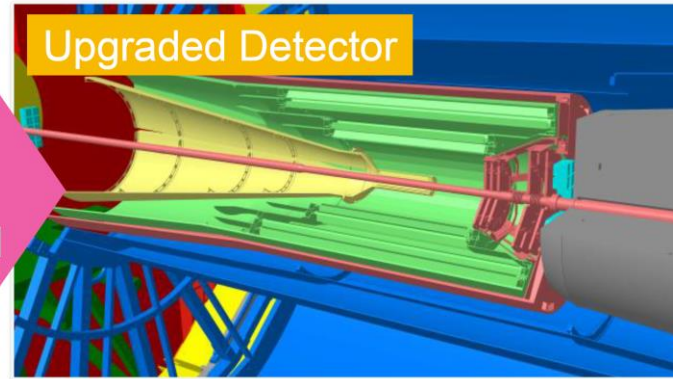
Record minimum-bias Pb-Pb data at $> 50\text{kHz}$ (currently $\sim 1 \text{ kHz}$)

(RUN3+RUN4): $13/\text{nb} \rightarrow \times 100$ minimum bias statistics (compared to RUN1+RUN2)

ITS upgrade



LHC
LS2
2020/21



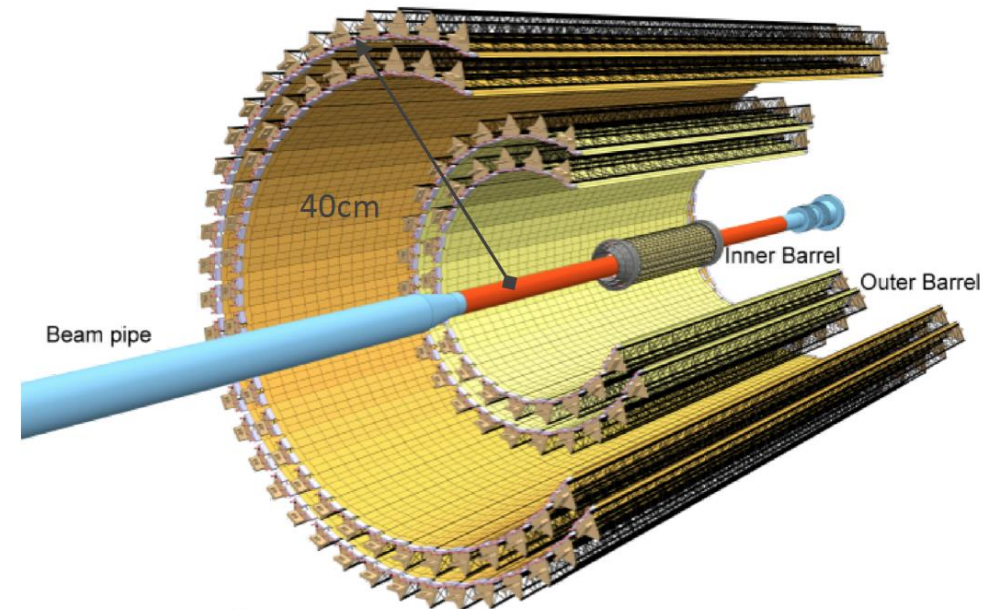
6 слоев ($39\text{mm} < r < 440\text{mm}$)
 $-1 \leq \eta \leq 1$

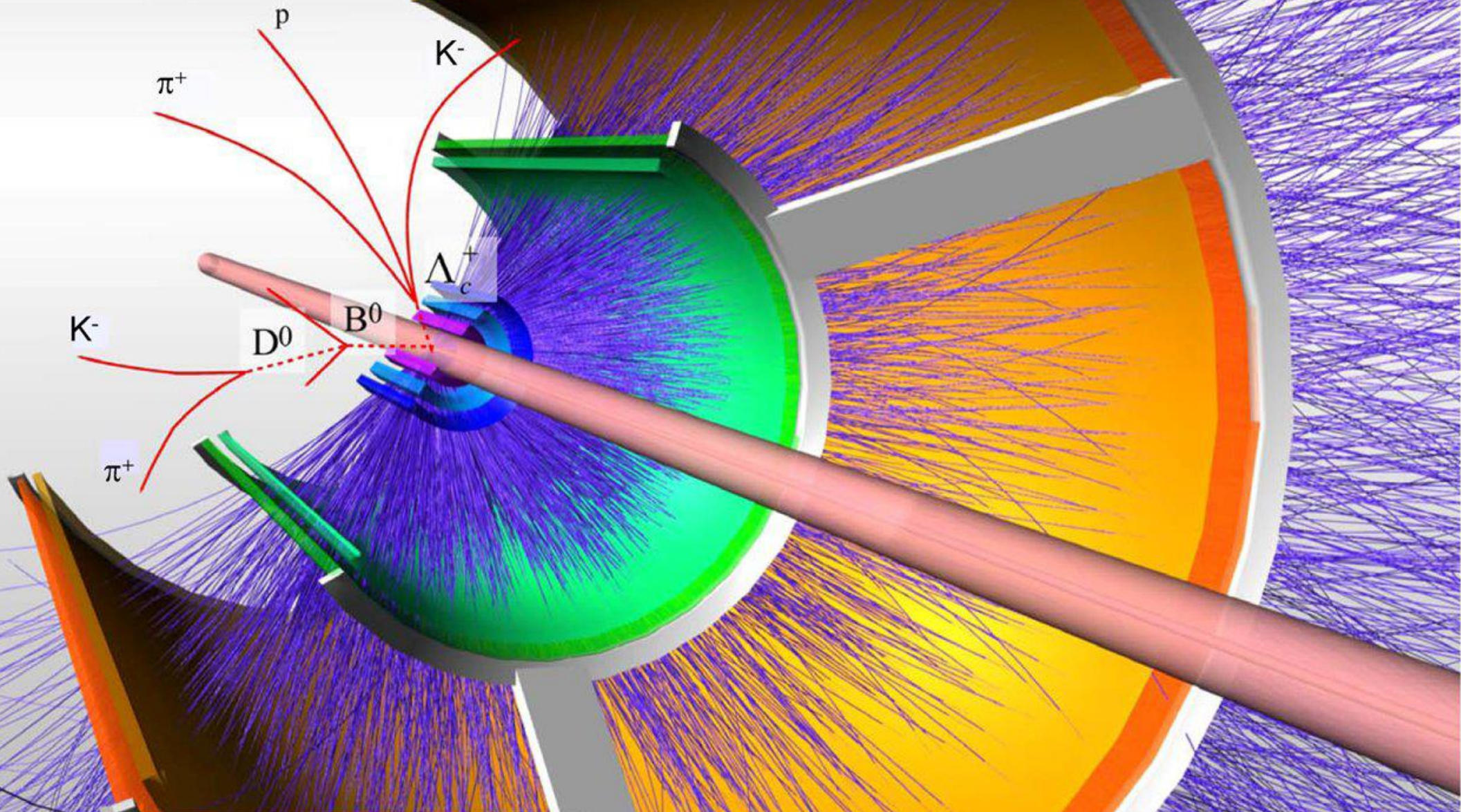
7 слоев ($22\text{mm} < r < 400\text{mm}$)
 $-1.3 \leq \eta \leq 1.3$

- ITS2 основан на технологии монолитных активных пиксельных сенсоров (MAPS = Monolithic Active Pixel Sensors)
- Активная площадь $\sim 10 \text{ м}^2$
- 12.5×10^9 пикселей
- Разрешение $\sim 5 \mu\text{m}$
- Потребляемая мощность $< 40 \text{ mW} / \text{cm}^2$
- Шум $\sim 1 \text{ Hz/cm}^2$
- X/X_0 (первые три слоя): 0.35%

Мотивация:

- Улучшение разрешения для вершин и треков с малыми импульсами
- Увеличение скорости считывания

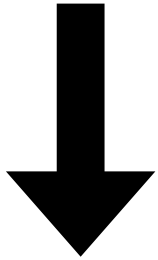




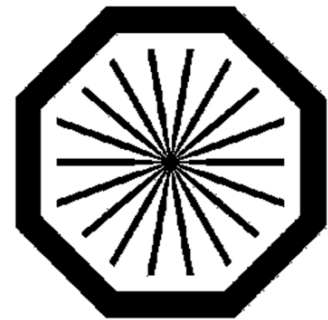
Sketch of the ITS upgrade with half a Pb-Pb event superimposed

ITS1 vs ITS2

425 × 50 μm



29 × 27 μm

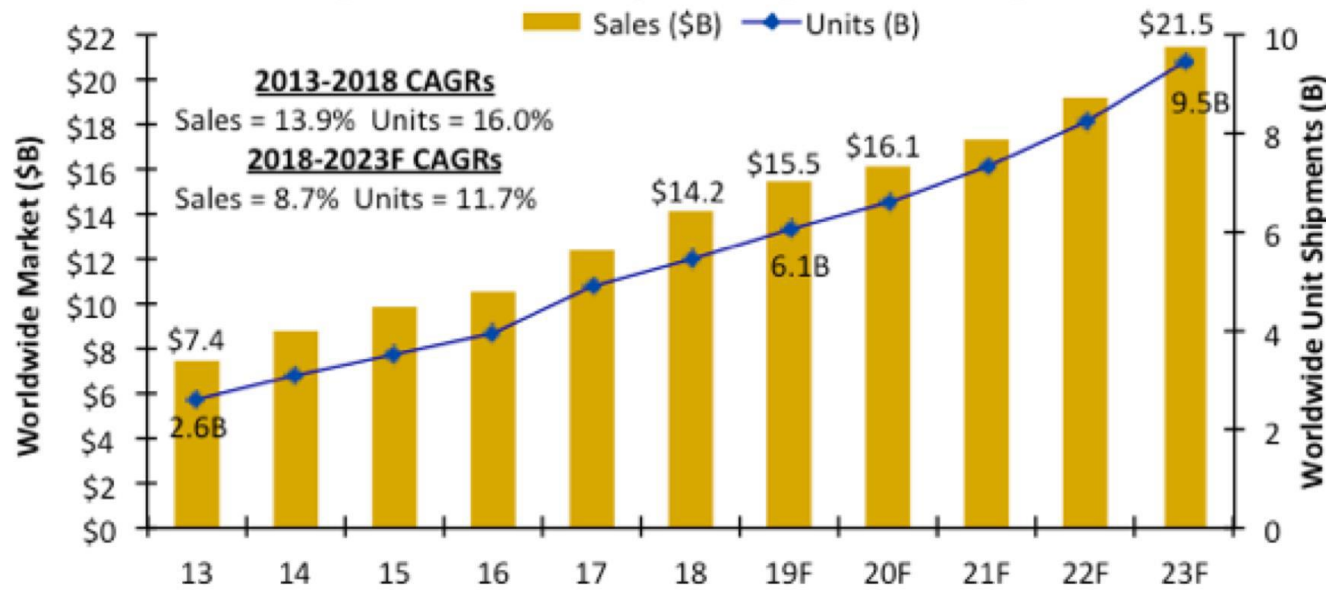


ALICE

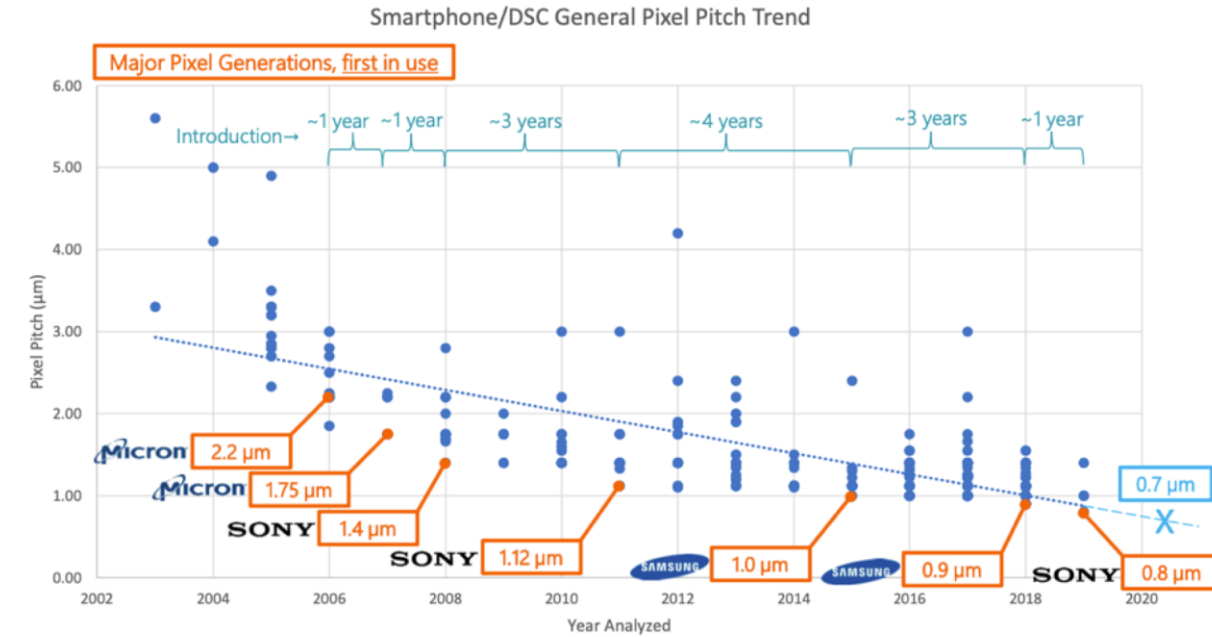
Тенденции в индустрии

Magnus Mager at the 1st ALICE 3 workshop

CMOS Image Sensors Keep Hitting Record-High Levels



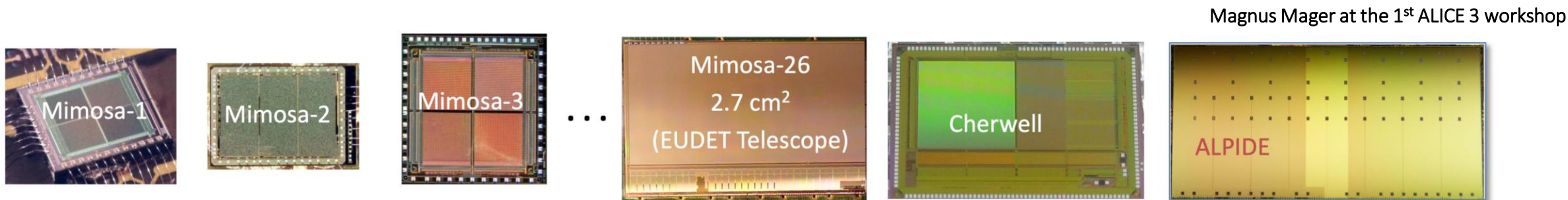
Source: IC Insights



Source: R. Fontaine, IISW 2019, USA

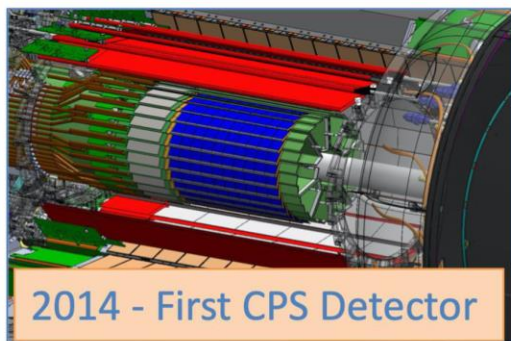
За технологией MAPS стоит большая индустрия

Применение MAPS в экспериментах

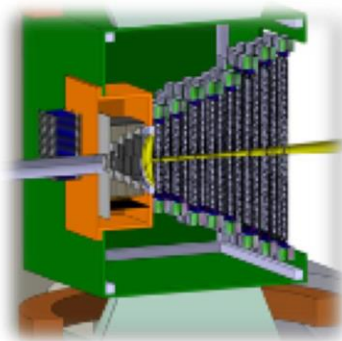


... several experiments have selected CMOS APS (STAR, ALICE, CBM, NICA MPD, sPHENIX, Mu3e)

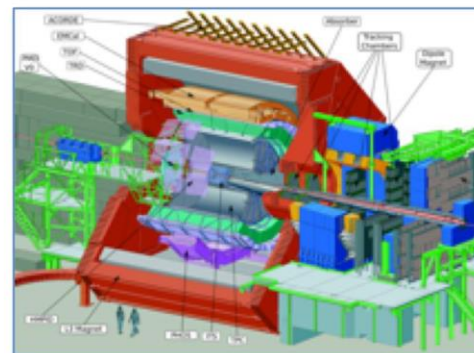
... and now intense R&D ongoing for HL-LHC (ATLAS) and ILC/CLIC



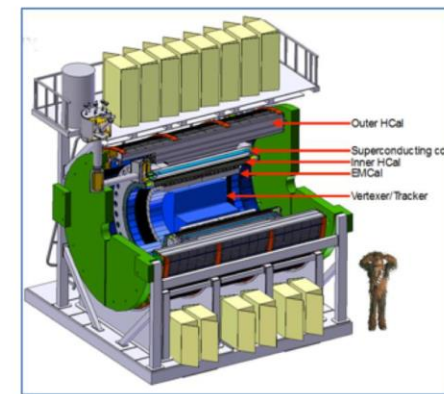
STAR HFT
0.16 m² – 356 M pixels



CBM MVD
0.08 m² – 146 M pixel



ALICE ITS Upgrade (and MFT)
10 m² – 13 G pixel

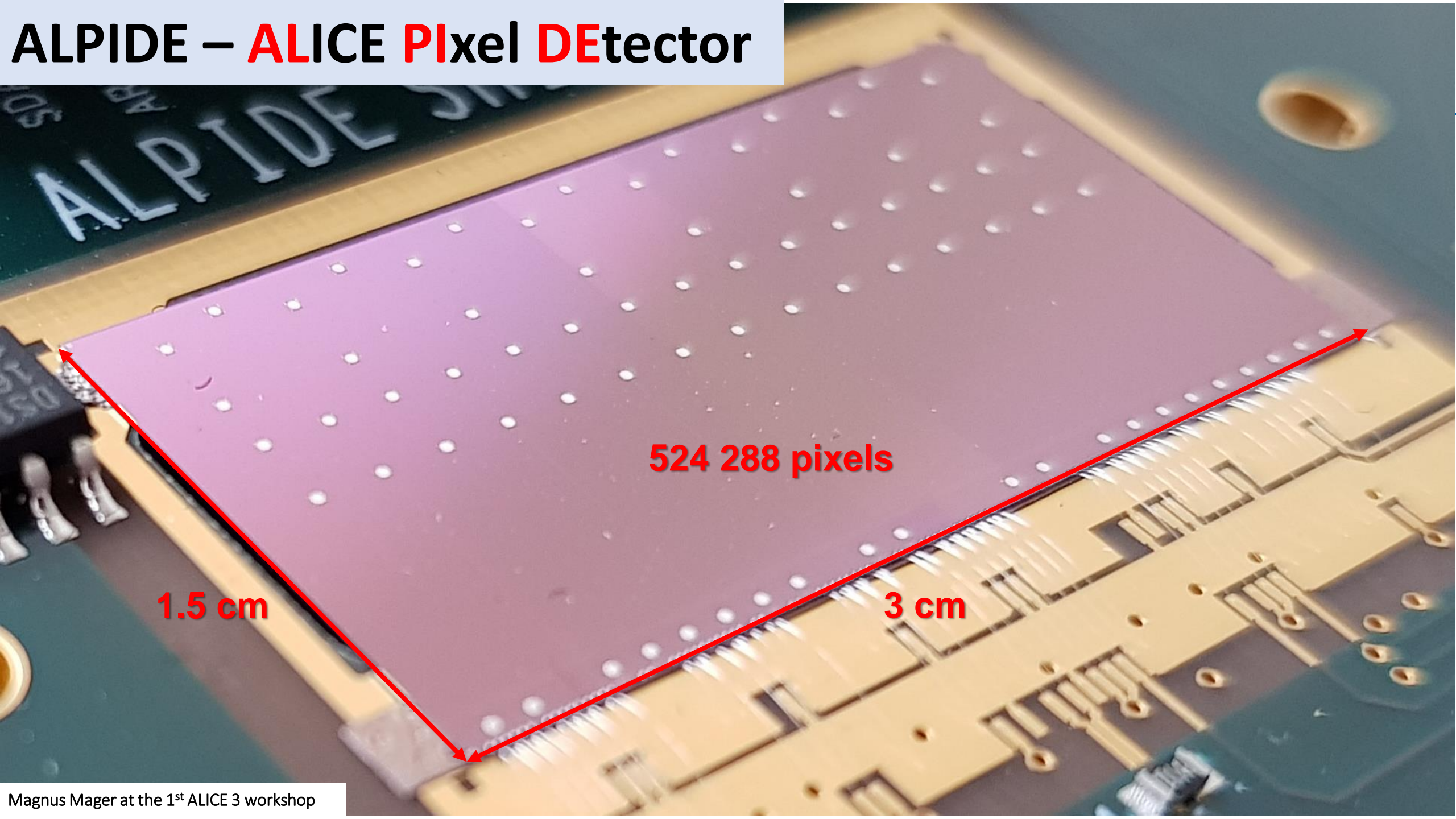


sPHENIX
0.2 m² – 251 M pixel
L. Musa (Schlechting 2020)

Технология «созрела» для широкого применения в НЕР...

по крайней мере в тех областях, где радиационные требования не такие жесткие, как в ATLAS/CMS

ALPIDE – ALICE Pixel DEtector



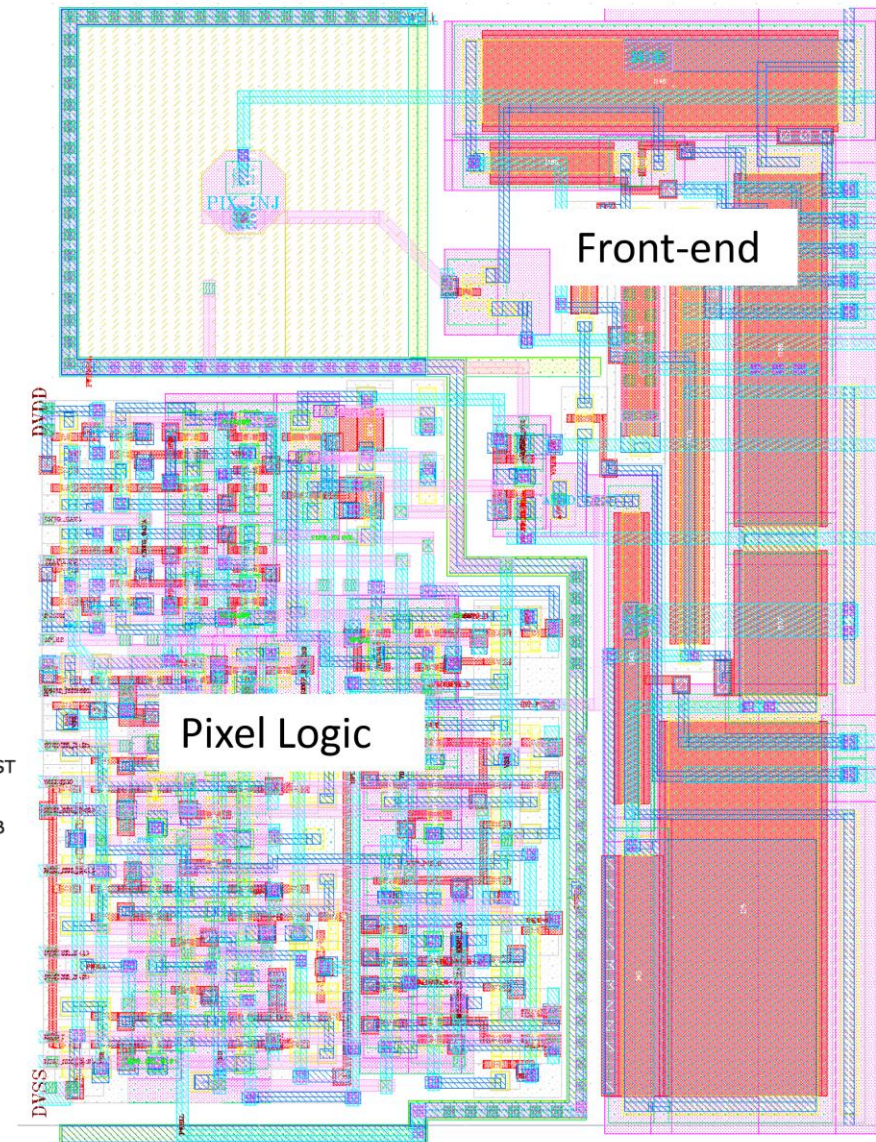
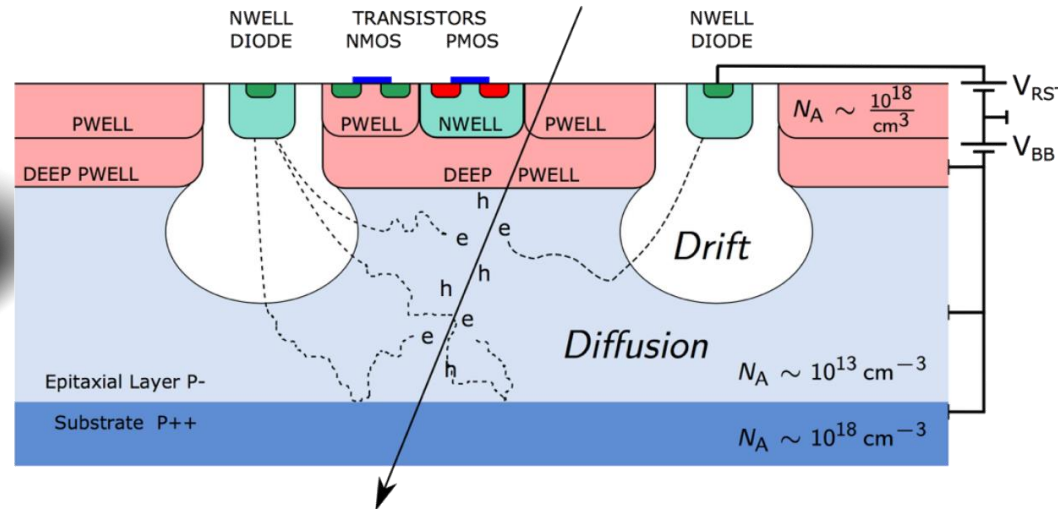
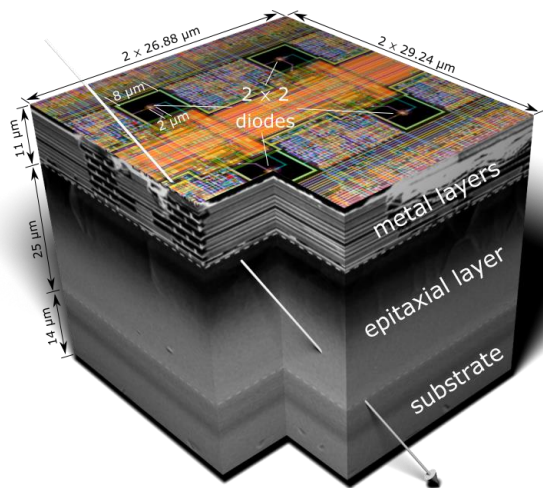
524 288 pixels

1.5 cm

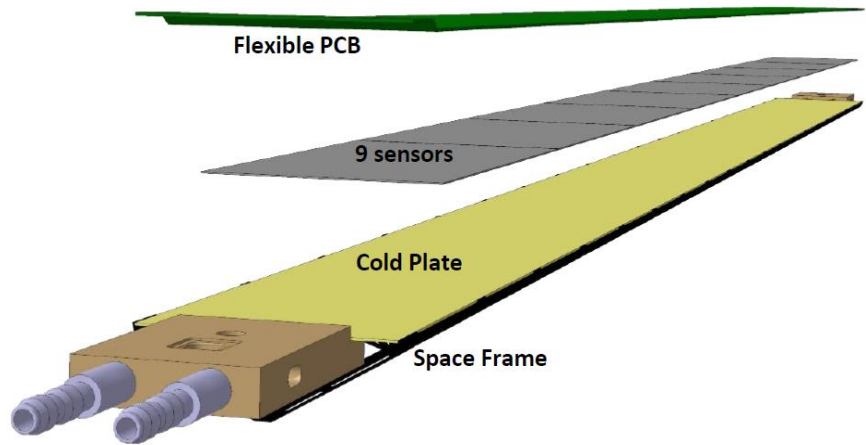
3 cm

ALPIDE: основные характеристики

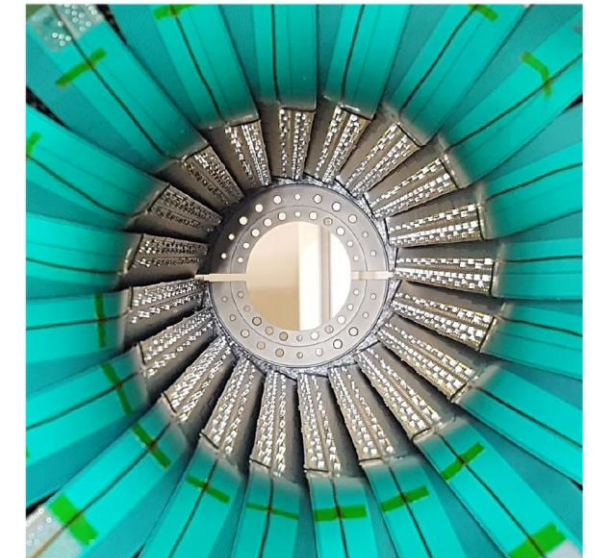
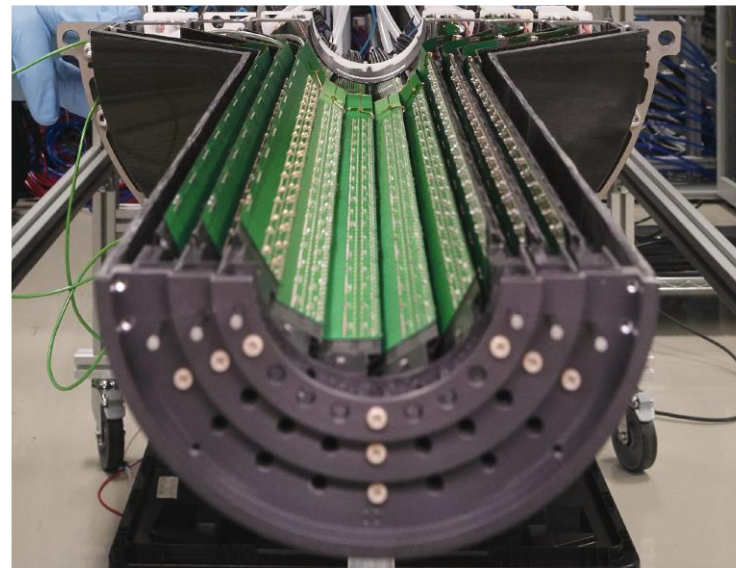
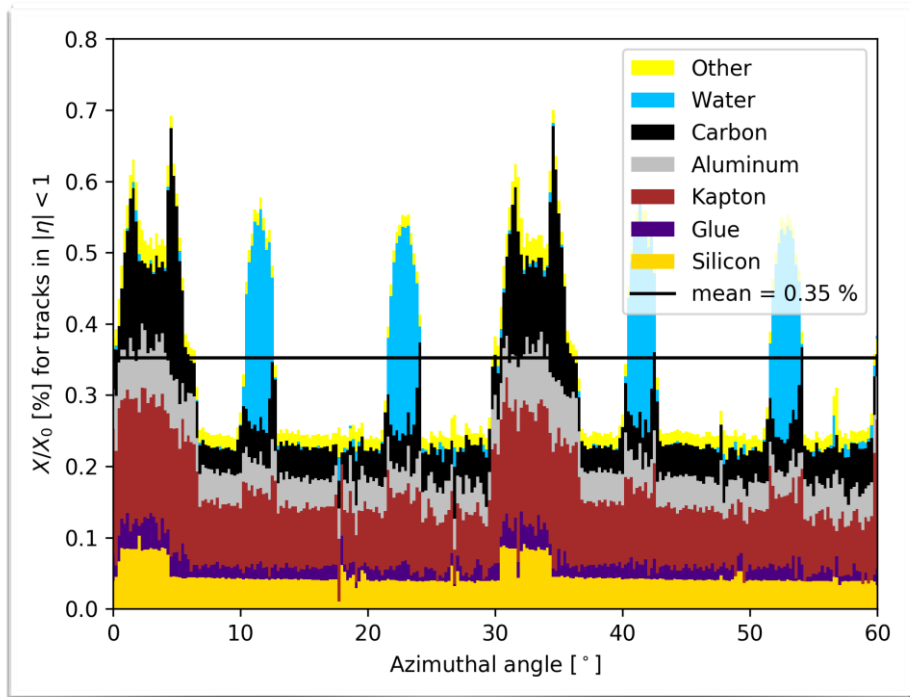
- Сотни транзисторов на один пиксель
- Высокая гранулярность
 - $O(30 \times 30 \text{ }\mu\text{m})$, масштабируемая с технологией
- Высокая эффективность
- Радиационная устойчивость
- Подтверждена работа в больших приложениях
 - Низкий уровень шума
- Стандарт индустрии – можно просто купить
- В ALICE хороший опыт



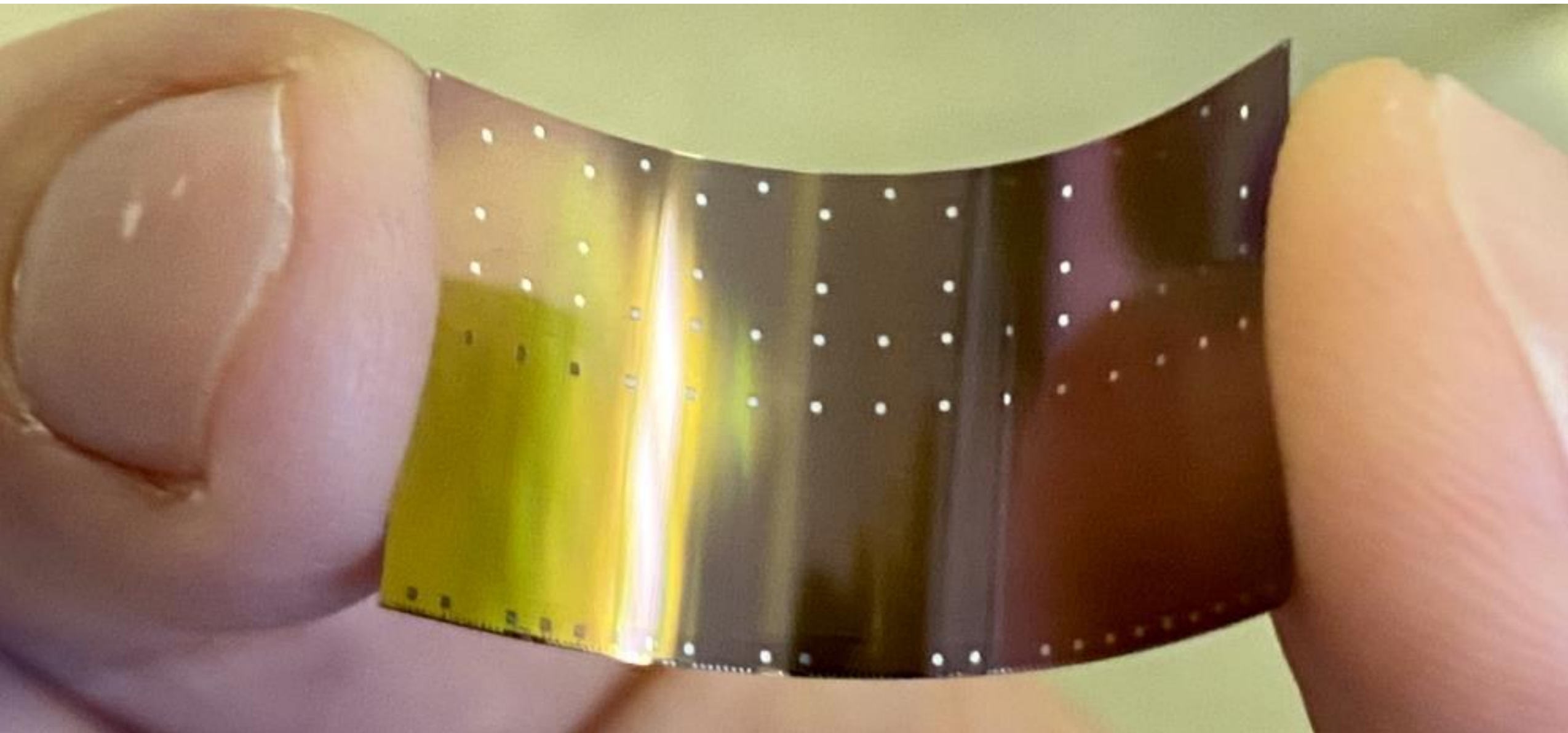
Радиационная длина внутренних слоев ITS2



- Некоторые наблюдения:
 - Кремний: только 15% от полной радиационной длины
 - Неравномерности связаны с поддерживающей структурой и водяным охлаждением
- Можно ли убрать водяное охлаждение?
 - Да, если потребляемая мощность будет ниже 20мВт/см²
- Можно ли убрать печатную плату (питание и данные)?
 - Да, можно интегрировать всё на чипе
- Что делать с поддерживающей структурой?

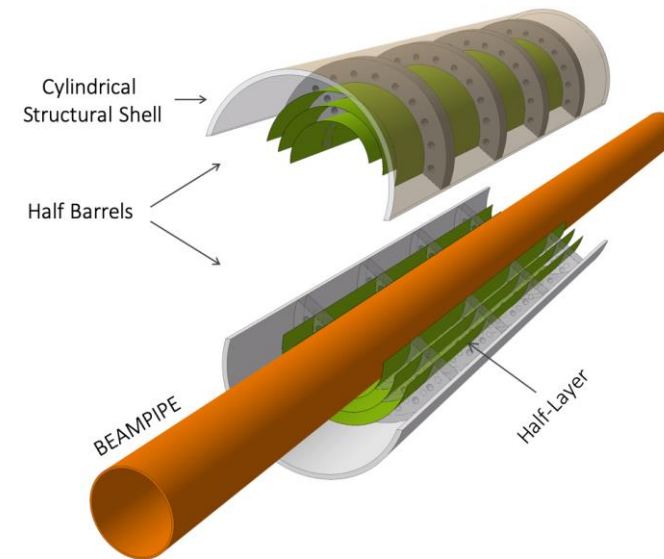
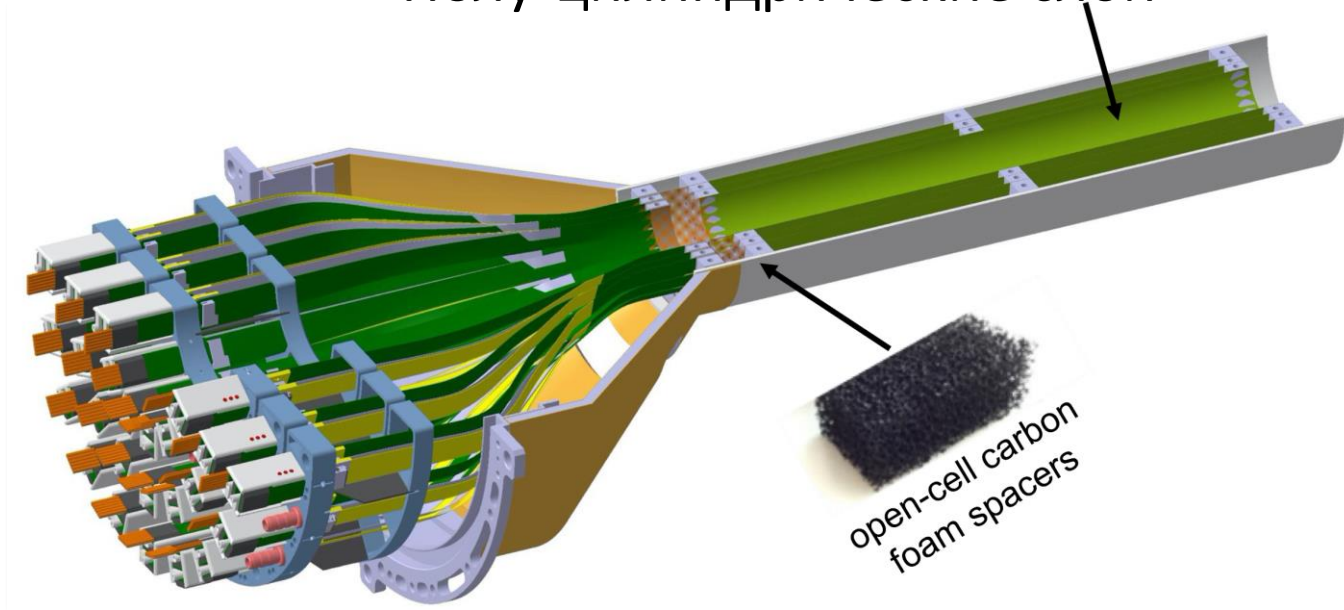


Чип можно изогнуть!



Концепция детектора ITS3 для Run4

Полу-цилиндрические слои



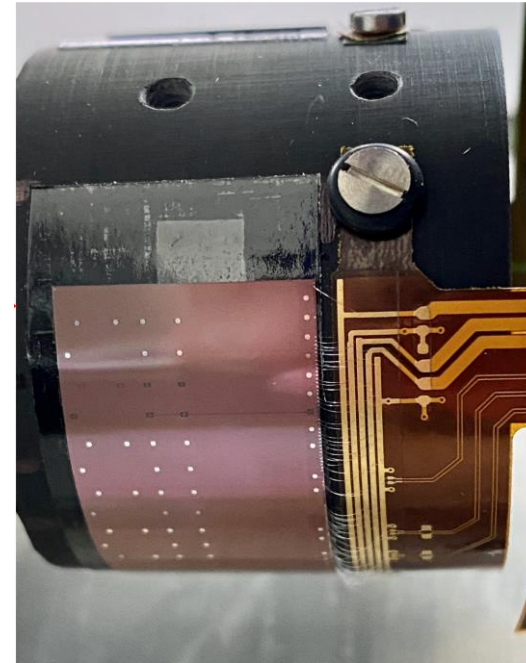
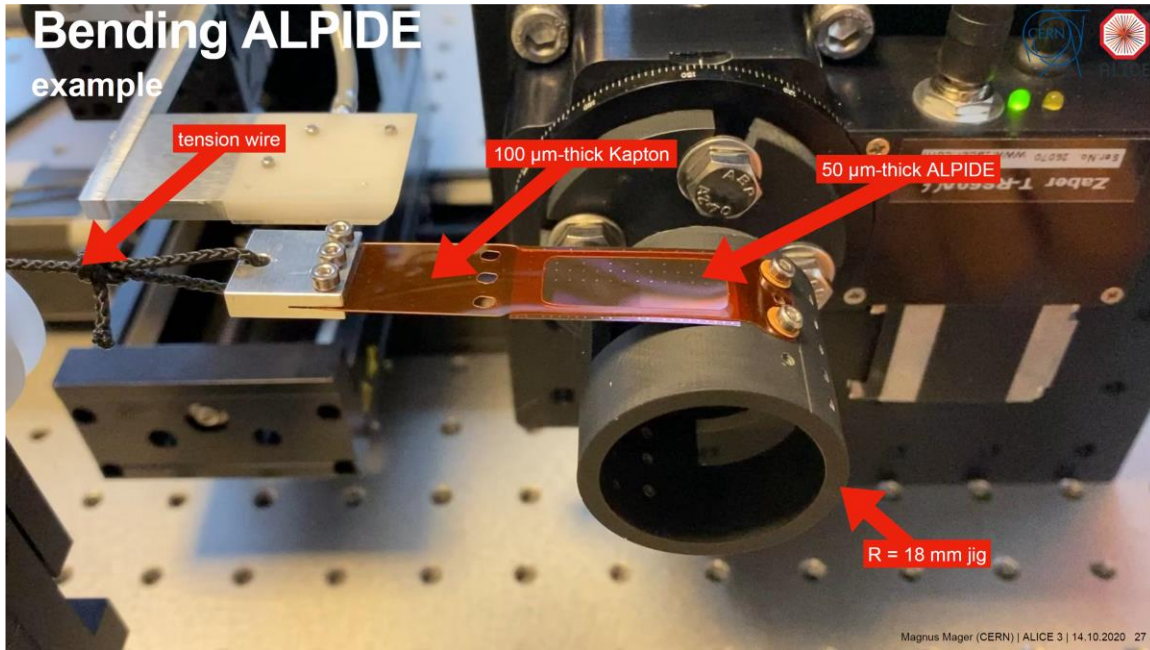
Beam pipe Inner/Outer Radius (mm)	16.0/16.5		
IB Layer Parameters	Layer 0	Layer 1	Layer 2
Radial position (mm)	18.0	24.0	30.0
Length (sensitive area) (mm)	300		
Pseudo-rapidity coverage	± 2.5	± 2.3	± 2.0
Active area (cm ²)	610	816	1016
Pixel sensor dimensions (mm ²)	280 x 56.5	280 x 75.5	280 x 94
Number of sensors per layer	2		
Pixel size (μm^2)	0 (10 x 10)		

Технология сшивания (stitching) позволяет делать чипы размером с кремниевую пластину (диаметр до 30 см)

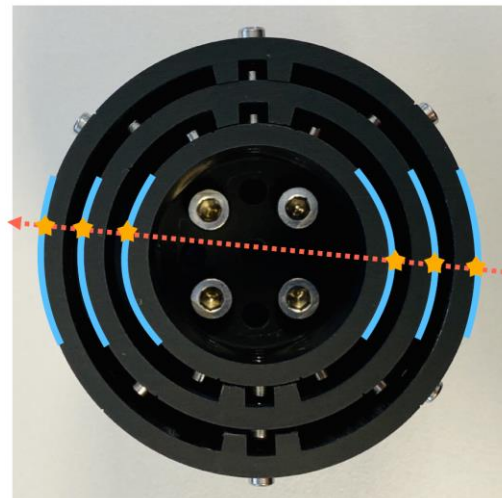
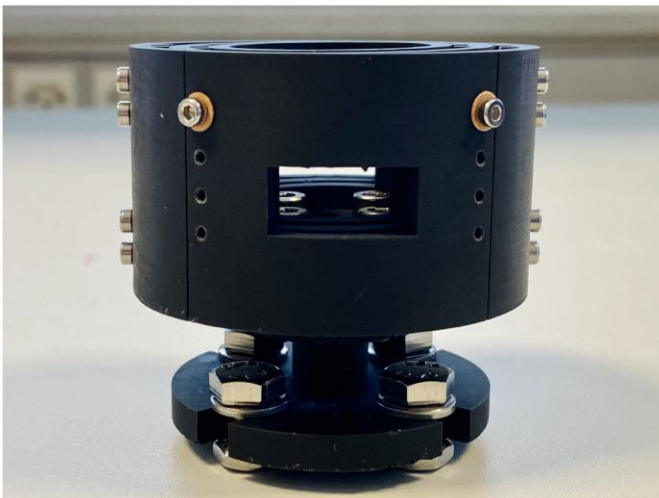
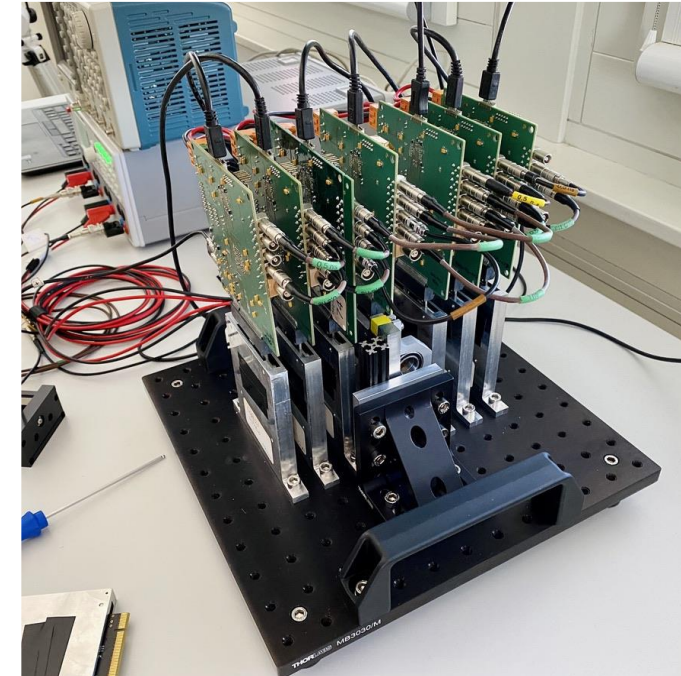
Lol: <https://cds.cern.ch/record/2703140>

Endorsed by LHCC on Sep 2019

Тесты с изогнутыми чипами



Magnus Mager at the 1st ALICE 3 workshop



- Пока со стандартным ALPIDE (50 мкм)
- Прототип:
 - три слоя с проектными радиусами (18, 24, 30 мм)
 - 6 точек
 - окошко: только чипы без дополнительного материала

Спецификация для ITS3 (Run 4)

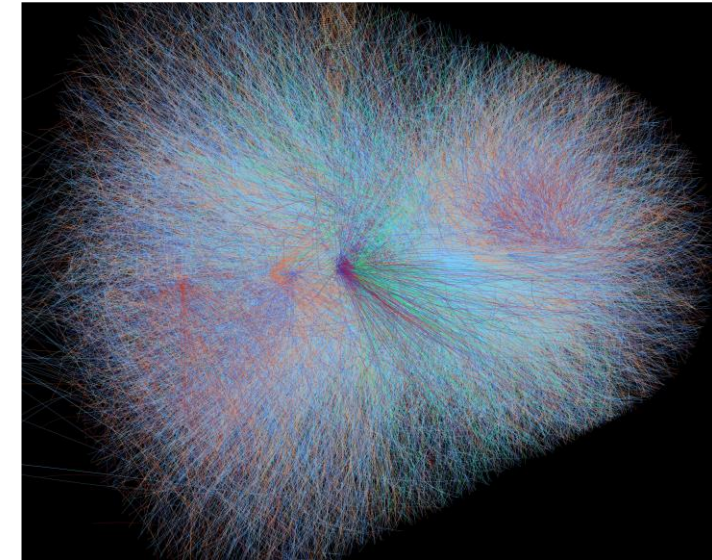
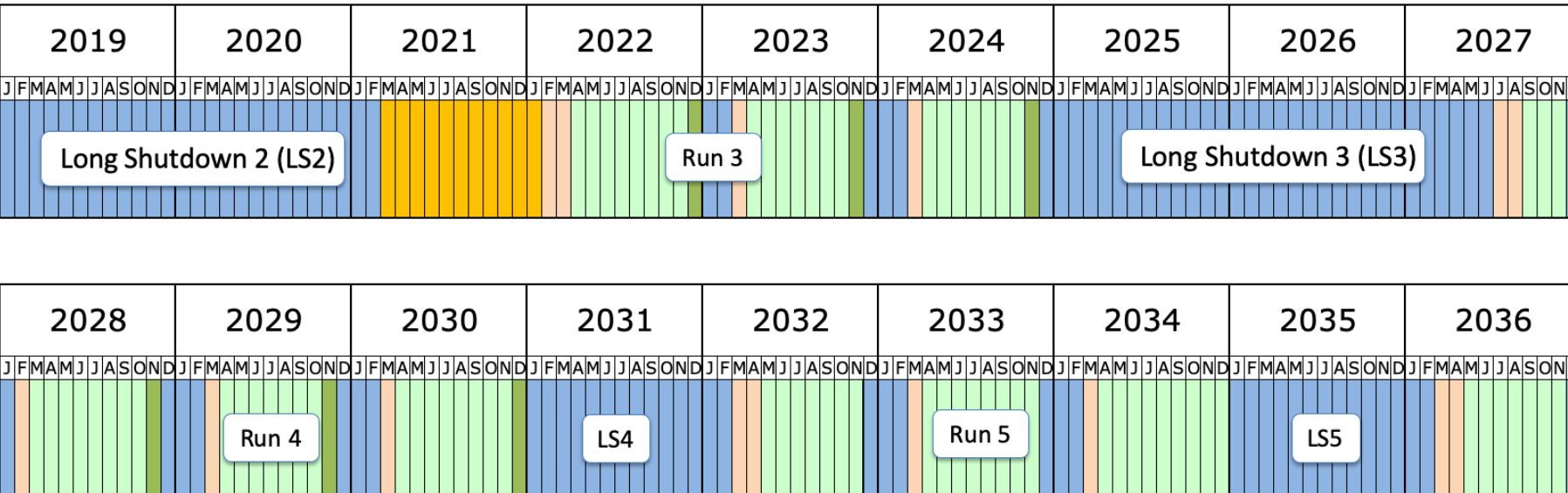
Parameter	ALPIDE (existing)	Wafer-scale sensor (this proposal)
Technology node	180 nm	65 nm
Silicon thickness	50 μm	20-40 μm
Pixel size	27 x 29 μm	O(10 x 10 μm)
Chip dimensions	1.5 x 3.0 cm	scalable up to 28 x 10 cm
Front-end pulse duration	$\sim 5 \mu\text{s}$	$\sim 200 \text{ ns}$
Time resolution	$\sim 1 \mu\text{s}$	$< 100 \text{ ns}$ (option: $< 10 \text{ ns}$)
Max particle fluence	100 MHz/cm ²	100 MHz/cm ²
Max particle readout rate	10 MHz/cm ²	100 MHz/cm ²
Power Consumption	40 mW/cm ²	$< 20 \text{ mW/cm}^2$ (pixel matrix)
Detection efficiency	$> 99\%$	$> 99\%$
Fake hit rate	$< 10^{-7}$ event/pixel	$< 10^{-7}$ event/pixel
NIEL radiation tolerance	$\sim 3 \times 10^{13}$ 1 MeV n _{eq} /cm ²	10^{14} 1 MeV n _{eq} /cm ²
TID radiation tolerance	3 MRad	10 MRad

TowerJazz 180 nm (20 cm wafers) -> TowerJazz 65 nm (30 cm wafers)

- Можно сделать чип длиной 28 см – одного чипа достаточно на всю длину
- Более высокая интеграция
- Более низкое энергопотребление
- Меньшая стоимость на квадратный метр

Что делать дальше?

- Программа эксперимента ALICE одобрена только до конца Run 4
- Дальнейшее увеличение светимости невозможно из-за ограничений ТРС: объемный заряд (искажения до 10 см) и плотность треков (загрузка до 40% на внутренних областях)
- Что делать после 2030 года?

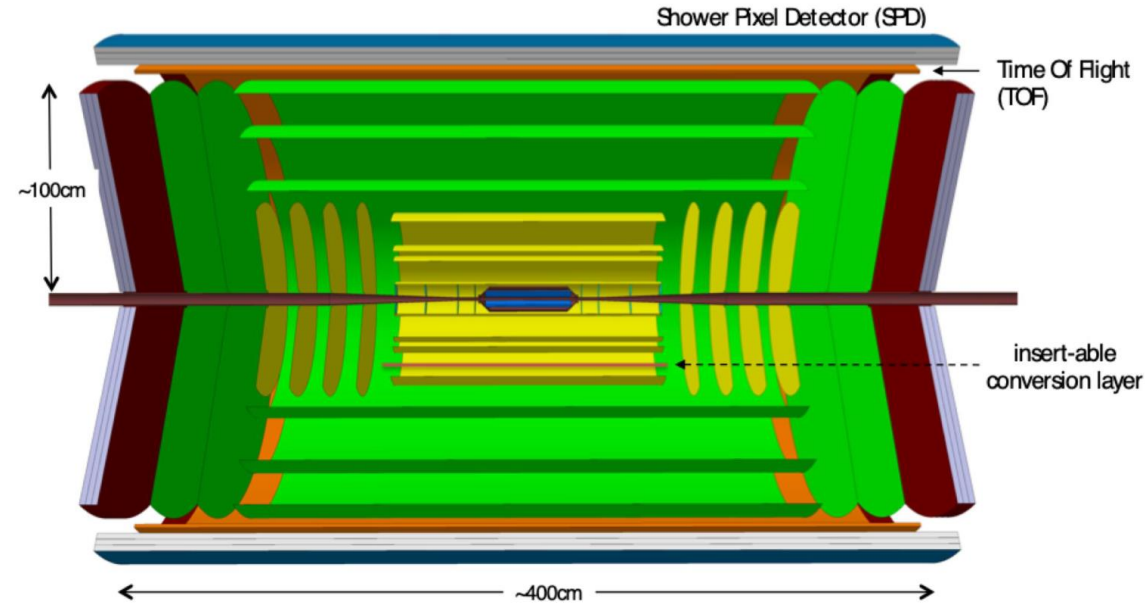


courtesy D. Rohr

Next-generation heavy ion experiment (ALICE 3)

Идея: полностью силиконовый детектор

- Монолитные слои MAPS (разрешение $\sim 3\mu\text{m}$)
- Очень маленькая радиационная длина: $0.05\% X_0/\text{слой}$
- Большой аксептанс $|\eta| < 4$
- Трекинг до очень малых p_T (от 20-30 МэВ)
- PID: TOF (20 пс), shower-pixel detector
- Светимости в 50 раз больше по сравнению с Run3-4: $\langle L_{NN} \rangle$ до $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Основные цели:
 - Фотонные и дилептонные спектры при ультра-малых поперечных импульсах
 - Детальные исследования очарованных и экзотических барионов: $\chi(3872)$, Ξ_{cc} и т.д.

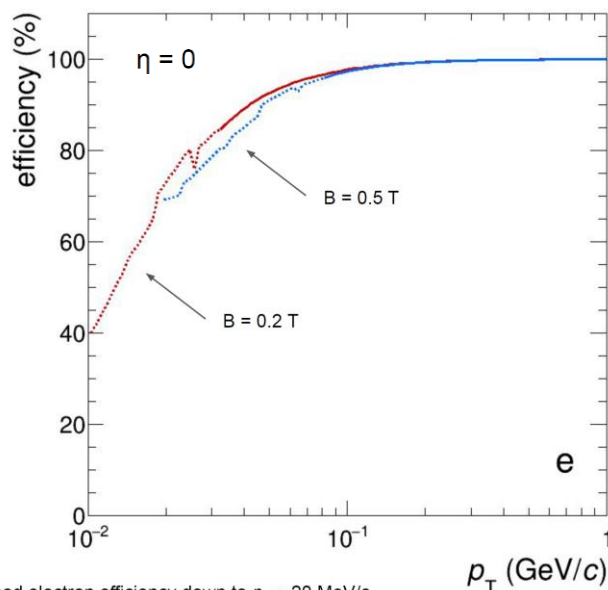
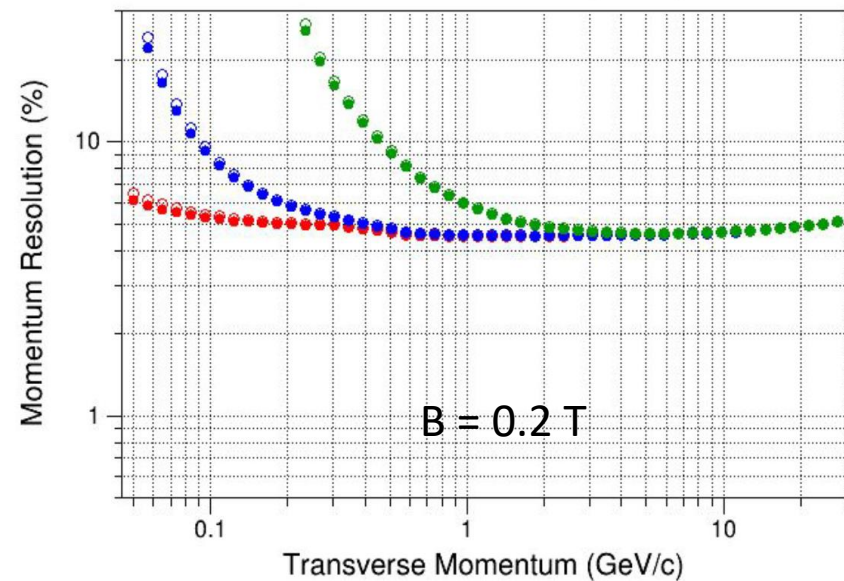
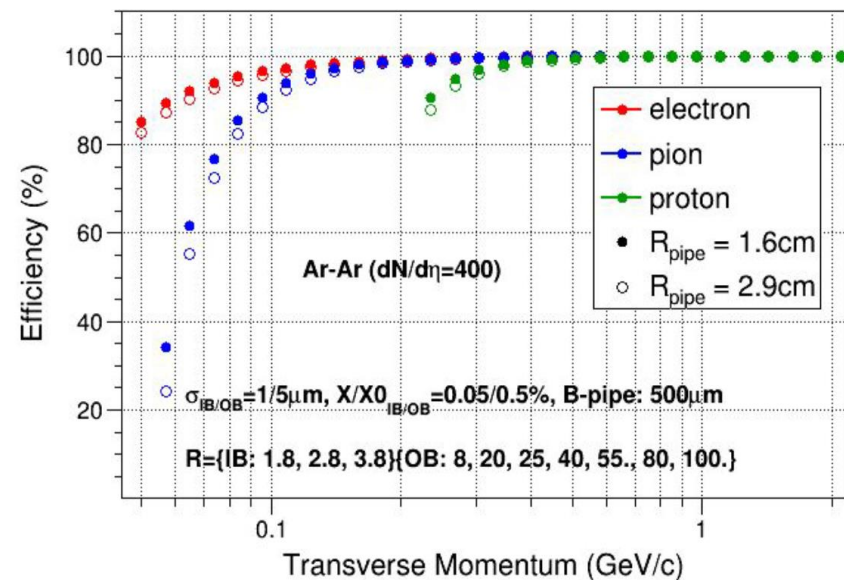


Основные ссылки:

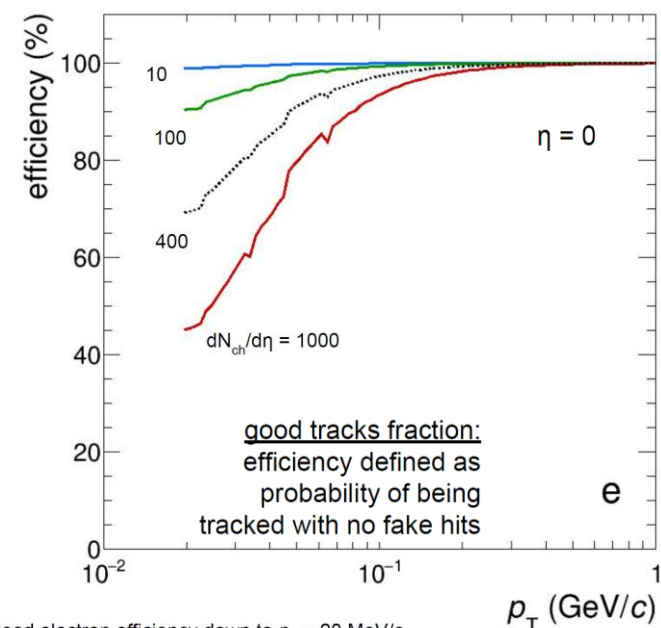
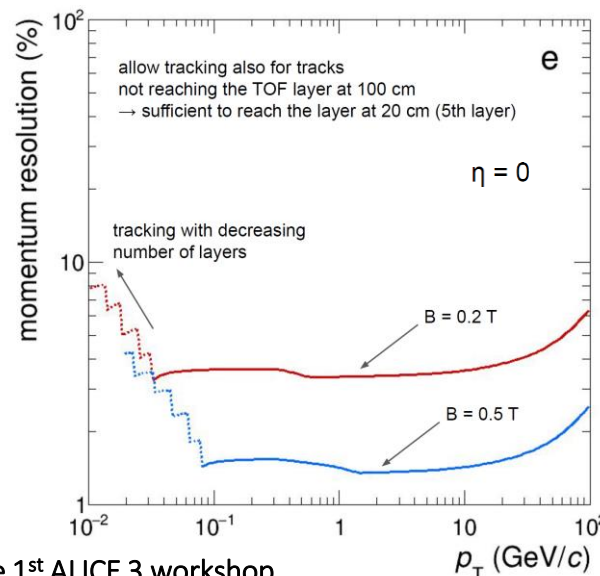
- Eol: [A next-generation LHC heavy-ion experiment](https://indico.cern.ch/event/953710/). 1902.01211
- Workshop on ALICE 3: <https://indico.cern.ch/event/953710/>

	$^{16}\text{O}^{8+}$	$^{40}\text{Ar}^{18+}$	$^{40}\text{Ca}^{20+}$	$^{78}\text{Kr}^{36+}$	$^{129}\text{Xe}^{54+}$	$^{208}\text{Pb}^{82+}$
$\langle L_{AA} \rangle \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	4.54×10^{31}	2.45×10^{30}	1.69×10^{30}	1.68×10^{29}	2.95×10^{28}	3.8×10^{27}
$\langle L_{NN} \rangle \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	1.16×10^{34}	3.93×10^{33}	2.71×10^{33}	1.02×10^{33}	4.91×10^{32}	1.64×10^{32}

Оптимизация трекера



good electron efficiency down to $p_T \sim 20\text{ MeV/c}$
for the $B = 0.5\text{ T}$ field configuration, could go even lower with $B = 0.2\text{ T}$



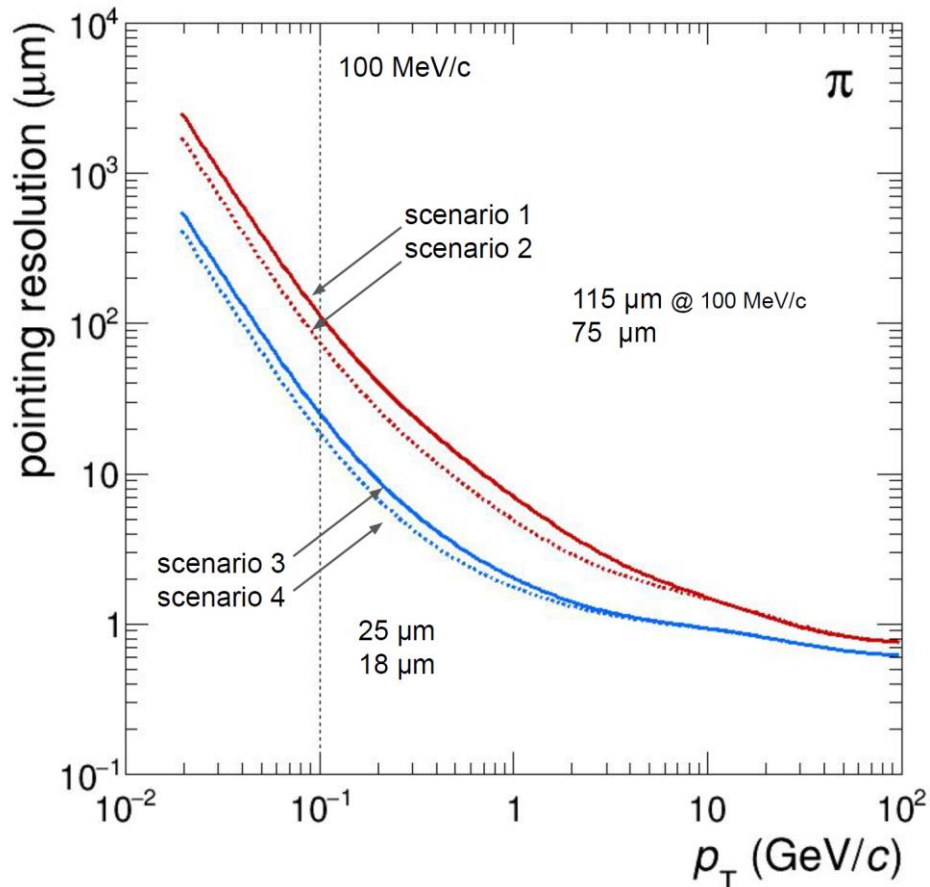
good electron efficiency down to $p_T \sim 20\text{ MeV/c}$
even at high charged-particle multiplicity

- Разрешение по импульсу зависит от:
 - Магнитного поля ($B \sim 0.2 - 0.5\text{ T}$)
 - Разрешения детектора ($\sim 5\text{ мкм}$)
 - Многократного рассеяния ($X/X_0 \sim 0.1\%$ на слой)
- При малых магнитных полях многократное рассеяние доминирует

Первый слой

Разрешение по прицельному параметру зависит от радиуса первого слоя:

- $\propto r_0 \cdot \sqrt{X/X_0}$ (in m.s. dominated regime)
- $\propto \sqrt{C + r_0/R}$ (in resolution dominated regime)



Минимальный радиус определяется требованиями LHC:

- статический: ~ 15 мм (требование при инжекции)
- убирающийся: ~ 5 мм (требование для стабильных пучков)

Несколько сценариев:

- $r_0 = 15$ mm, $0.15 X/X_0$
(static design outside of 500 μm Be beam pipe)
- $r_0 = 15$ mm, $0.04 X/X_0$
(static design in secondary vacuum separated by 150 μm Be foil)
- $r_0 = 5$ mm, $0.04 X/X_0$
(retractable design in secondary vacuum separated by 150 μm Be foil)
- $r_0 = 5$ mm, $0 X/X_0$
(retractable design in primary vacuum)

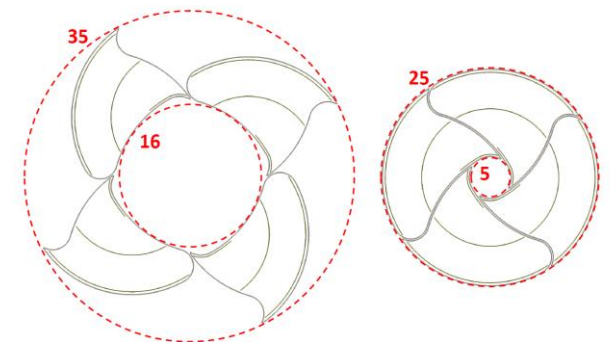
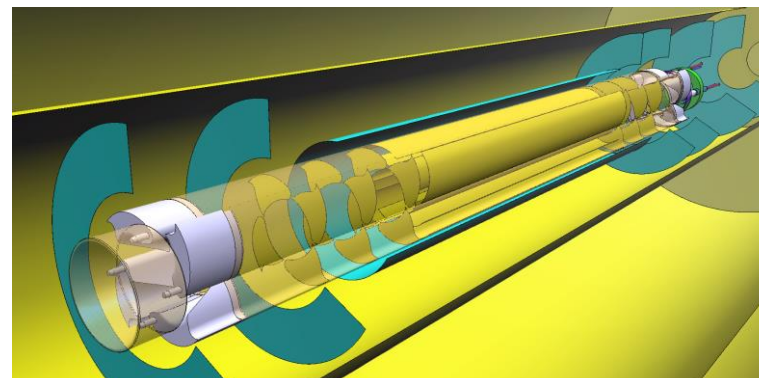
Scenario 1

Scenario 2

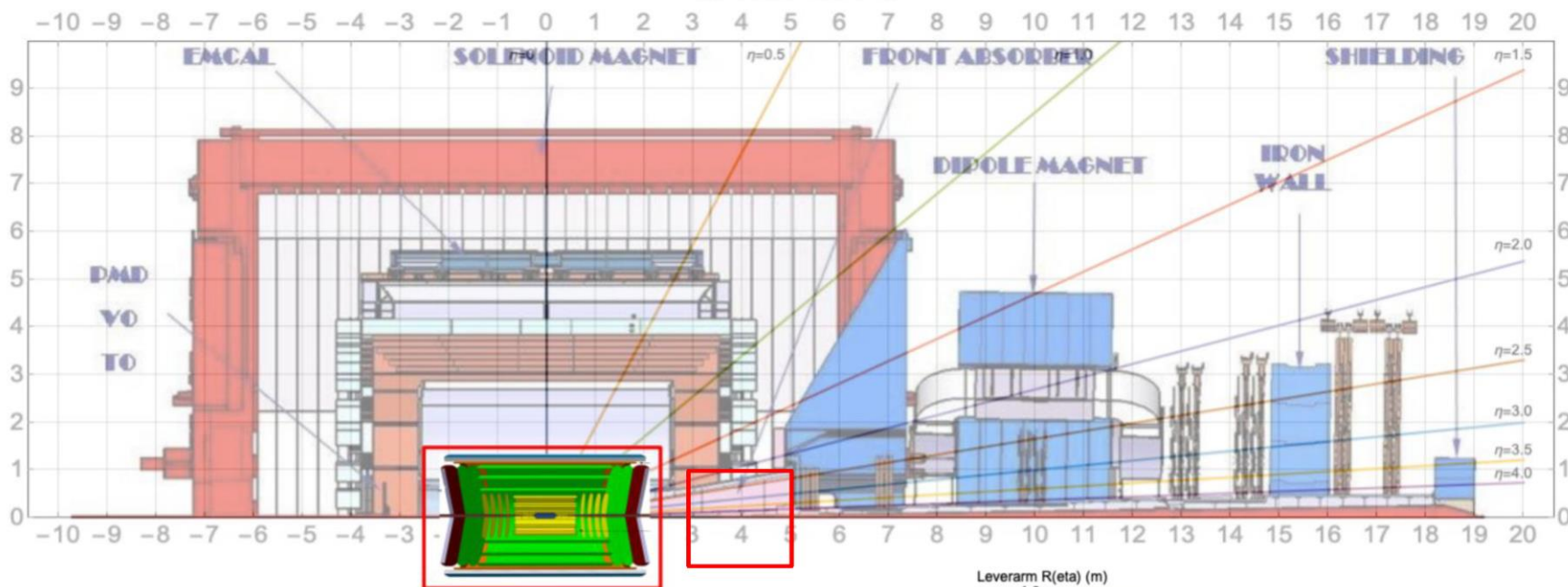
Scenario 3

Scenario 4

Убирающийся (retractable) первый слой: Iris tracker

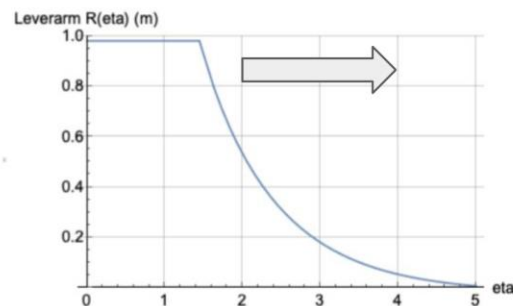


Трекинг в области больших быстрот



install forward discs inside the L3 magnet
increase η coverage depending on the location

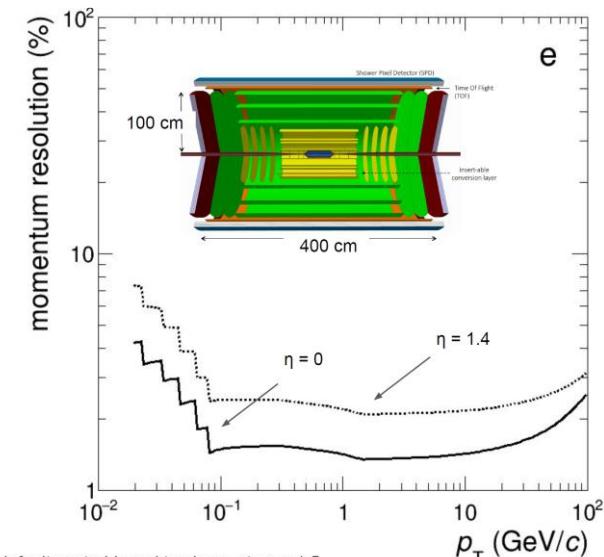
$z = 300, 400, 500$ cm
100% lever arm up to $\eta = 1.8, 2.1, 2.3$



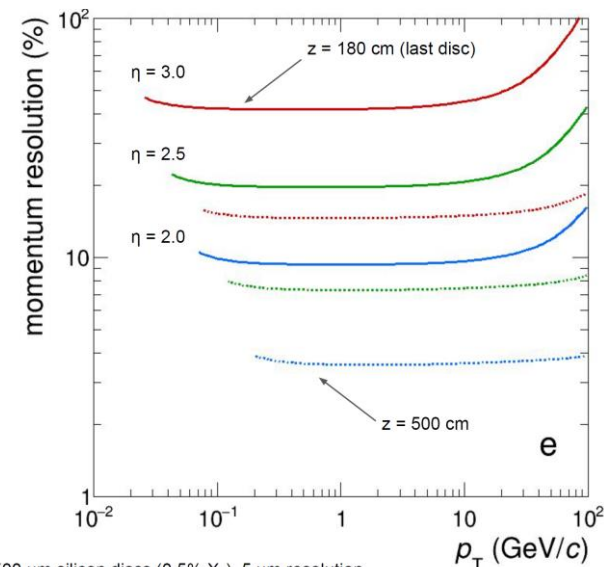
L3 магнит дорогой в эксплуатации (5МВт) + нужны большие инвестиции в L3 (2.5MCHF).

Рассматриваются различные возможности:

- Новый маленький «теплый» соленоид
- Новый маленький «теплый» соленоид + диполь



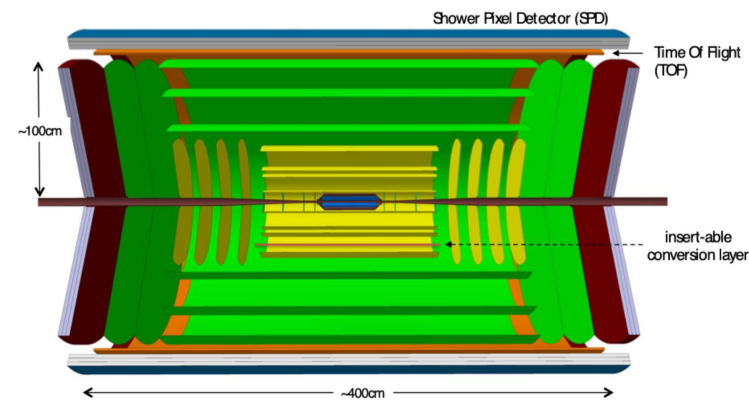
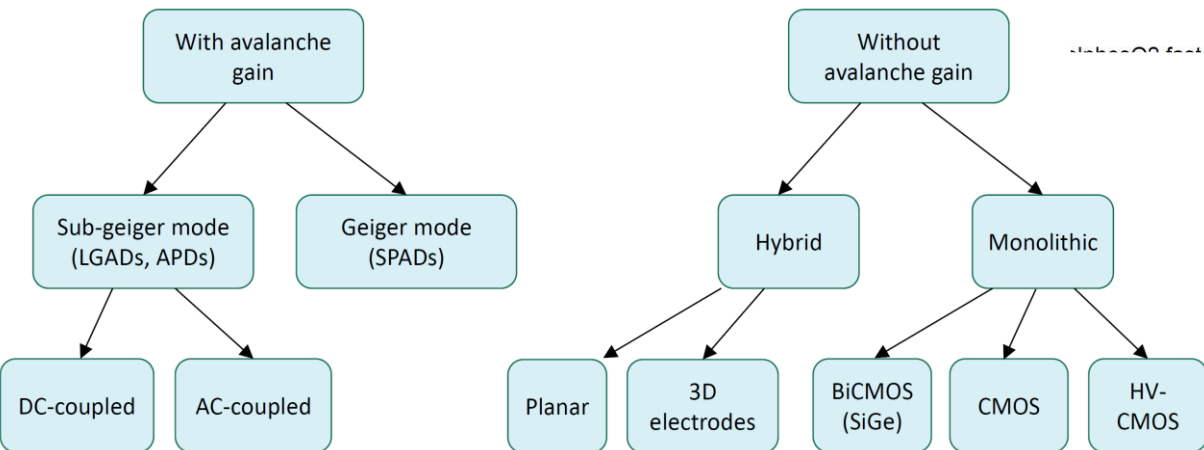
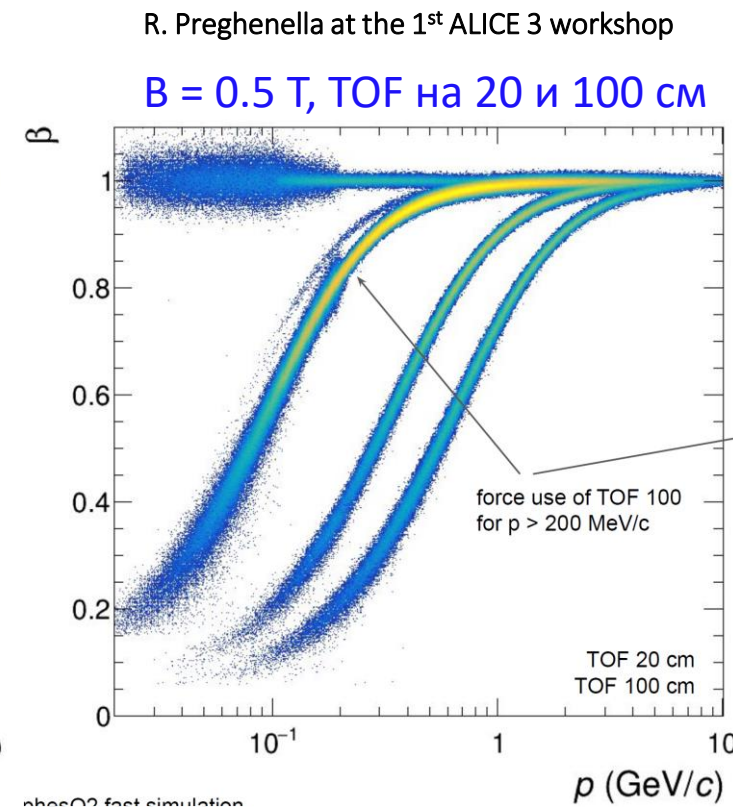
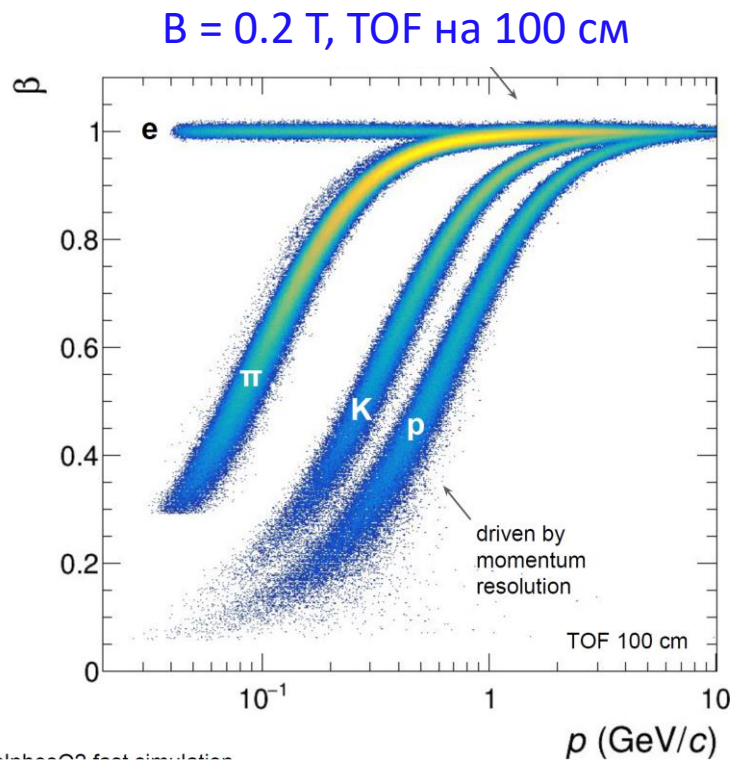
default central-barrel tracker up to $\eta < 1.5$
tracking at larger rapidities with forward silicon discs



500 μ m silicon discs (0.5% X_0), 5 μ m resolution

PID: Времяпролетный детектор

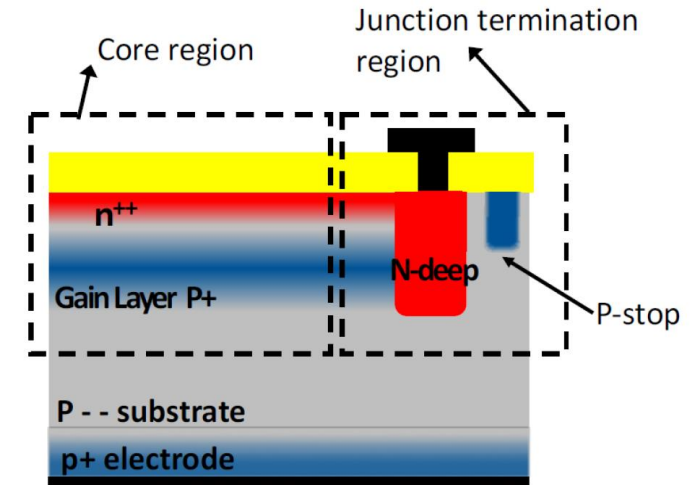
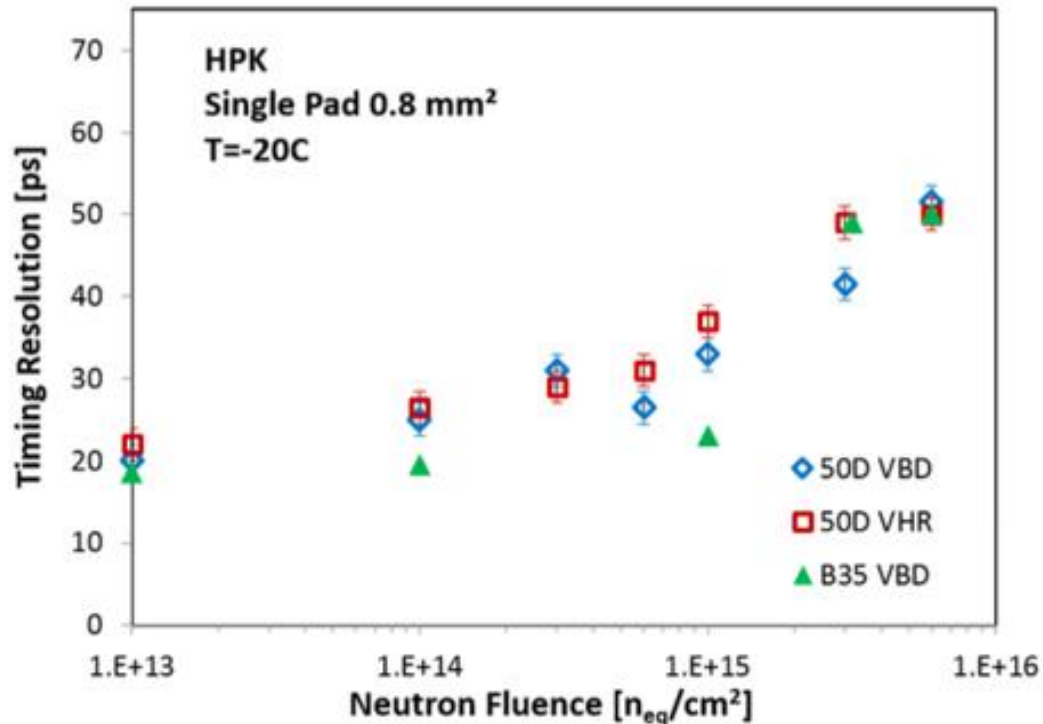
- На маленькой длине пролета (1м) требуется хорошее разрешение по времени TOF ~ 20 пс
- Проблема: при больших полях электроны не долетают до внешнего слоя
- Возможные решения:
 - $B = 0.2$ Т, 1 слой TOF на 100 см
 - $B = 0.5$ Т, 2 слоя TOF на 20 и 100 см
- Выбор технологии



Low Gain Avalanche Diode

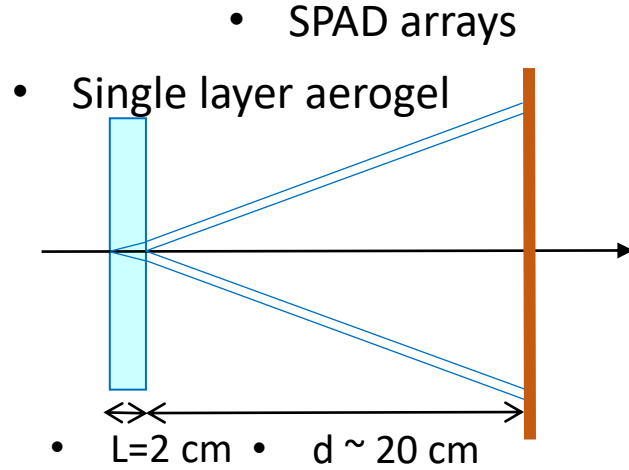
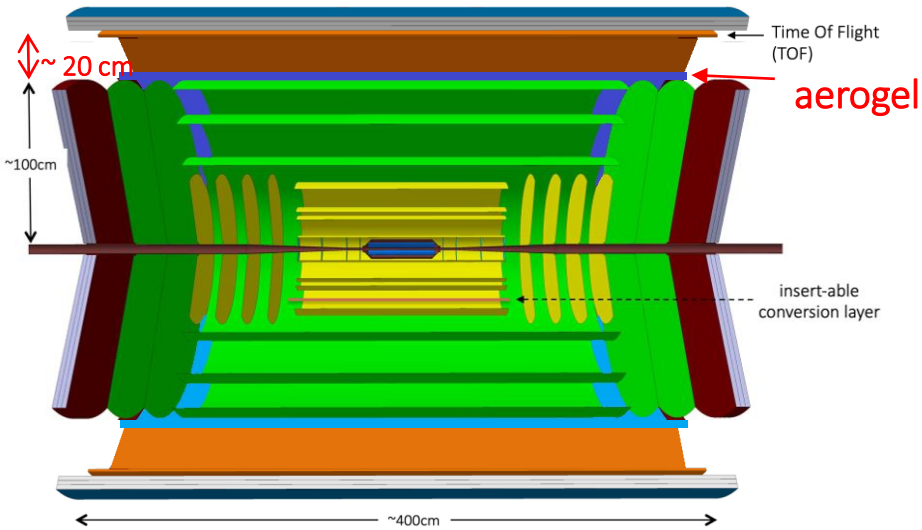
LGAD (Low Gain Avalanche Diode)

- Технология, предложенная для LS3 апгрейда в [ATLAS](#) и [CMS](#)
- Высокая радиационная устойчивость ($10^{14} - 10^{15} \text{ 1 MeV } n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$)
- Не очень хорошая гранулярность $O(1 \text{ mm}^2)$
- Большая мертвая зона
- Тонкий слой допинга – плохой контроль усиления

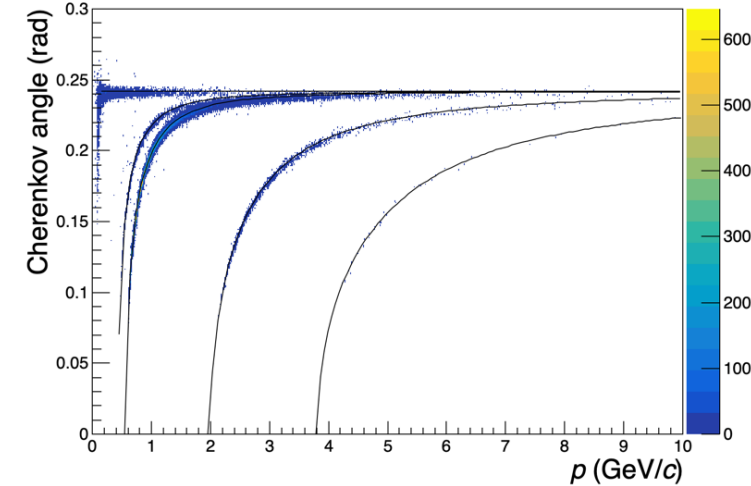


- Стоимость $\sim 50 \text{ CHF}/\text{cm}^2$
- Можно ли сделать TOF сенсоры с использованием стандартной КМОП технологии?
- Возможно SPADs (Single photon avalanche diodes), но
 - Шум порядка $100\text{kHz}/\text{mm}^2$

RICH и Pixel Shower Detectors



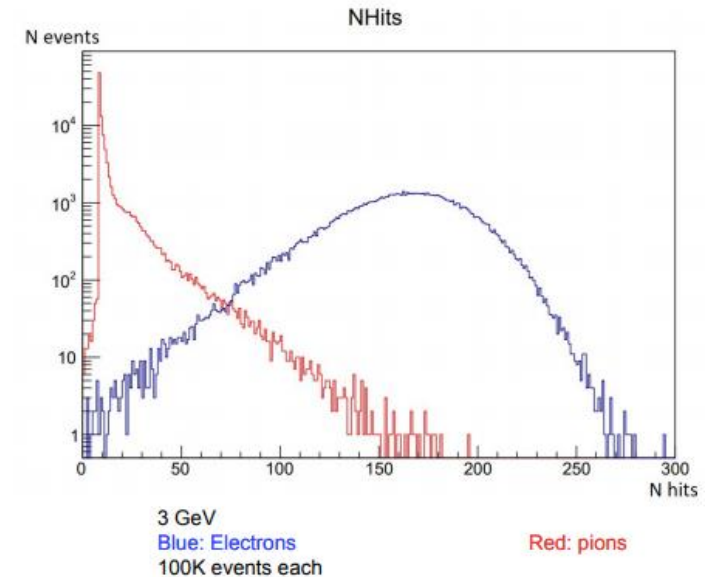
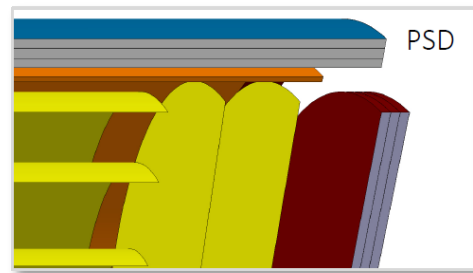
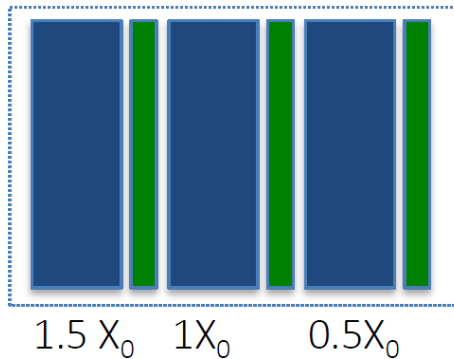
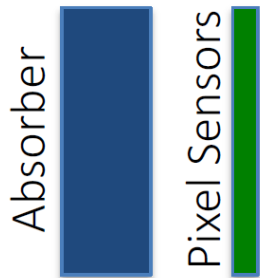
A. Di Mauro at the 1st ALICE 3 workshop



- TOF для детектирования черенковских фотонов?

X_0 (Pb) = 0.56 cm

Pixel Shower Detector



Физическая программа

- Адроны с тяжелыми кварками

- Адроны с несколькими с кварками: $\Xi_{cc}, \Omega_{cc}, \Omega_{ccc}$
- Точные измерения с B мезонами при малых p_T
- X, Y, Z резонансы, например X(3872)



Механизм адронизации

- Спектр диэлектронов

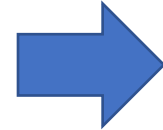
- Точные измерения теплового спектра $0 < m < 3$ ГэВ



Восстановление киральной симметрии

- Мягкие прямые фотоны

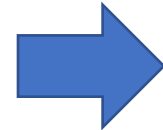
- До 50 MeV/c



Тепловое излучение от КГП

- Ультра-мягкие фотоны

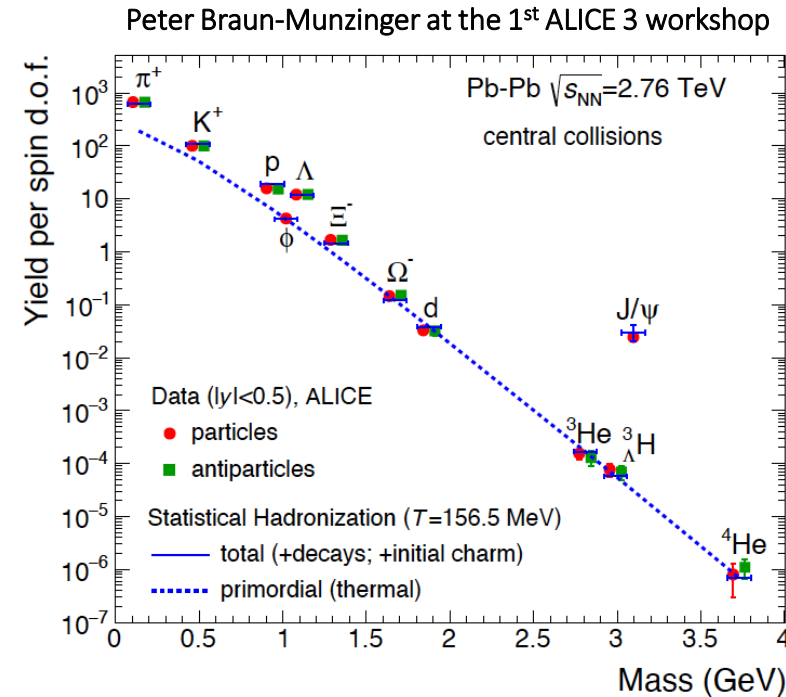
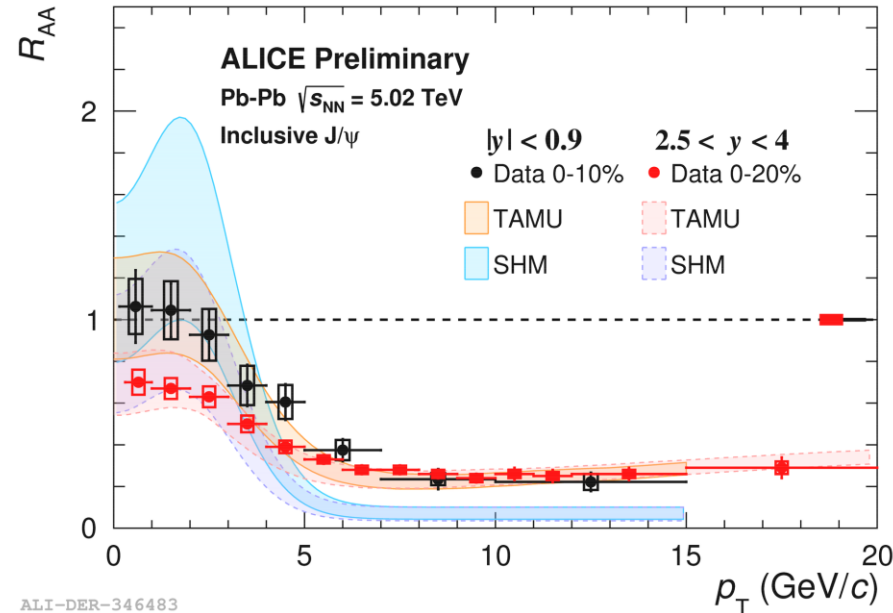
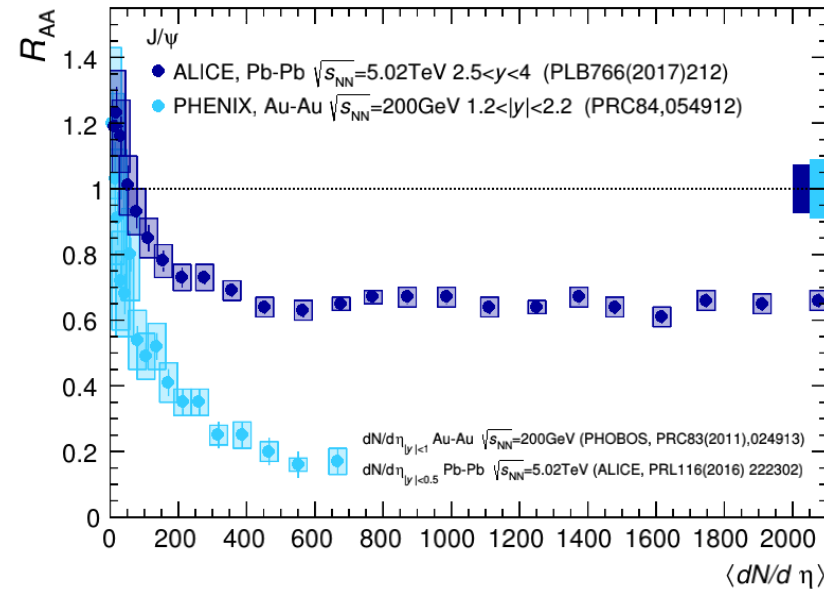
- $1 \text{ MeV/c} < p_T < 100 \text{ MeV/c}$
- форвардный спектрометр at $3.5 < |\eta| < 5$



Проверка теорем о мягких фотонах

- Физика за пределами CM

Регенерация чармония



Статистическая модель адронизации (SHM – Statistical Hadronization model)

- uds – большой канонический ансамбль
- Рожденные с-кварки термализуются
- Удобно использовать с макроскопическими гидродинамическими моделями

$$N_h^{\text{stat}} = V_H \frac{g_h}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{p^2 dp}{\gamma_c^{-n} e^{E_h/T_H} \pm 1}$$

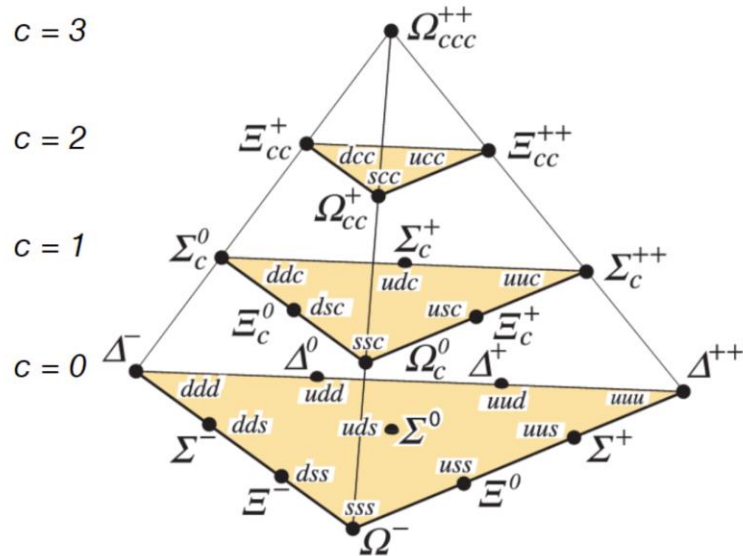
Коалесцентная модель (TAMU)

- Расчет вероятности перекрытия волновых функций с кварков
- Зависит от функций Вигнера
- Можно использовать в транспортных моделях

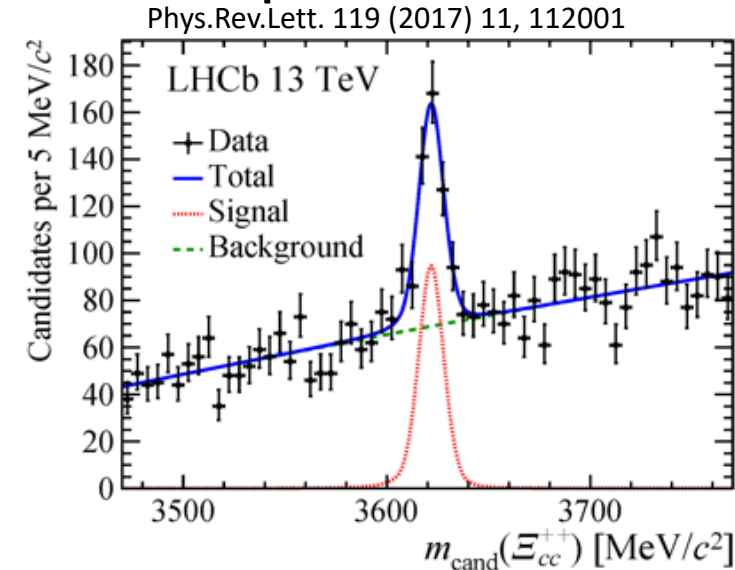
$$N_\psi = g_\psi \int p_c \cdot d\sigma_{cp\bar{c}} \cdot d\sigma_{\bar{c}} \frac{d^3\vec{p}_c}{(2\pi)^3 E_c} \frac{d^3\vec{p}_{\bar{c}}}{(2\pi)^3 E_{\bar{c}}} f_c(r_c, p_c) f_{\bar{c}}(r_{\bar{c}}, p_{\bar{c}}) W_\psi(r_c, r_{\bar{c}}; p_c, p_{\bar{c}})$$

Рождение барионов с несколькими с-кварками

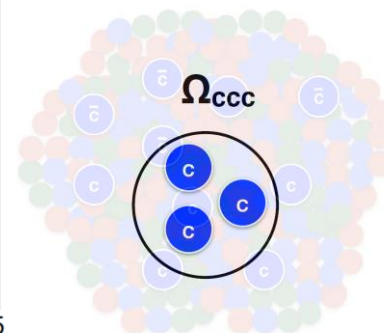
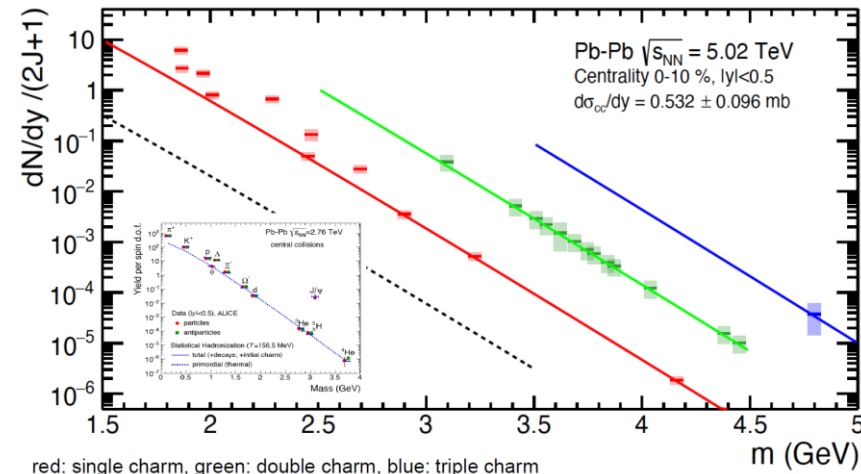
- Предсказания кварковой модели



- Эксперимент



- Образование Ω_{ccc} в pp сильно подавлено (нужно 3 жестких процесса с образованием с кварков)
- В центральных PbPb рождается порядка 100 cc пар
- Вероятность образования в AA в результате коалесценции больше на несколько порядков ($\times 30000$ в SHM)

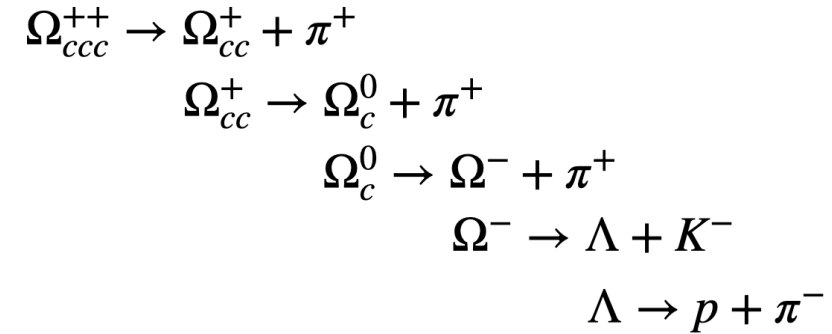
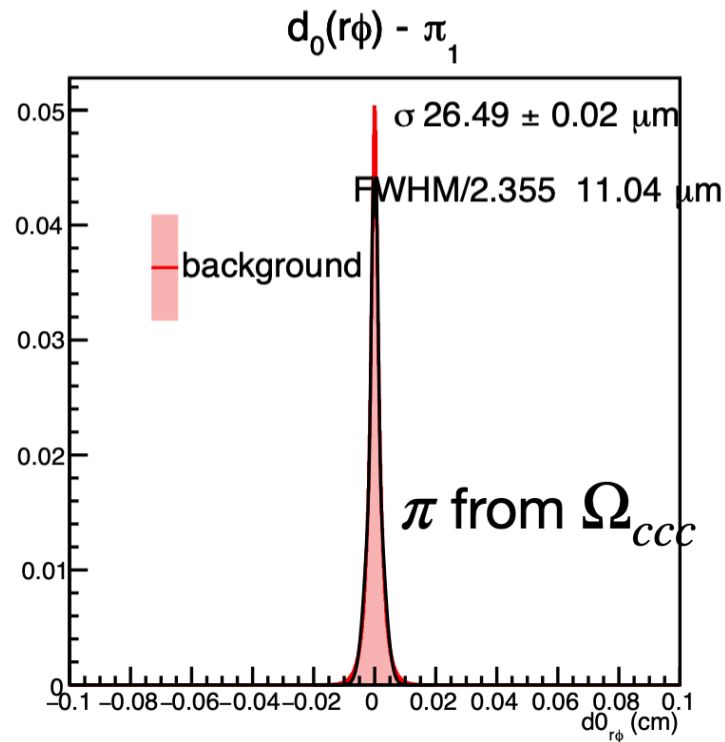
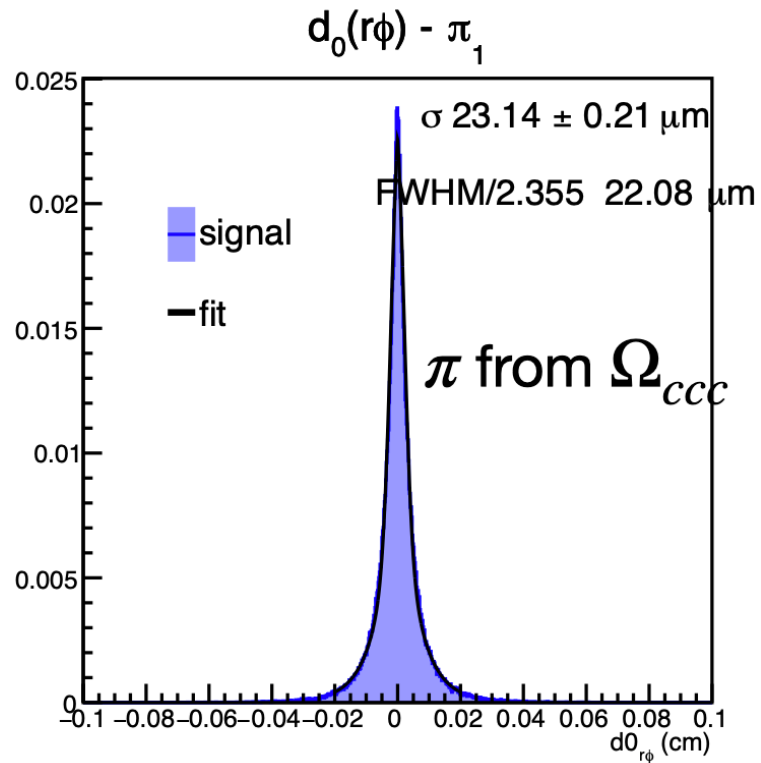


red: single charm, green: double charm, blue: triple charm

Peter Braun-Munzinger at the 1st ALICE 3 workshop

Ω_{ccc} - ВЫЗОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОВ

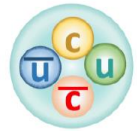
Требуется очень хорошее разрешение, чтобы отделить сигнальные и фоновые пи-мезоны:



- + оптимизация стратегии отбора
- + ресурсы CPU для восстановления вторичных вершин

X(3872)

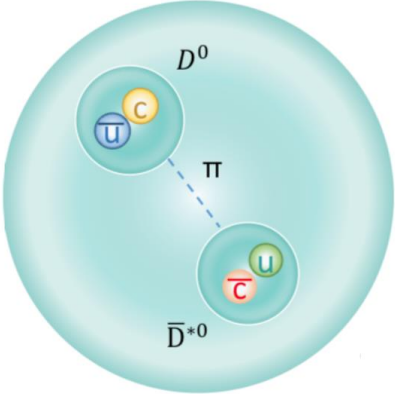
Tetraquark (4q)



$$r_{4q} \approx r_{cc^-} \approx 0.3 \text{ fm}$$

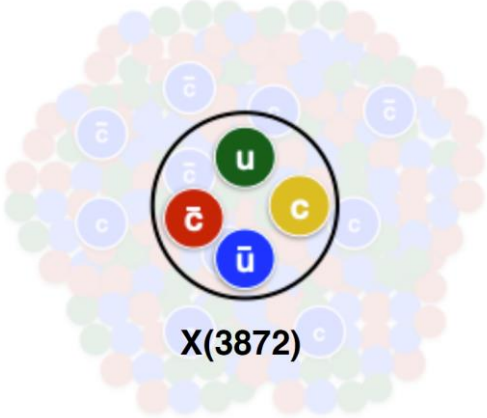
VS

$D^0 - \bar{D}^{*0}$ molecule



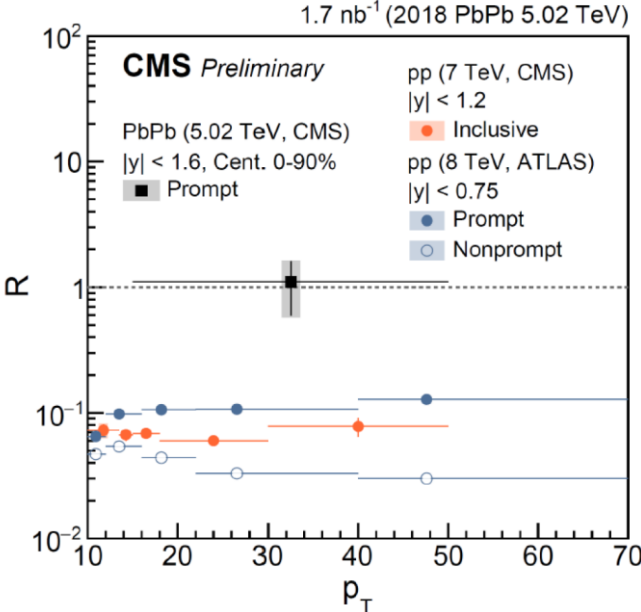
$$r_{\text{molecule}} \text{ as large as } 5 \text{ fm}$$

X(3872) – открыт BELLE PRL 91, 262001 (2003)



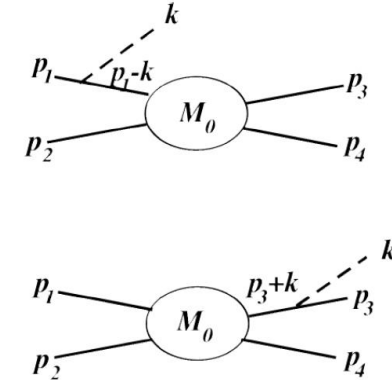
Основные цели:

- Изучение природы X(3872)
- Изучение механизма адронизации



Теорема Лоу

- Лоу 1958: амплитуда излучения дополнительного фотона связана с амплитудой без излучения фотона в пределе $E_\gamma \rightarrow 0$
- Прямое следствие калибровочной инвариантности в КТП



$$M(p_1 p_2; p_3 p_4 k) = M_0(p_1 p_2; p_3 p_4) \left(\frac{e_1 p_1 \cdot \varepsilon}{(p_1 - k)^2} + \frac{e_3 p_3 \cdot \varepsilon}{(p_3 + k)^2} \right)$$

amplitude

elastic part

photon part

- Обобщение на случай N частиц в конечном состоянии:

$$M(p_1 p_2; p_3 p_4 \dots p_N k) = M_0(p_1 p_2; p_3 p_4 \dots p_N) \left[\sum_i^{N+2} \frac{\eta_i e_i p_i \cdot \varepsilon}{2 p_i \cdot k} \right] \quad \frac{dN_\gamma}{d^3 k} = \frac{\alpha}{2\pi k_0} \int d^3 p_3 d^3 p_4 \dots d^3 p_N \sum_{i,j=1}^{N+2} \frac{\eta_i \eta_j e_i e_j (p_i \cdot p_j)}{4(p_i \cdot k)(p_j \cdot k)} \frac{dN_{\text{hadron}}}{d^3 p_3 d^3 p_4 \dots d^3 p_N}$$

- Грибов 1967: при каких условиях фотоны дают большой вклад

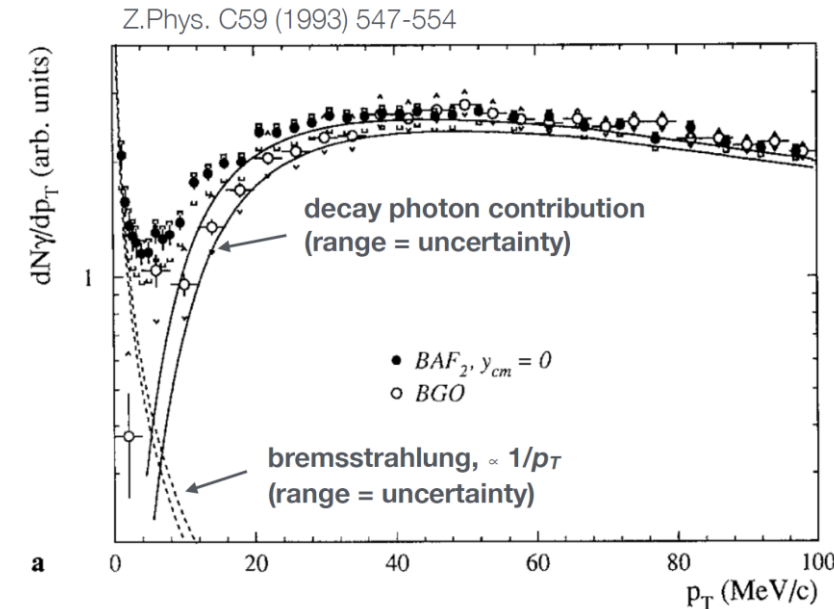
$$p_i \cdot k = p_{i0} k (1 - \cos \theta) = p_{i0} k \frac{\theta^2}{2} = p_{i0} k_T \frac{\theta}{2} \quad - \text{ мал, т.е. малые } k_T \text{ и углы } \theta$$

Экспериментальные результаты по мягким фотонам

$$\frac{dN^\gamma}{d^3\vec{k}} = \frac{\alpha}{(2\pi)^2} \frac{-1}{E_{\text{gamma}}} \int \left(d^3\vec{p}_1 \dots d^3\vec{p}_N \right) \left(\sum_{\text{Particle } i} \frac{\eta_i e_i \mathbf{P}_i}{\mathbf{P}_i \mathbf{K}} \right)^2 \frac{dN^H}{d^3\vec{p}_1 \dots d^3\vec{p}_N}$$

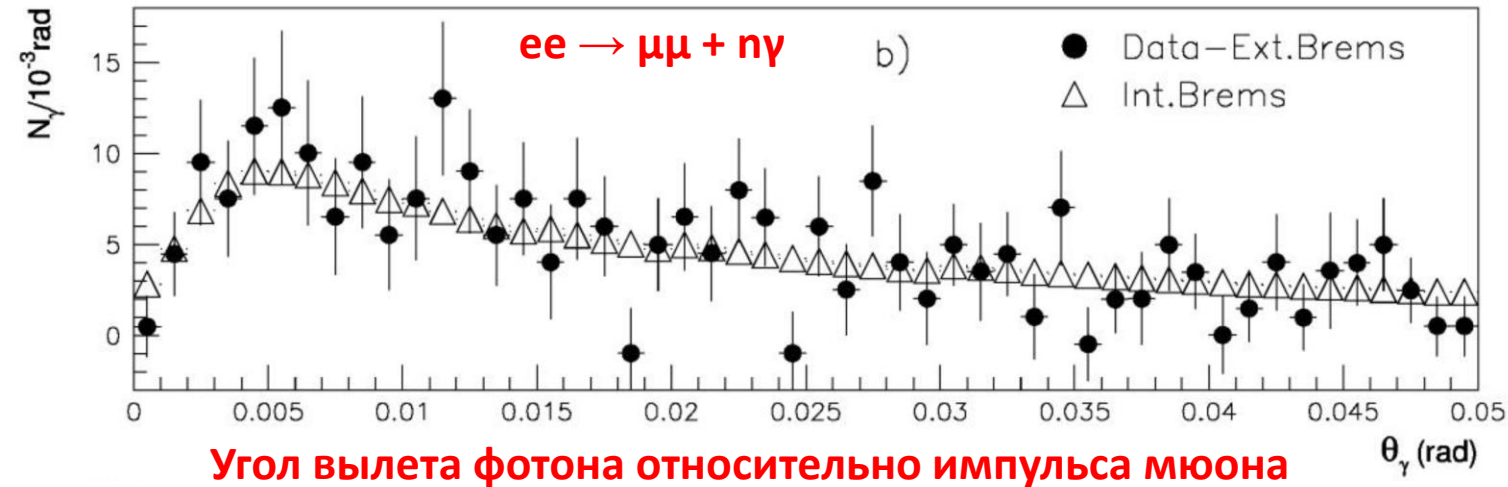
расходимость

Experiment	Year	Collision energy	Photon p_T	Photon / Brems Ratio	Detection method	Reference
π^+p	1979	10.5 GeV	$p_T < 30 \text{ MeV}/c$	~ 1	bubble chamber	Goshaw et al., Phys. Rev. Lett. 43, 1065 (1979)
K^+p WA27, CERN	1984	70 GeV	$p_T < 60 \text{ MeV}/c$	4.0 ± 0.8	bubble chamber (BEBC)	Chliapnikov et al., Phys. Lett. B 141, 276 (1984)
π^+p CERN, EHS, NA22	1991	250 GeV	$p_T < 40 \text{ MeV}/c$	6.4 ± 1.6	bubble chamber	Botterweck et al., Z. Phys. C 51, 541 (1991)
K^+p CERN, EHS, NA22	1991	250 GeV	$p_T < 40 \text{ MeV}/c$	6.9 ± 1.3	bubble chamber	Botterweck et al., Z. Phys. C 51, 541 (1991)
π^-p , CERN, WA83, OMEGA	1993	280 GeV	$p_T < 10 \text{ MeV}/c$ ($0.2 < E_\gamma < 1 \text{ GeV}$)	7.9 ± 1.4	calorimeter	Banerjee et al., Phys. Lett. B 305, 182 (1993)
p -Be	1993	450 GeV	$p_T < 20 \text{ MeV}/c$	< 2	pair conversion, calorimeter	Antos et al., Z. Phys. C 59, 547 (1993)
p -Be, p -W	1996	18 GeV	$p_T < 50 \text{ MeV}/c$	< 2.65	calorimeter	Lissauer et al., Phys.Rev. C54 (1996) 1918
π^-p , CERN, WA91, OMEGA	1997	280 GeV	$p_T < 20 \text{ MeV}/c$ ($0.2 < E_\gamma < 1 \text{ GeV}$)	7.8 ± 1.5	pair conversion	Belogianni et al., Phys. Lett. B 408, 487 (1997)
π^-p , CERN, WA91, OMEGA	2002	280 GeV	$p_T < 20 \text{ MeV}/c$ ($0.2 < E_\gamma < 1 \text{ GeV}$)	5.3 ± 1.0	pair conversion	Belogianni et al., Phys. Lett. B 548, 122 (2002)
pp , CERN, WA102, OMEGA	2002	450 GeV	$p_T < 20 \text{ MeV}/c$ ($0.2 < E_\gamma < 1 \text{ GeV}$)	4.1 ± 0.8	pair conversion	Belogianni et al., Phys. Lett. B 548, 129 (2002)
$e^+e^- \rightarrow 2 \text{ jets}$ CERN, DELPHI	2006	91 GeV (CM)	$p_T < 80 \text{ MeV}/c$	$4.0 \pm 0.3 \pm 1.0$	pair conversion	DELPHI, Eur. Phys. J. C 47, 273 (2006)
$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ CERN, DELPHI	2008	91 GeV (CM)	$p_T < 80 \text{ MeV}/c$	~ 1	pair conversion	DELPHI, Eur. Phys. J. C57, 499 (2008)

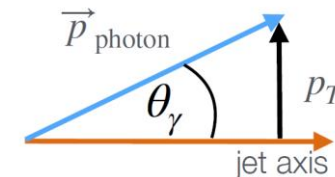
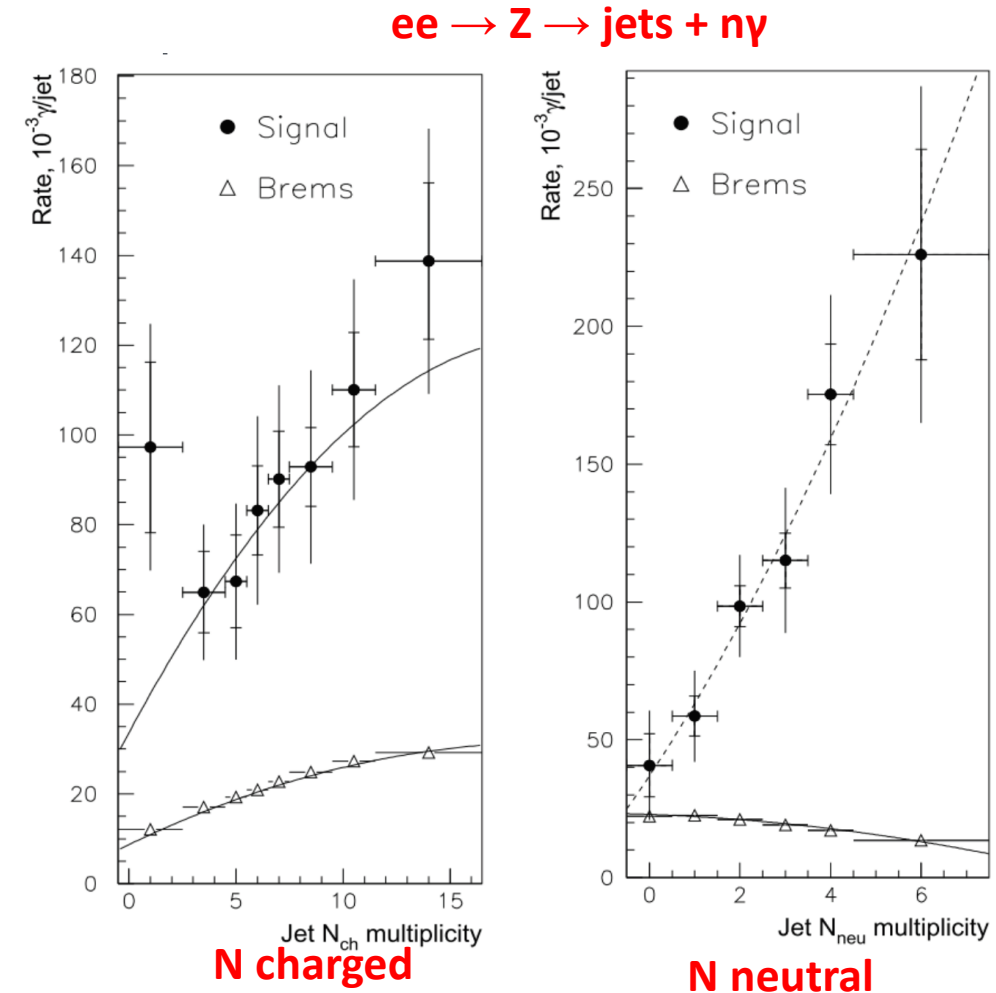


В большинстве экспериментов обнаружено значительное превышение измеренных фотонных спектров над ожидаемыми

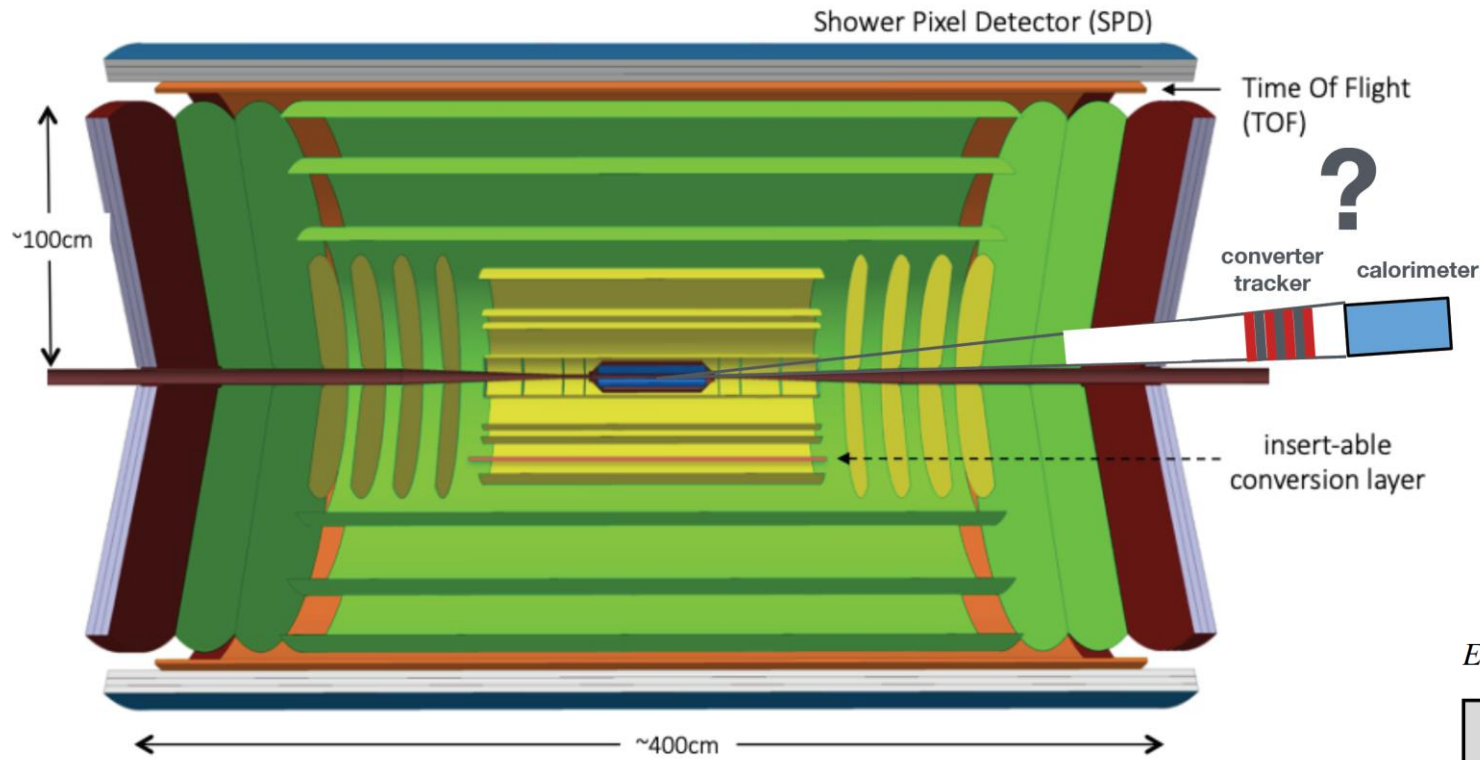
Результаты DELPHI по мягким фотонам



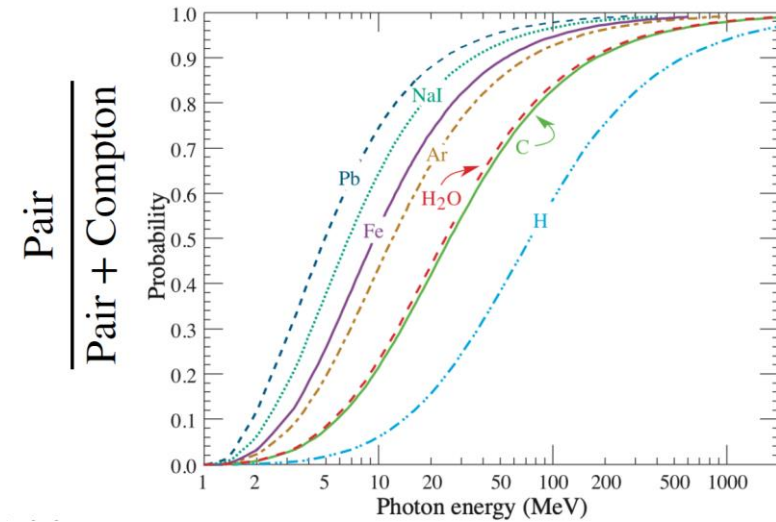
- $ee \rightarrow \mu\mu + n\gamma$
 - нет расхождения с предсказаниями
 - первое наблюдение «мертвого» к
- $ee \rightarrow Z \rightarrow \text{jets} + n\gamma$
 - Расхождение с предсказаниями в 4 раза
 - Рост значительно быстрее с ростом множественности нейтральных частиц
 - Превышение для $p_T^\gamma < 100 \text{ МэВ}$
 - Превышение в основном для малых полярных углов относительно направления струи $\eta_\gamma > 2$



Как регистрировать мягкие фотоны?



$$p_T^\gamma \ll p_T^{\text{hadron}} \approx 300 - 500 \text{ MeV}/c$$



$$E = m_T \cosh y = p_T \cosh \eta$$

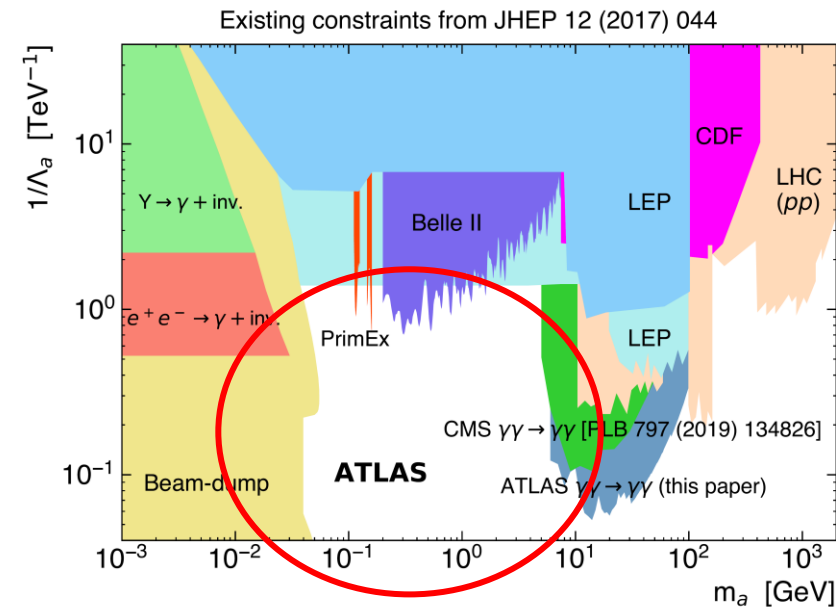
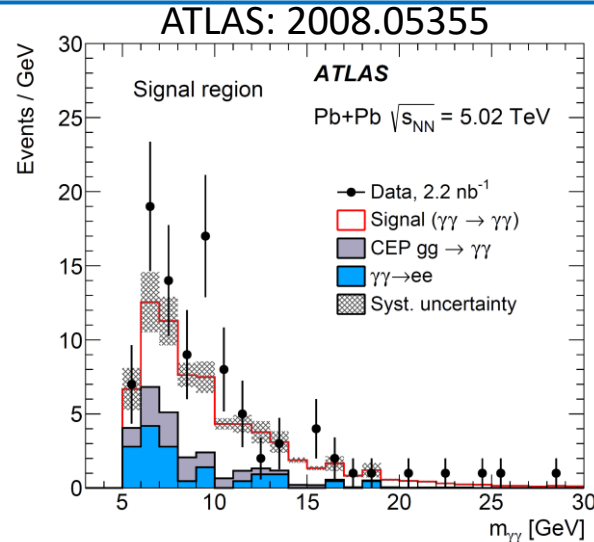
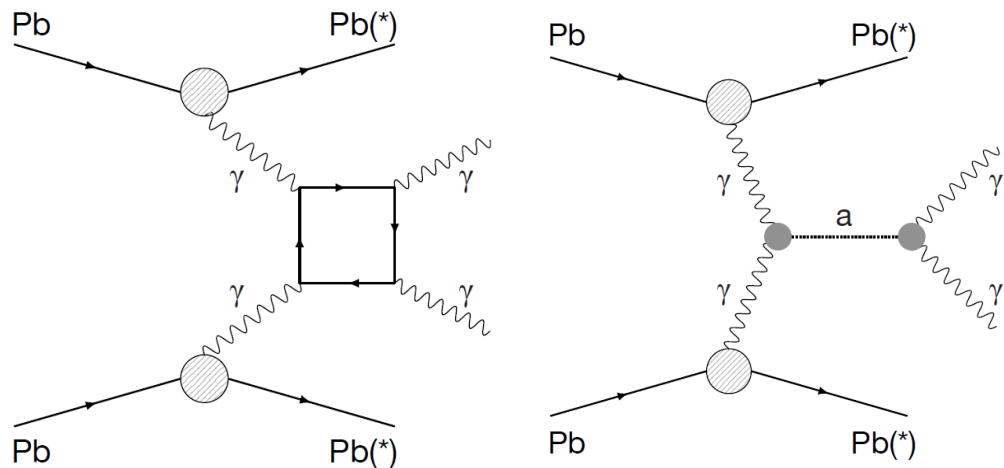
y	E_γ (MeV)
0	10
1	15.4
2	37.6
3	101.
4	273.
5	742.

$$p/\text{GeV} = 0.3 \cdot B/T \cdot r/m$$

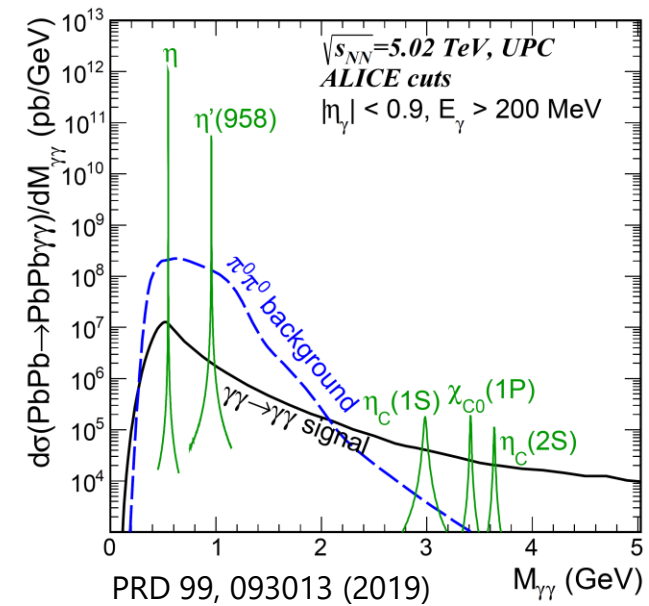
p_T (MeV/c)	r (cm) for $B = 0.5 \text{ T}$
5.	3.
10.	7.
50.	33.
100.	67.
1000	667.

- Идея: трекер электронов конверсии в области больших быстрот
- Трудности метода конверсии:
 - Вероятности конверсии резко спадает при $E_\gamma < 10\text{-}20 \text{ МэВ}$
 - Многочисленное рассеяние и маленькие радиусы треков электронов конверсии
- Цель: $\eta > 3$ $E_\gamma \sim 20\text{-}50 \text{ МэВ}$ \rightarrow $p_e \sim 5\text{-}25 \text{ МэВ}$

Рассеяние света на свете в UPC



- Измерения рассеяние света на свете в ATLAS и CMS – **подтверждение предсказаний СМ**
- Получены **ограничения на ALPs** (axion-like particles, аксионо-подобные частицы) в области масс $m_a > 5$ ГэВ
- Можно ли продвинуться в **область малых масс?**
 - **экспоненциальный рост сечения $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$**
 - **основная проблема – фон от фоторождения π^0 пар**
 - хорошие перспективы для $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ измерений в области масс $2 < m_{\gamma\gamma} < 5$ ГэВ и $m_{\gamma\gamma} < 0.2$ ГэВ
 - возможность ограничений на ALPs в промежуточной области



Измерение магнитного момента тау-лептона

- Теоретическое значение точно рассчитано:

SM:

$$a_\tau^{\text{SM}} = 0.00117721(5)$$

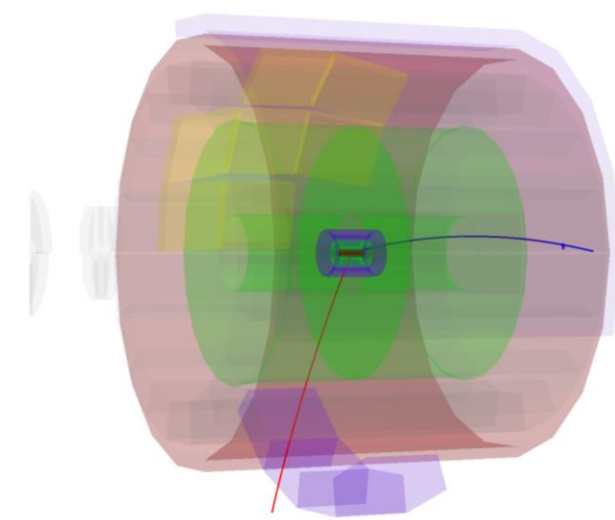
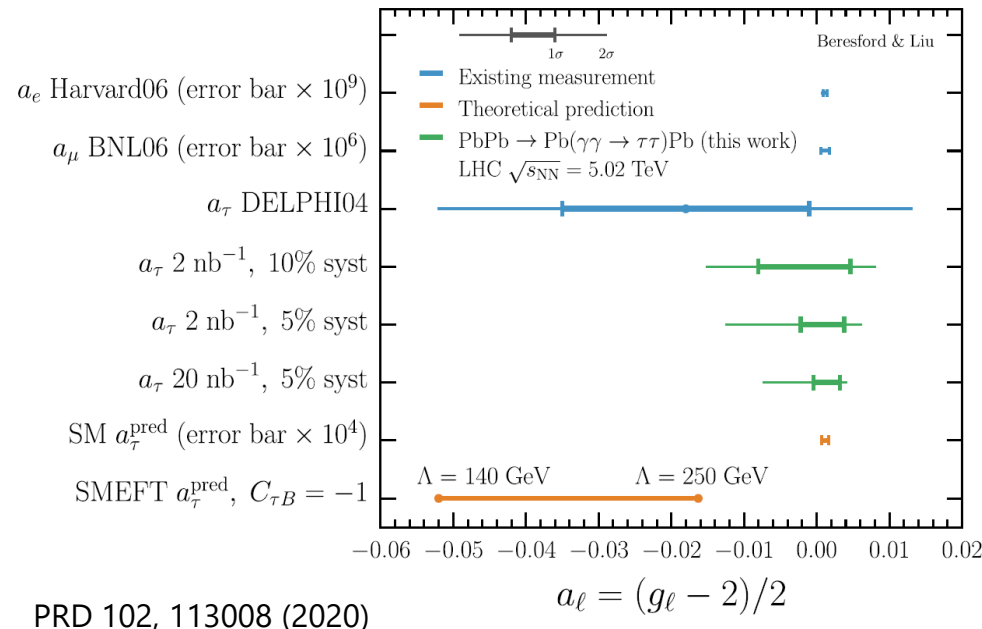
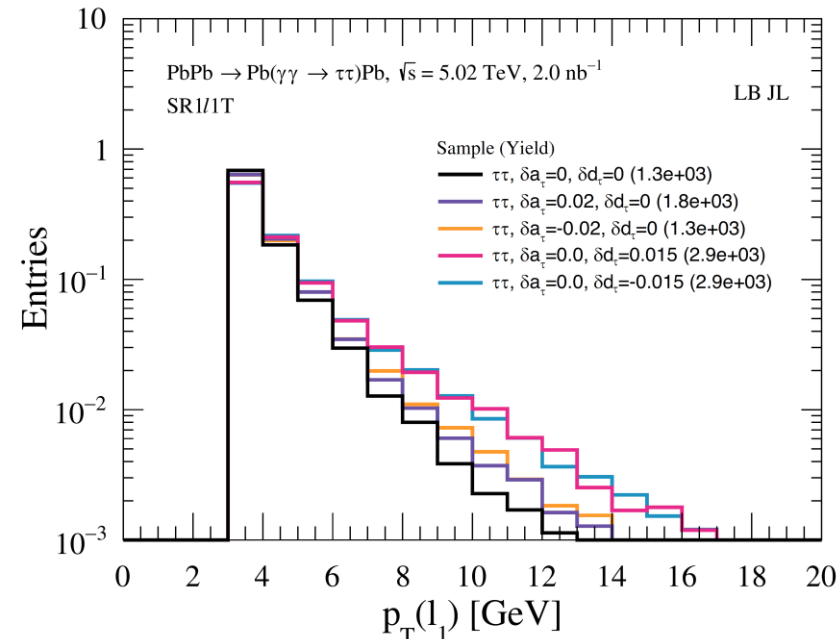
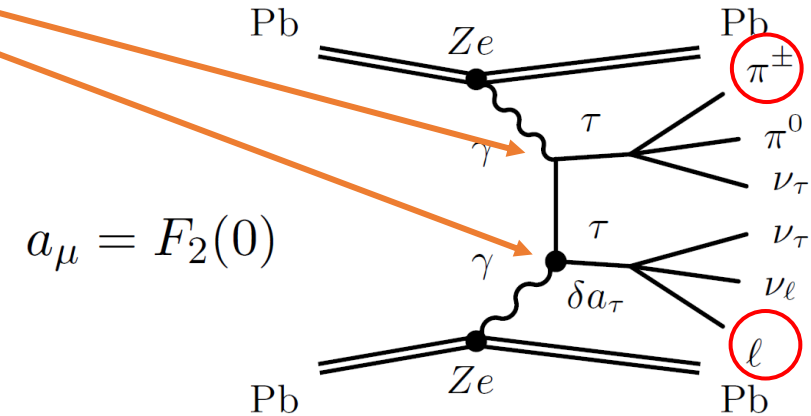
- Стандартные методы спиновой прецессии не работают
- Измерения проводят косвенными методами, например по спектру фоторождения дилептонных пар $e e \rightarrow e e \tau \tau$:

DELPHI:

$$-0.052 < a_\tau < 0.013 \quad (95\% \text{ CL})$$

- Хорошие перспективы в UPC

$$i\Gamma_\mu^{\gamma\tau\tau}(q) = -ie \left[\gamma_\mu F_1(q^2) + \frac{i}{2m_\tau} \sigma_{\mu\nu} q^\nu F_2(q^2) + \frac{1}{2m_\tau} \gamma^5 \sigma_{\mu\nu} q^\nu F_3(q^2) \right]$$



Заключение

- ALICE 3 – следующий шаг в области физики тяжелых ионов
 - революционная технология
 - увеличение светимости в 50 раз по сравнению с ожиданиями Run3-4
- Богатая физическая программа
 - электроны, фотоны, малые импульсы, мультиочарованные адроны
- LOI к концу 2021 года, первые данные в 2031 году
- Предложения по физической программе и дизайну детектора?
- Участие ПИЯФ в этом эксперименте?