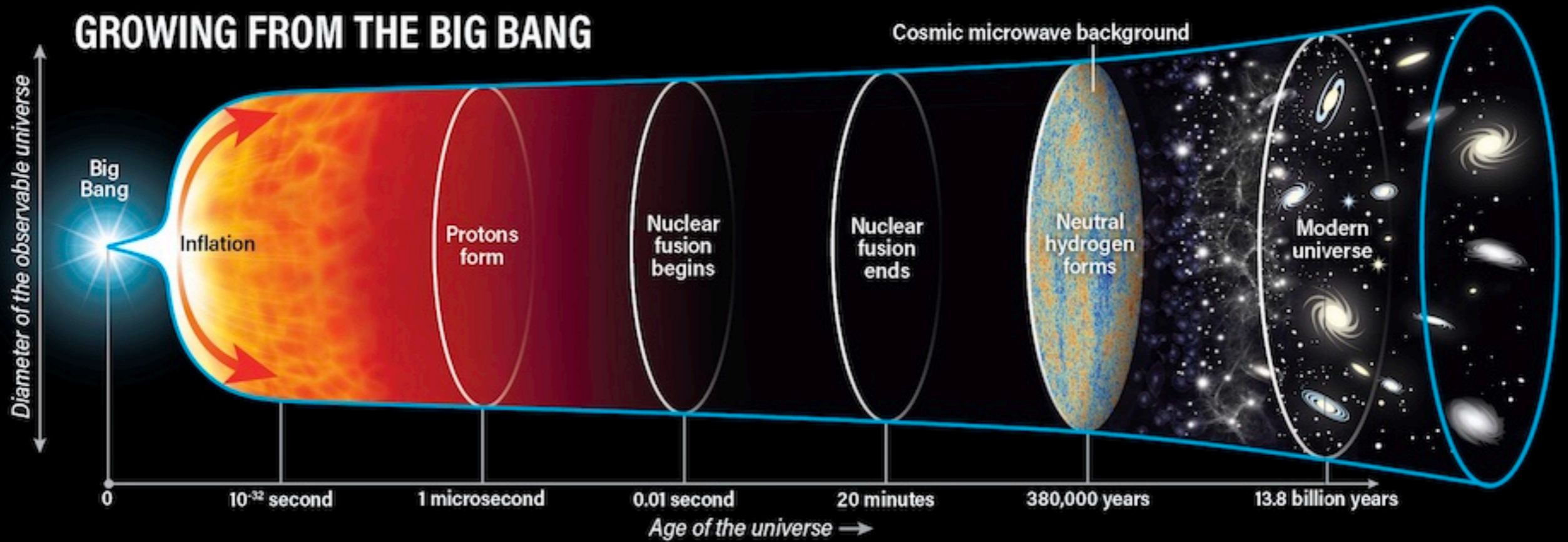


A complex visualization of particle tracks, likely from a detector, showing a dense field of lines radiating from a central point. The lines are primarily blue, with some green and orange lines interspersed. The background is black, making the colorful lines stand out. The tracks appear to be a result of a particle interaction, with many lines extending outwards from a central vertex.

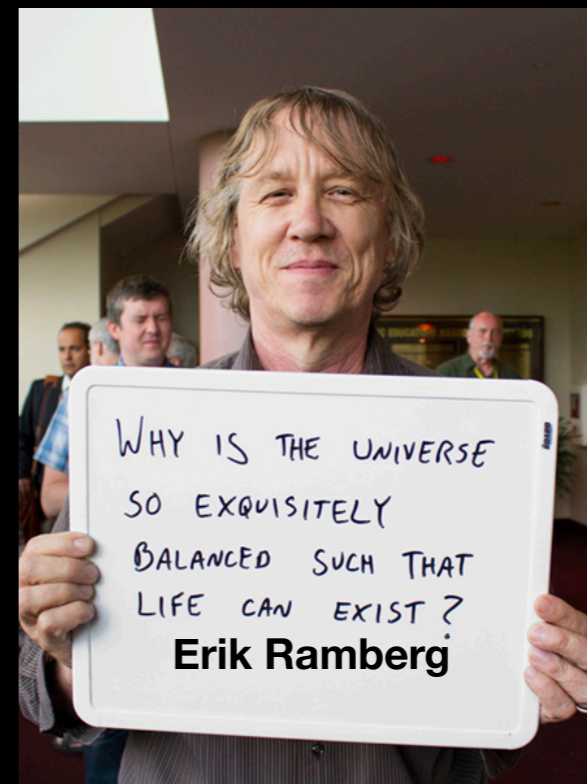
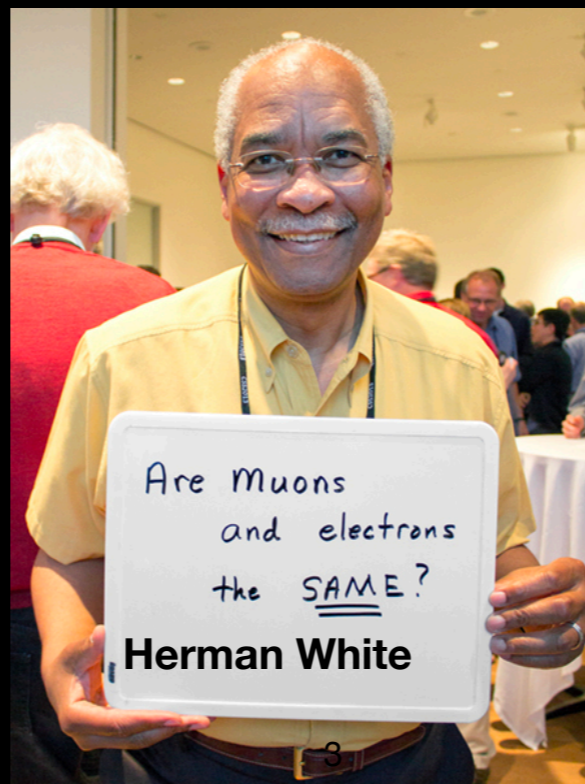
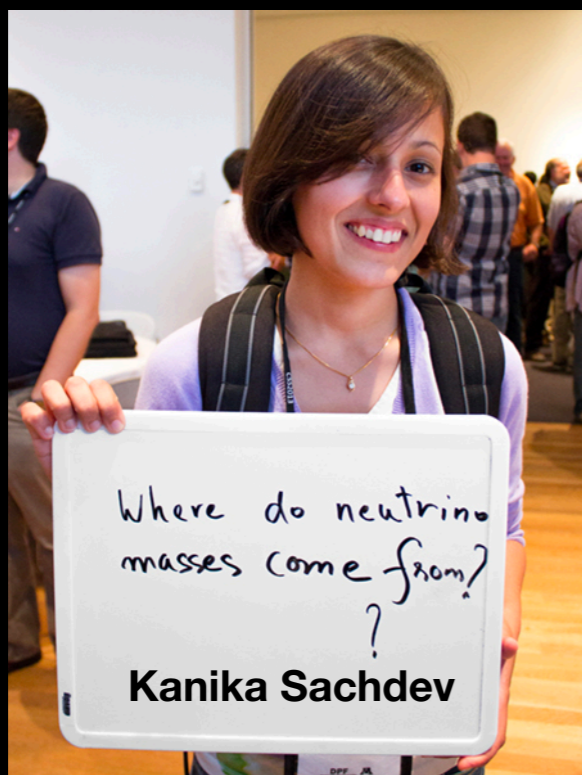
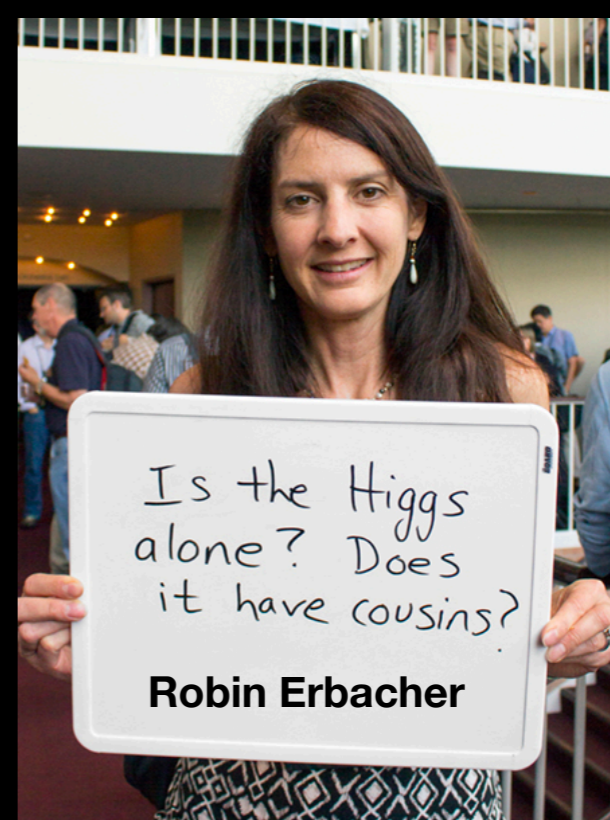
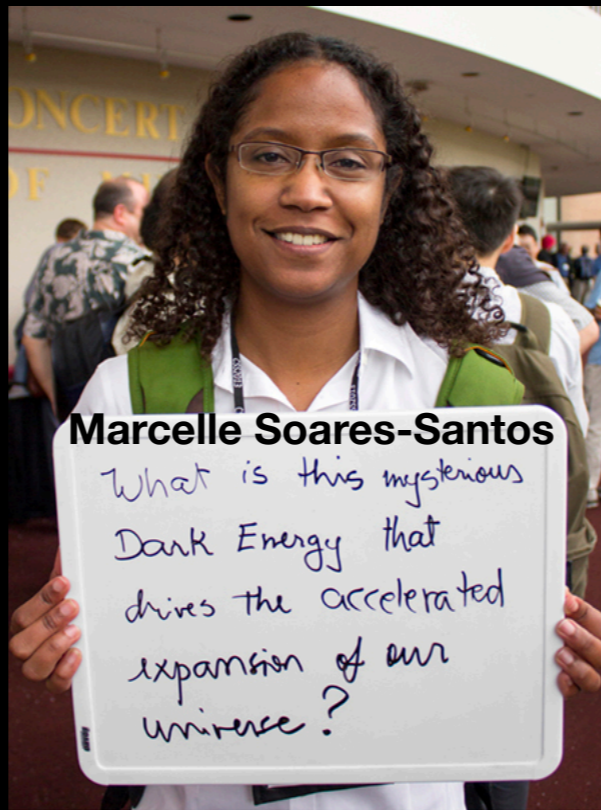
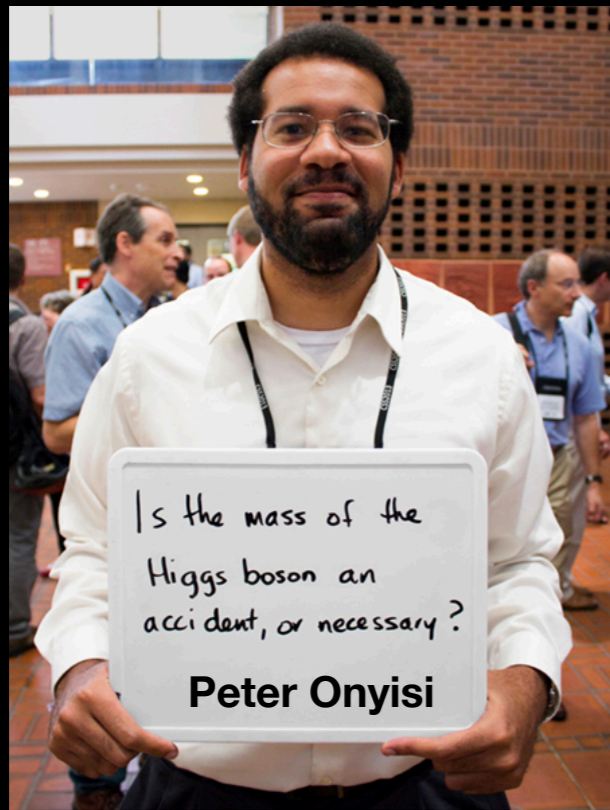
Як побачити частинку на власні очі?

Огляд трекінгових детекторів

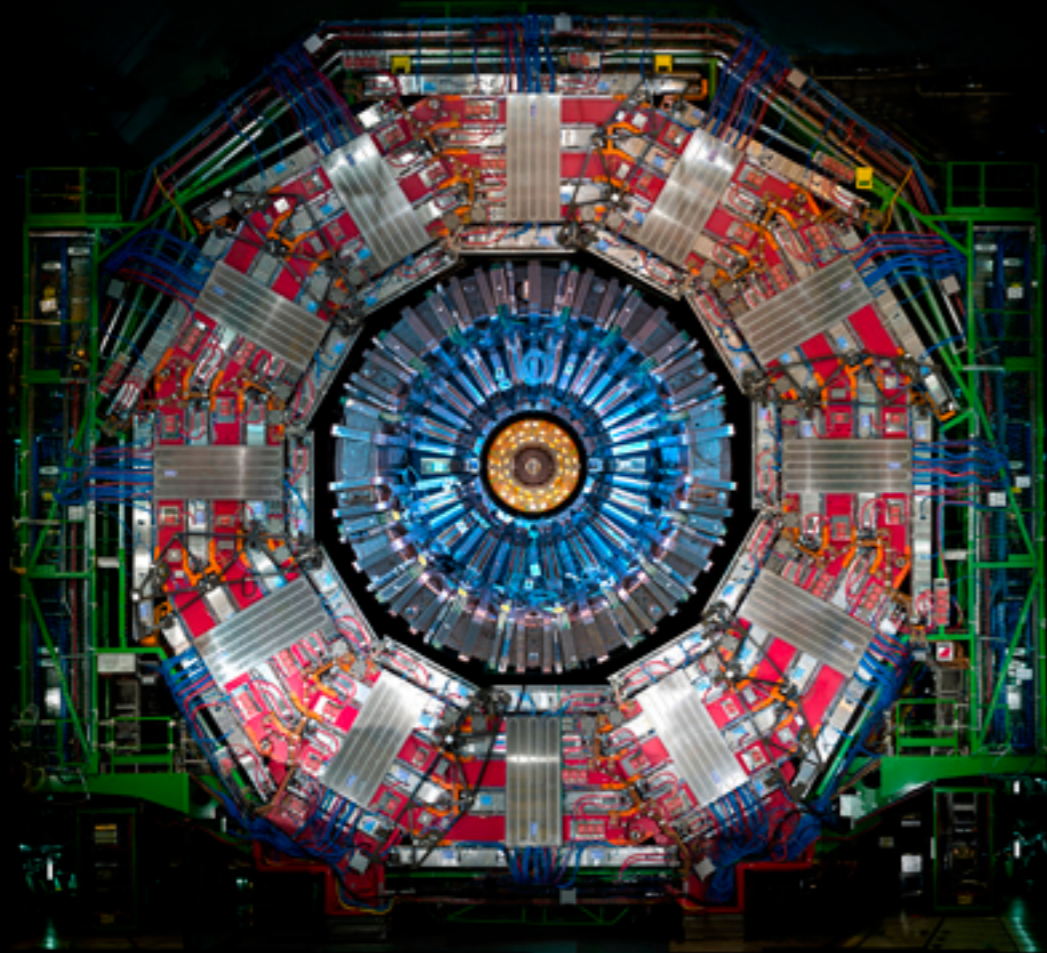
GROWING FROM THE BIG BANG



Питання фізики частинок



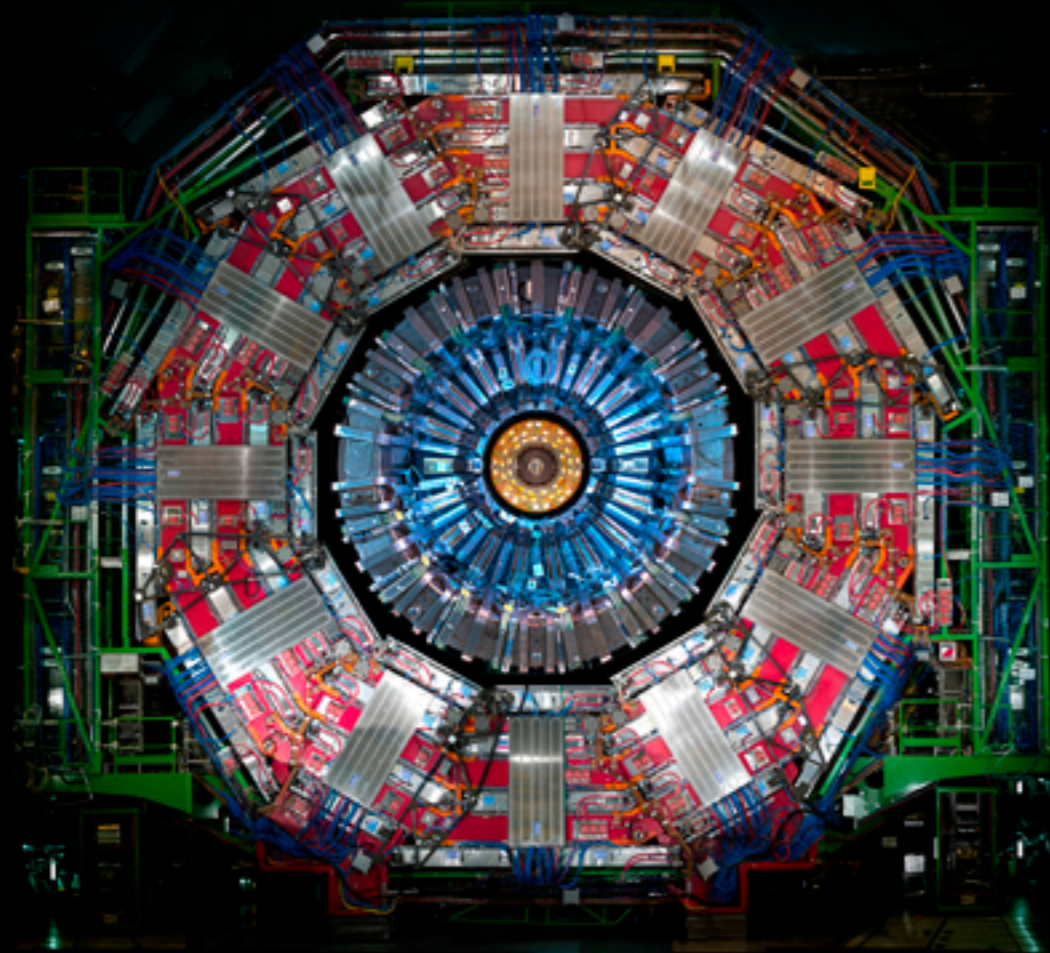
Як відповісти на ці запитання?



Експеримент

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} \\ & + i \bar{\Psi} \not{D} \Psi \\ & + \bar{\Psi}_i \gamma_{ij} \Psi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

Теорія

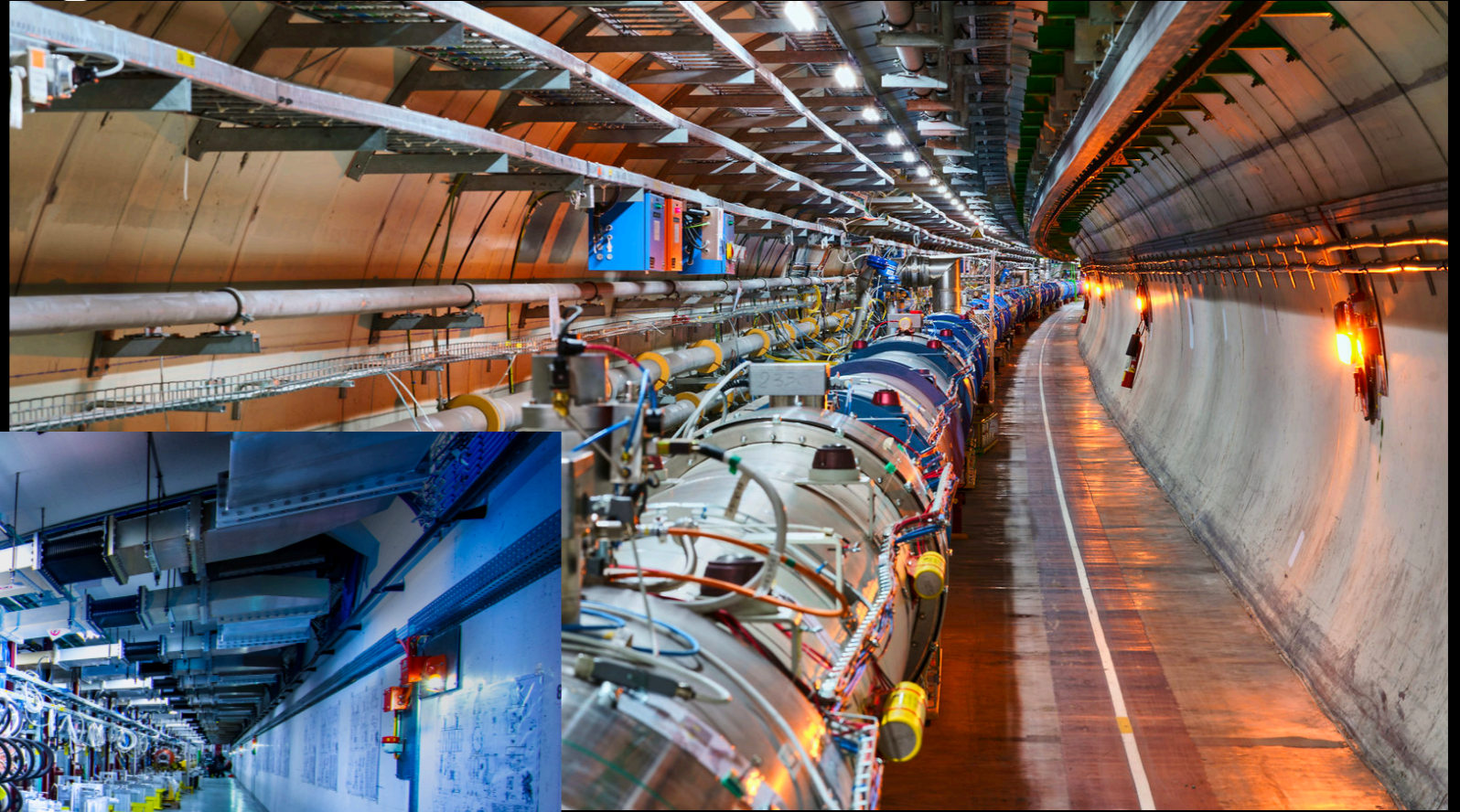


Експеримент

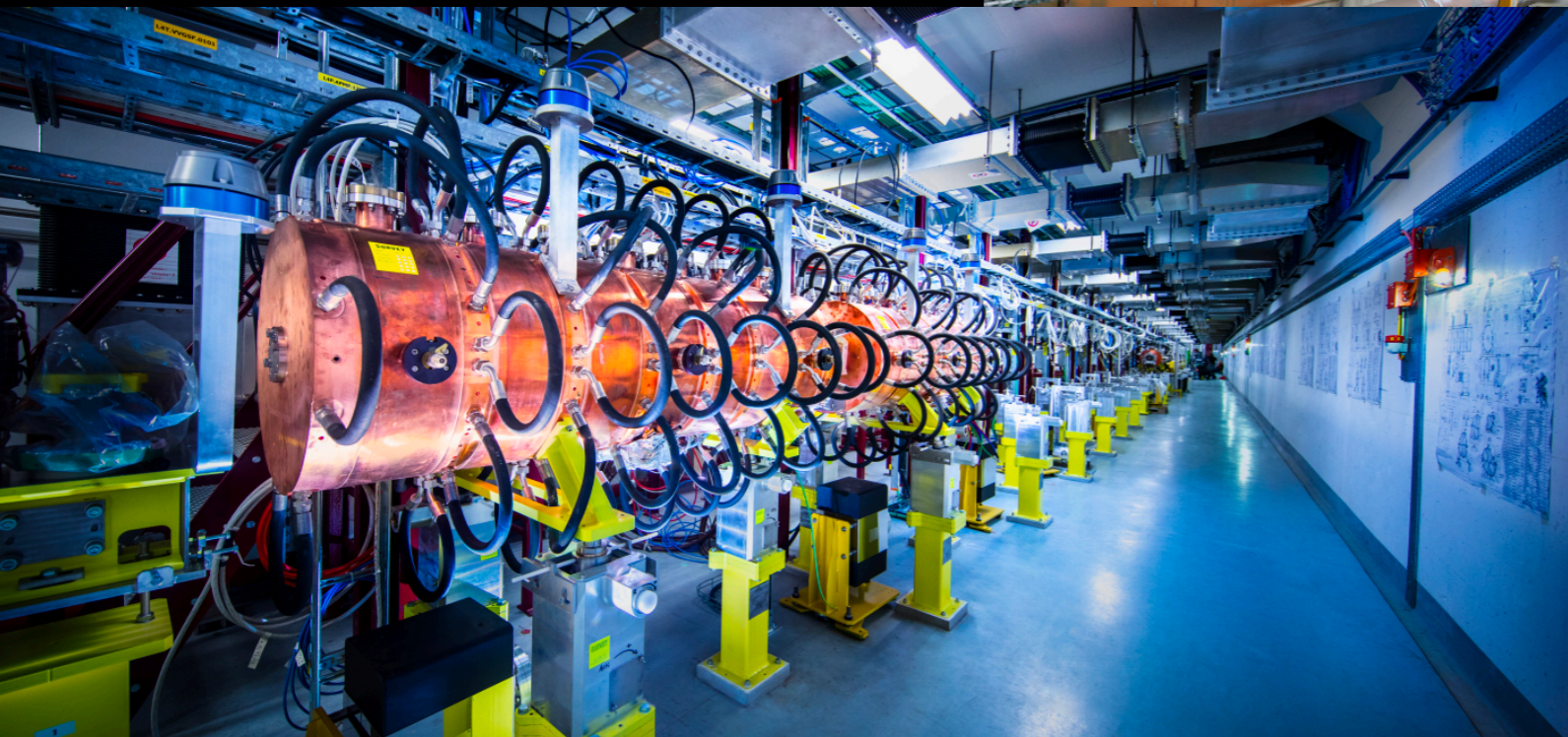
$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} \\ & + i \bar{\Psi} \not{D} \Psi \\ & + \bar{\Psi}_i \gamma_{ij} \Psi_j \not{\Phi} + \text{h.c.} \\ & + |D_{\mu} \Phi|^2 - V(\Phi) \end{aligned}$$

Теорія

Прискорювачі



Великий адронний колайдер, CERN

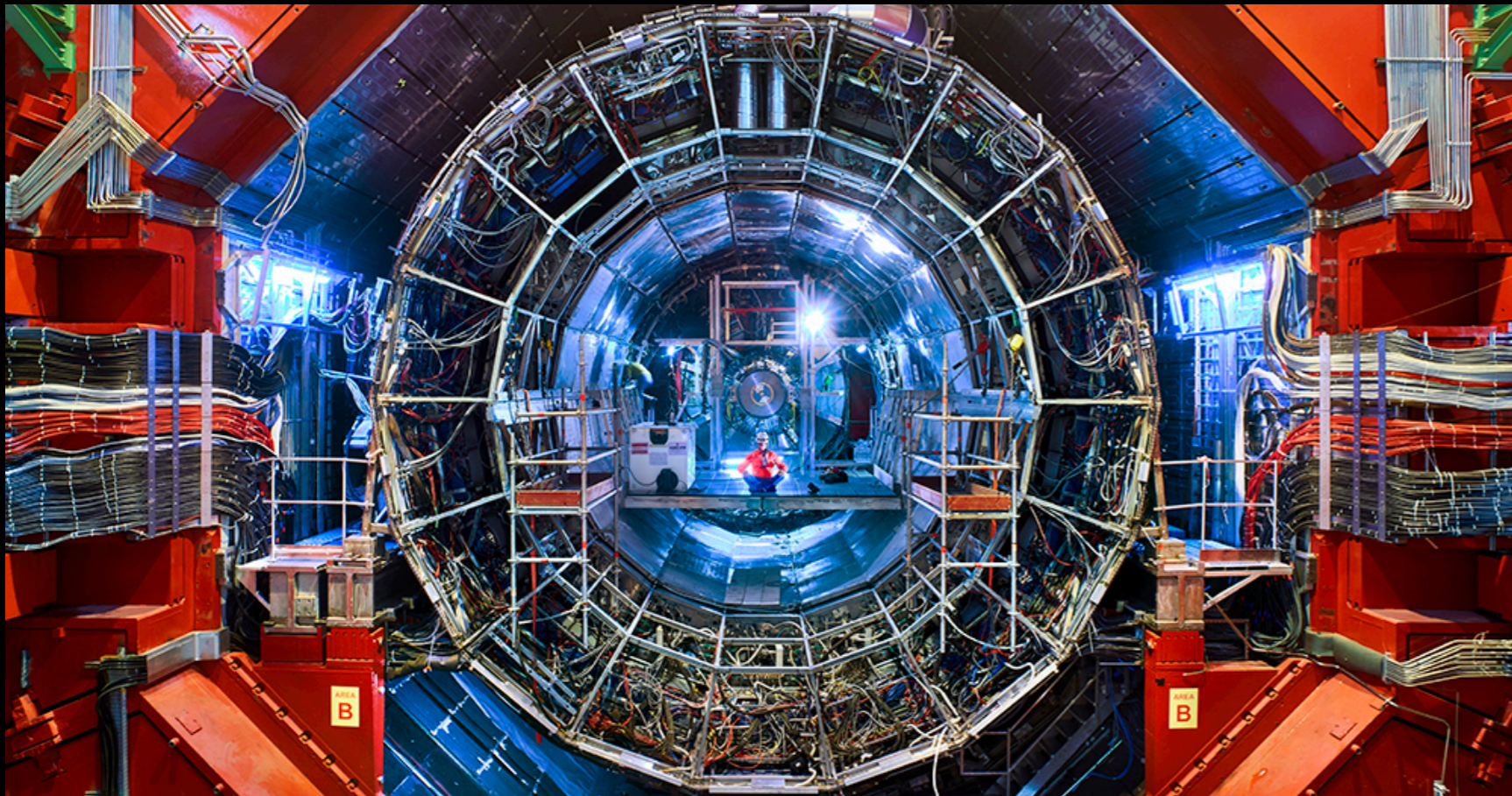


Лінійний прискорювач, Linac 4, CERN



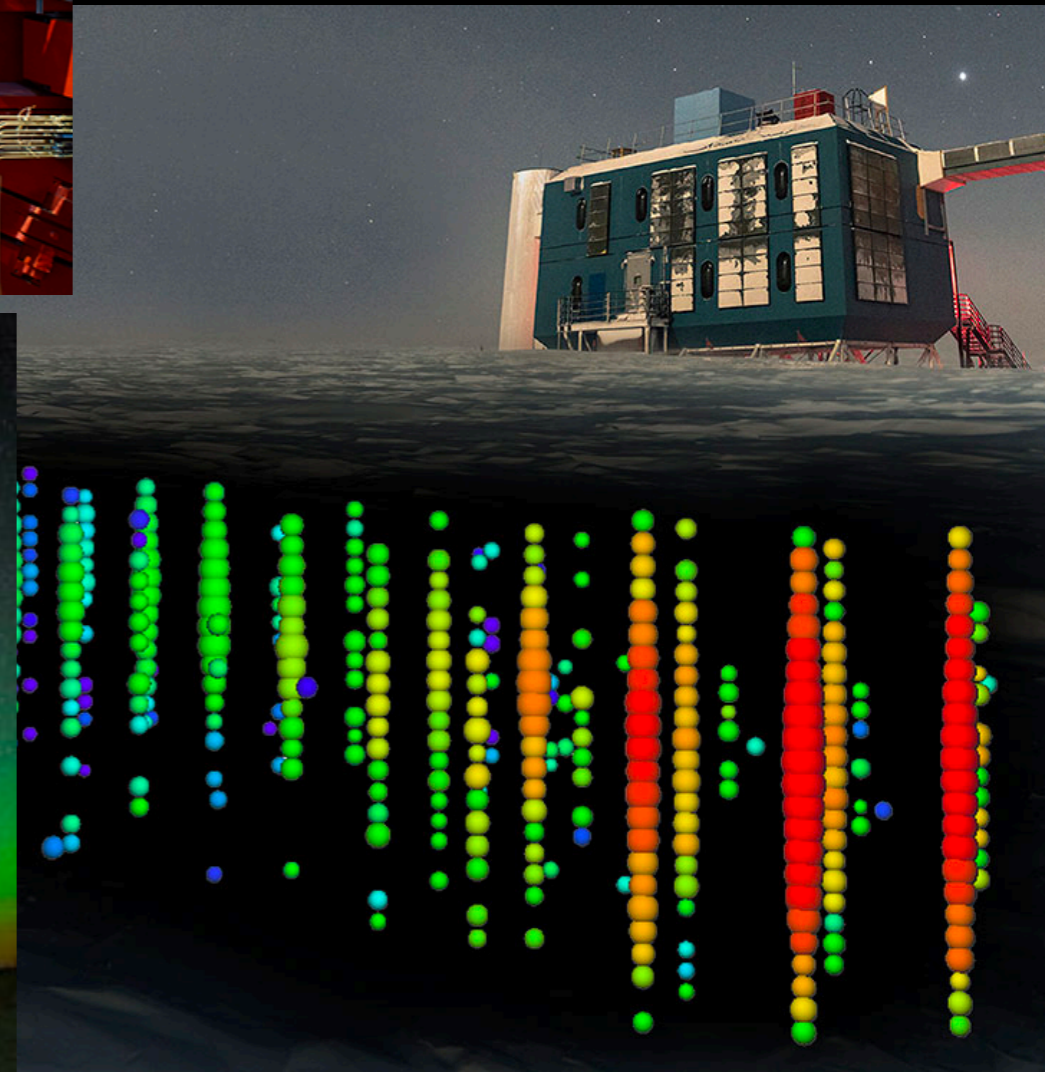
Космічні промені

Детектори



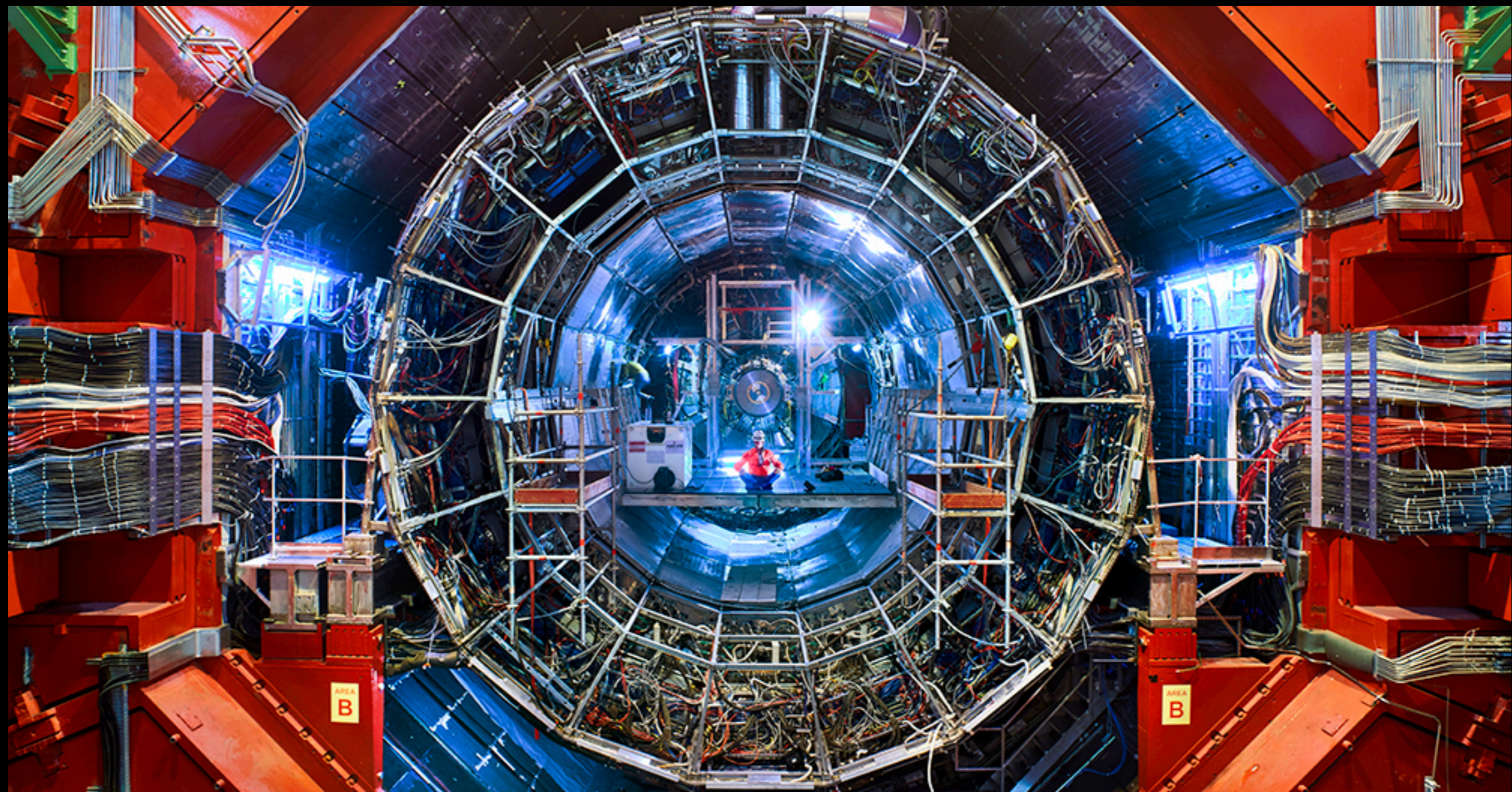
ALICE, CERN

IceCube, Antarctica



Pierre Auger observatory for Cosmic rays

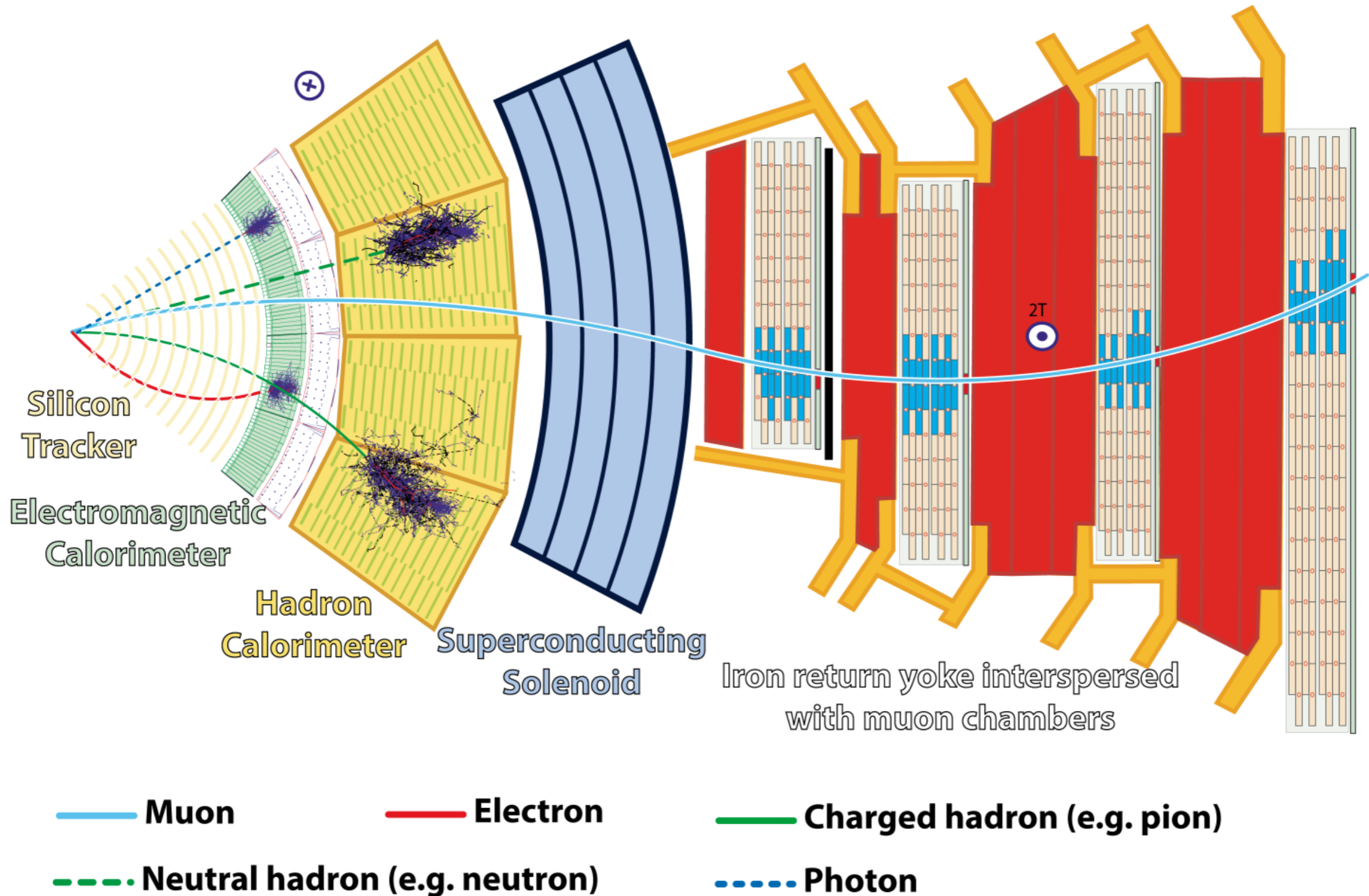
Детектори





CMS
DETEKTOR

Типовий детектор



Чому траєкторія частинки - це важливо?

1. **Ідентифікація частинки** - де знаходиться частинка?



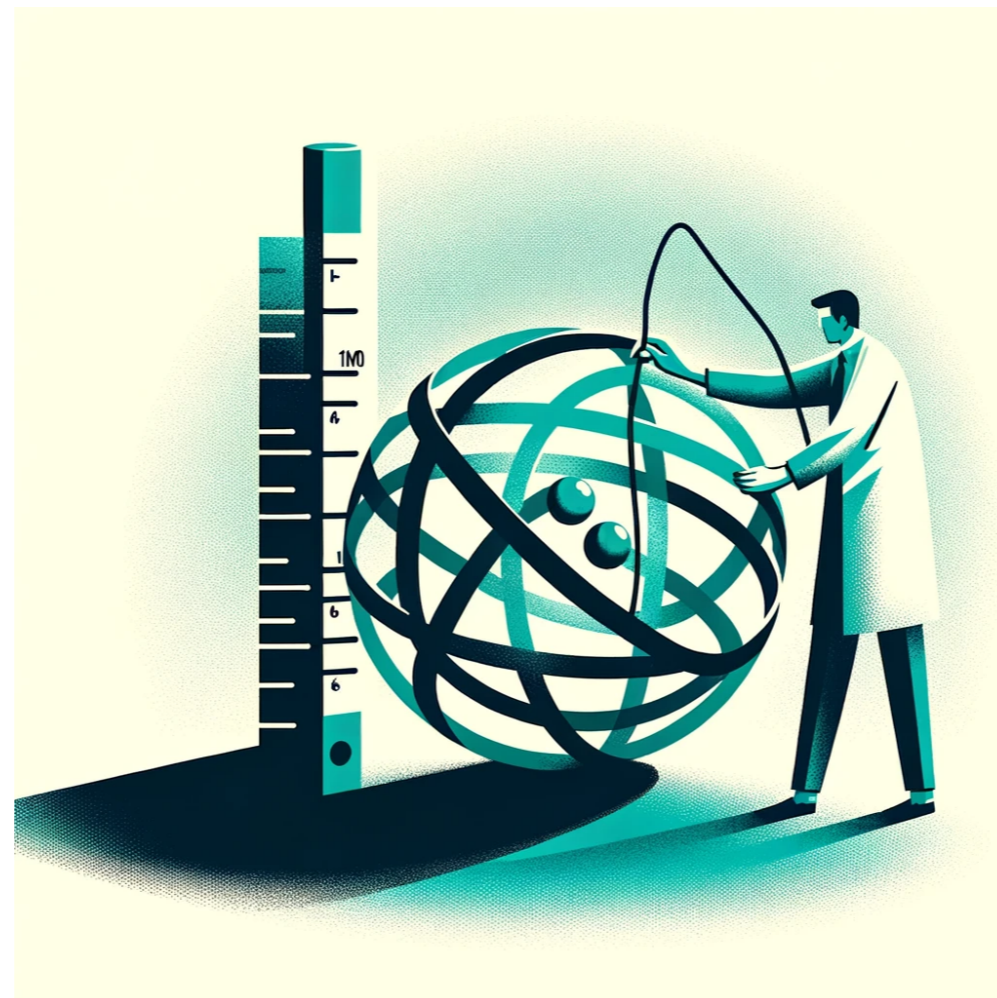
Чому траєкторія частинки - це важливо?

1. **Ідентифікація частинки** - де знаходиться частинка?
2. **Тригер/Коли зчитувати інформацію** - коли частинка пролетіла?



Чому траєкторія частинки - це важливо?

1. **Ідентифікація частинки** - де знаходиться частинка?
2. **Тригер/Коли зчитувати інформацію** - коли частинка пролетіла?
3. **Вимірювання імпульсу (за наявності магнітного поля)** - скільки енергії несе частинка?

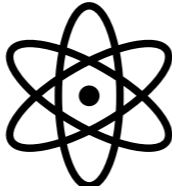


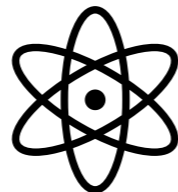
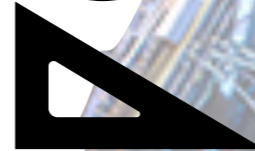
Чому траєкторія частинки - це важливо?

1. **Ідентифікація частинки** - де знаходиться частинка?
2. **Тригер/Коли зчитувати інформацію** - коли частинка пролетіла?
3. **Вимірювання імпульсу (за наявності магнітного поля)** - скільки енергії несе частинка?



Вимоги до детектора

1. Швидке зчитування сигналу
2. Найвища просторова точність
3. Радіаційно стійкий 
4. Кількість матеріалу залежить від задачі



Застосування трекінгових детекторів



3D рентген з MediPix/TimePix :
<https://kt.cern/technologies/medipix3>



Сканування творів мистецтва



Цифрова радіологія



Комп'ютерна томографія (КТ)

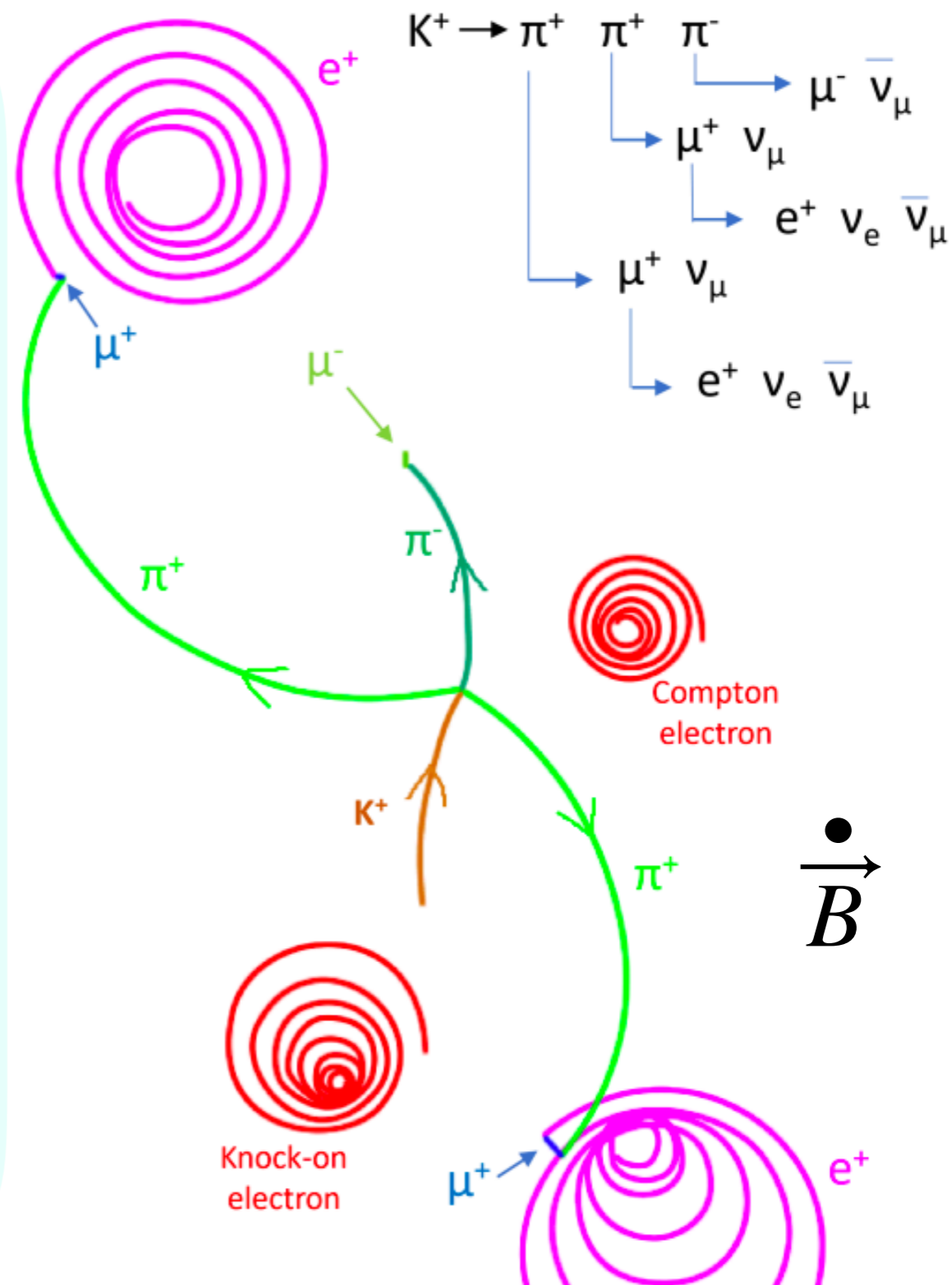
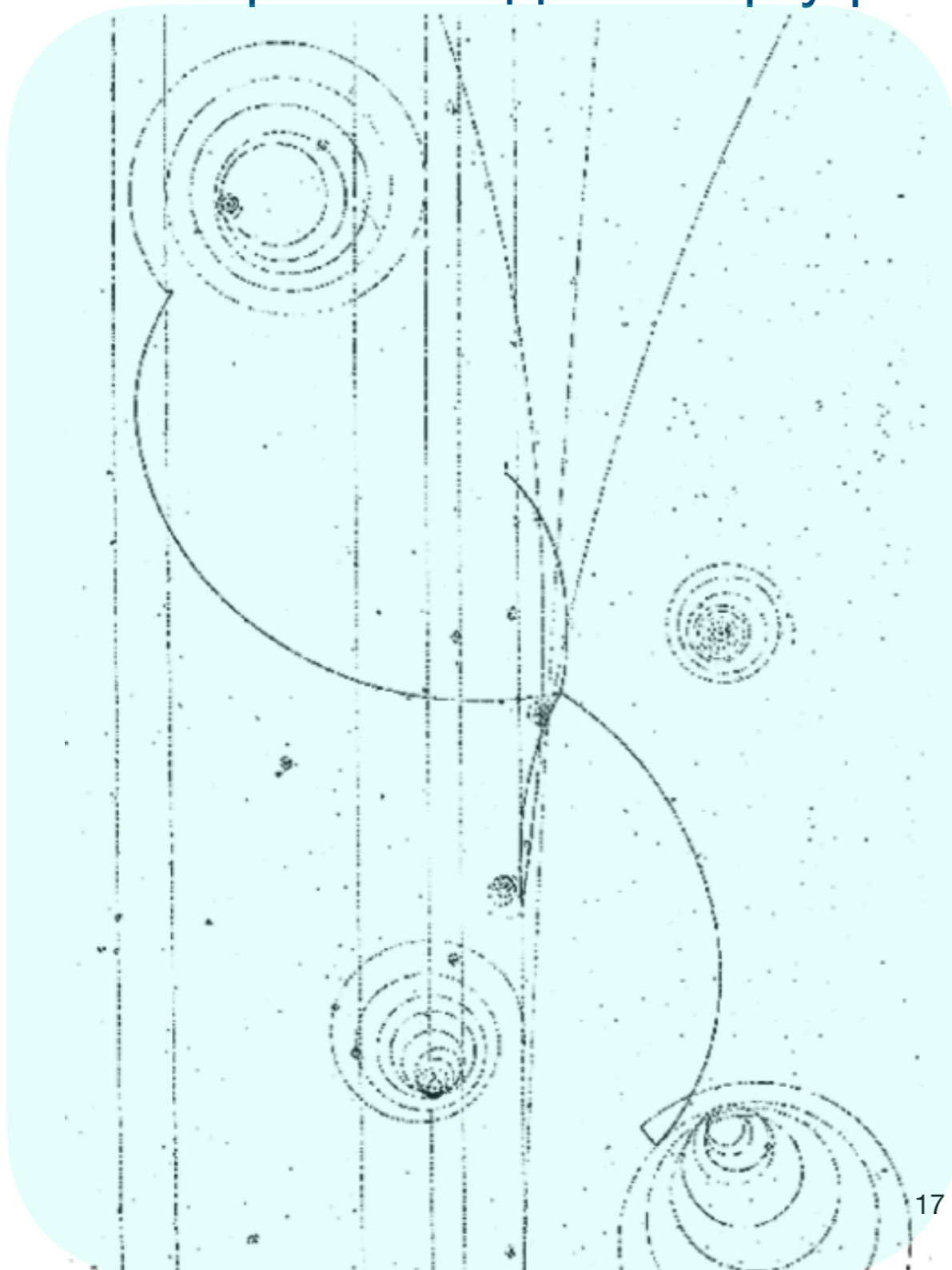


КТ для безпеки

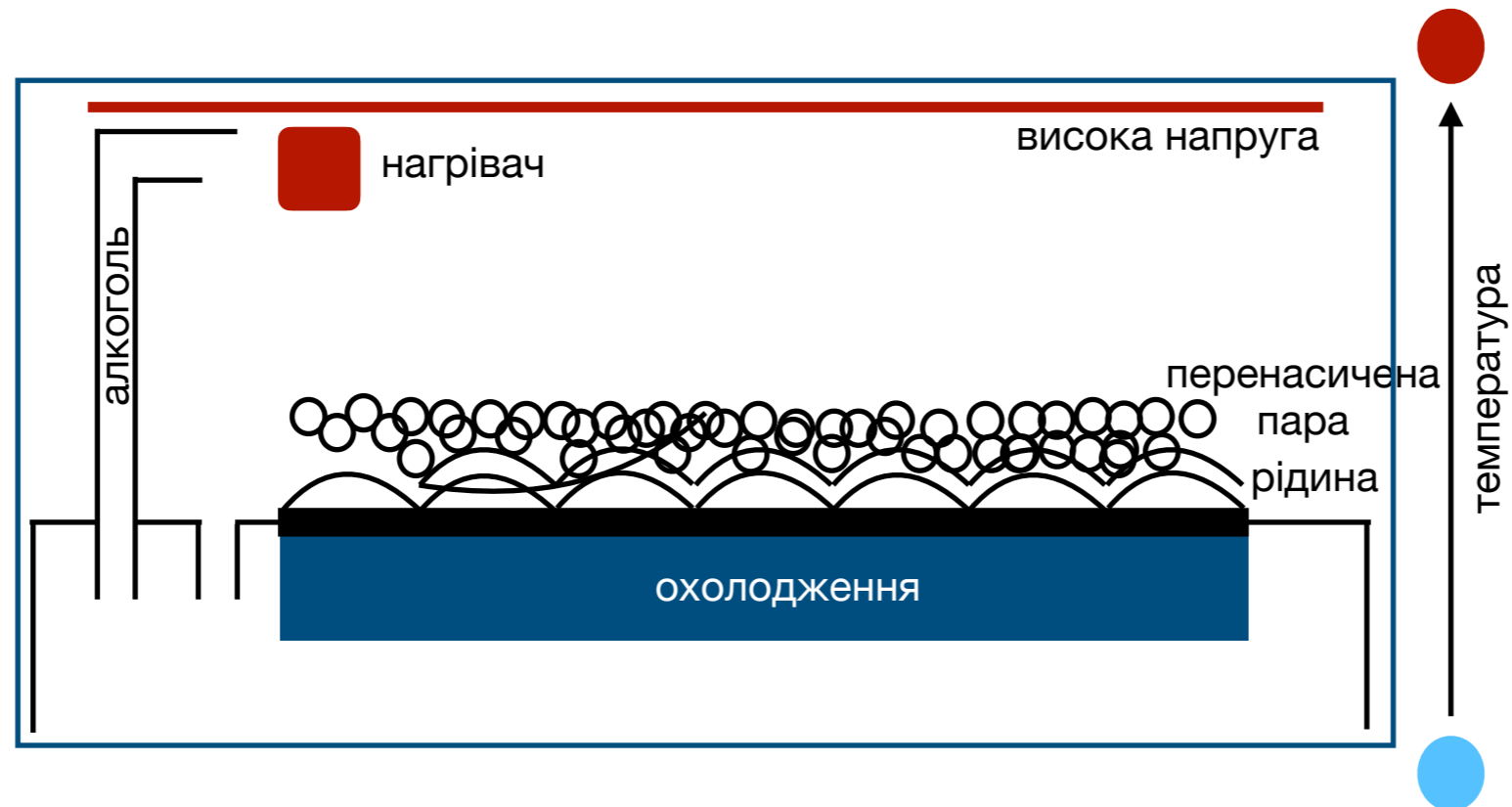


Cloud chamber/Камера Вільсона

- Винайдена 1912 році Чарльзом Вільсоном
- Найпоширеніший детектор у ранній фізиці частинок



Cloud chamber/Камера Вільсона

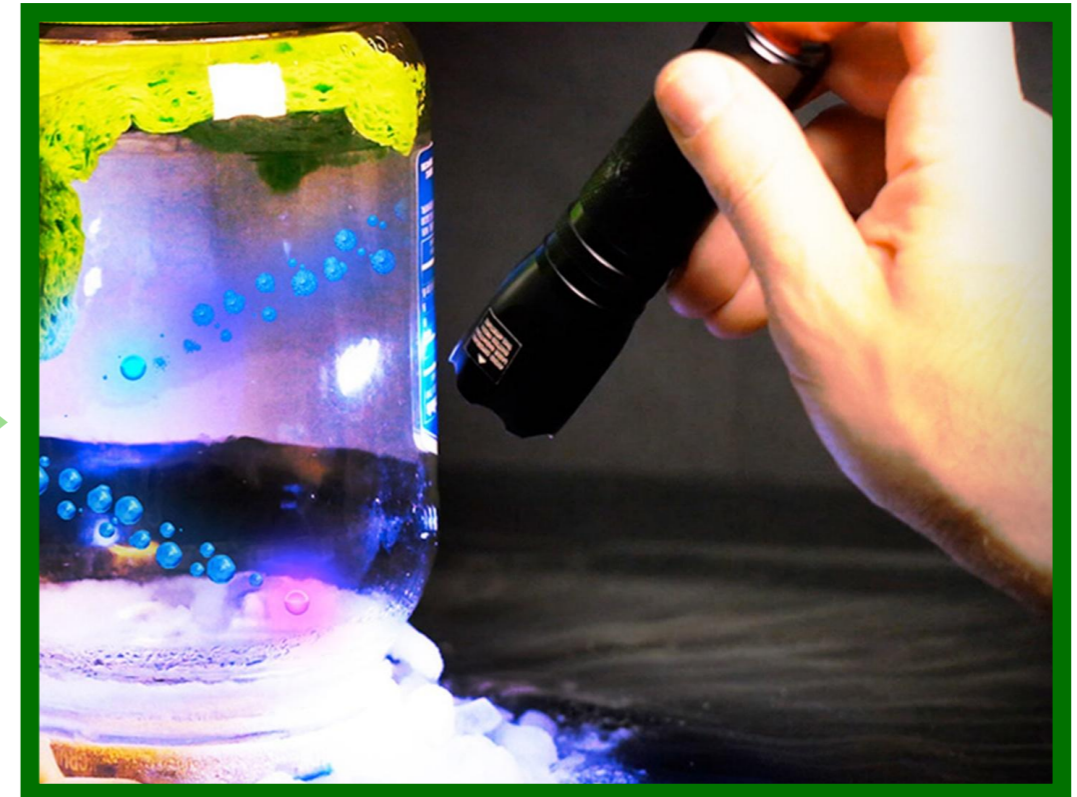
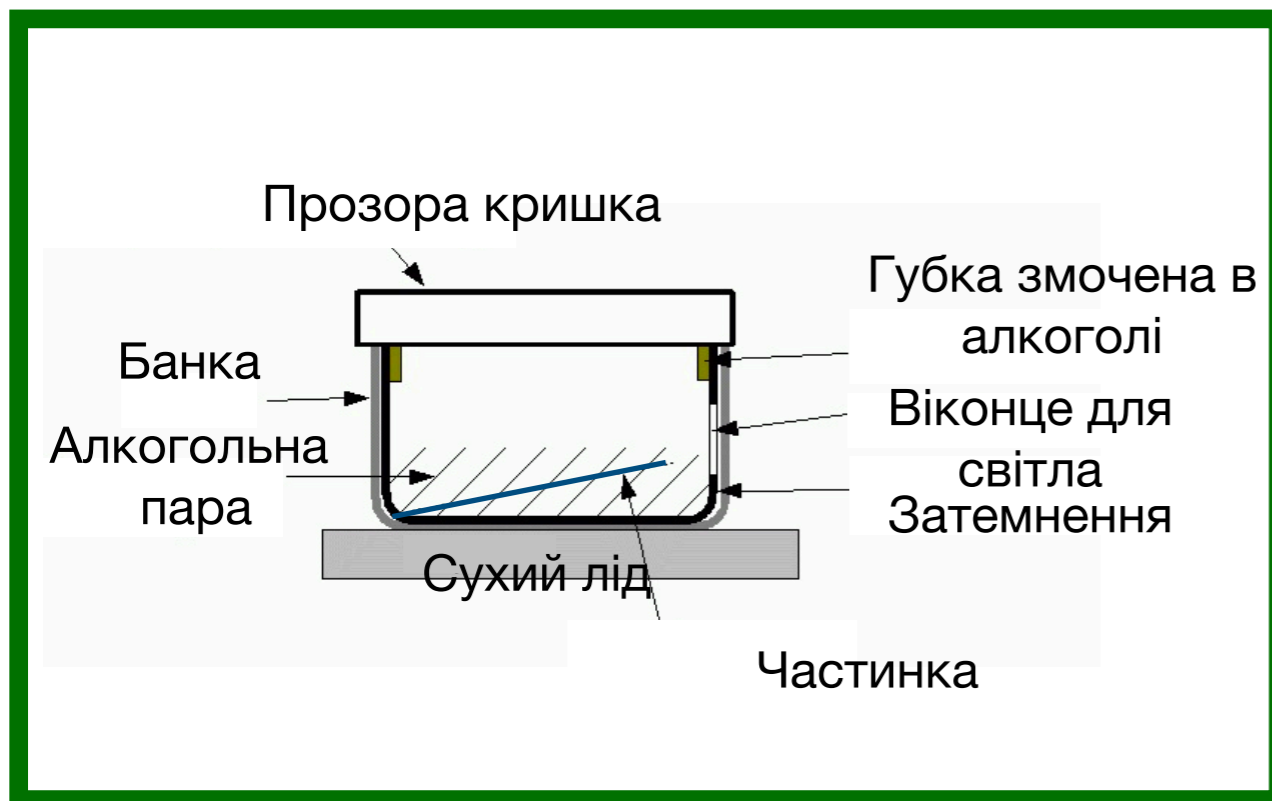


1. Заряджена частинка пролітаючи крізь пару іонізує її
2. Конденсація пари швидша при наявності іонів
3. Шлях (траєкторію) частинки з конденсованих крапельок можна сфотографувати

Cloud chamber/Камера Вільсона

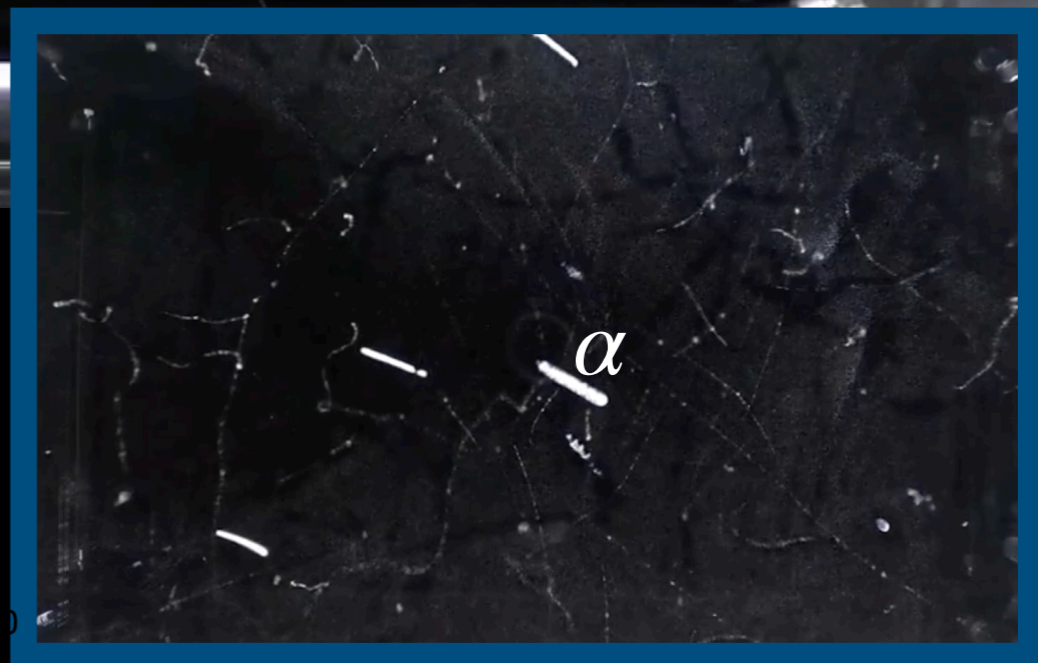
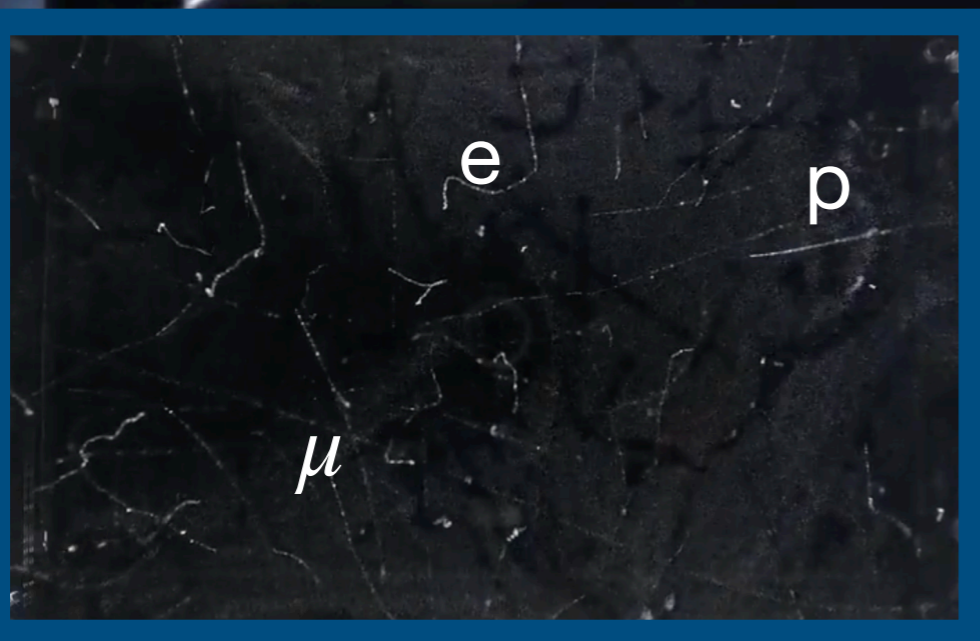


Відносно простий експеримент в “домашніх” умовах



Існують різні інструкції та варіації Камери Вільсона у банці
<https://youtu.be/400xfGmSlqQ>
<https://www.bellevuecollege.edu/physics/resources/cloudchmbr/>

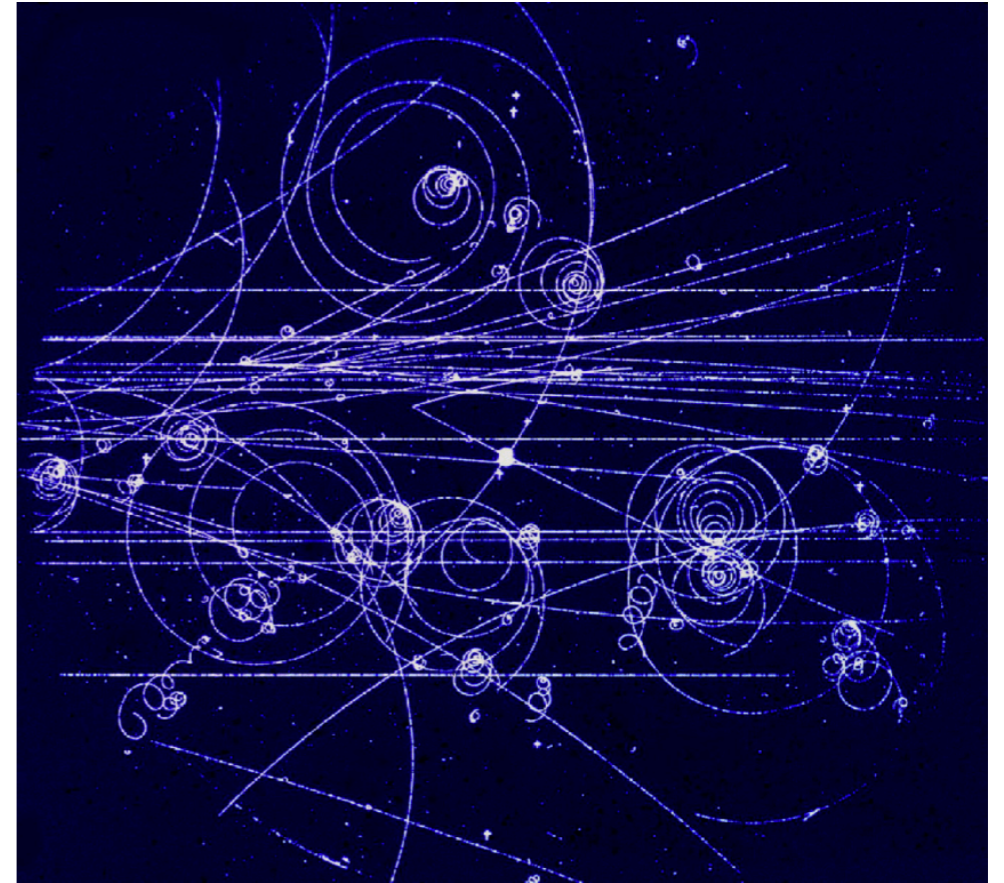
Камера Вільсона Nuledo



Камера Вільсона



$$+ \vec{B} =$$

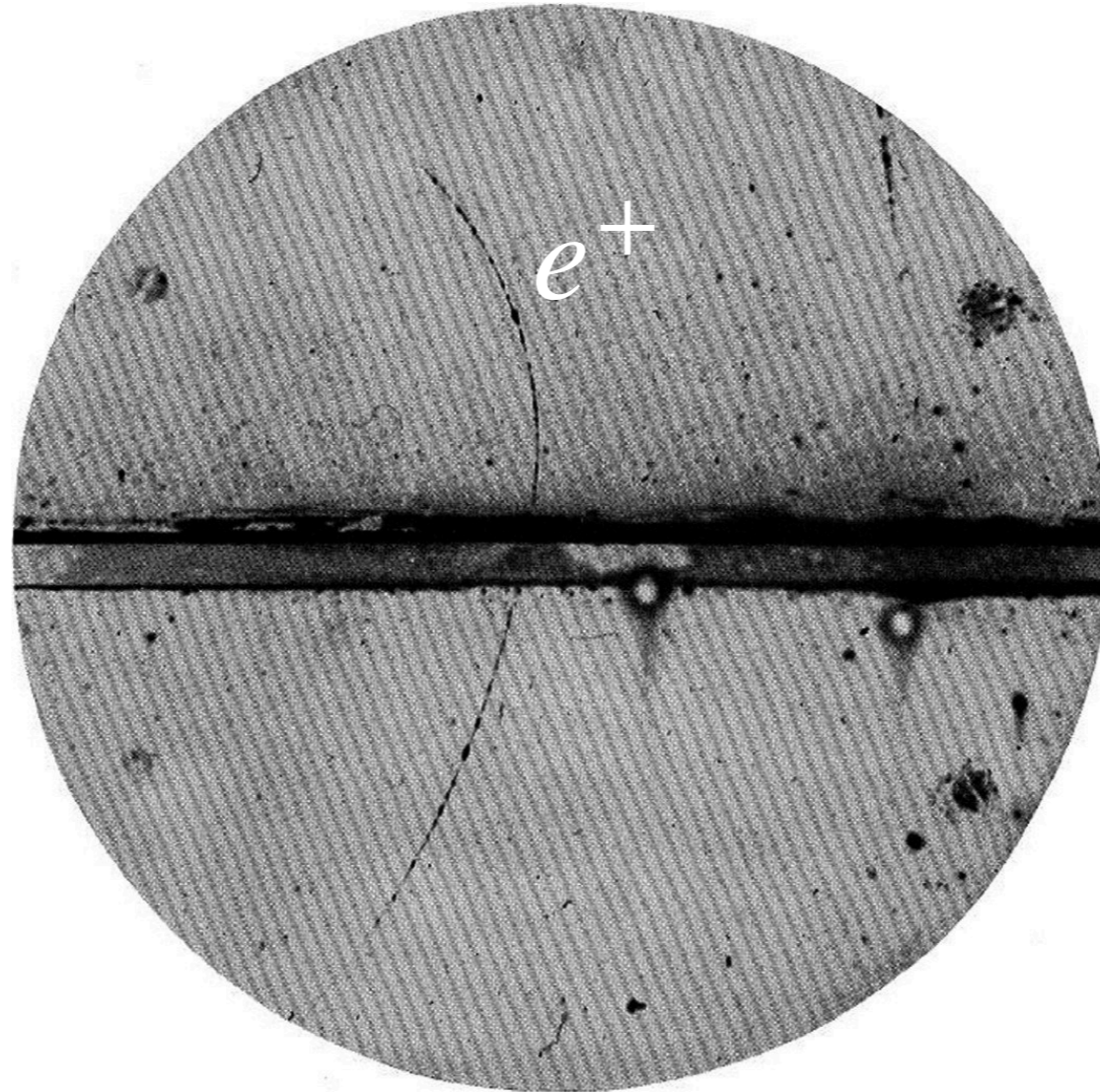


Закон Лоренца: $q(\vec{B} \times \vec{v}) = \frac{m\vec{v}^2}{r}$



Камера Вільсона

Відкриття позитрона



Відкриття позитрона Карлом Андерсоном 1932 р.

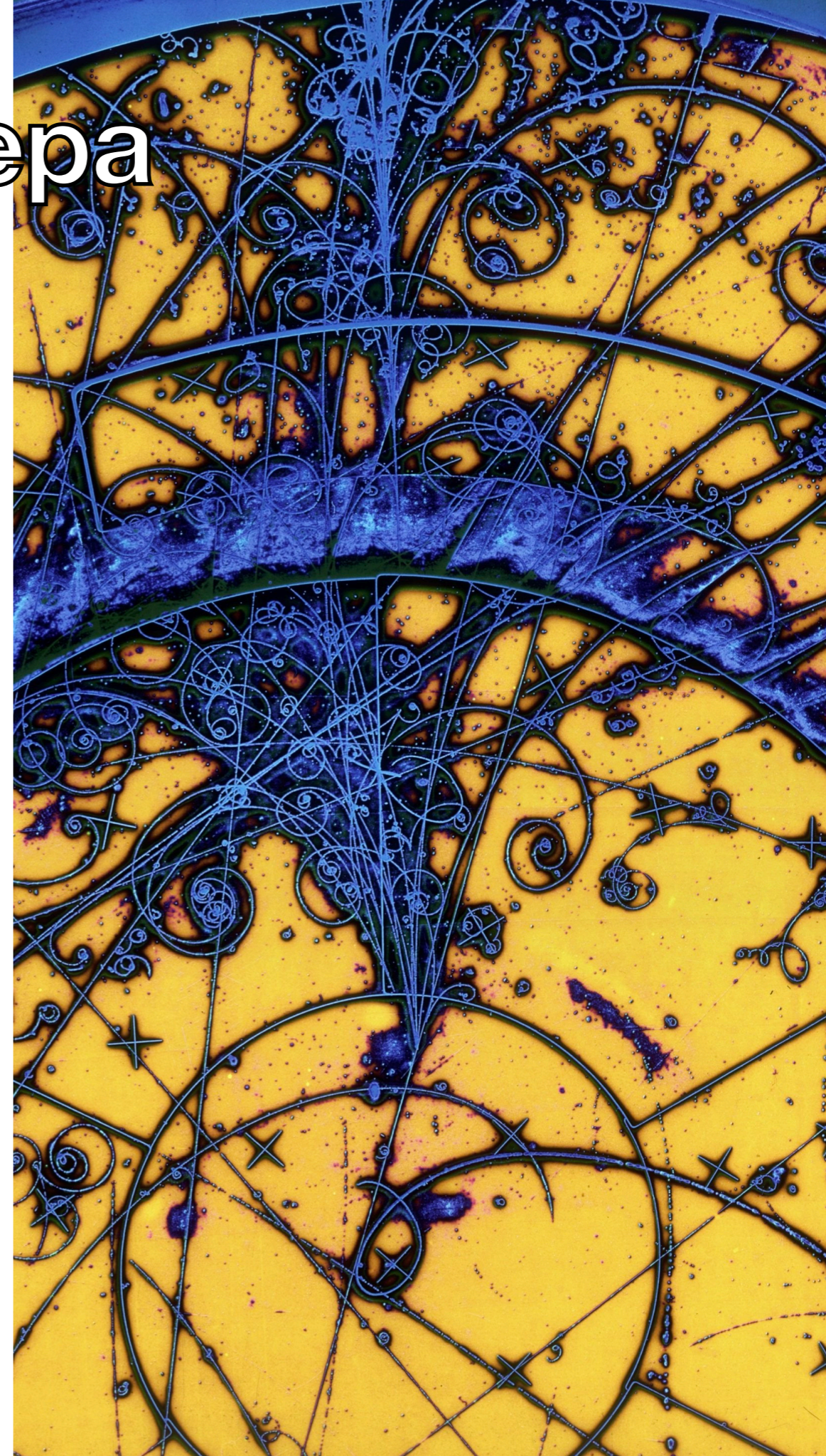


Бульбашкова камера

- Винайдена 1952 році Артуром Глазером
- Схожа на Камеру Вільсона

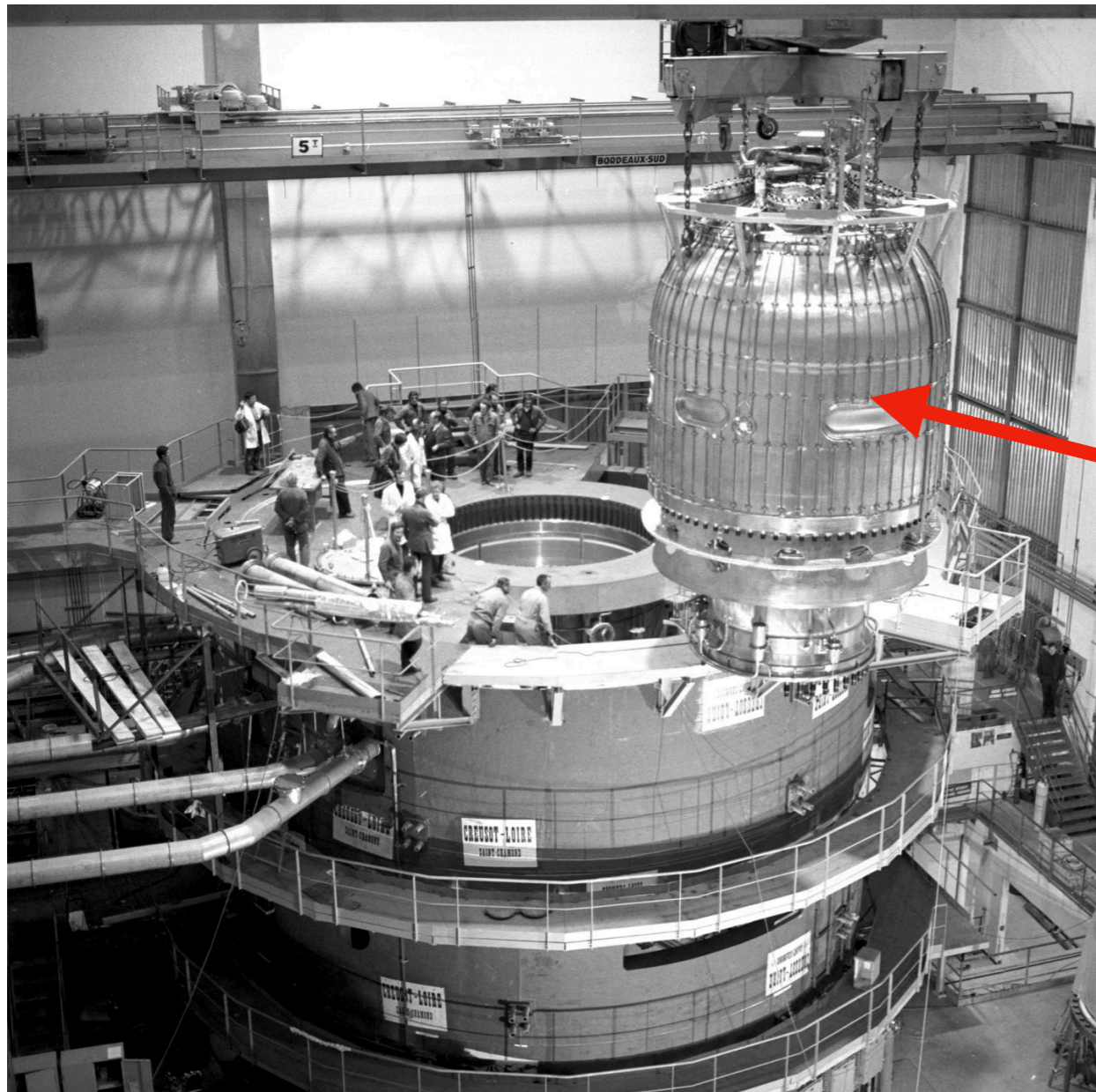
Принцип роботи

1. Камера наповнена рідиною з температурою трохи нижче за точку кипіння
2. За допомогою поршня різко змінюється тиск через що рідина перегрівається
3. Пролітаючи, заряджена частинка іонізує рідину
4. Рідина випаровується навколо рідини у вигляді маленьких бульбашок



Бульбашкова камера

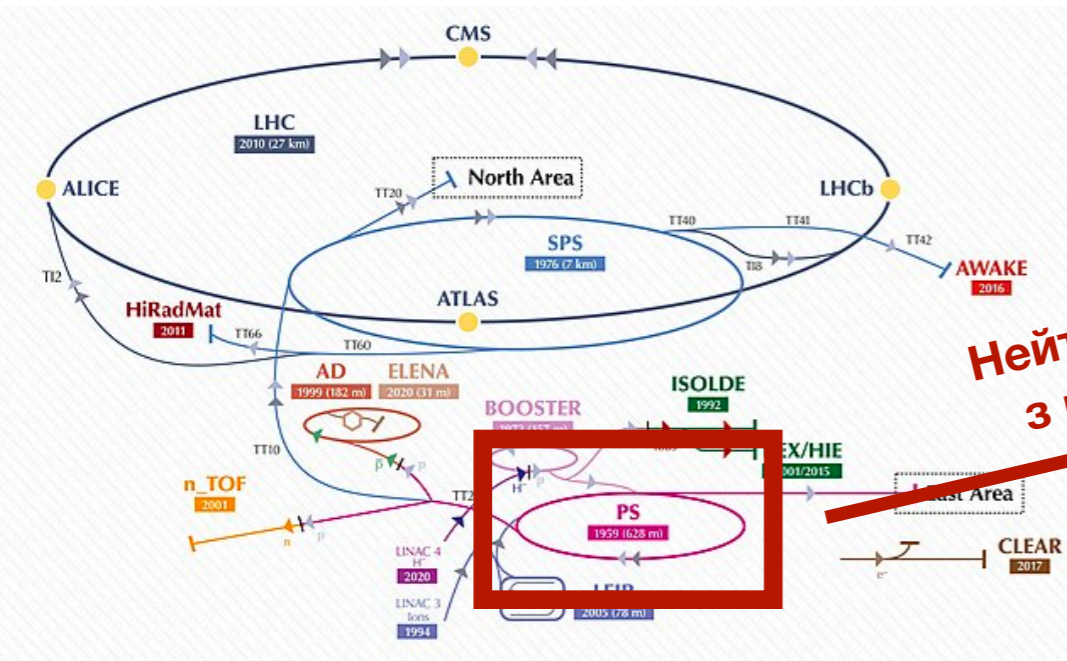
Big European Bubble Chamber
Велика Європейська Бульбашкова Камера
(CERN)



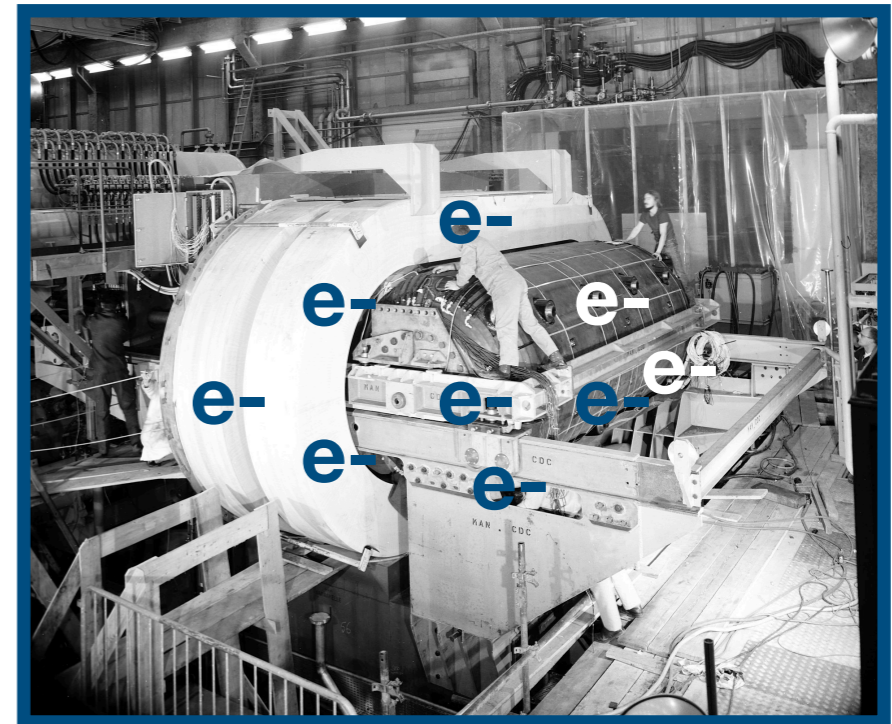
Має існувати частинка яка дозволяє цьому процесу відбуватись

Бульбашкова камера

Відкриття слабких нейтральних струмів 1972



Нейтронний промінь з прискорювача

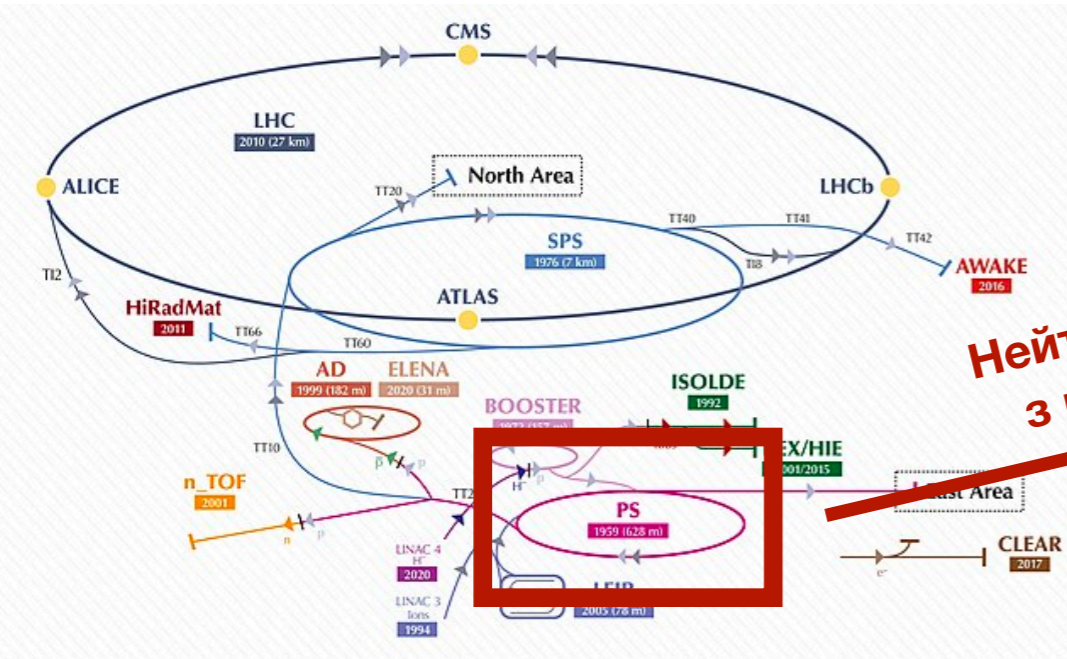


Гаргамель, CERN, 1970-1979

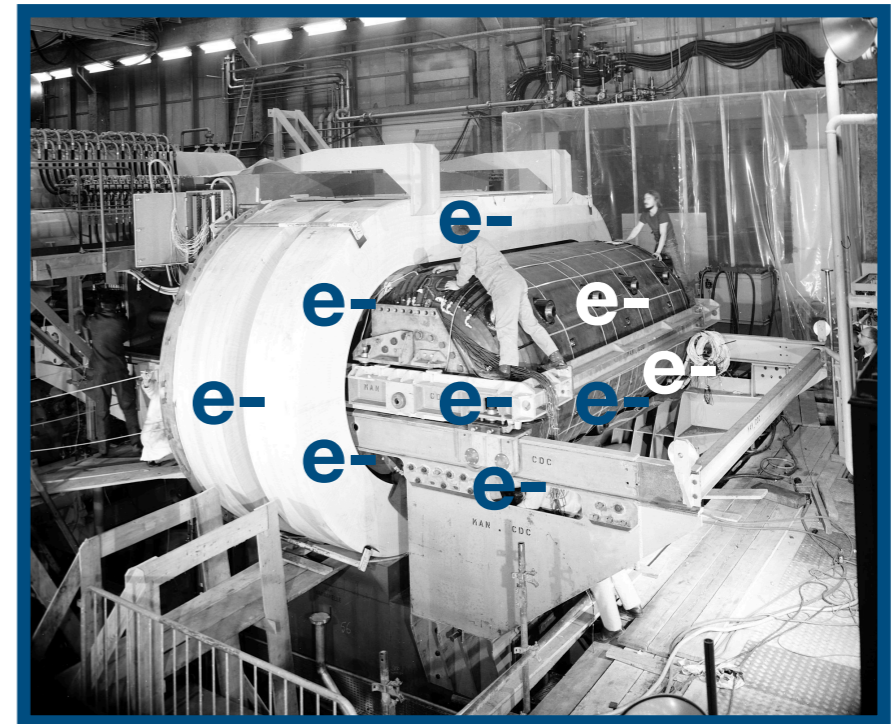
Має існувати частинка яка дозволяє цьому процесу відбуватись

Бульбашкова камера

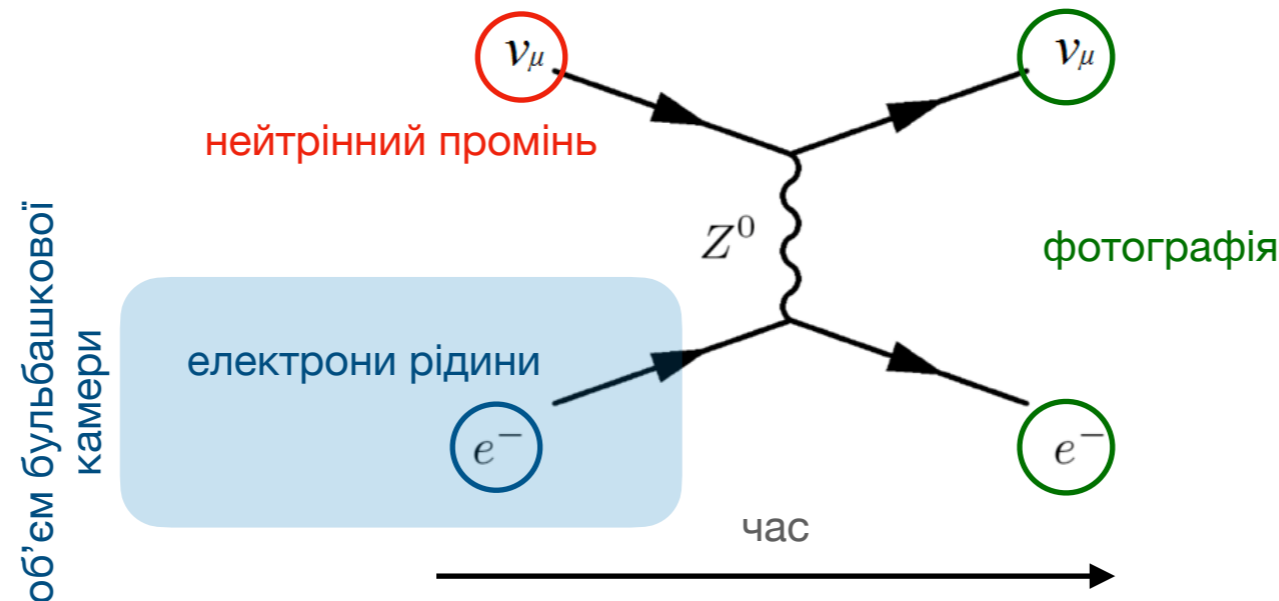
Відкриття слабких нейтральних струмів 1972



Нейтронний промінь з прискорювача



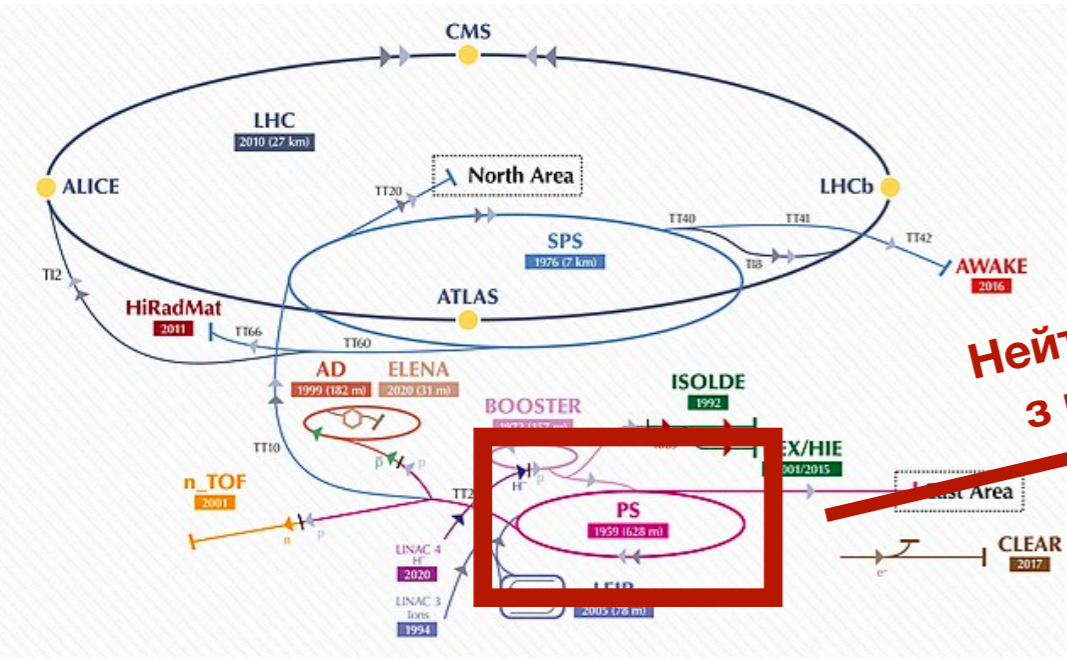
Гаргамель, CERN, 1970-1979



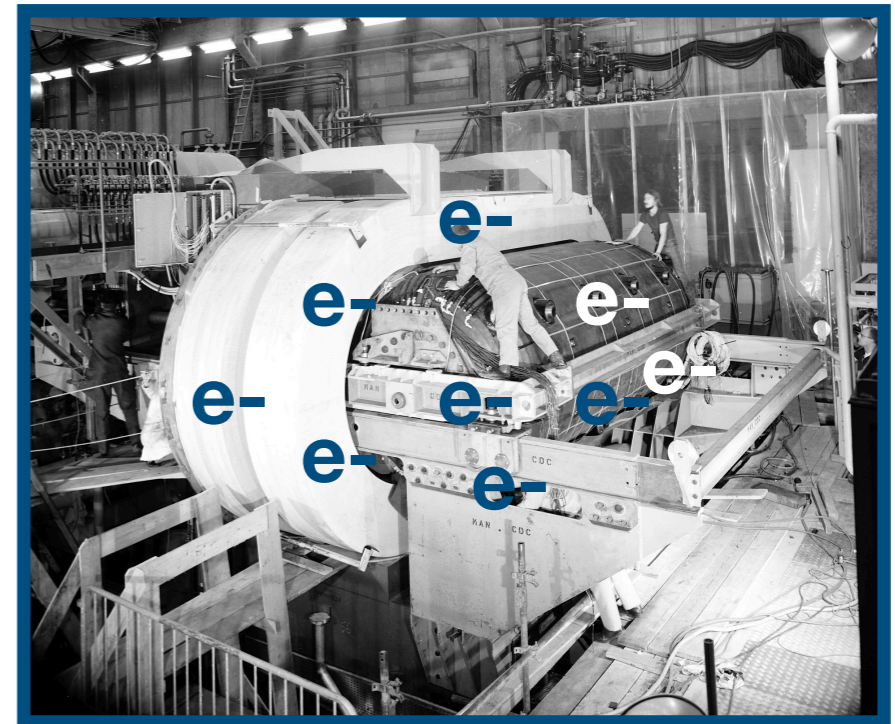
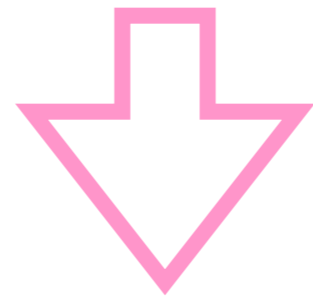
Має існувати частинка яка дозволяє цьому процесу відбуватись

Бульбашкова камера

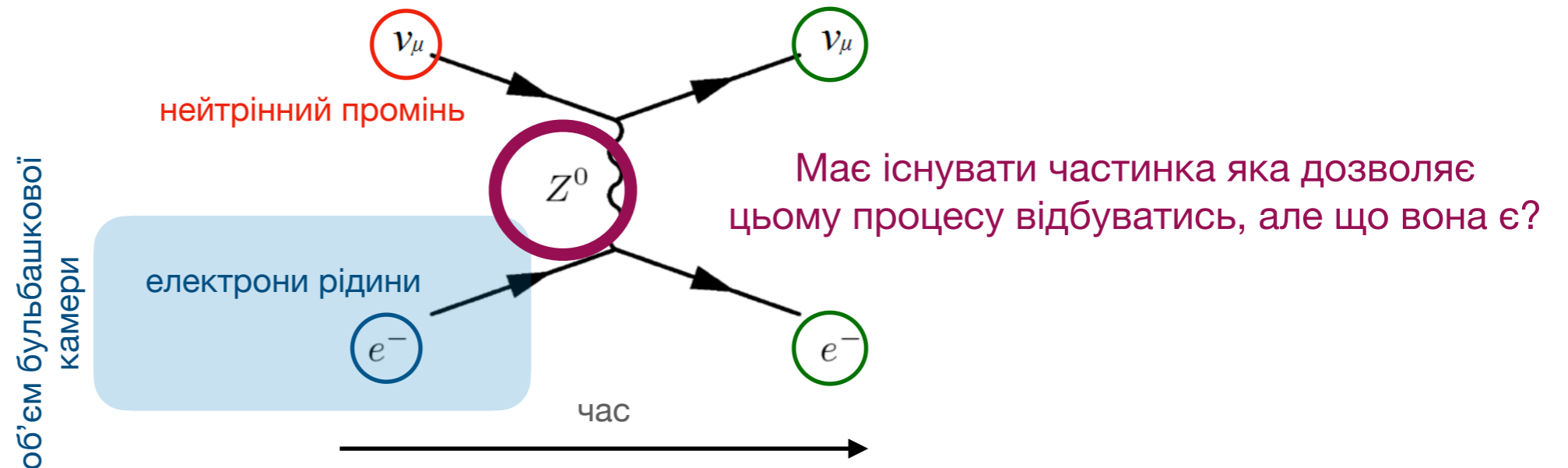
Відкриття слабких нейтральних струмів 1972



Нейтронний промінь з прискорювача



Гаргамель, CERN, 1970-1979





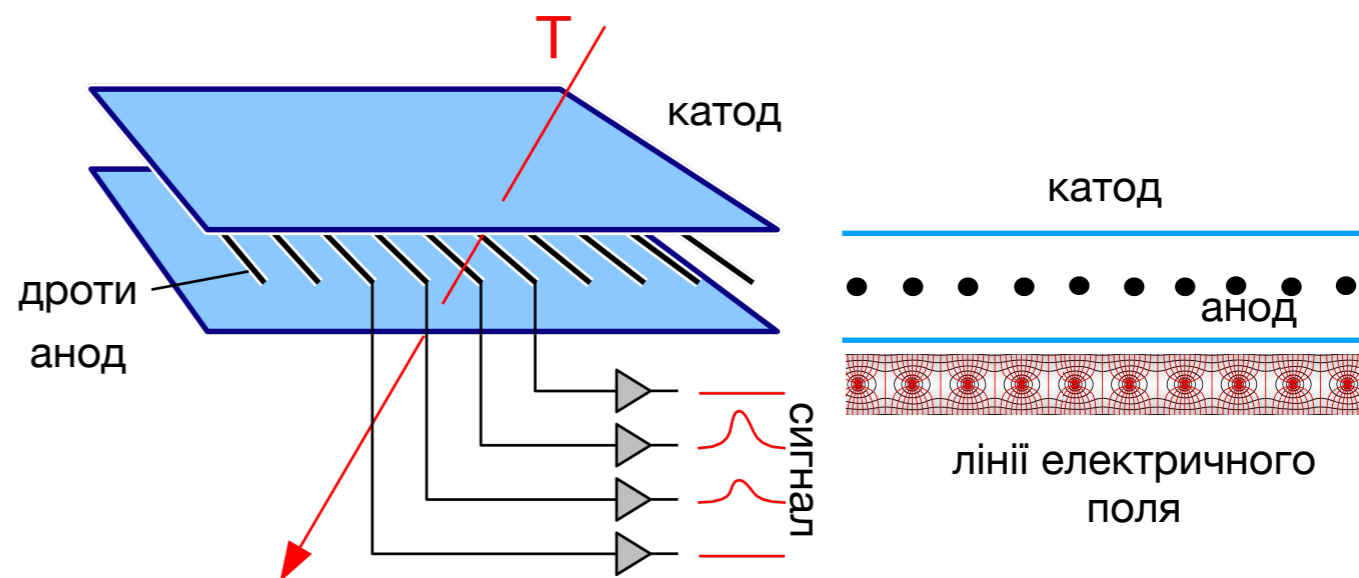
Газові детектори

Багатодротова пропорційна камера



- Винайдена Джорджем Чарпаком
- Онука лічильника Гейгера

Схематичне зображення багатодротової пропорційної камери



Джордж Чарпак

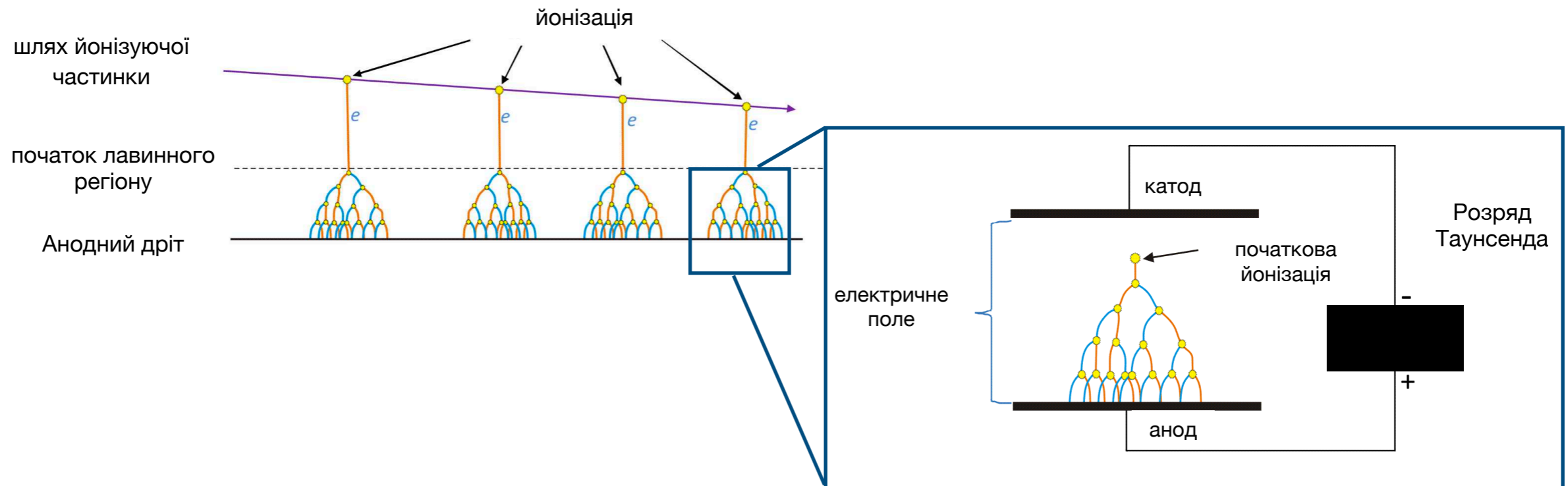


Газові детектори

Багатодротова пропорційна камера

Принцип роботи

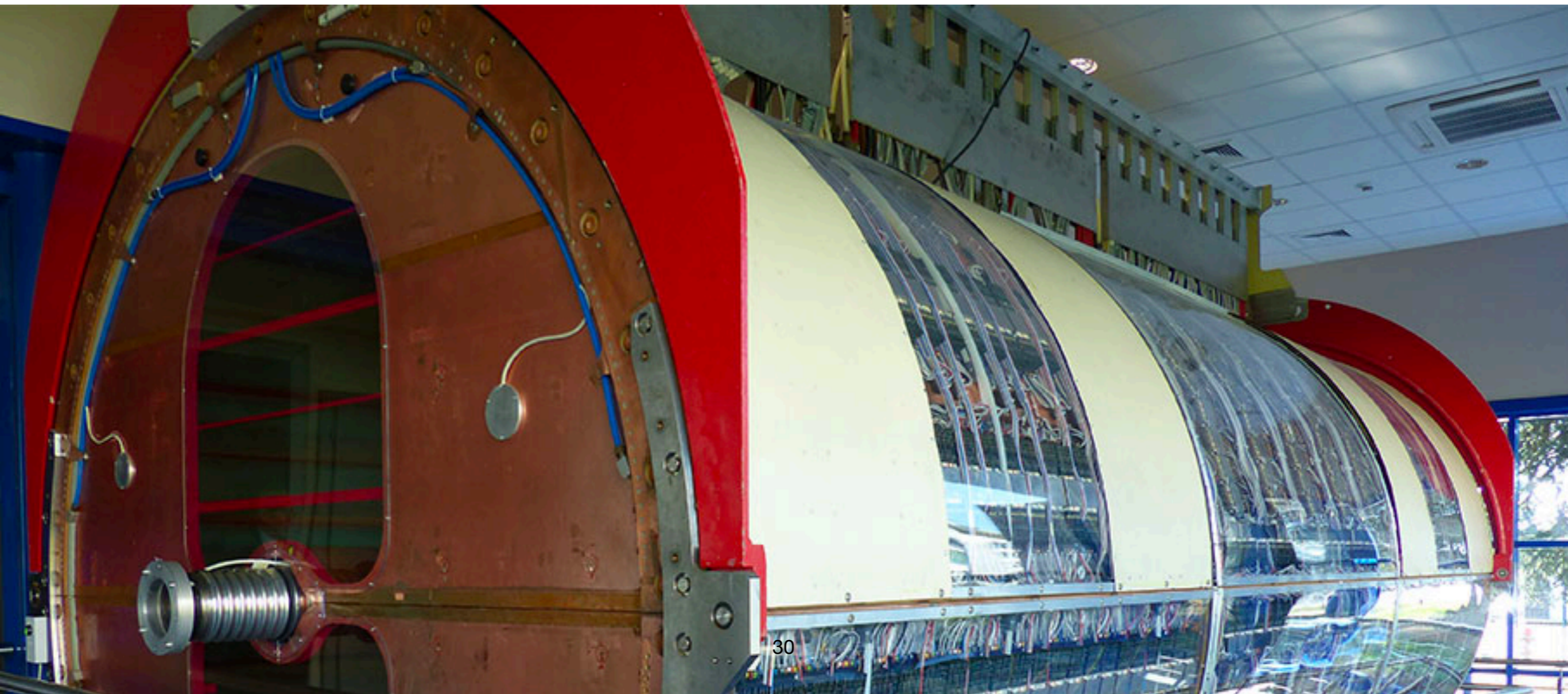
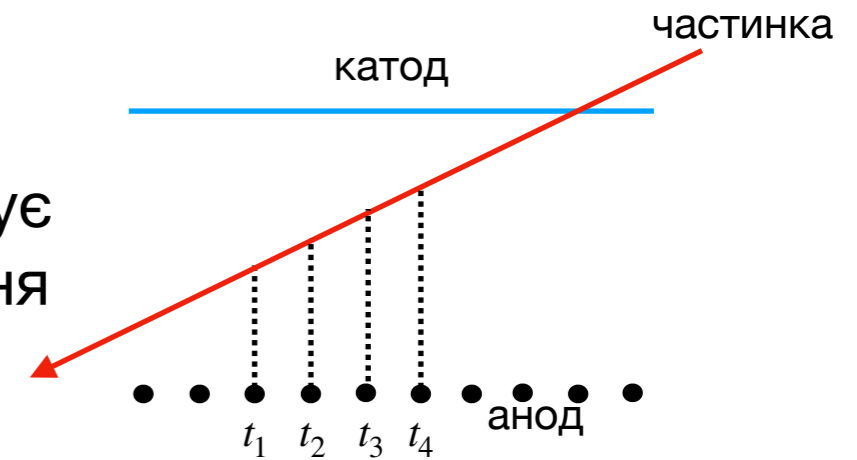
1. Заряджена частинка пролітає крізь об'єм з інертним газом та йонізує його
2. Кількість електронно-йонних пар пропорційна енергії втраченої частинкою
3. Через електричне поле прикладене до газового об'єму з електронно-йонної пари виникає лавинний розряд (розряд Таунсенда)
4. Підсилений розряд збирається анодом - **сигнал!**



Газові детектори

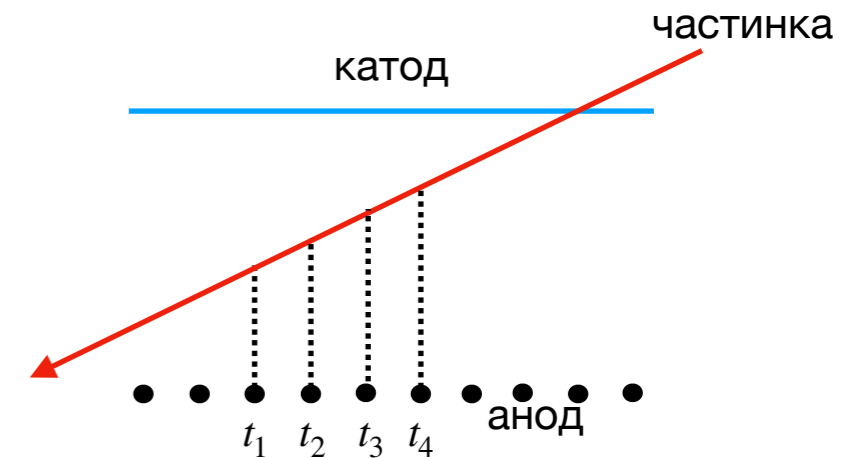
Дрейфова камера

- Багатодротова пропорційна камера яка використовує інформацію про час отримання розряду для визначення відстані між частинкою та дротом



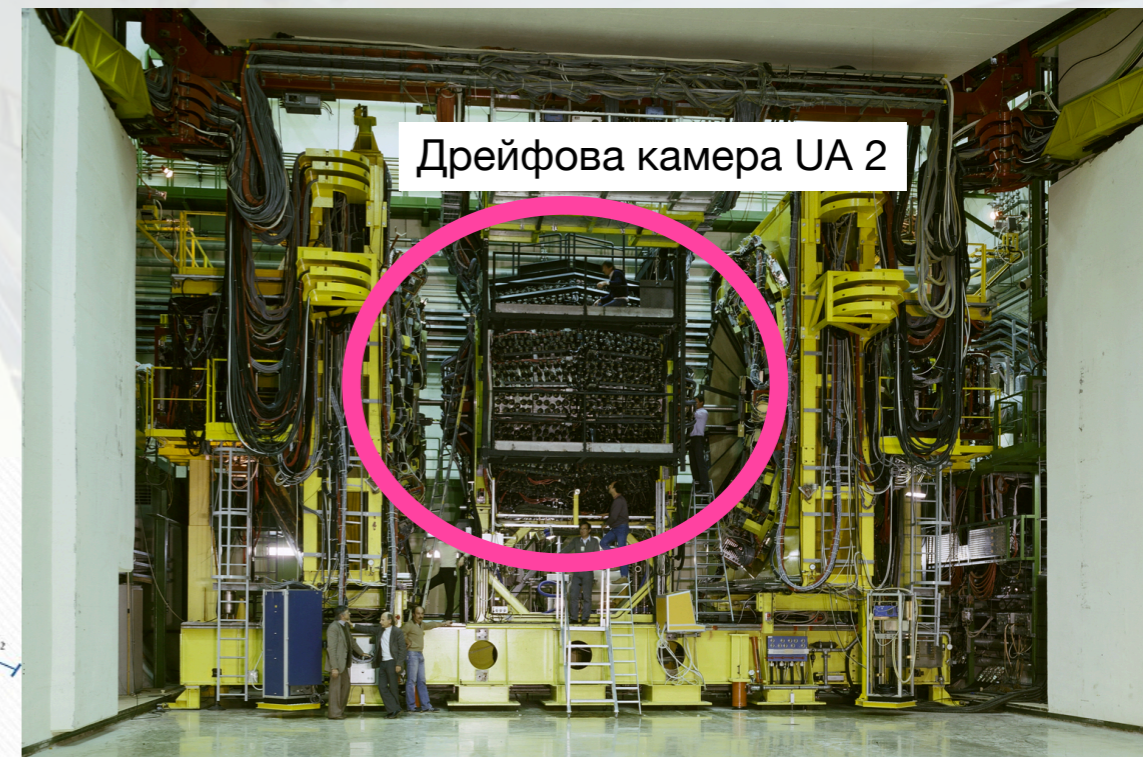
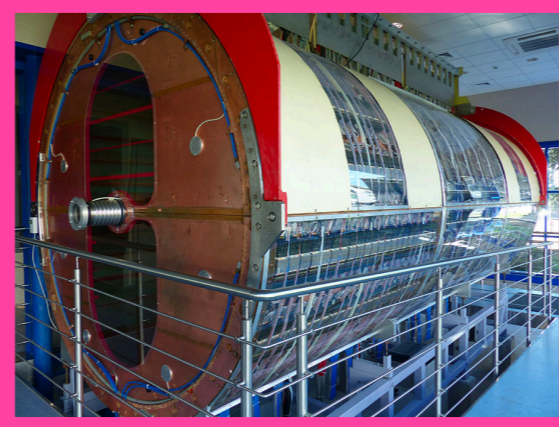
Газові детектори Дрейфова камера

- Багатодротова пропорційна камера яка використовує інформацію про час отримання розряду для визначення відстані між частинкою та дротом



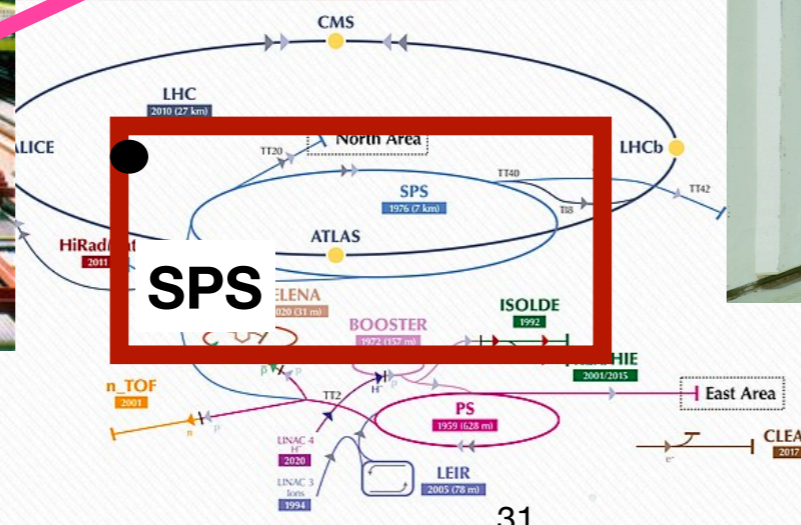
UA 1, CERN

Дрейфова камера UA 1



Дрейфова камера UA 2

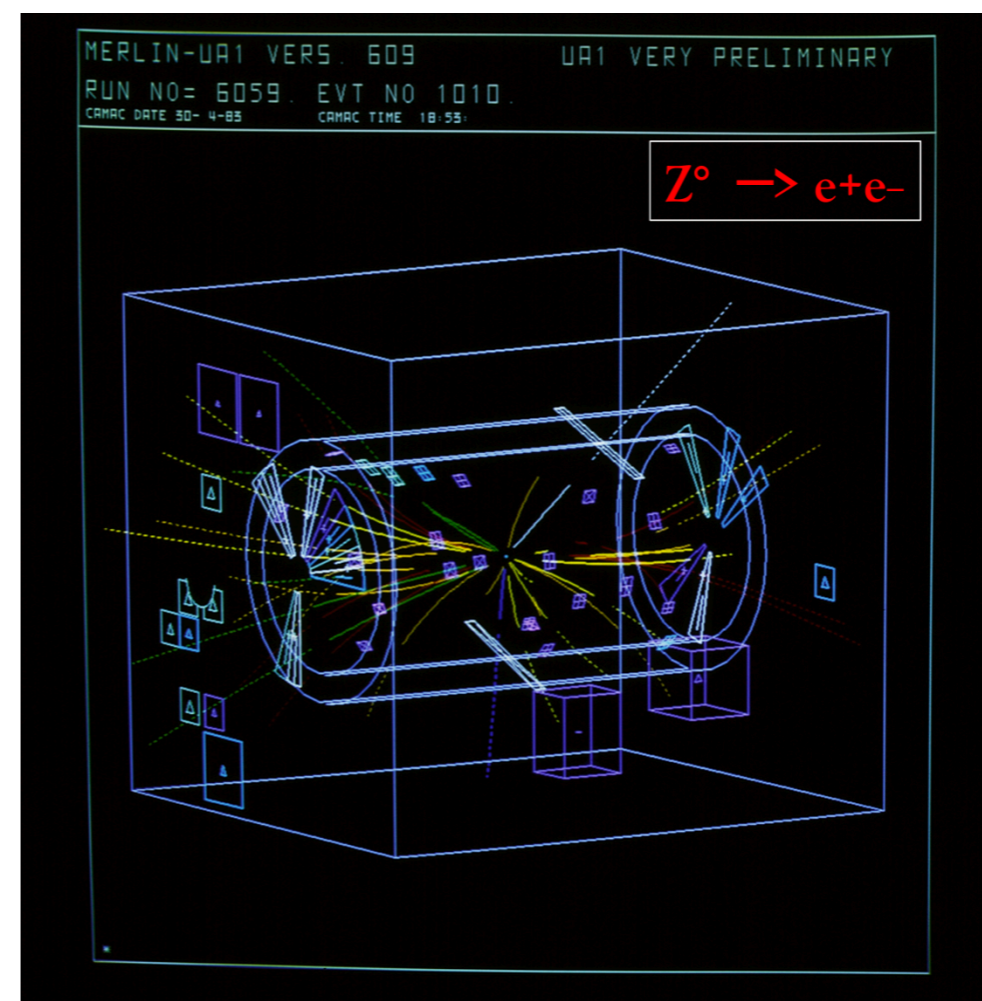
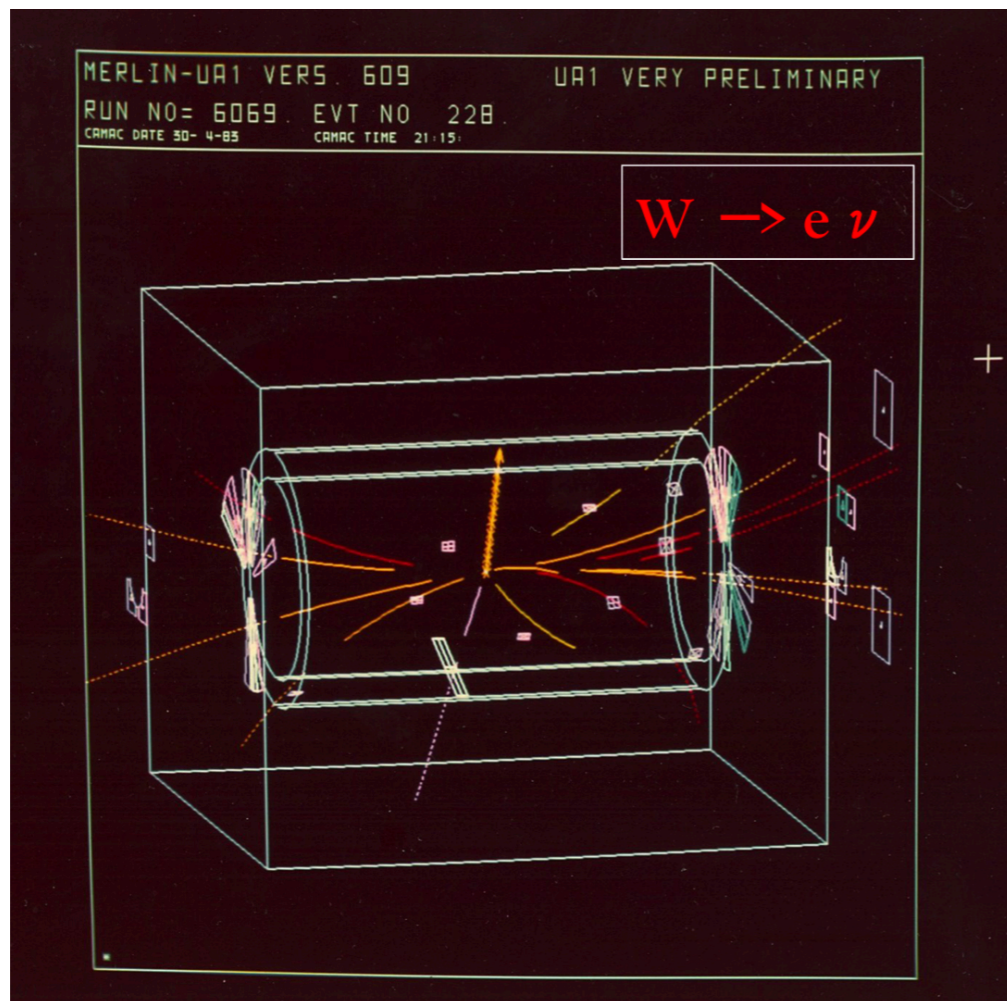
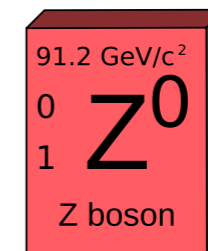
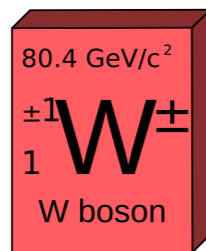
UA 2, CERN





Газові детектори

Відкриття Z^0 та W^\pm бозонів



Твердотільні детектори

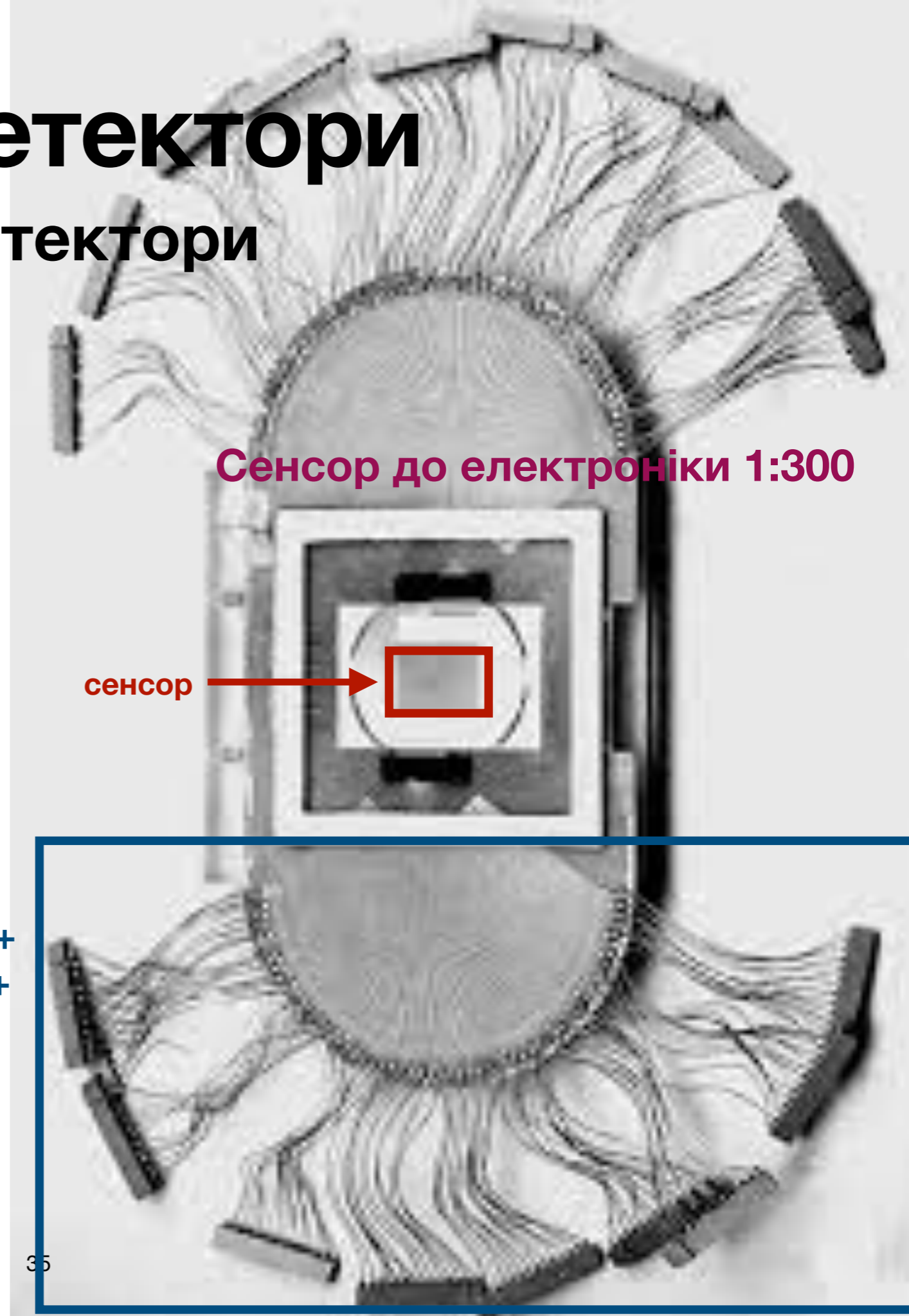


Твердотільні детектори

Кремнієві смужкові детектори

- Вперше використані у NA11, CERN, 1983 р.
- Типи:
 - Смужкові
 - Піксельні

**Зчитування даних +
передача команд +
живлення**

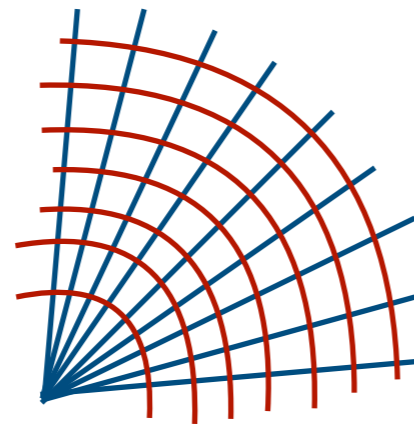
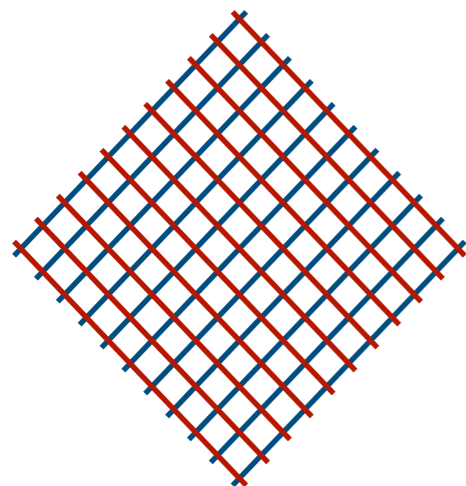


Твердотільні детектори

Кремнієві смужкові детектори

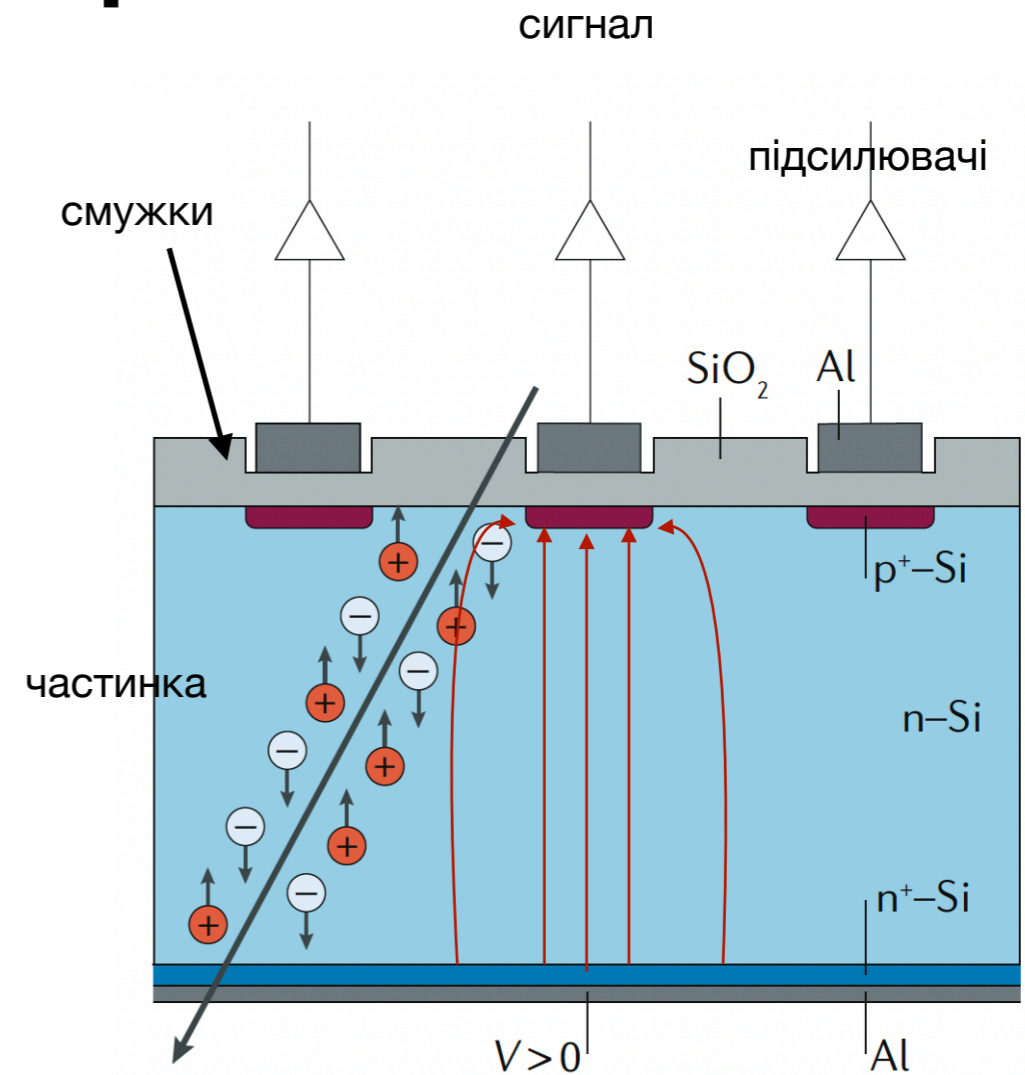
Принцип роботи

1. Заряджена частинка пролітає крізь кремнієву платівку створюючи електронно-діркові пари
2. Електричне поле рухає електрони та дірки в різні боки
3. Електричний сигнал зчитується інтегрованою електронікою



— перший шар
— другий шар

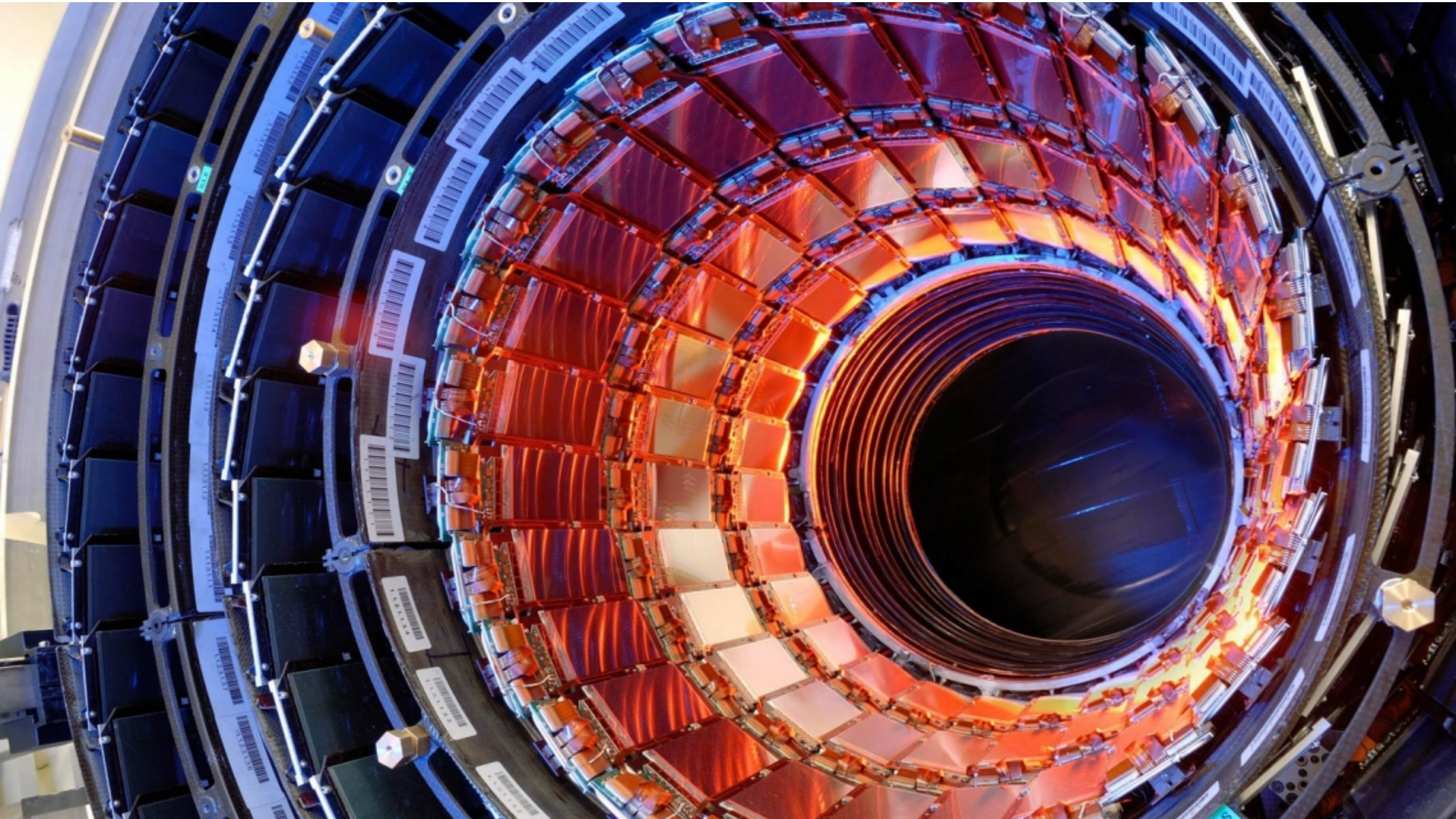
геометрія смужкового кремнієвого детектора



Твердотільні детектори

Кремнієві смужкові детектори

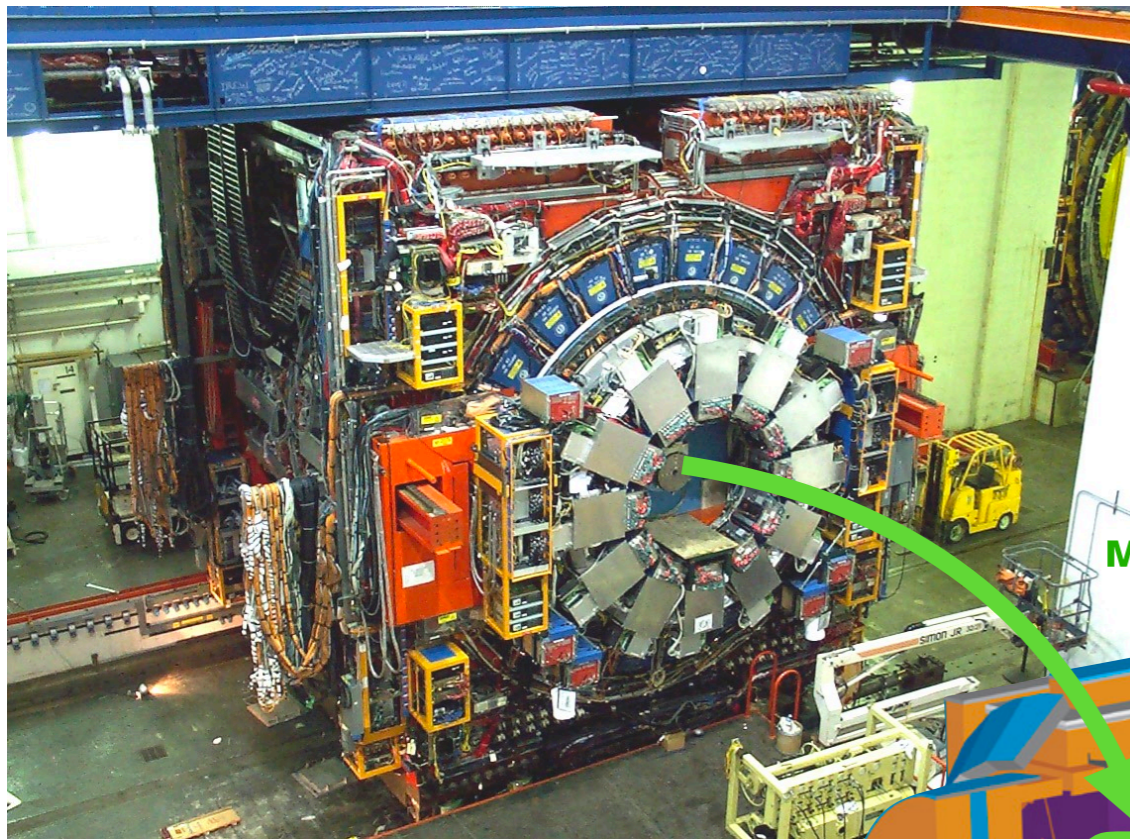
Кремнієвий смужковий детектор, CMS, CERN



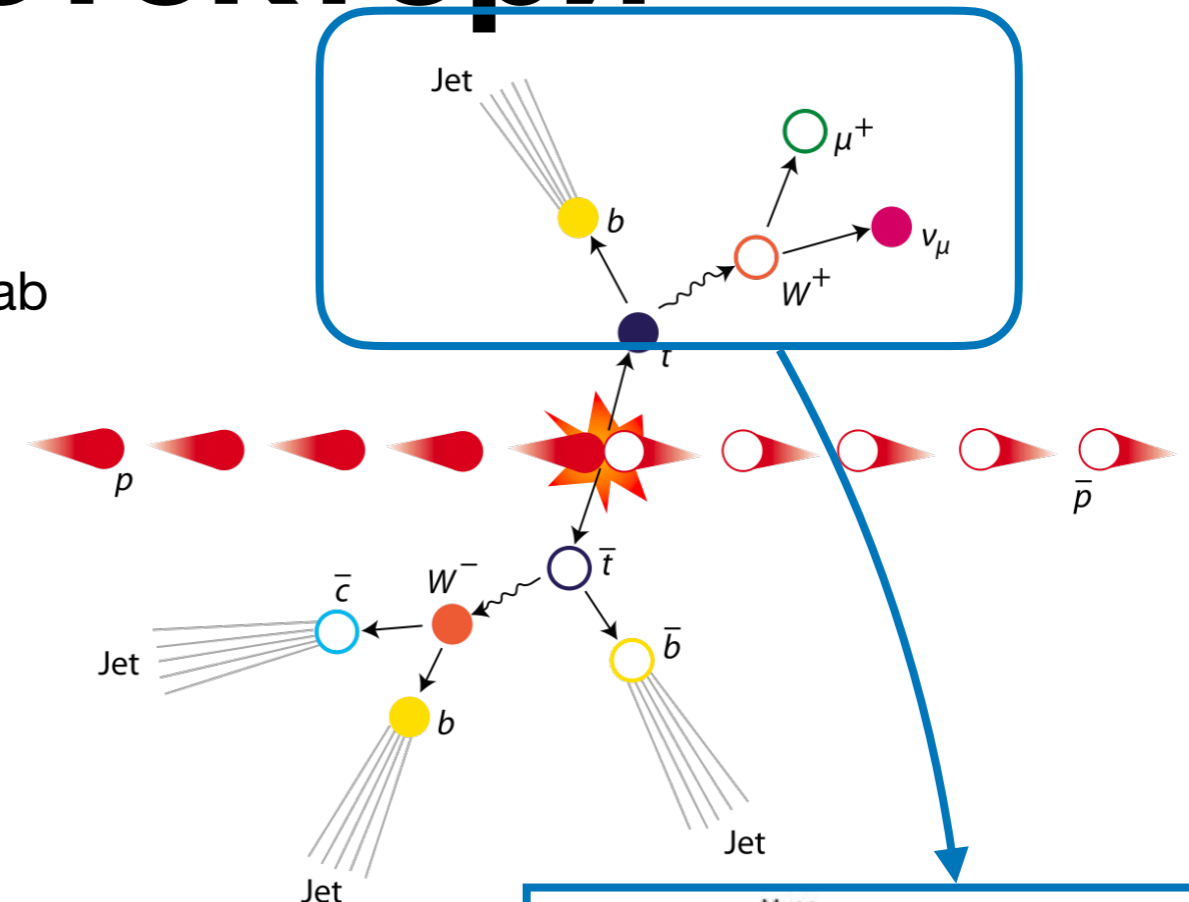
Твердотільні детектори

Відкриття t-кварку

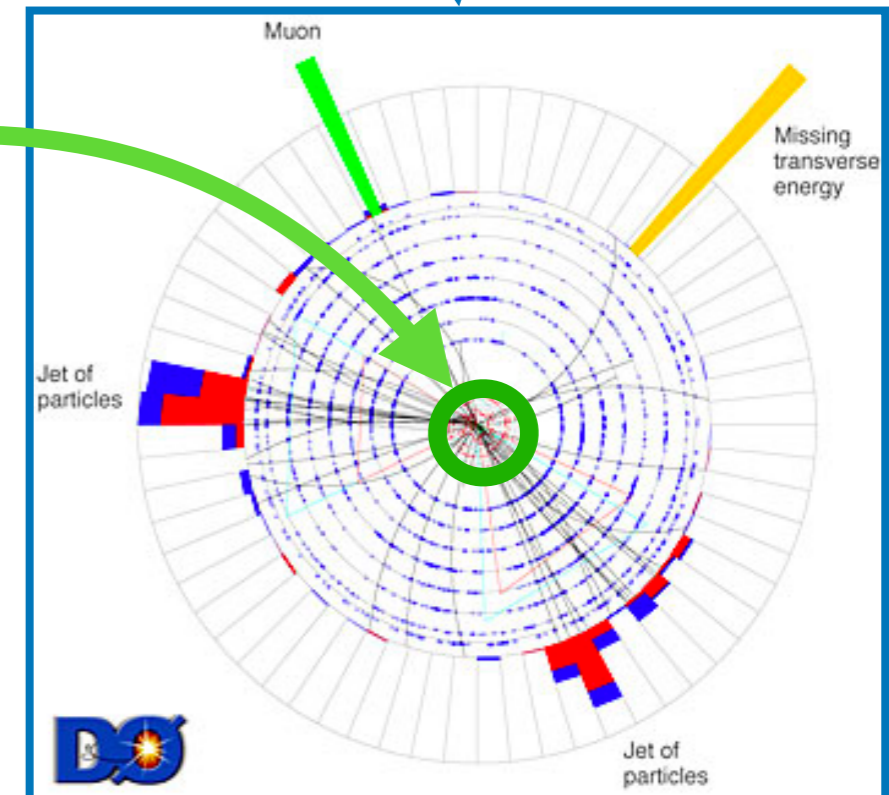
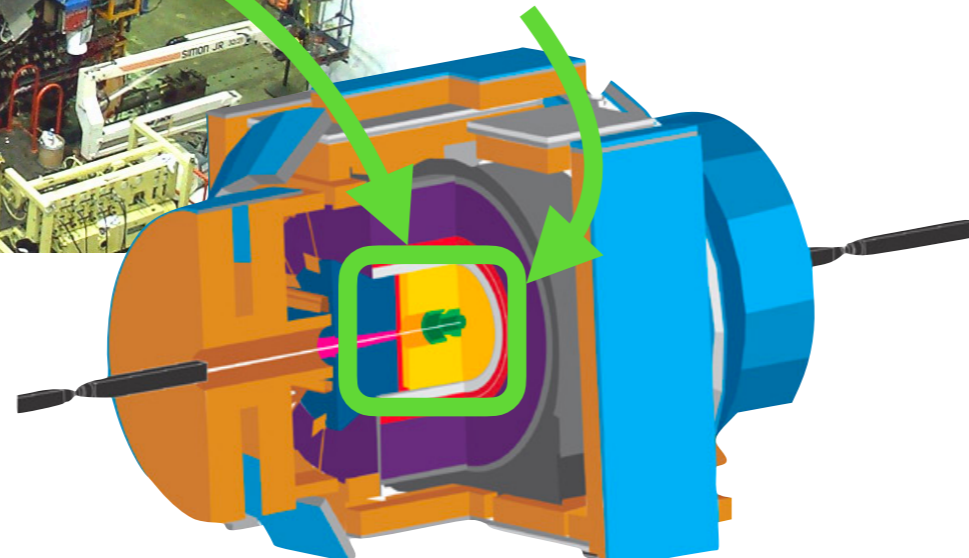
- 1995 рік, колаборації CDF та D0, Tevatron, Fermilab



CDF, Fermilab

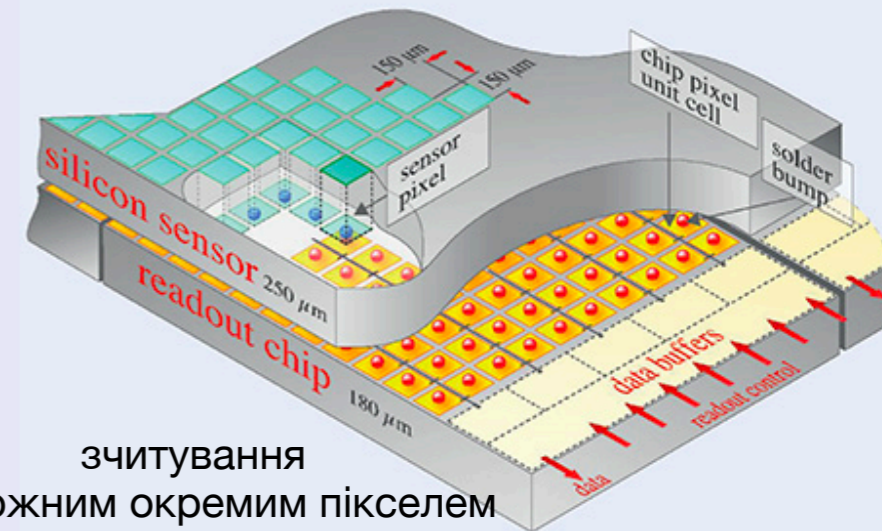
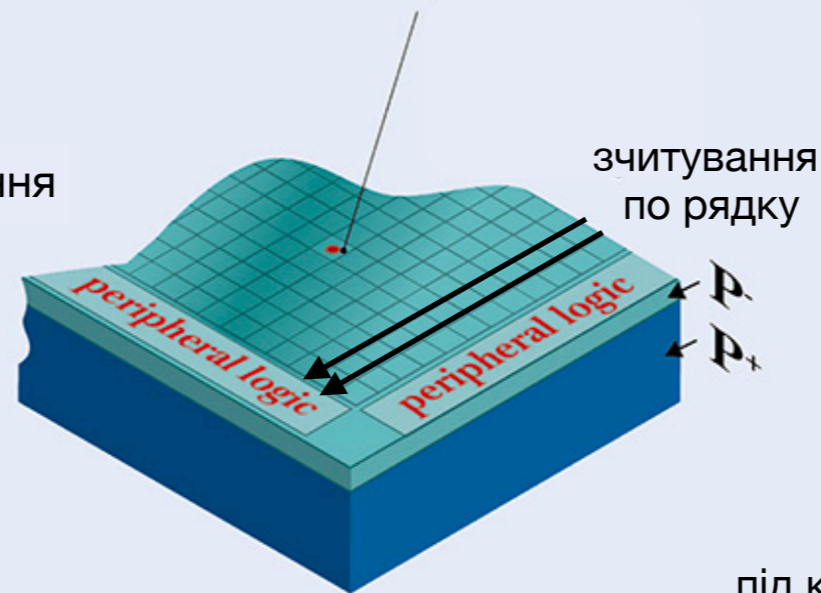
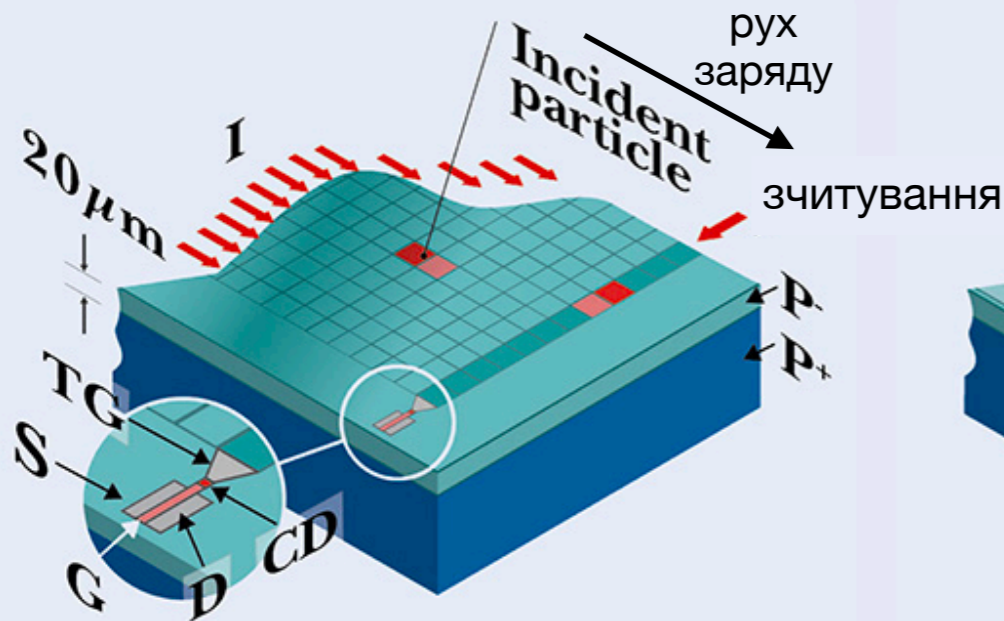


Кремнієвий мікросмужковий детектор



Твердотільні детектори

Кремнієві піксельні детектори



Прилад із зарядовим зв'язком
(Матриця ПЗЗ)

КМОП-сенсор
метал-оксид-напівпровідник

Гібридний сенсор

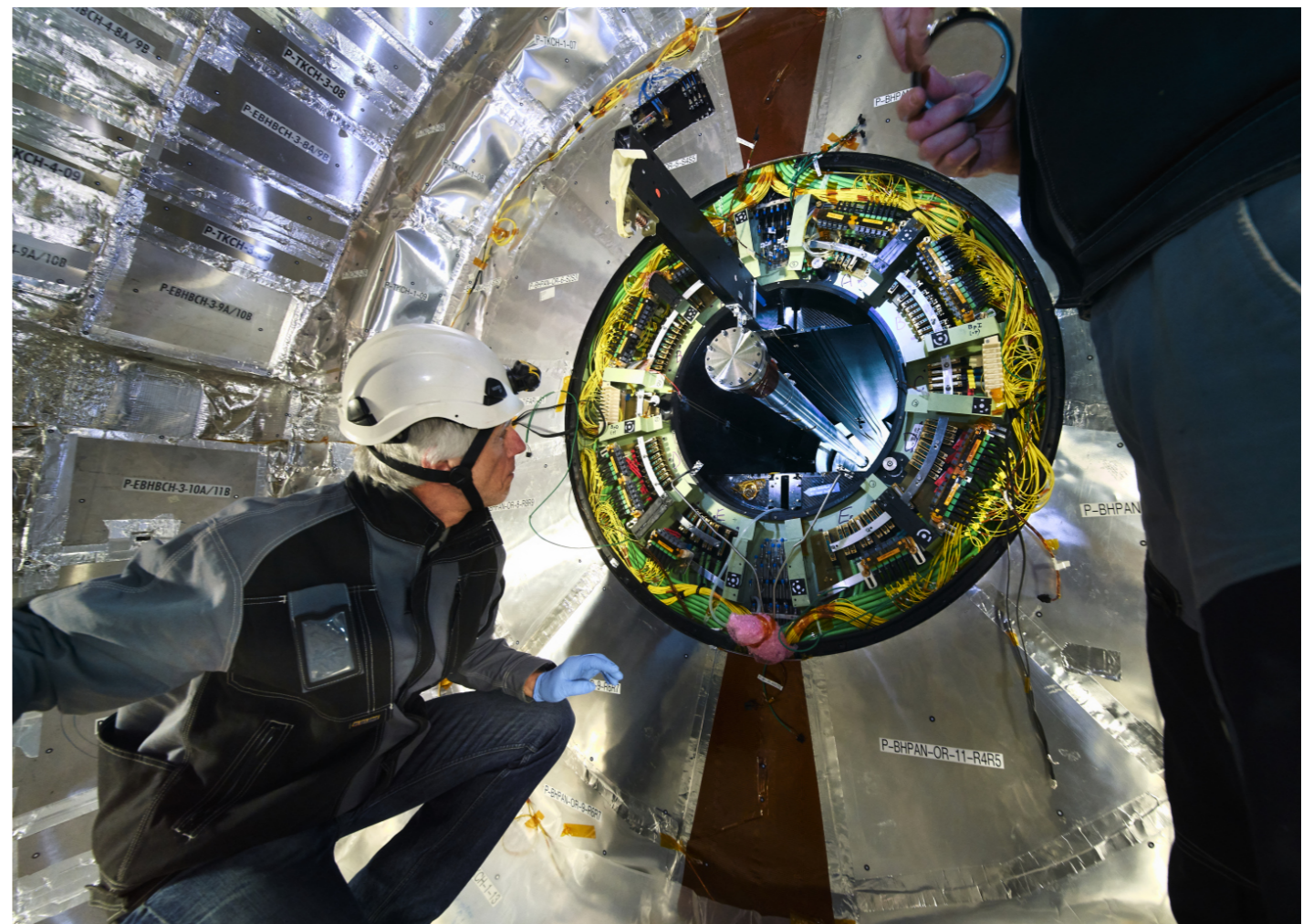


Твердотільні детектори

Відкриття бозону Хіггса ATLAS/CMS



Внутрішній піксельний детектор, ATLAS, CERN



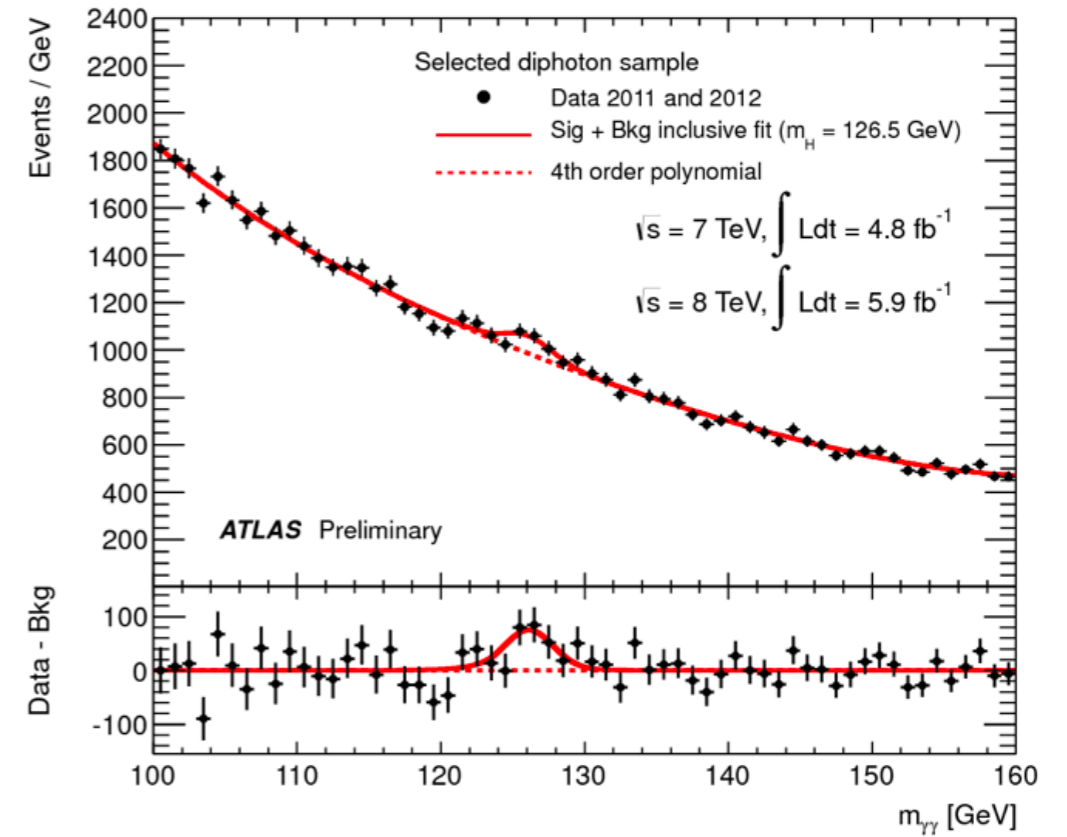
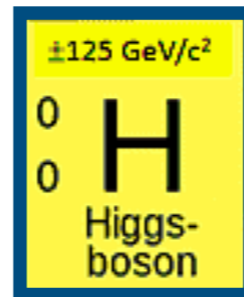
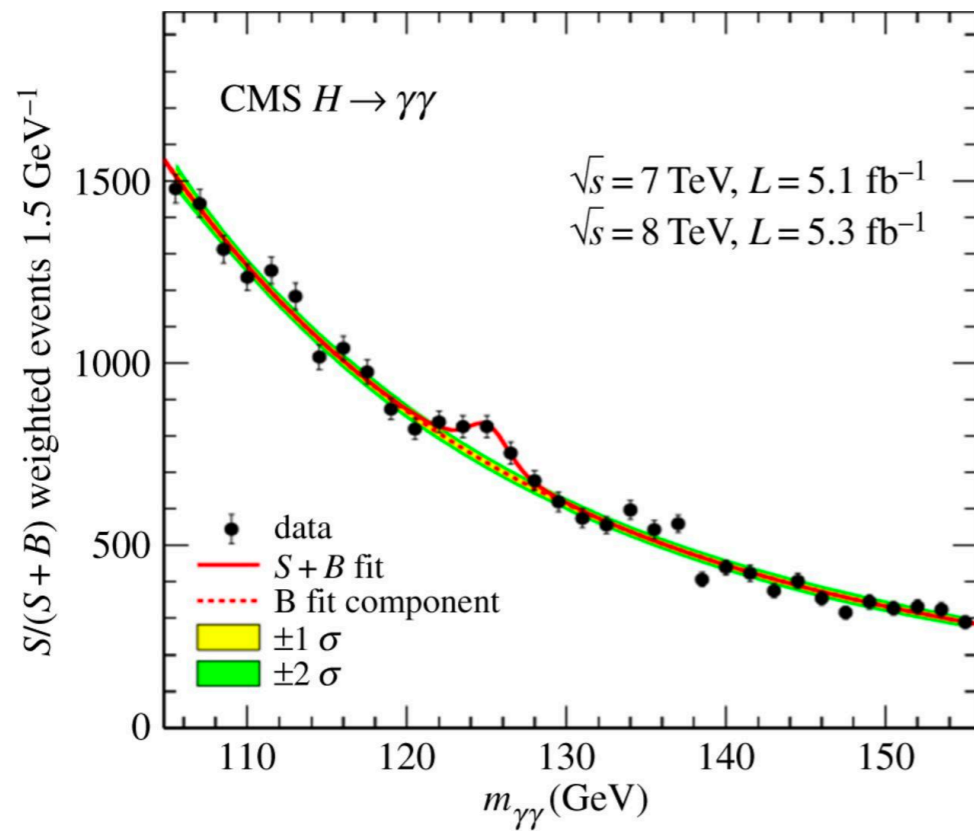
Кремнієвий смужковий детектор, CMS, CERN

Твердотільні детектори

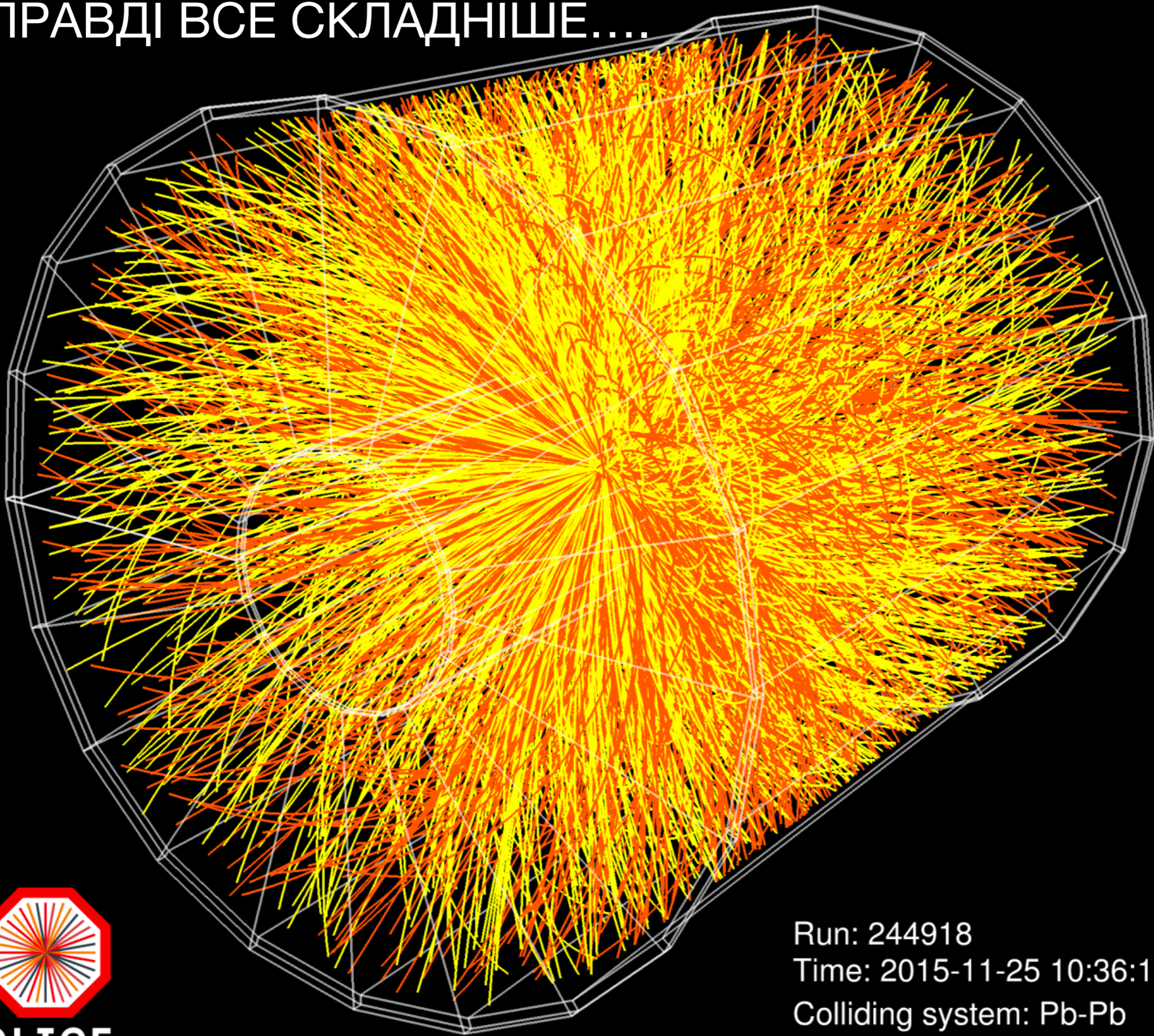


Пітер Хіггс та Франсуа Анґлер

Відкриття бозону Хіггса ATLAS/CMS 2012



НАСПРАВДІ ВСЕ СКЛАДНІШЕ....



ALICE

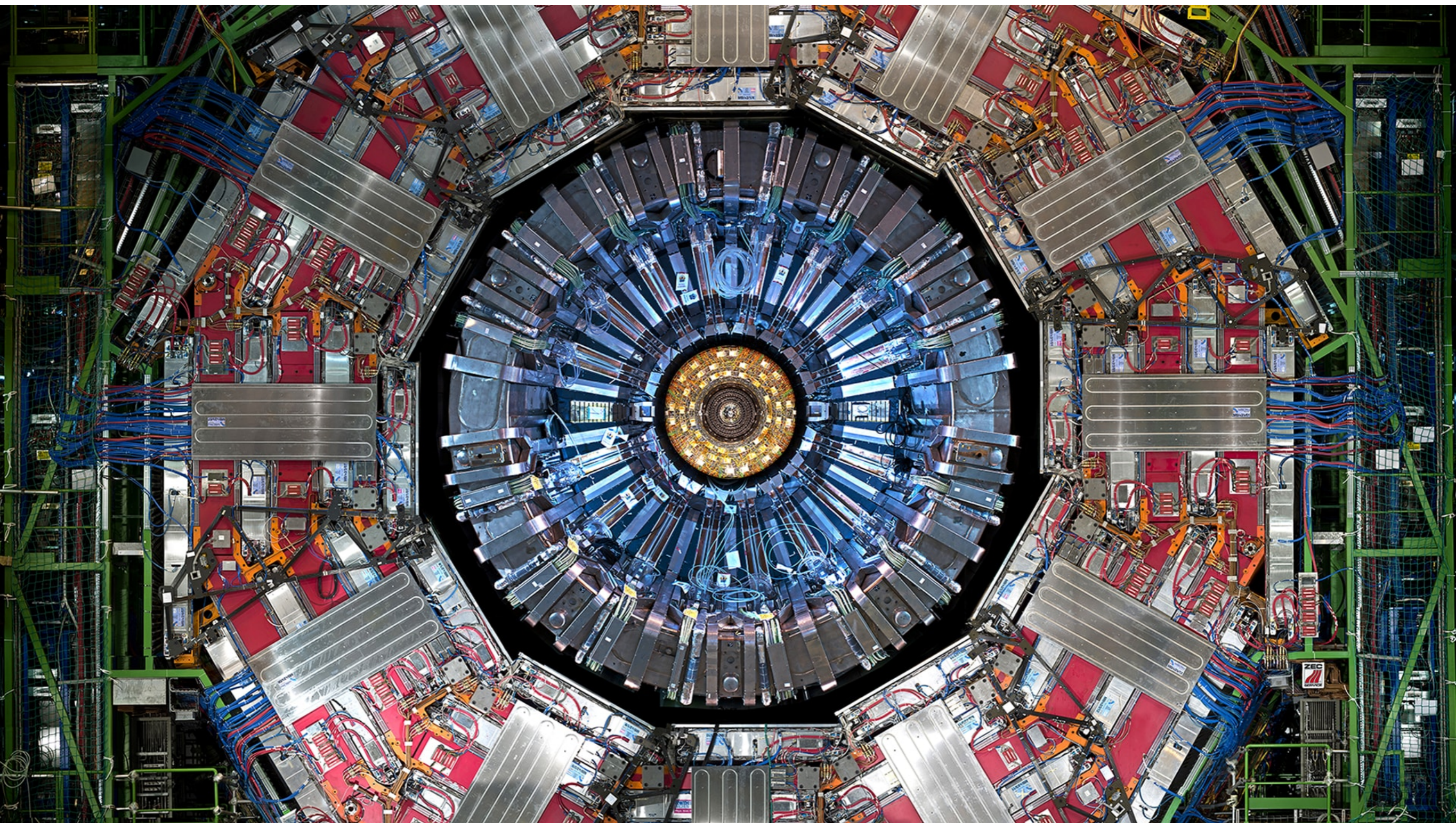
Run: 244918

Time: 2015-11-25 10:36:18

Colliding system: Pb-Pb

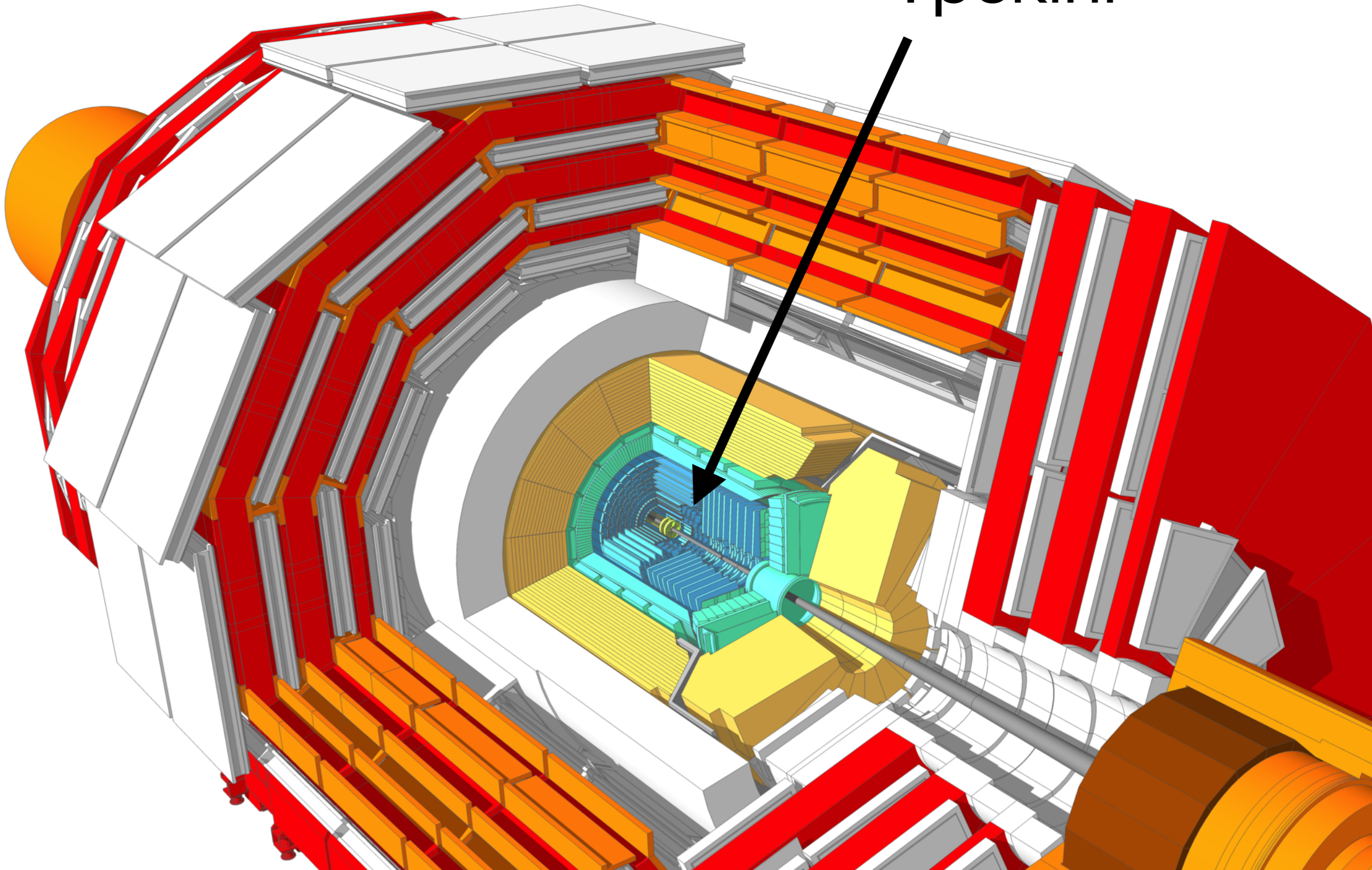
Collision energy: 5.02 TeV

Детектор CMS



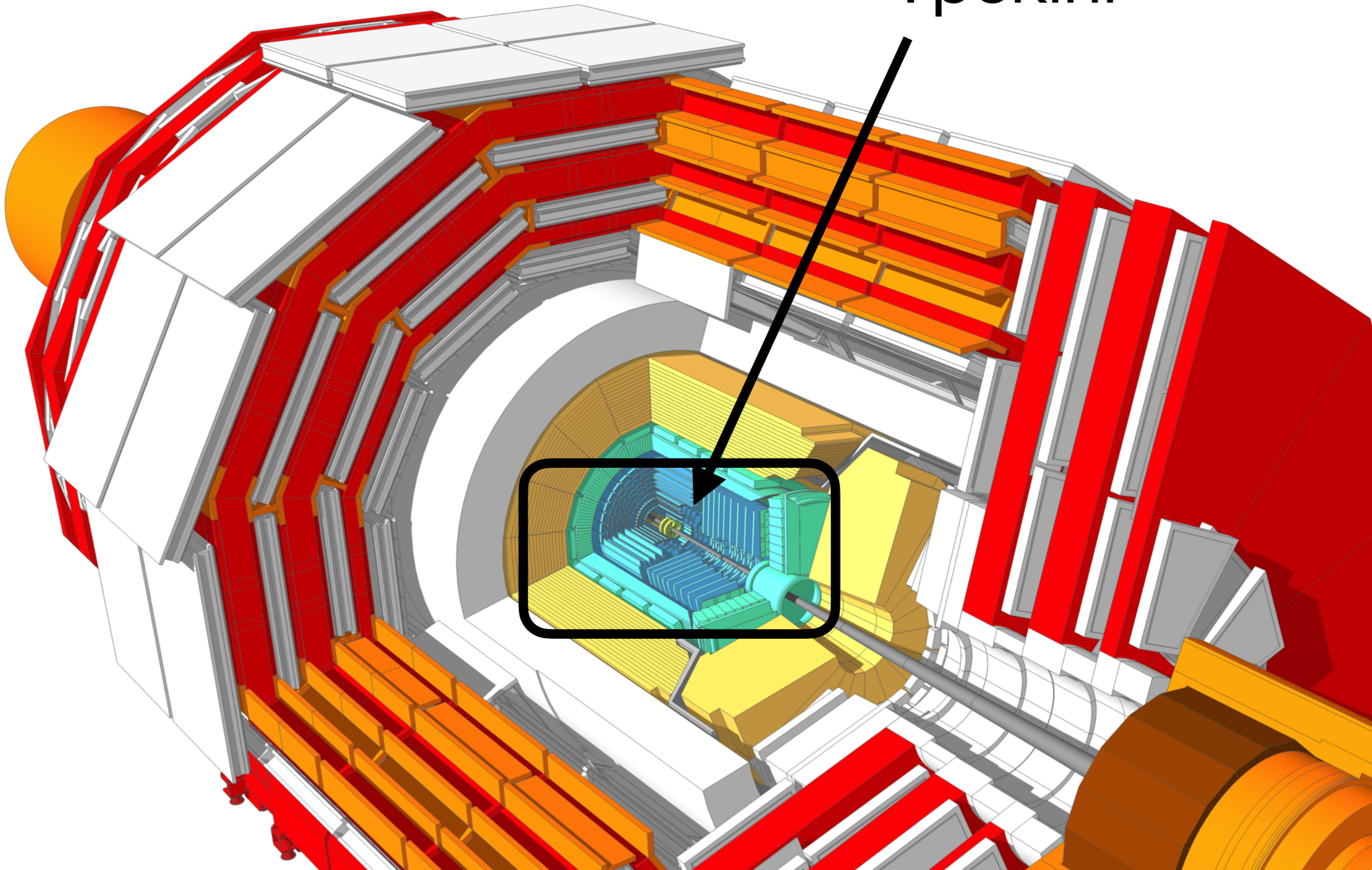
Детектор CMS

Трекінг



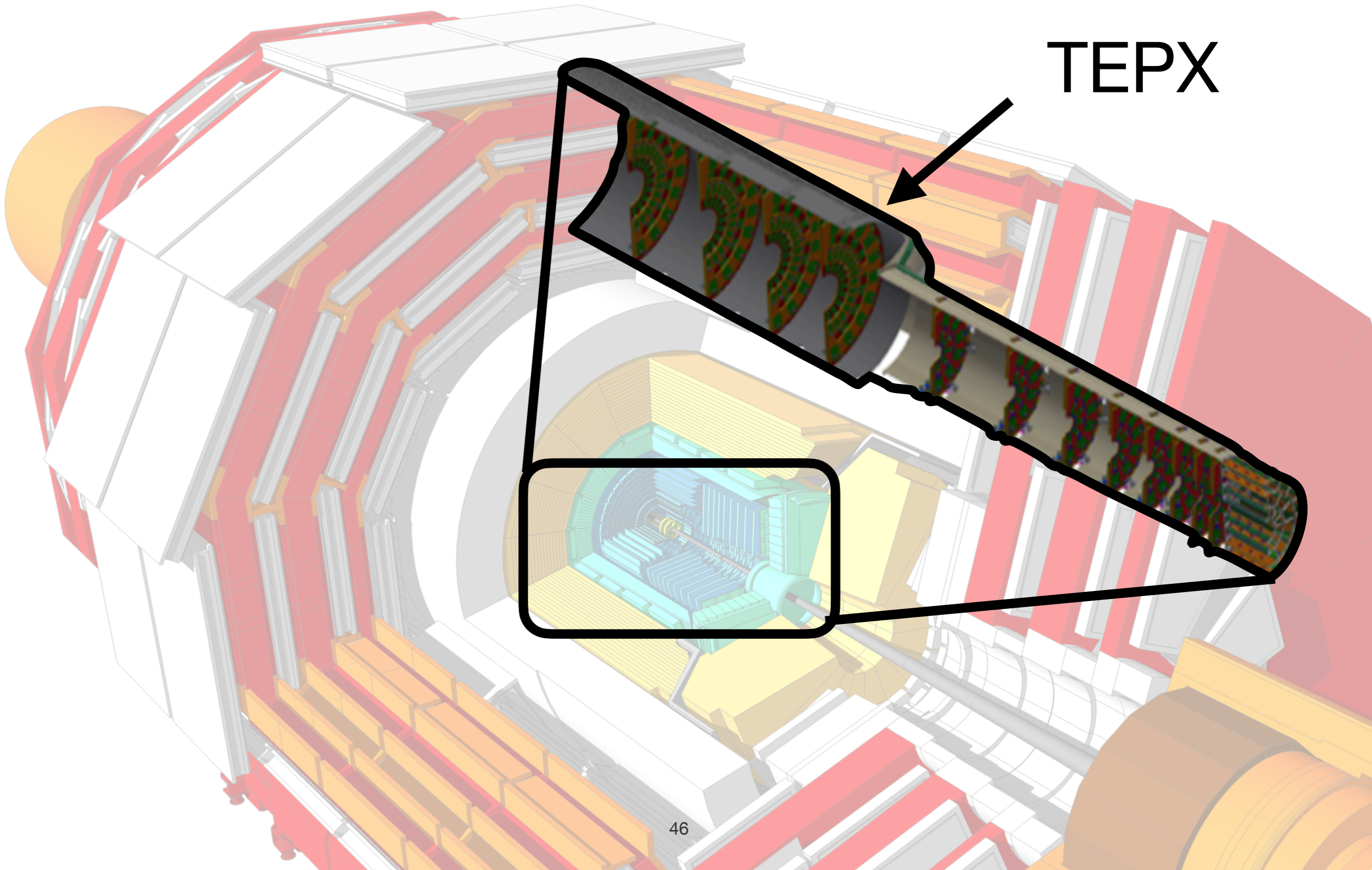
Детектор CMS

Трекінг

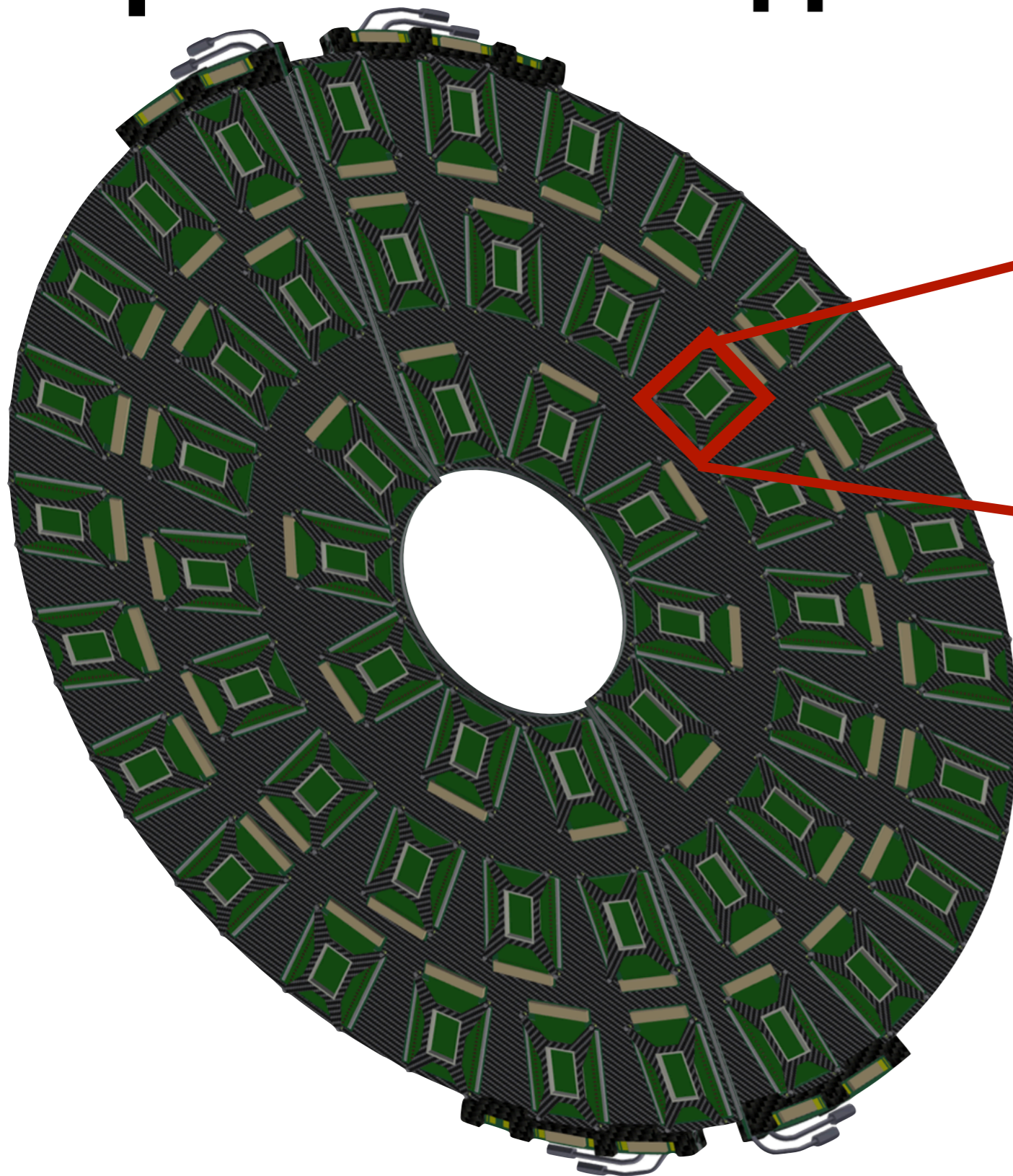


Детектор CMS

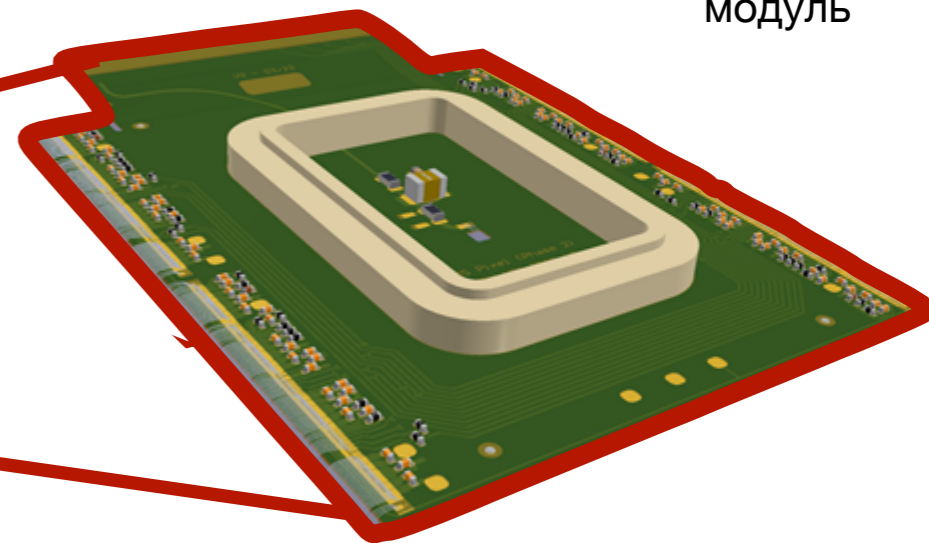
ТЕРХ



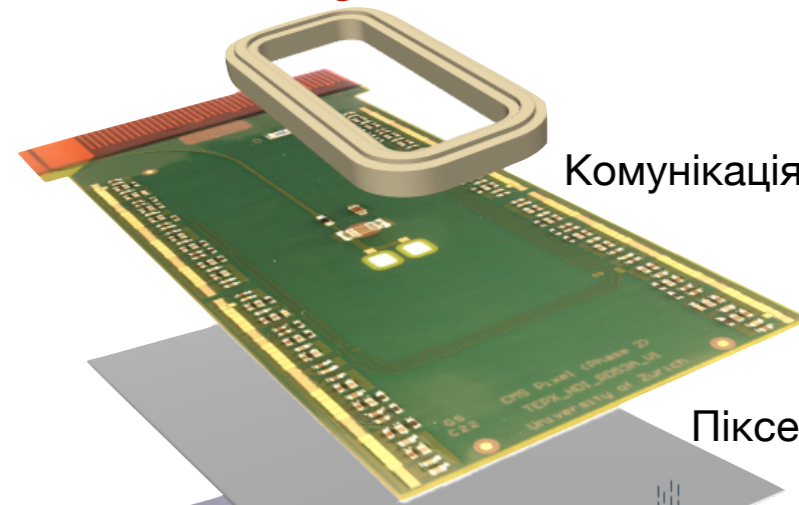
Трекінговий детектор ТЕРХ



модуль



Комунікація та живлення



Піксельний сенсор

Зчитувальний чип

