

ALICE



Идентификация странных частиц в детекторе ALICE

Мастеркласс

Видеомост ЦЕРН - Гимназия 625 (Москва)

16 февраля 2016

Данное мероприятие поддержано Министерством Образования и науки РФ по договору 14.610.21.0003 от 20 октября 2014.

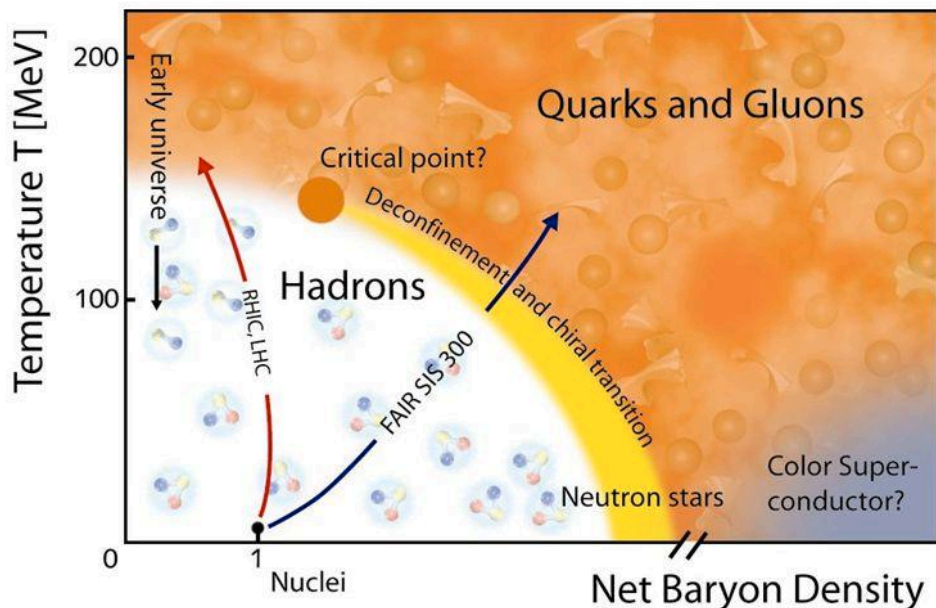
Содержание

- Введение: распады странных частиц
- Демонстрации
- Практическое занятие

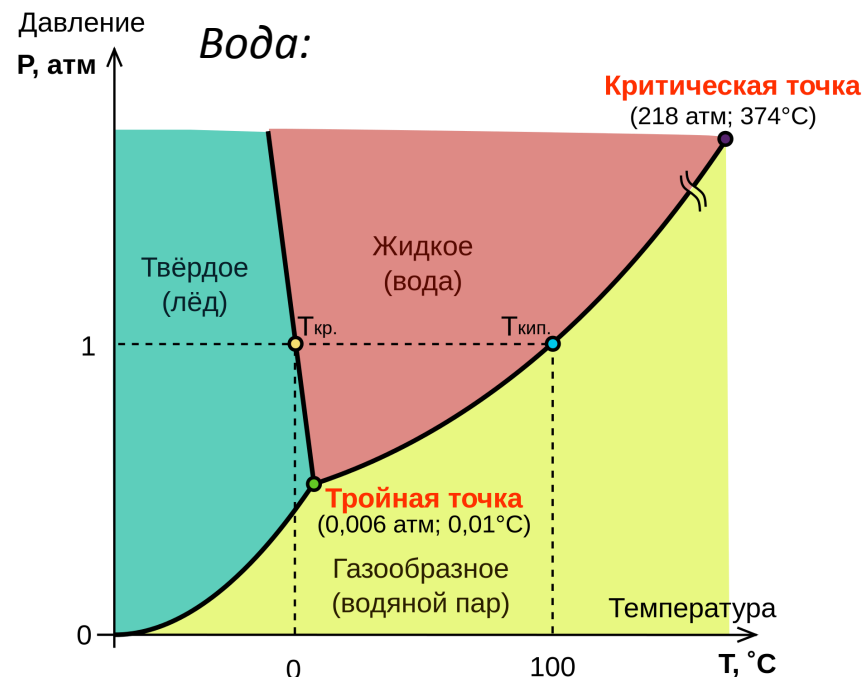
Цель мастеркласса: поиск странных и мультистранных частиц, рожденных в столкновениях протонов и ядер свинца на LHC и зарегистрированных детектором ALICE.

Фазовая диаграмма ядерной материи

Ядерная материя:

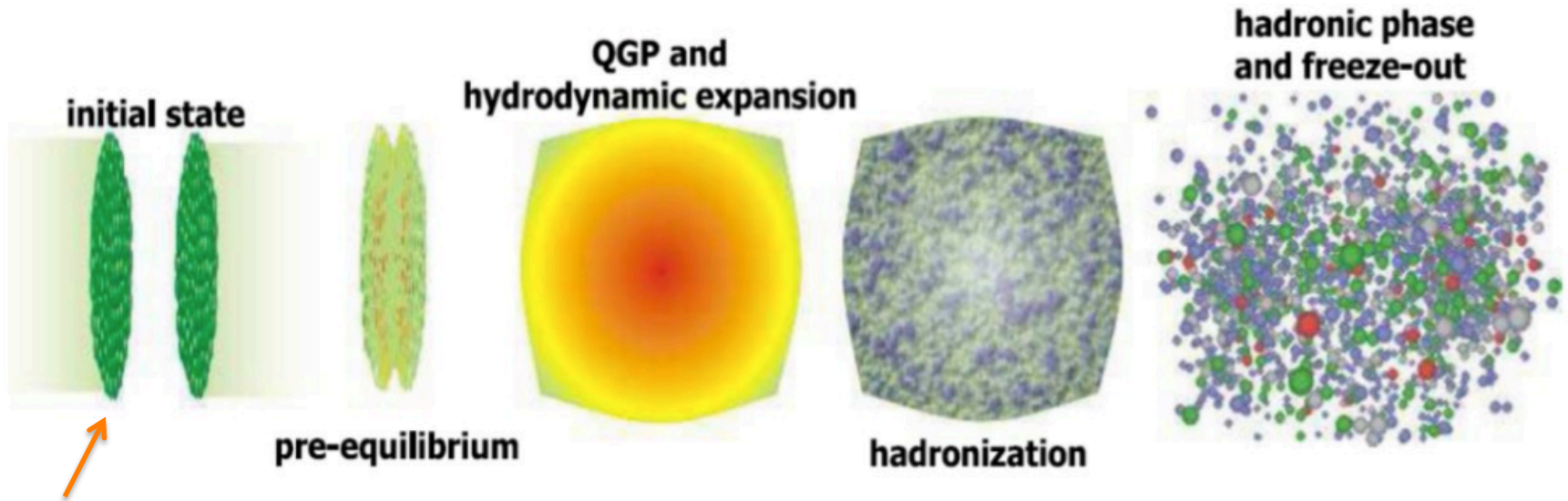


Вода:



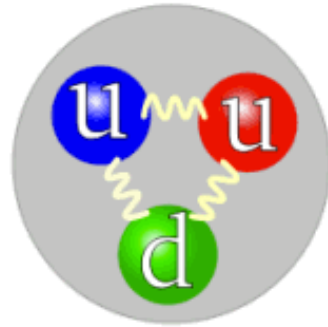
The current theory of the strong interaction (called Quantum Chromo-Dynamics) predicts that at very high temperatures and/or very high densities, quarks and gluons should no longer be confined inside composite particles. Instead they should exist freely in a new state of matter known as **quark-gluon plasma**.

Столкновение двух ядер свинца: эволюция системы со временем

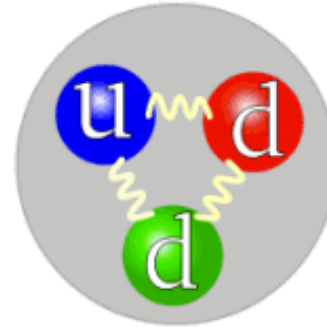


(ядра превращаются «блины» из-за релятивистского Лоренц-сжатия)

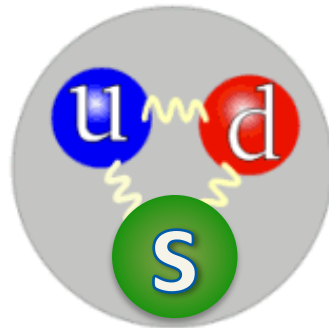
Если достигается состояние кварк-глюонной плазмы, то должен возрасти выход странных частиц



протон

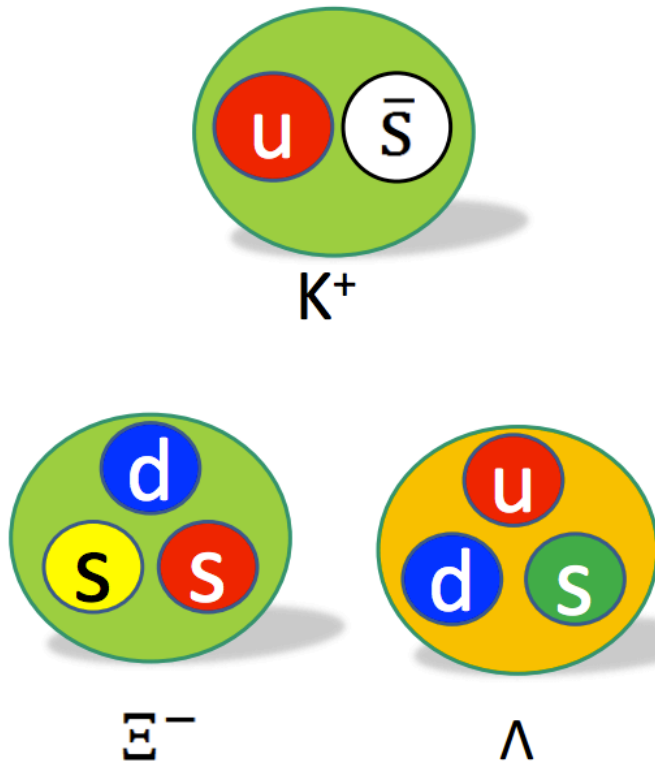


нейтрон

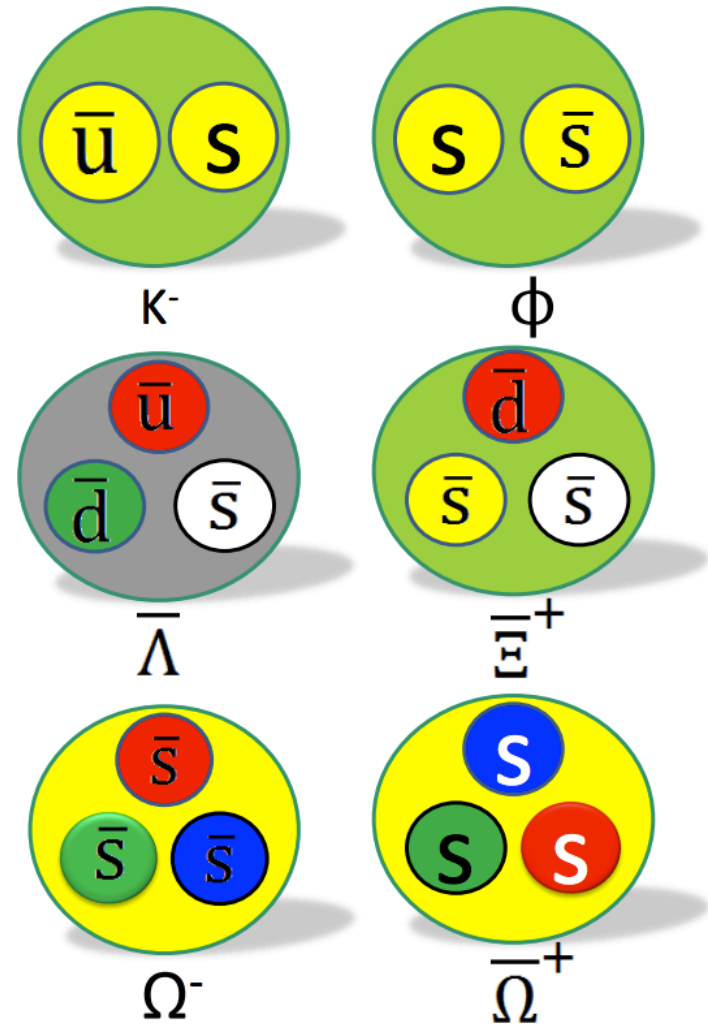


лямбда-частица (Λ)

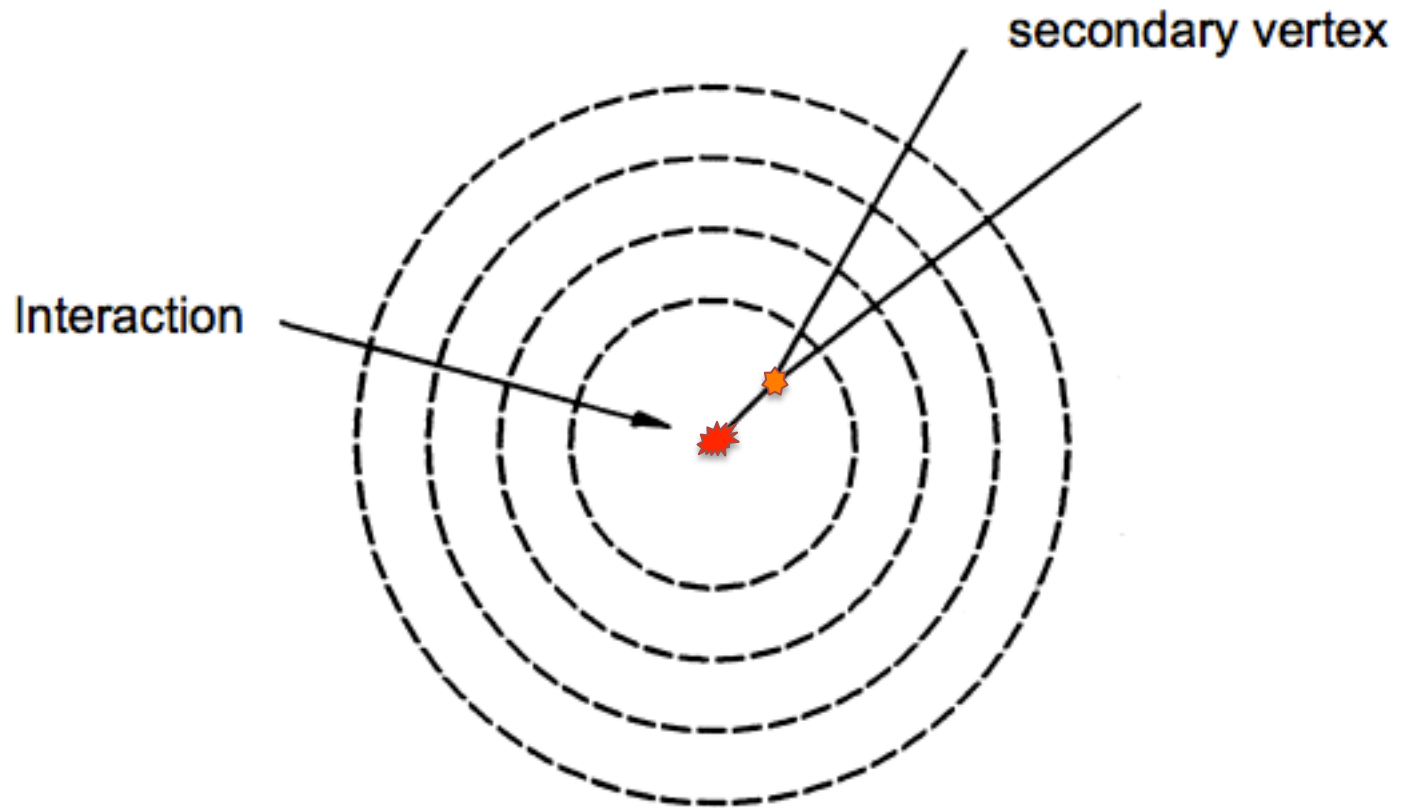
Strange particles with leading quarks



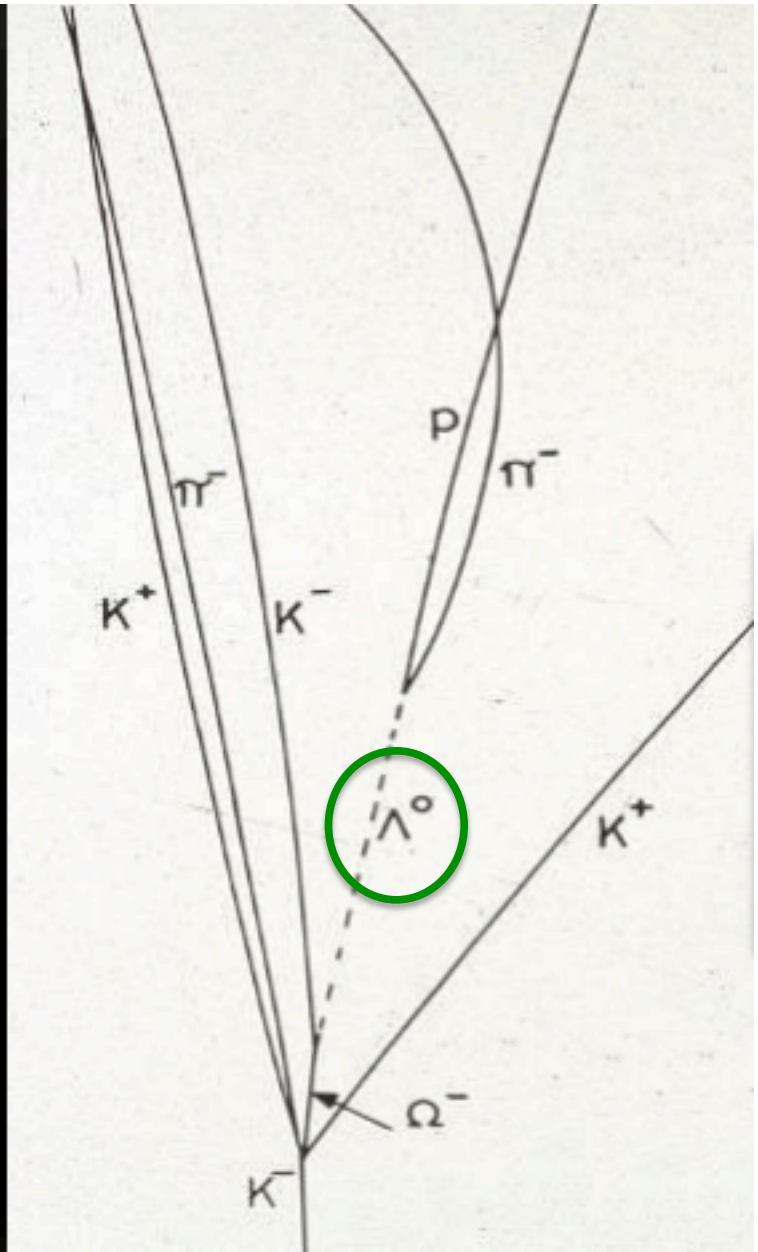
Strange particles with produced quarks only



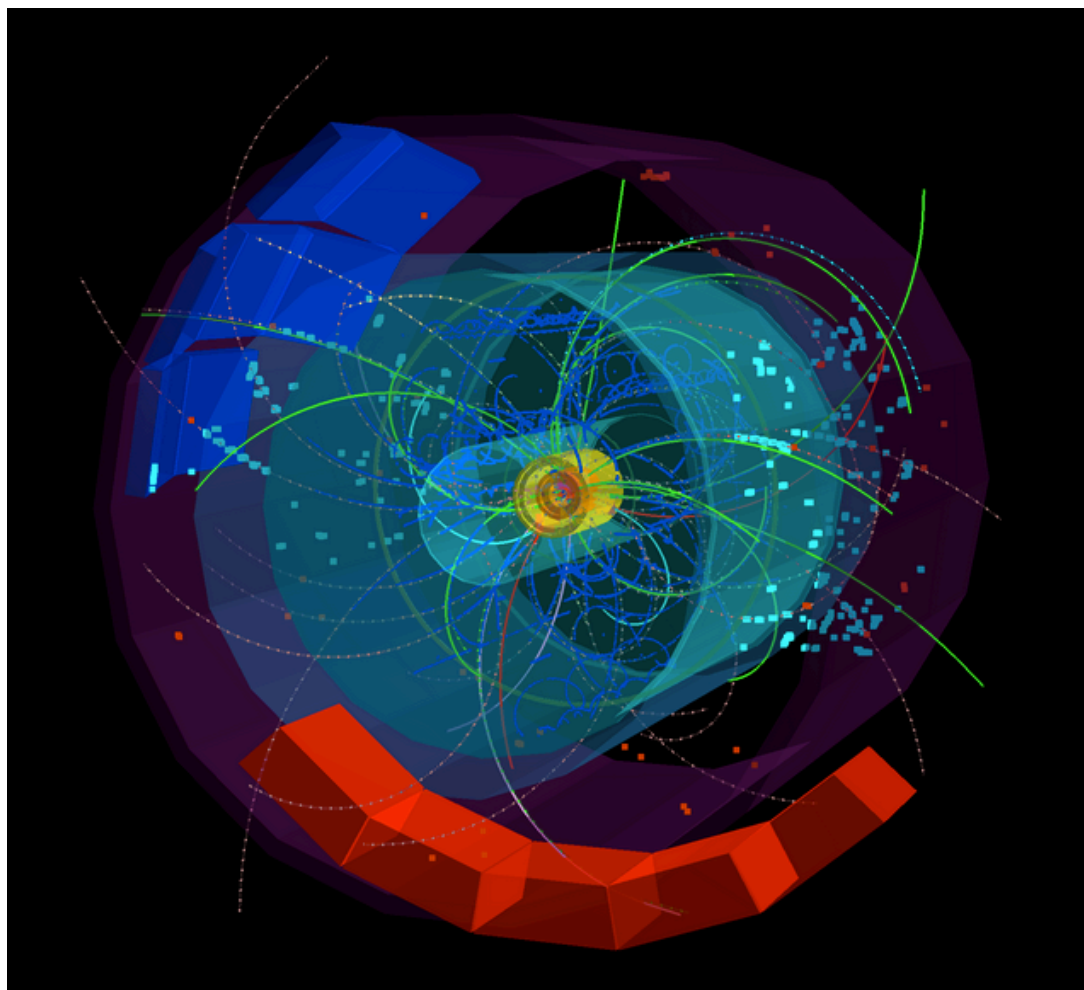
Распад нестабильной частицы



Термины: **главная и вторичная вершины**

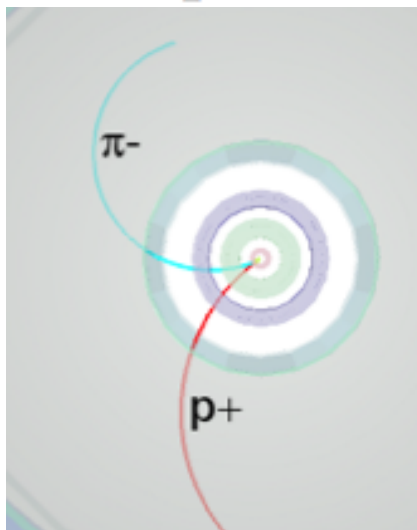


Регистрация треков в детекторе ALICE

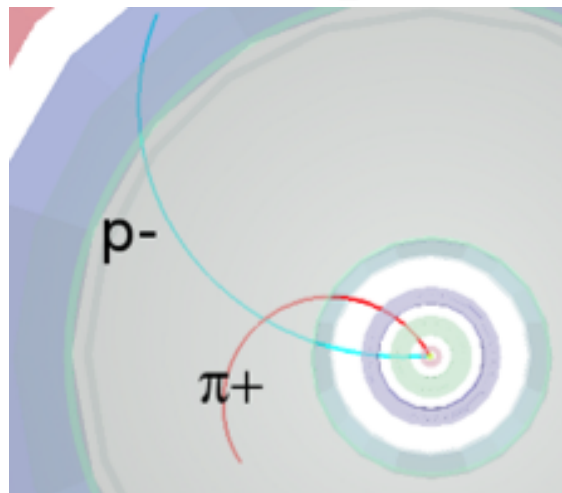


Топологии распадов частиц, содержащих странные кварки

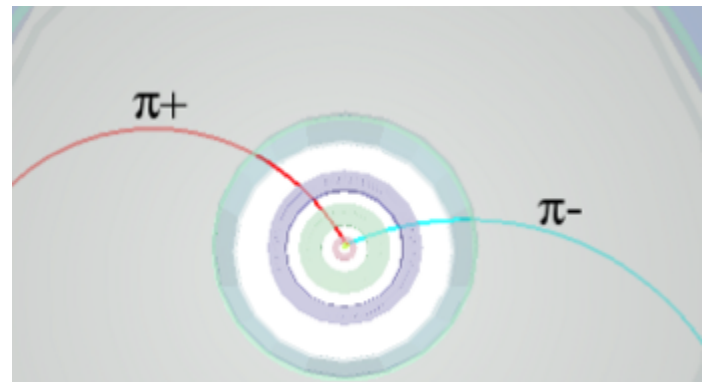
$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$$



$$\text{anti } \Lambda \rightarrow p^- + \pi^+$$

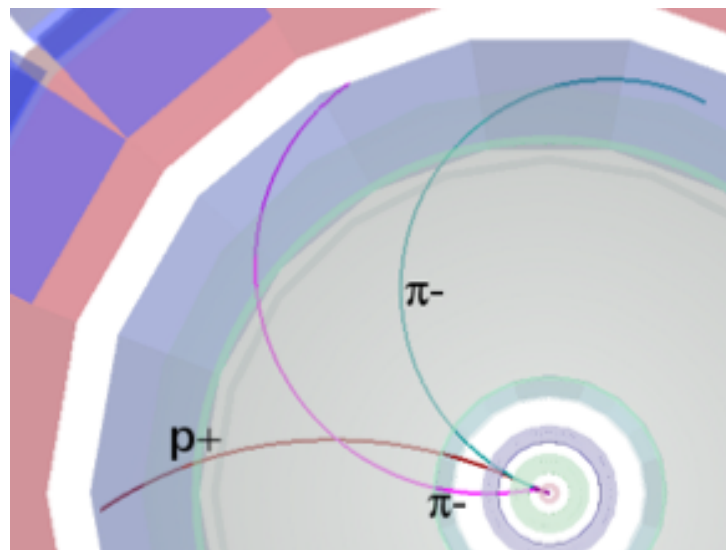


$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$



Каскадный распад:

$$\Xi^- \rightarrow \pi^- \Lambda \rightarrow \pi^- p + \pi^-$$



Расчет массы исходной частицы

Сохранение энергии

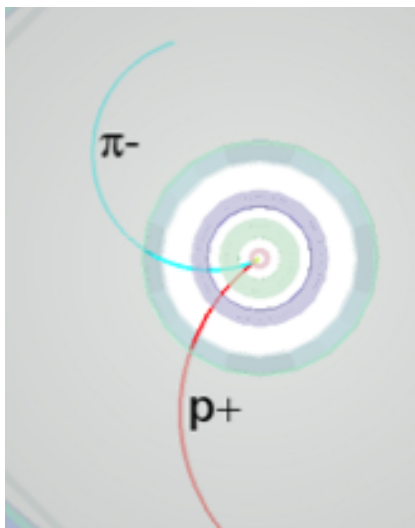
Сохранение импульса

Теории относительности (приняв $c=1$)

$$E = E_1 + E_2$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$$

$$E^2 = p^2 + M^2$$



... и для дочерних частиц:

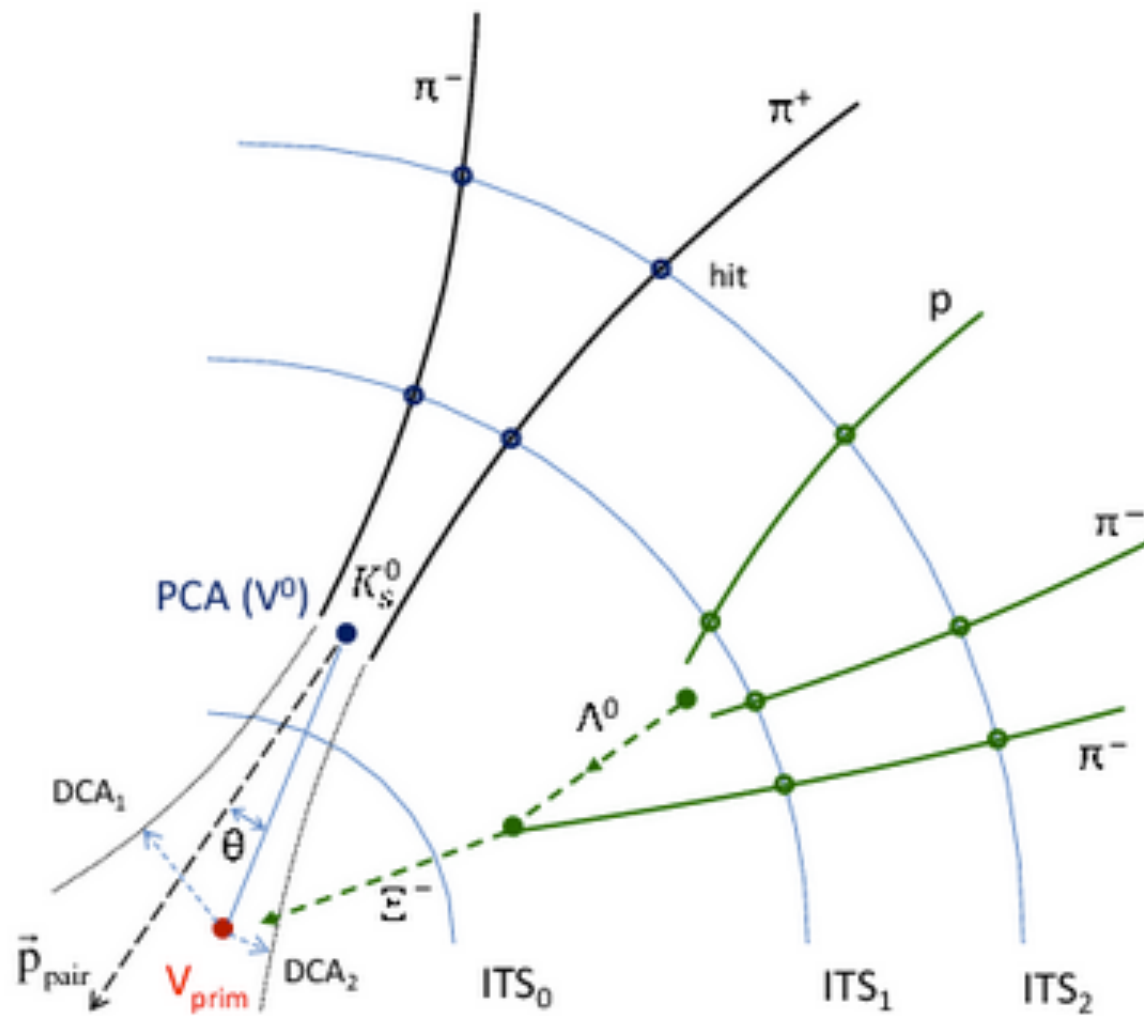
$$E_1^2 = p_1^2 + m_1^2$$

$$E_2^2 = p_2^2 + m_2^2$$

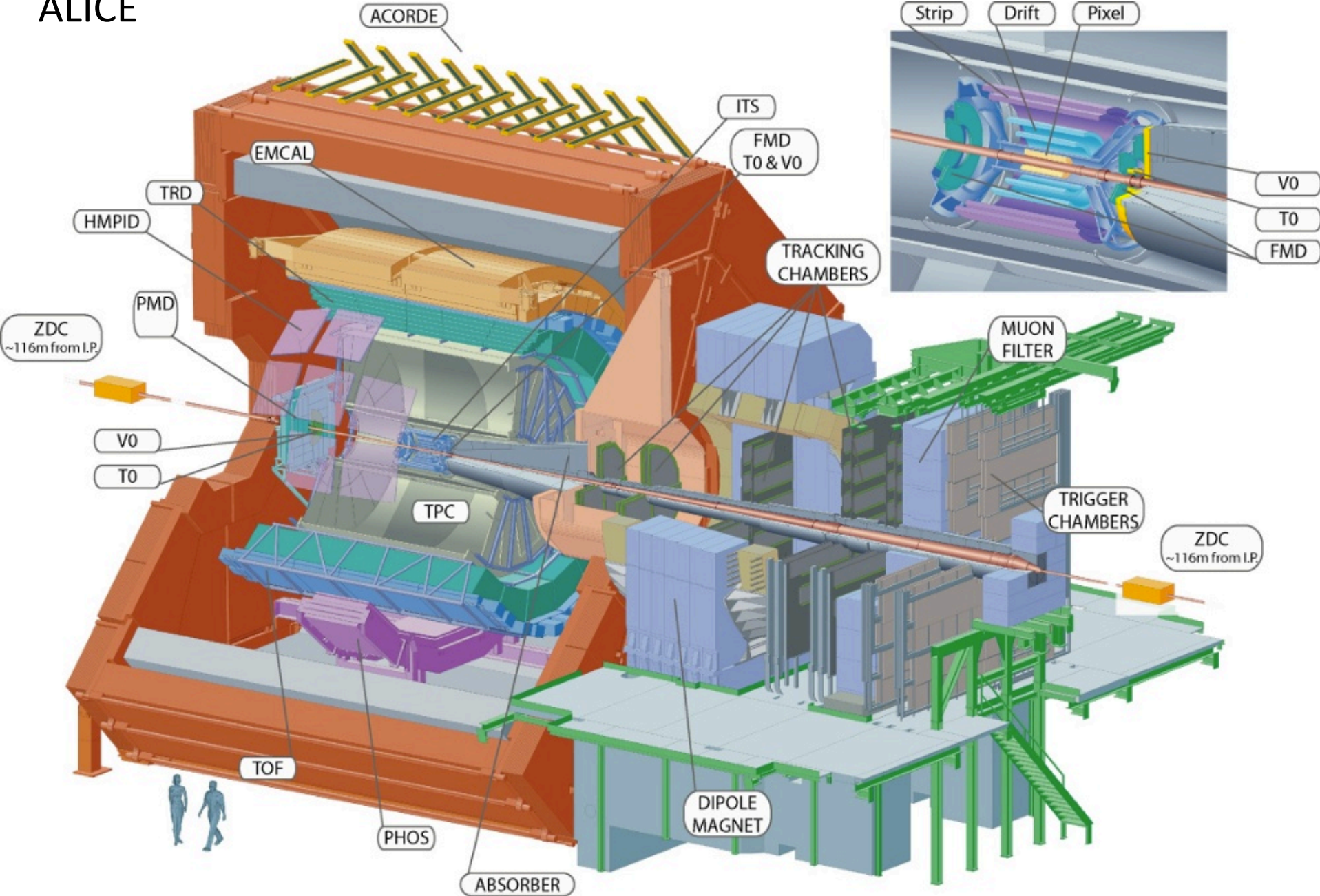
Инвариантная масса:

$$\begin{aligned} M^2 &= E^2 - p^2 \\ &= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - p_1^2 - p_2^2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 \\ &= m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 \end{aligned}$$

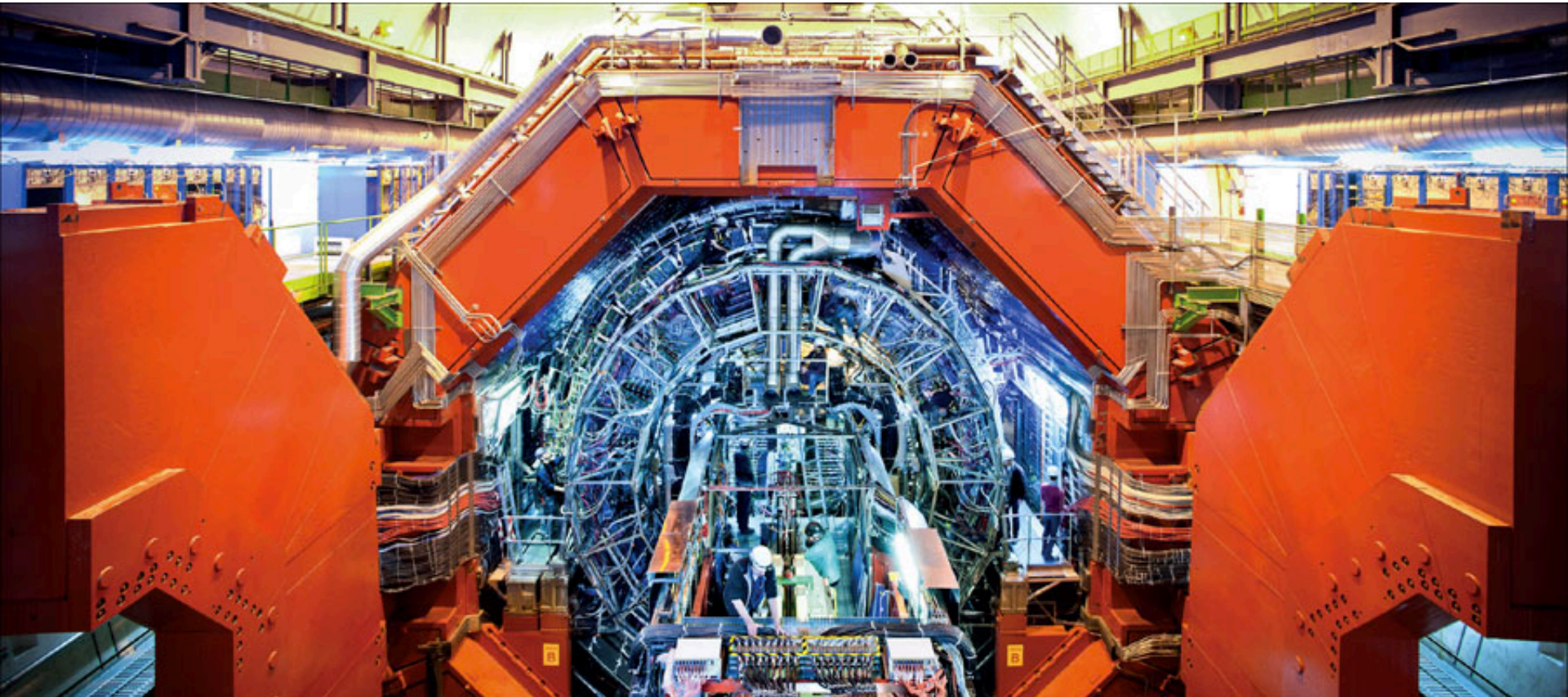
Более детальный вид «топологии» распадов



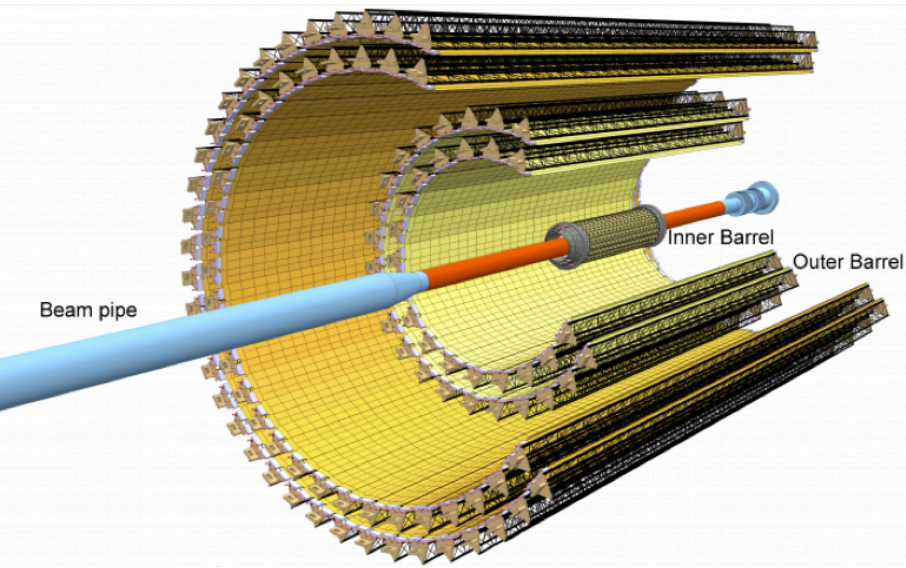
ALICE



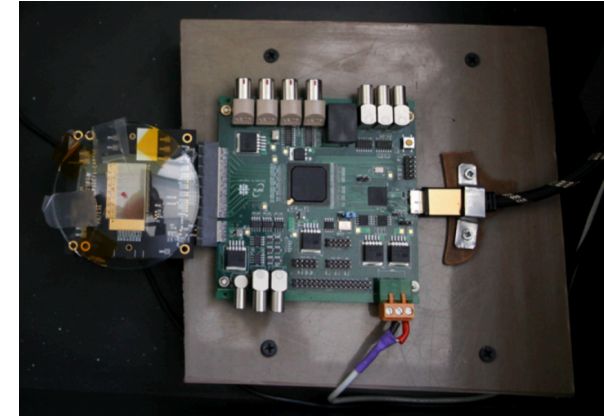
Детектор ALICE: открыты боковые «ворота»



Обновленная трековая система ALICE после 2019 г.

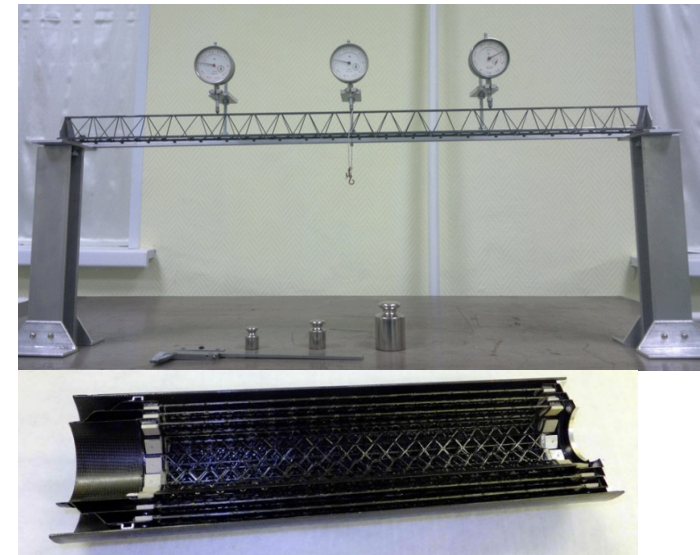
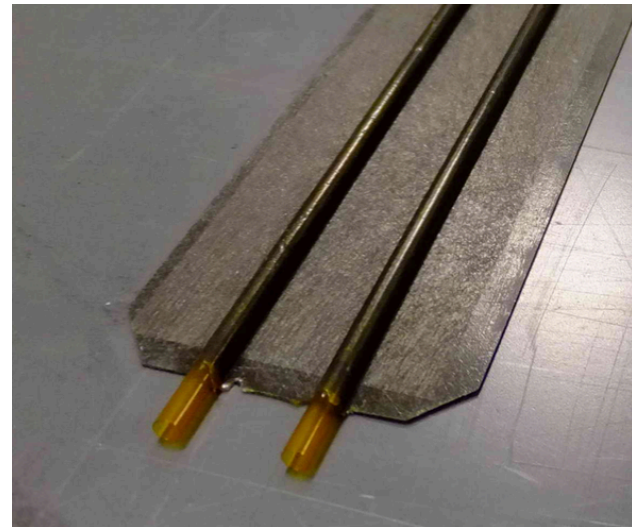


- 7 слоев вместо 6ти
 - новые чипы с пикселями
- высокоточная реконструкция распадов частиц с c и b кварками



Трубки охлаждения:

Температурные и механические испытания:



Упражнение:

Поиск странных частиц в событиях на ALICE

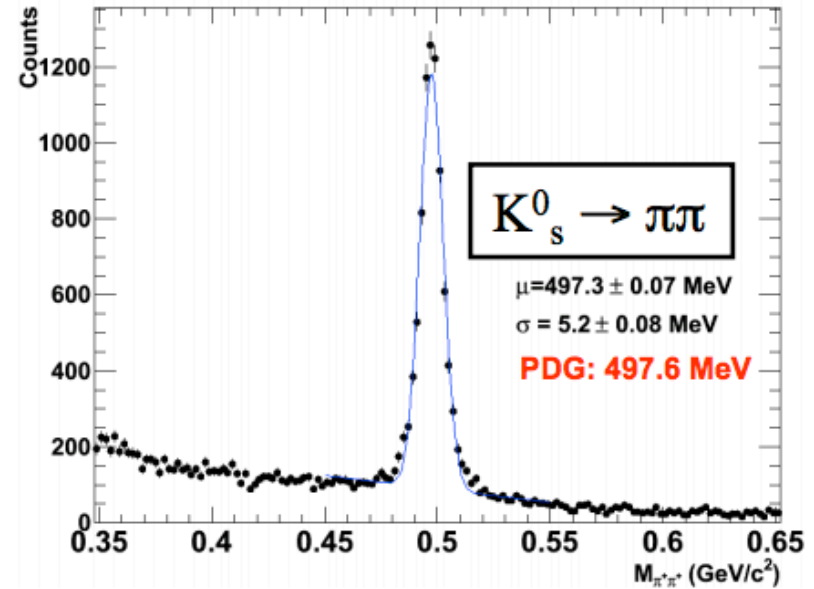
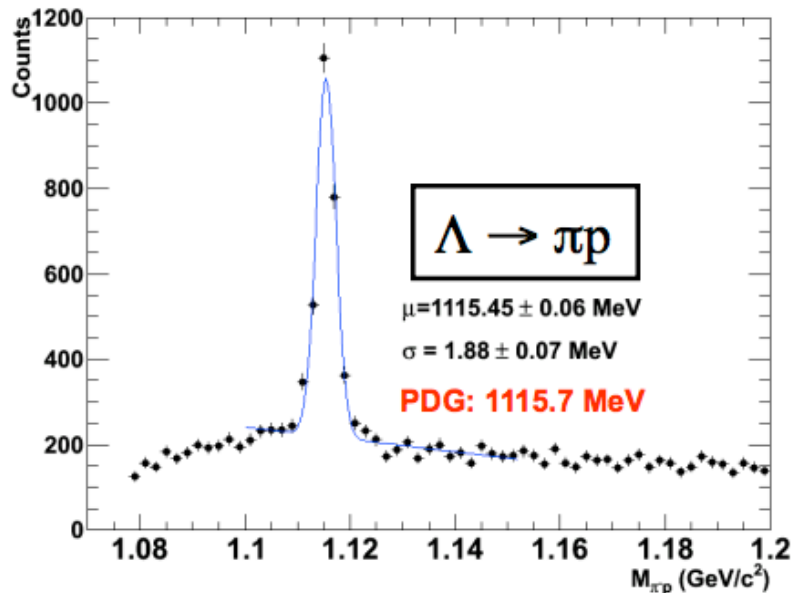
*Для запуска мастеркласса
выполнить следующие команды:*

```
cd ~/masterclass/strangeness_in_ALICE  
root masterclass.C
```

Invariant mass distributions

Natural width
Heisenberg's uncertainty principle
(quantum mechanics)

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad \Delta E \Delta t \gtrsim \hbar,$$

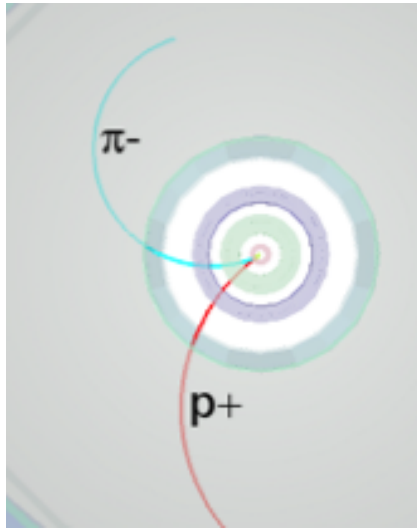


Width due to limits of the
measurements

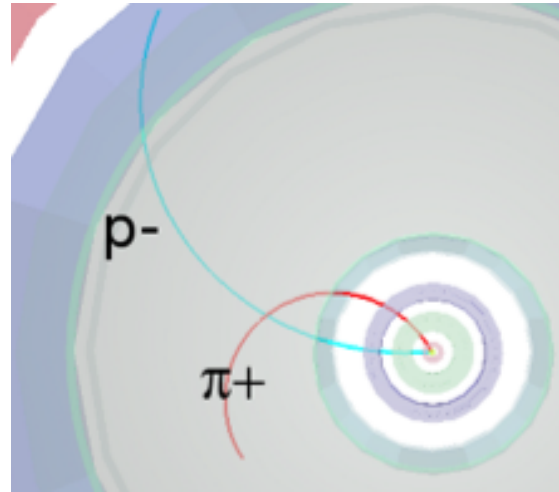
Momentum resolution
Energy resolution

Топологии распадов частиц, содержащих странные кварки

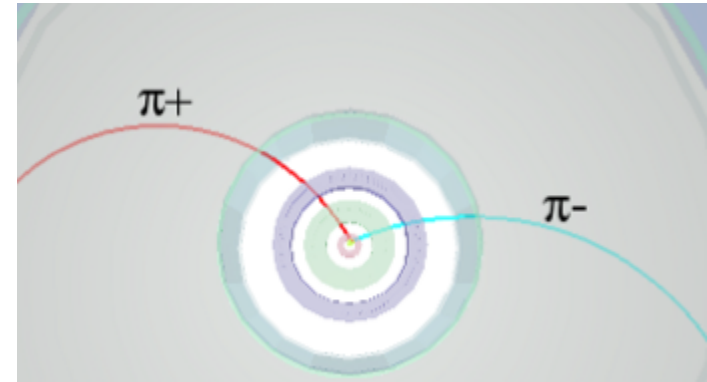
$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$$



$$\text{anti } \Lambda \rightarrow p^- + \pi^+$$



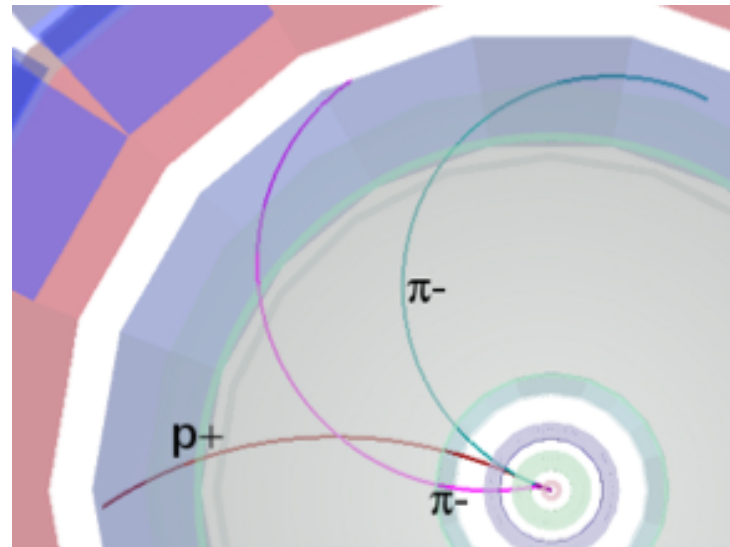
$$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$



Масса протона = 0.938 ГэВ
Масса пиона = 0.139 ГэВ
Масса электрона = 0.000511 ГэВ

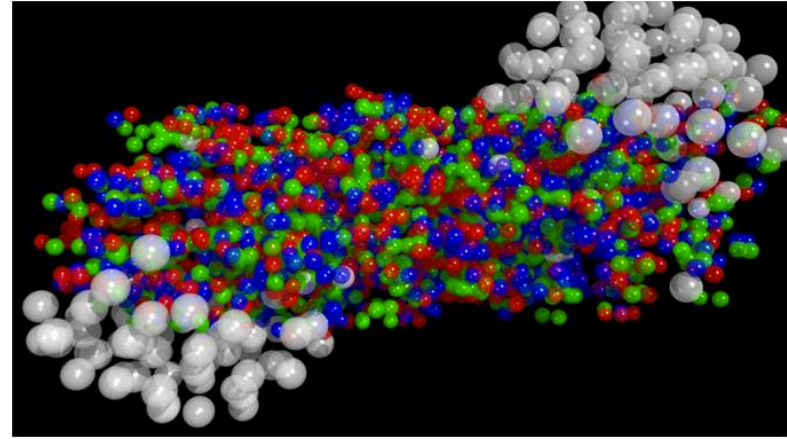
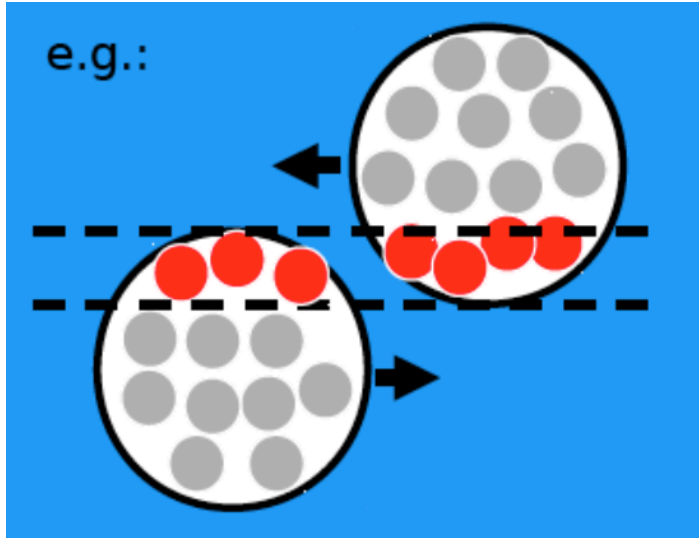
Каскадный распад:

$$\Xi^- \rightarrow \pi^- \Lambda \rightarrow \pi^- p + \pi^-$$



Соударения ядер

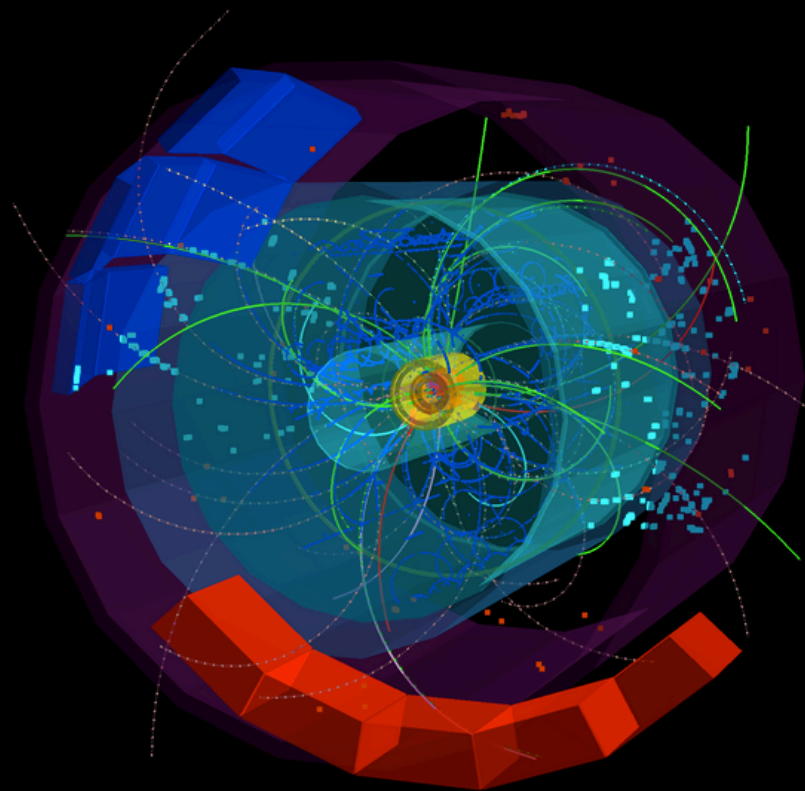
«Центральность» соударения:



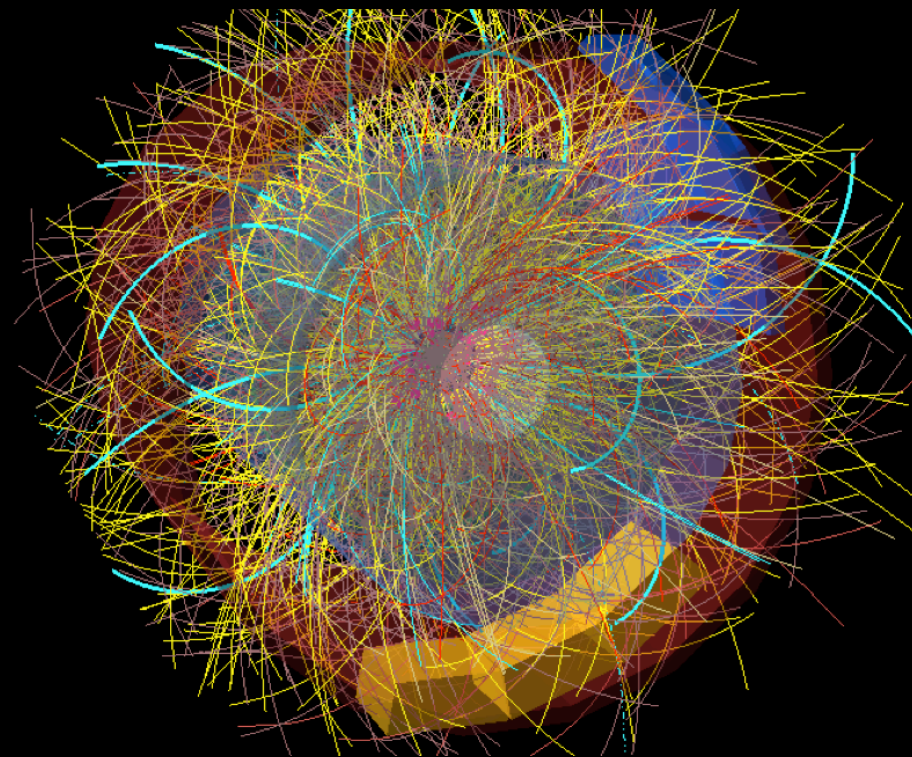
- ❖ От центральности меняются многие параметры события, например, количество частиц
- ❖ Наблюдаются также **«коллективные» эффекты**, например, **увеличение выхода странных частиц**

Столкновения в детекторе ALICE

протон-протонные



Pb-Pb



Упражнение 2:

Автоматический анализ большой статистики событий

Команды для запуска второй части мастеркласса:

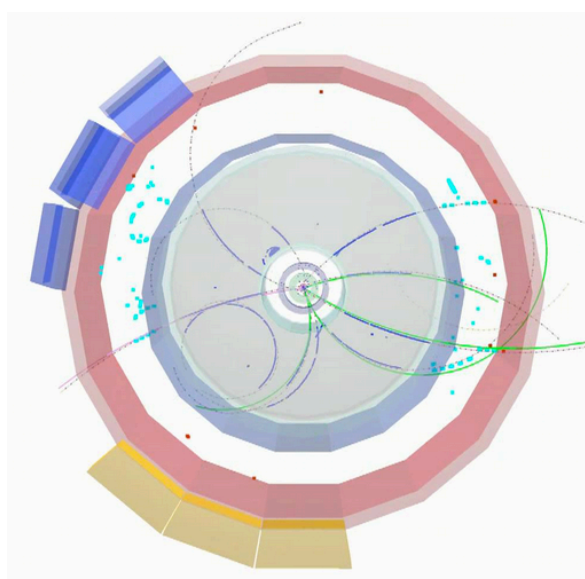
```
cd MasterClass_extended/  
root masterclassExtended.C
```

Задача:

Произвести «фитирование» распределений по инвариантной массе в Pb-Pb событиях, выделить **сигнал** над **фоном**

Итоги

- ✦ Заряженные частицы оставляют в детекторе сигналы («хиты»), по которым реконструируются их траектории («треки»)
- ✦ Заряды и импульсы заряженных частиц определяются благодаря магнитному полю детектора
- ✦ Системы детектора ALICE умеют определять типы заряженных частиц
- ✦ Странные частицы реконструируются
 - ✦ по «топологии» их распадов
 - ✦ по инвариантной массе дочерних частиц
- ✦ Анализ большого количества данных невозможен вручную → требуется автоматический анализ! (т.е. написание программ)



Знаем **заряд**, **импульс**, **направление**.

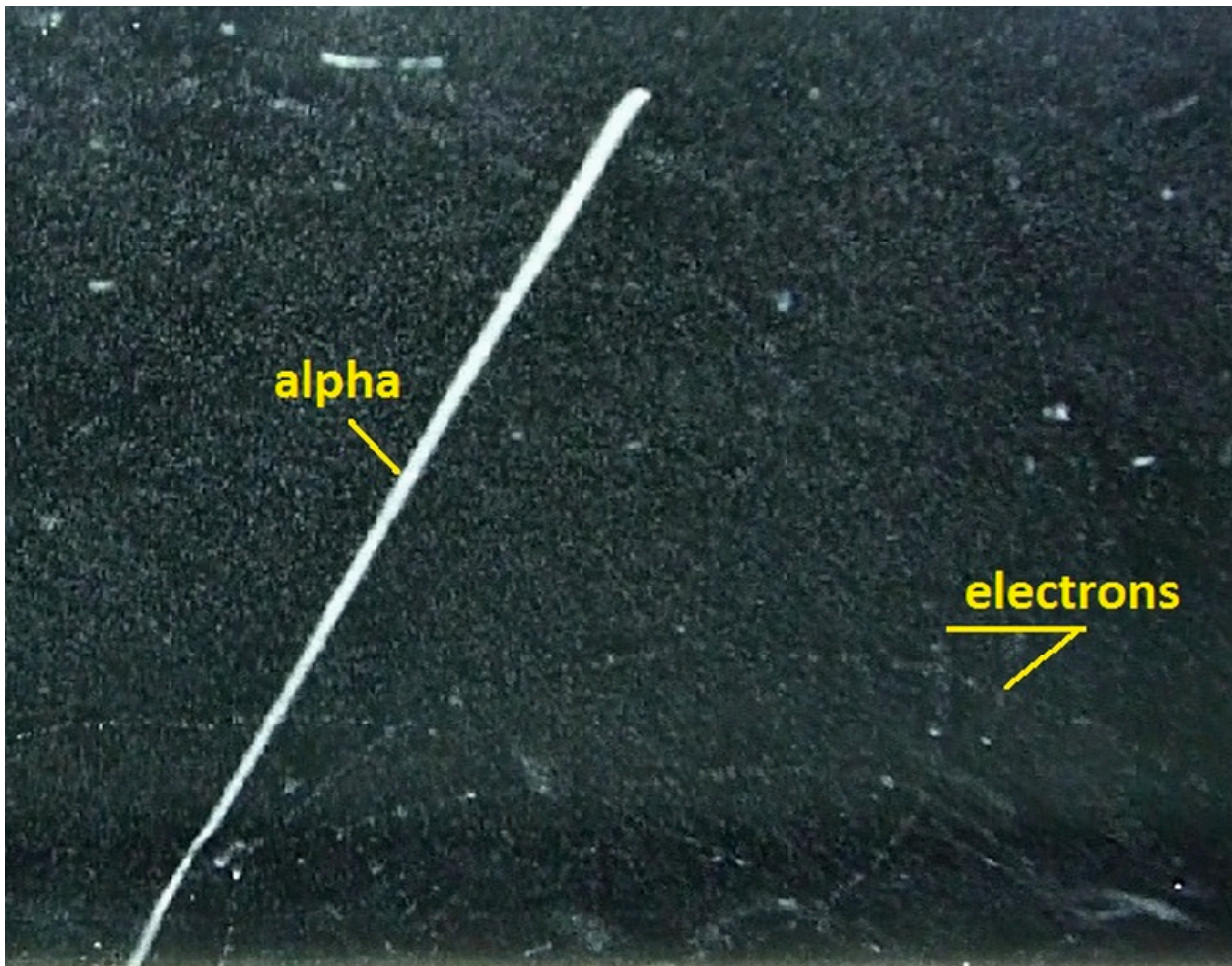
Что еще нужно знать о частице?

→ Тип частицы!

(протон? электрон? пион? ...)

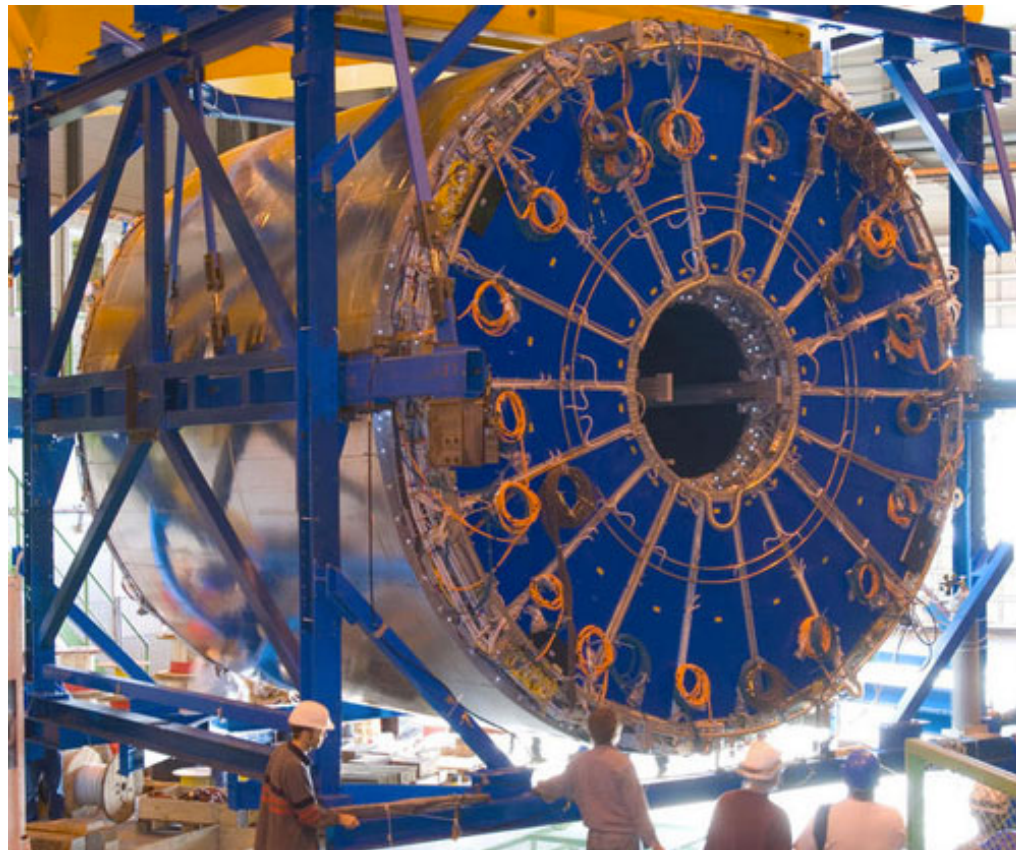
Принцип: при прохождении через вещество, разные частицы по-разному теряют энергию!

Пример: альфа-частица и электроны в камере Вильсона:

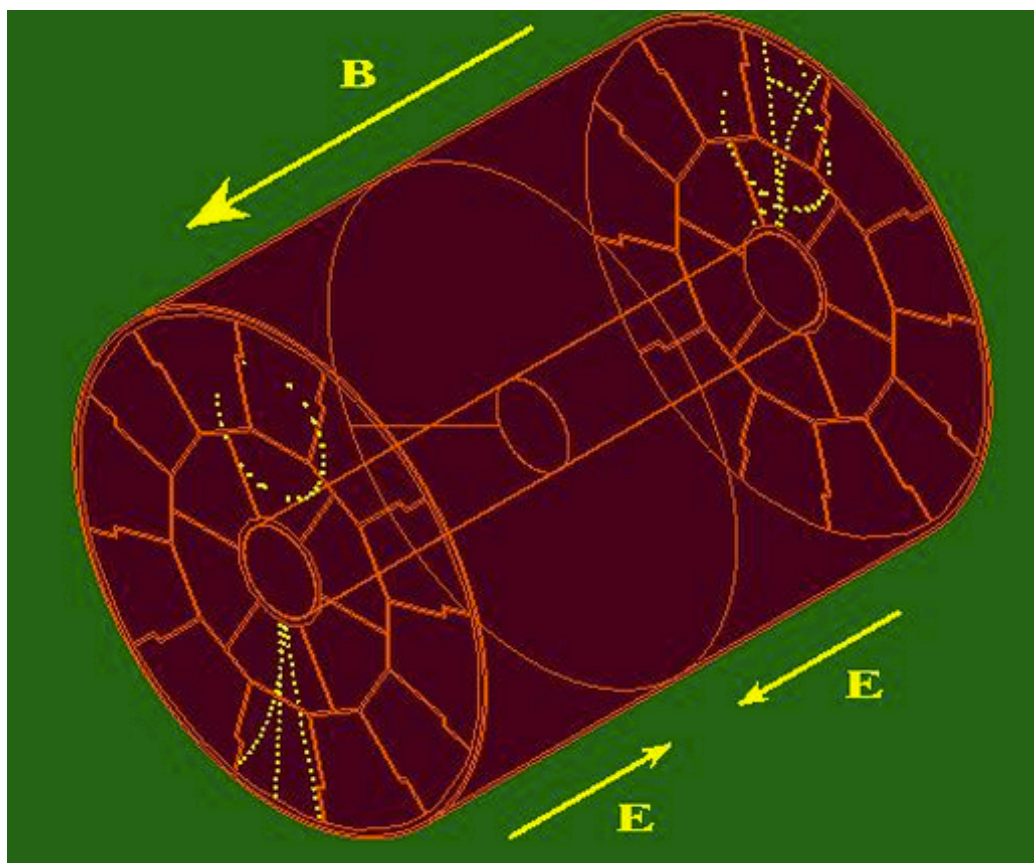


В установке **ALICE** основной детектор для трекинга и идентификации частиц:

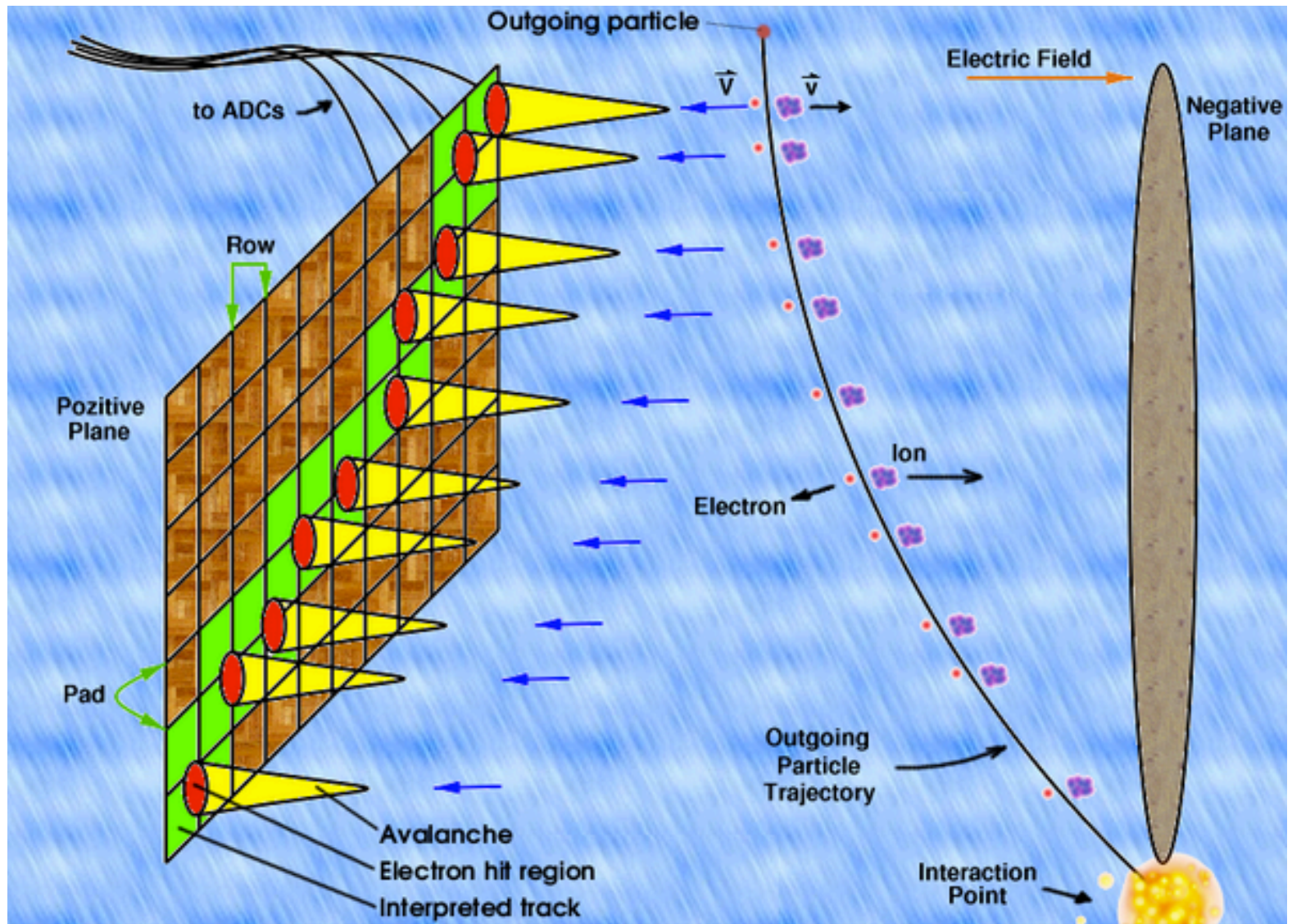
Время-проекционная камера (Time Projection Chamber, TPC)



Заряженная частица ионизирует газ,
электроны под действием электрического
поля попадают на торцы ТРС



TRC дает 3D-координаты хитов
и информацию о типе частицы



Потери энергии в Time Projection Chamber

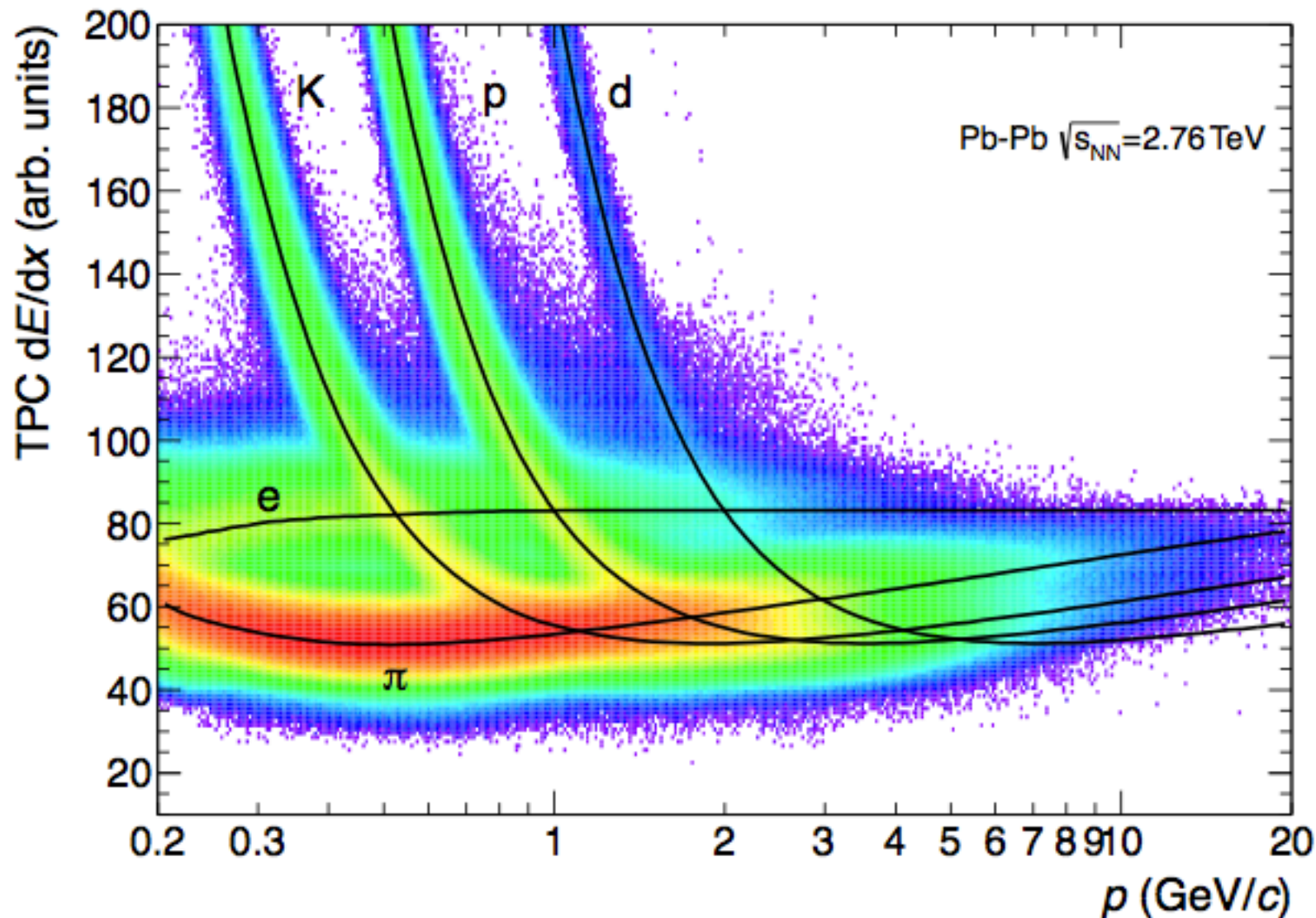


Fig. 34: Specific energy loss (dE/dx) in the TPC vs. particle momentum in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV. The lines show the parametrizations of the expected mean energy loss.