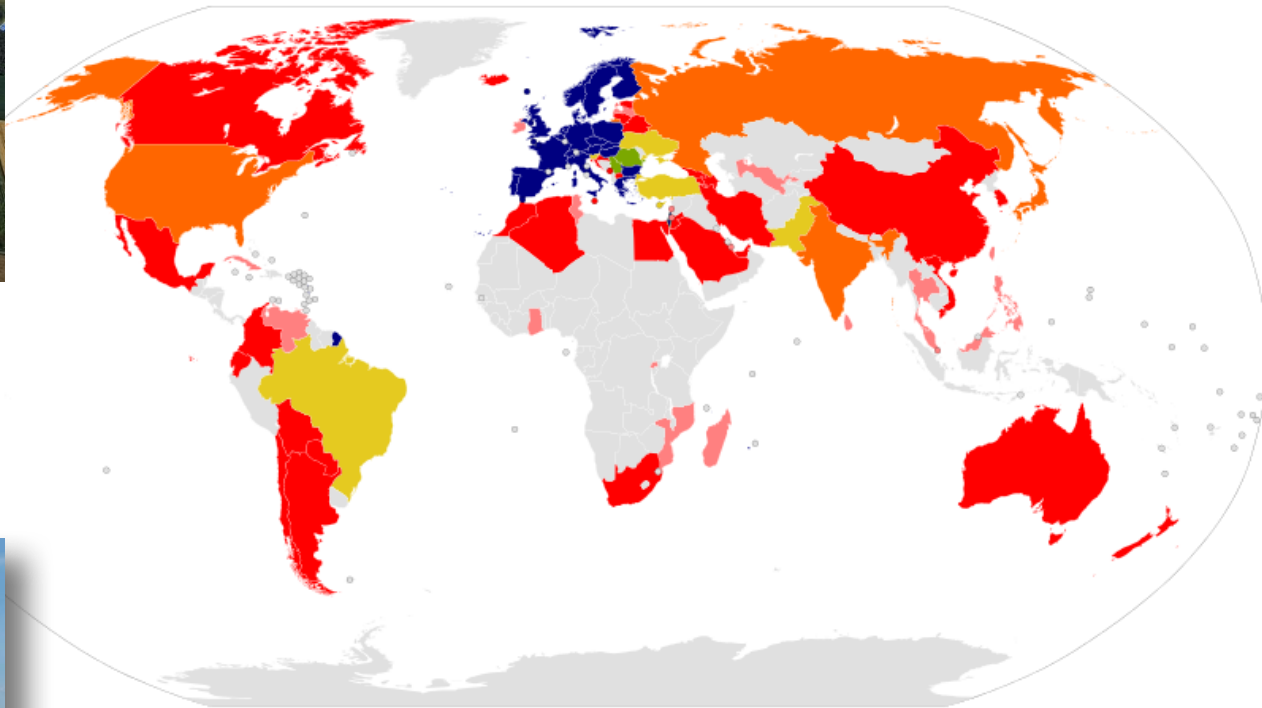




hands on particle physics

Велики хадронски сударач и експерименти на њему

*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
Европски центар за нуклеарна истраживања*



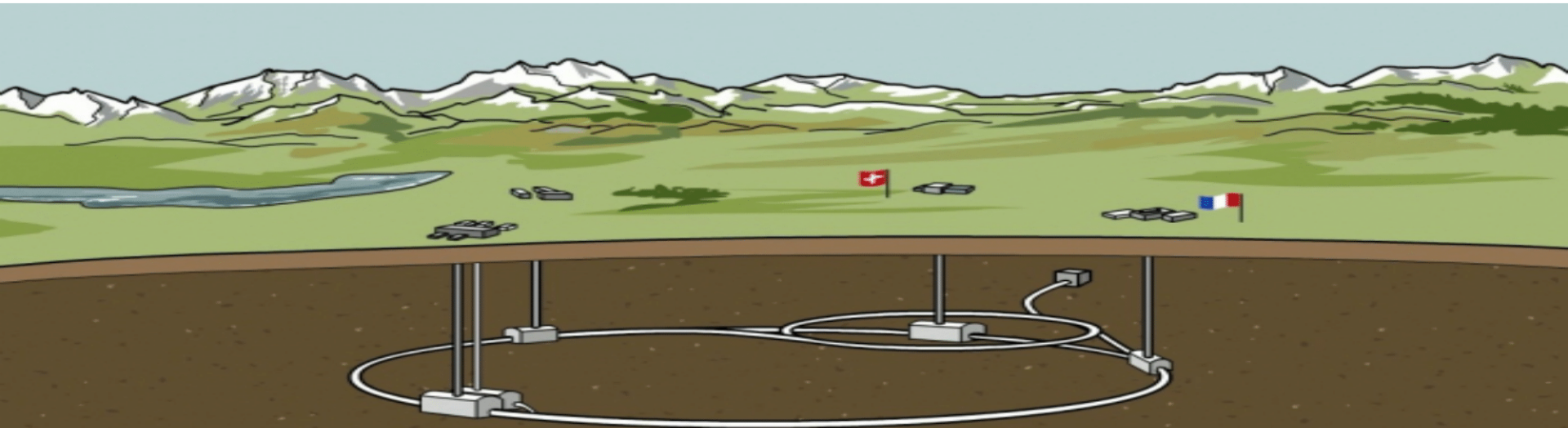
← *Летњи студенти из преко 100 земаља*

ЦЕРН је основан 1952. године.

Велики хадронски сударач

Large Hadron Collider - LHC

- **Велики** јер је највећи експеримент у физици честица.
- **Сударач** јер судара снопове честица.
- **Хадронски** јер судара хадроне (протоне и језгра олова)
- Ко је направио ЛХЦ? → ЦЕРН у сарадњи са преко 100 земаља.
- ЛХЦ је кружни акцелератор обима од приближно 27 км.
- Налази се испод површине Земље (средња дубина је око 100 м)



Главни циљеви ЛХЦ-а

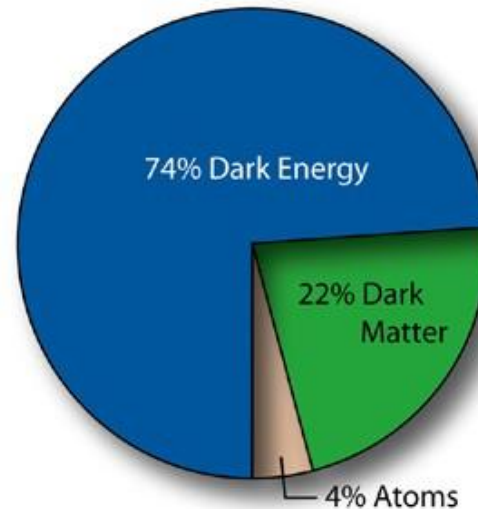
- **Потрага за Хигсовим бозоном.** ✓

Хигсов бозон је честица која даје масу другим честицама.

- **Потрага за суперсиметричним честицама.**

Нова физика је неопходна да објасни резултате разних експеримената.

- **Потрага за тамном материјом.**



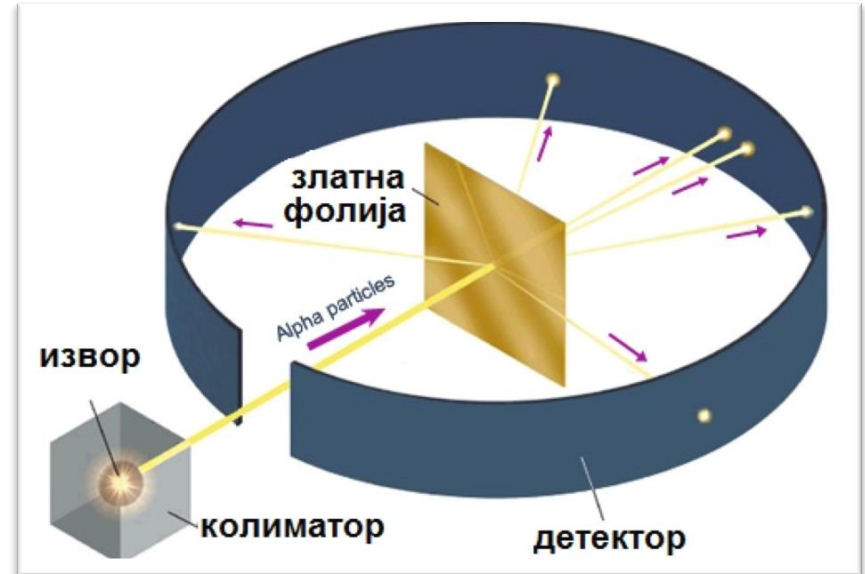
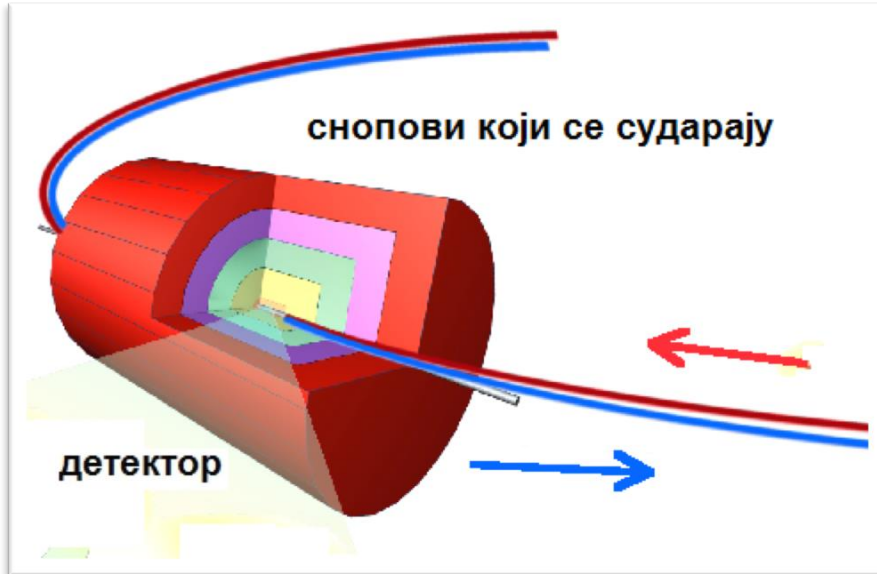
- **Објаснити зашто има више материје него антиматерије.**

- **Проучавање кварк-глуонске плазме.**

У сударима језгара олова проучава се ово специфично стање материје.

Сударии или стационарна мета

Радерфордов експеримент



Сноп протона који удара у протонску мету

$$\begin{aligned}
 E_{CM} &= 2E = \\
 &= 7 \text{ TeV} + 7 \text{ TeV} = \\
 &= 14 \text{ TeV}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{CM} &= \sqrt{2m^2 + 2mE} = \\
 &= \sqrt{2(0.938 \text{ GeV})^2 + 2(0.938 \text{ GeV})(7000 \text{ GeV})} = \\
 &= 114.6 \text{ GeV}
 \end{aligned}$$

Главни делови акцелератора

Акцелераторске шупљине

Два снопа се крећу
у супротним
смеровима

Магнети за
савијање снопа

- Вакуумска цев.
- Систем за инјекцију снопа.
- Систем за убрзавање снопа.

Електрично поље убрзава снопове (касније одржава њихову брзину константном – надокнађује губитке енергије).

- Диполни магнети држе снап на приближно кружној путањи.
- Систем за колимацију снопа.

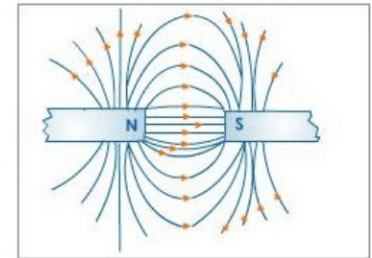
Квадруполни магнети фокусирају снап.

Магнети за
фокусирање

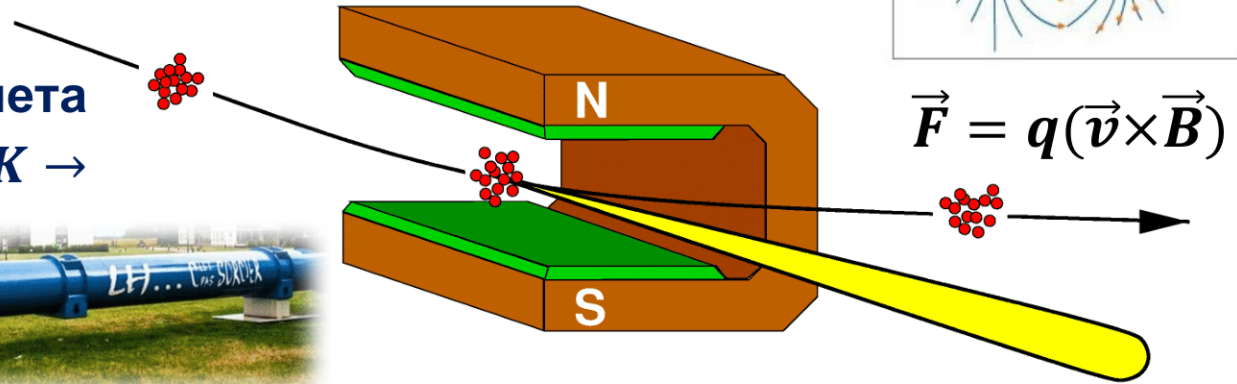


Магнетни систем

- Укупно 9 593 магнета (53 различита типа).
- Диполни магнети усмеравају снопове по кружној путањи.



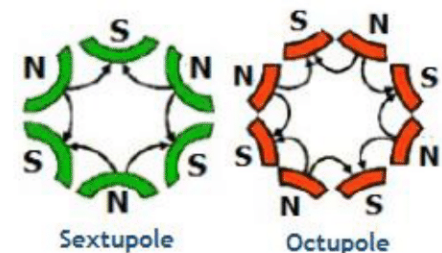
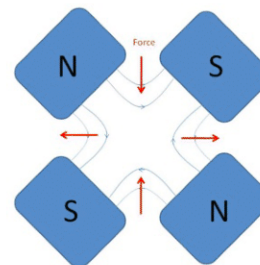
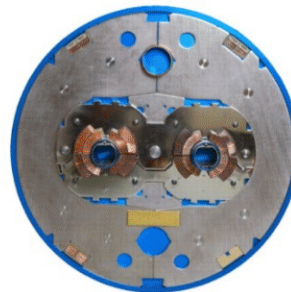
1232 диполна магнета
 $p = p_{atm}$ и $T = 1.9K \rightarrow$



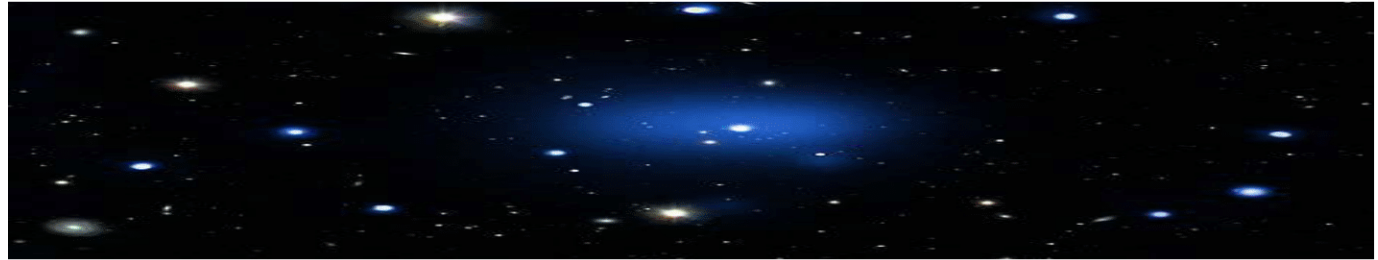
- Суперфлуидни хелијум обезбеђује довољно ниску температуру.
- Сваки диполни магнет је 15 метара дугачак и 35 тона тежак!

Магнетно поље дипола = 100000 × Магнетно поље Земље.

- Квадруполни магнети колимишу снап, 6,8,10-полни магнети врше додатне корекције.



Импресивни бројеви



Температура на кој раде диполни магнети

$$T = 1.9K = -271.3^{\circ}C$$

Средња температура у међузвезданом простору

$$T = 2.7K = -270.5^{\circ}C$$

Притисак у вакуумским цевима

$$100 \text{ nPa} > p > 1 \text{ nPa}$$

Притисак у међузвезданом простору

$$100 \text{ }\mu\text{Pa} > p > 3 \text{ fPa}$$

При сударима снопова може се достићи температура и до

$$T = 10 \text{ милиона милијарди } ^{\circ}C$$



Температура језгра Сунца је близу

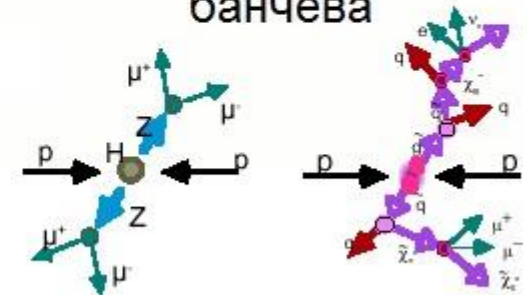
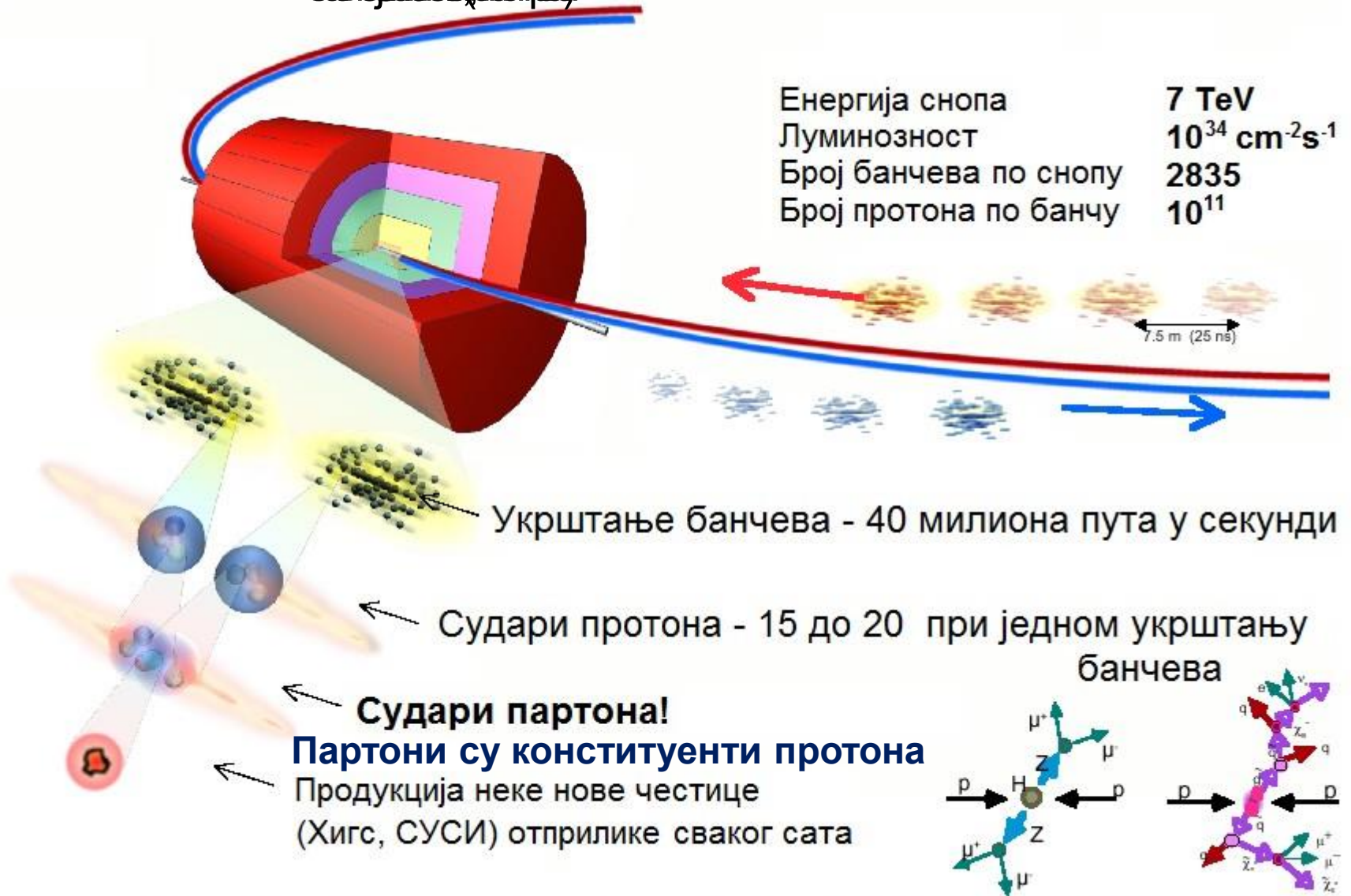
$$T = 20 \text{ милиона } ^{\circ}C$$



Судари снопова протона

Судари протона

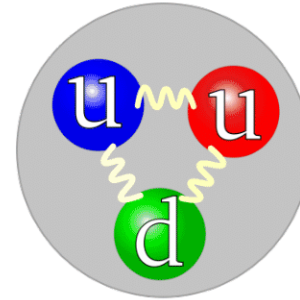
Енергија снопа	7 TeV
Луминозност	$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Број банчева по снопу	2835
Број протона по банчу	10^{11}



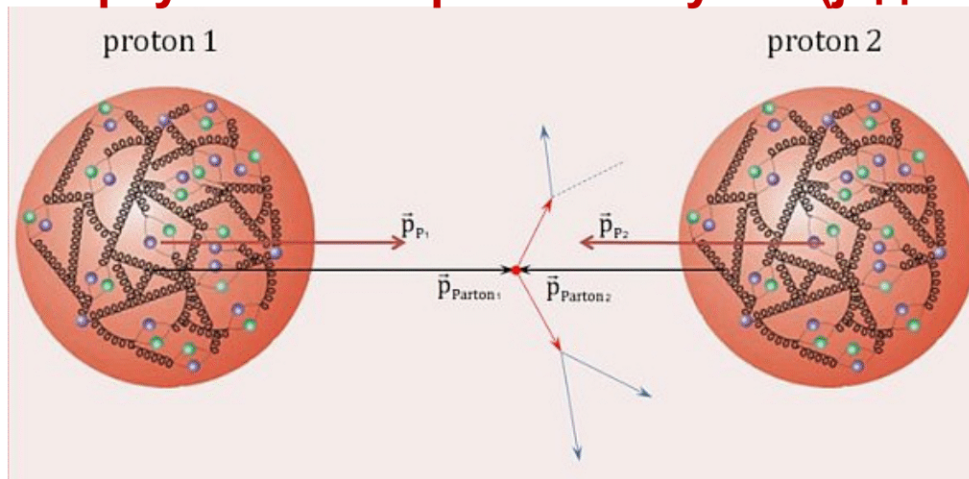
Потребно је издвојити 1 догађај из 10,000,000,000,000 догађаја!

Судары протона

- Протони су композитне честице!
- Масе $m(u) = 0.003 \text{ GeV}/c^2$
 $m(d) = 0.006 \text{ GeV}/c^2$
 $m(p) = 0.938 \text{ GeV}/c^2$



- Осим валентних (uud) кваркова, у протону се налази и море виртуелних кваркова и глюона (једним именом – партона)!



- При судару два протона дешава се интеракција између њихових конституената (партона једног протона са партоном другог протона)!

Поред енергије луминозност представља најважнији параметар судара снопова протона.

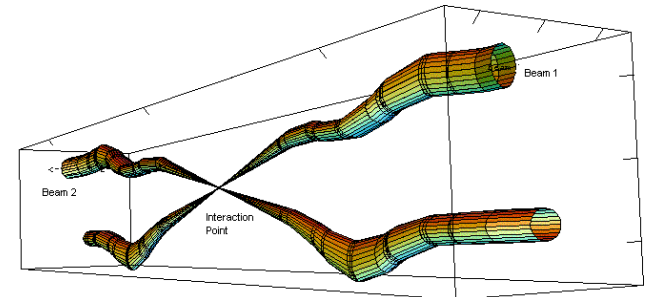
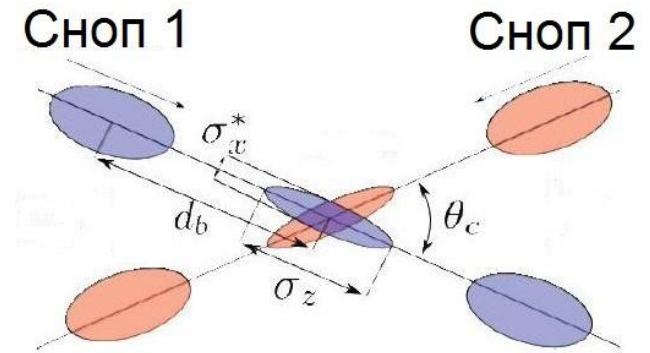
$$L = \frac{N_1 N_2 f n_b}{A} \quad [cm^2 s^{-1}]$$

N_1, N_2 - број протона у банчу

f - фреквенција судара

n_b - број банчева

A - попречни пресек снопова



Relative beam sizes around IP1 (Atlas) in collision

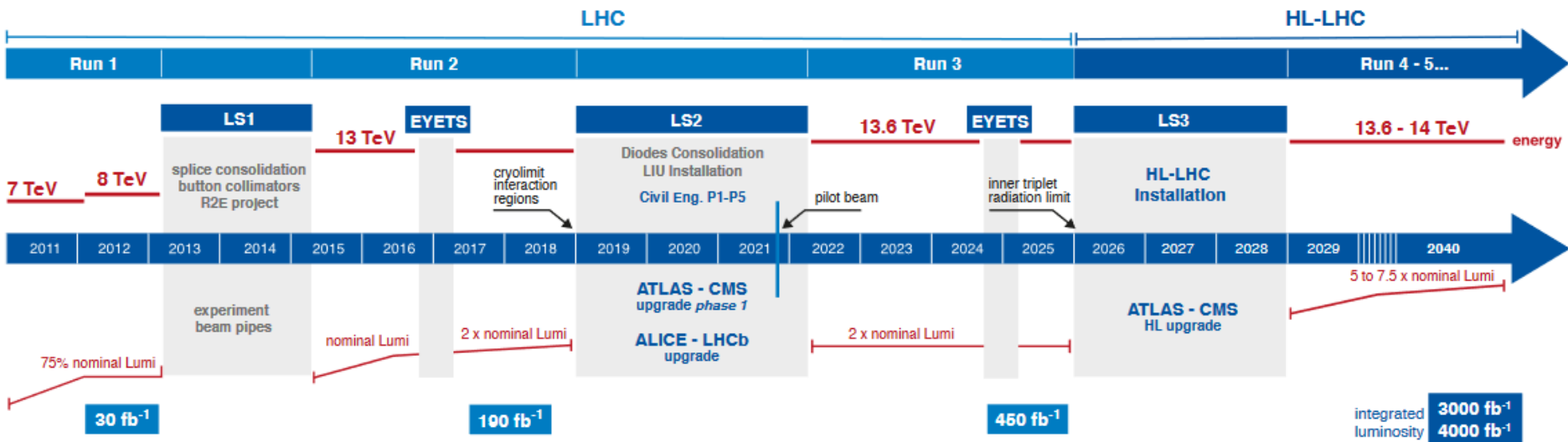
$N = L \times \sigma \Rightarrow$ Потребна висока луминозност за ретке догађаје!

Дизајнирана луминозност ЛХЦ-а: $L = 10^{34} cm^2 s^{-1}$

Историјат и планови за ЛХЦ



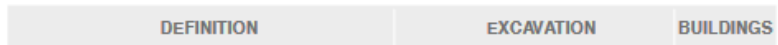
LHC / HL-LHC Plan



HL-LHC TECHNICAL EQUIPMENT:

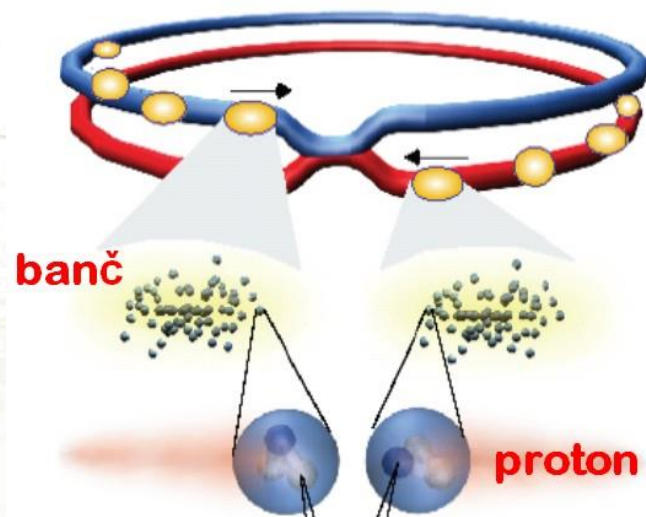


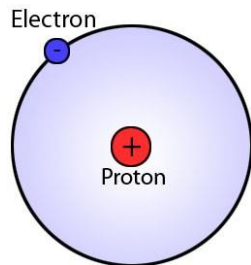
HL-LHC CIVIL ENGINEERING:



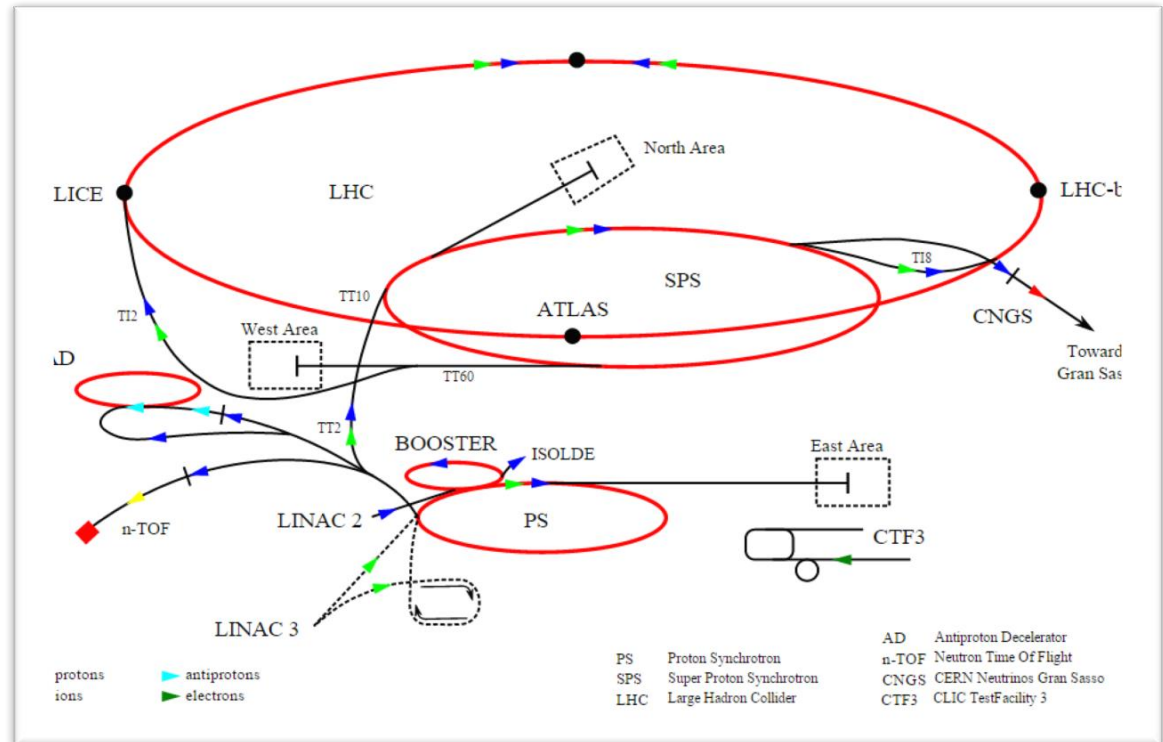
Параметри ЛХЦ-а

Особине ЛХЦ-а:	
Обим	26 659 m
Температура на којој раде диполи	1.9 K
Број магнета	9 593
Број диполних магнета	1 232
Број квадруполних магнета	392
Број система за убрзавање	8 по снопу
Номинална енергија, протони	7 TeV
Номинална енергија, јони	2.76 TeV
Јачина магнетног поља дипола (мах)	8.33 T
Мин. растојање између банчева	7 m
Број банчева по снопу	2 808
Број протона по банчу (на почетку)	1.1×10^{11}
Број кругова у секунди	11 245
Број судара по секунди	600 милиона





Акцелераторски комплекс



- Протони се добијају тако што се електричним пољем код атома водоника уклањају електрони.
- Пре убацавања у ЛХЦ, протони се до одређене мере морају убрзати!
- **Највећа могућа брзина у Свемиру је брзина светлости ($c=299\,792\,458\text{ m/s}$)**

Енергија при судару

Енергију највише лимитирају:

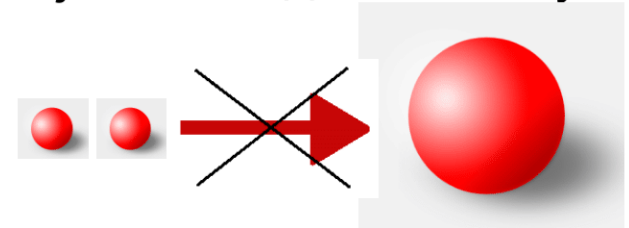
1. Могућност убрзавања
2. Величина акцелератора и снага диполних магнета

$$m \frac{v^2}{r} = evB$$

$$\frac{p}{e} = Br$$

Зашто је потребна велика енергија?

Да би се произвеле „тешке“ честице неопходно је обезбедити велику енергију у систему центра масе!



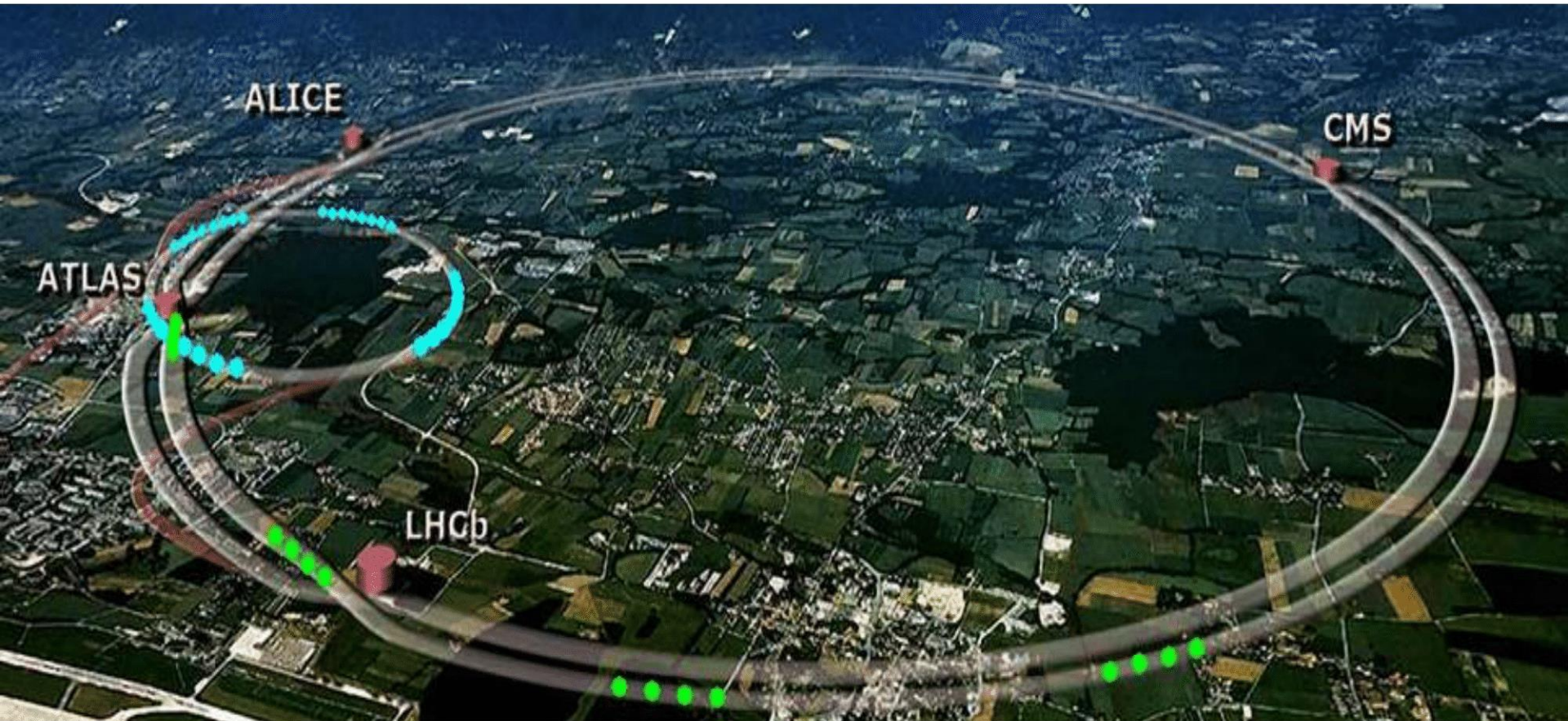
Енергија партона?

Треба имати на уму да се при судару не користи целокупна енергија протона, већ само **фракција енергије коју носи партон** који учествује у примарној интеракцији!

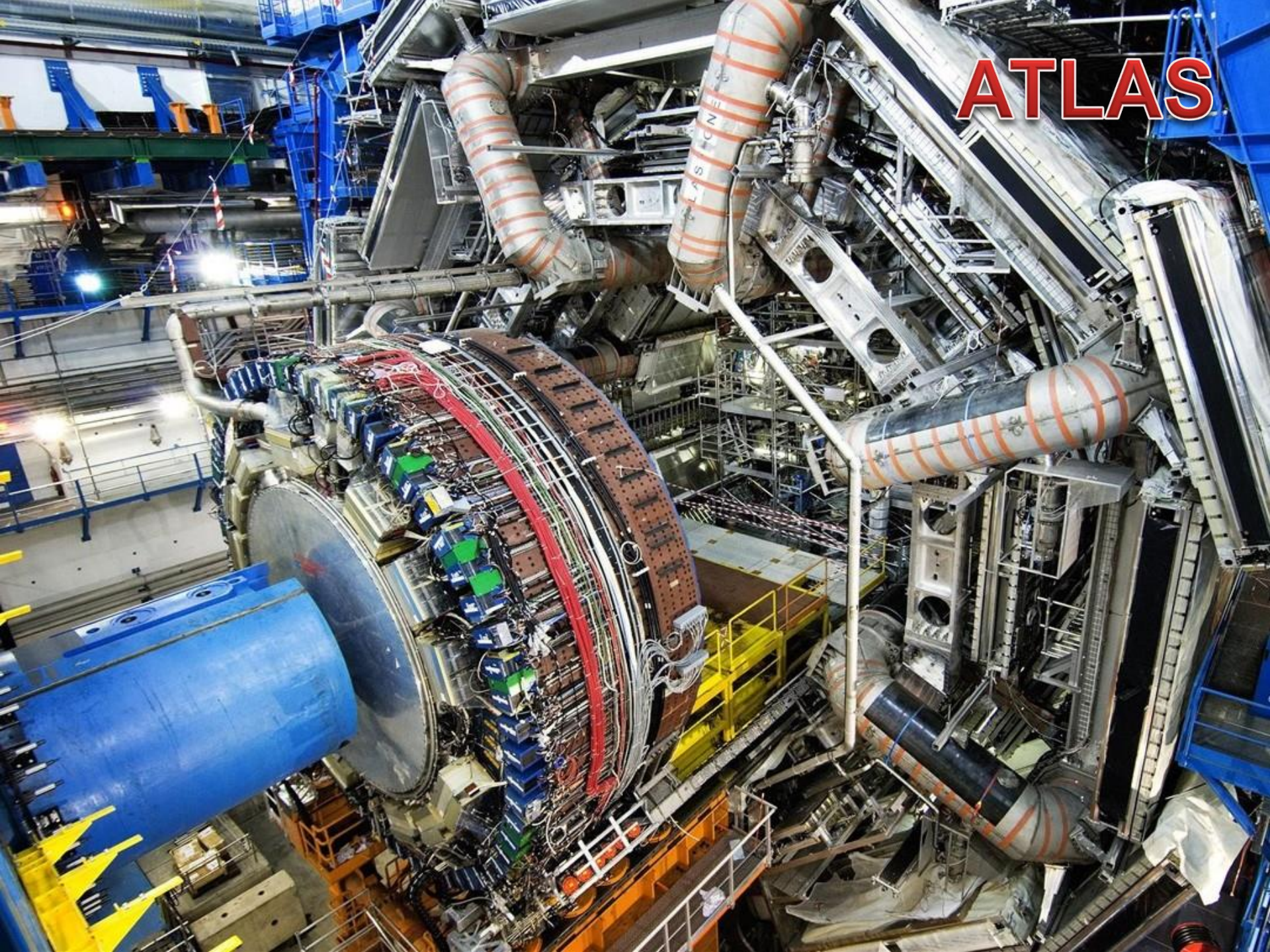
Тачке судара снопова

- Четири велика експеримента:

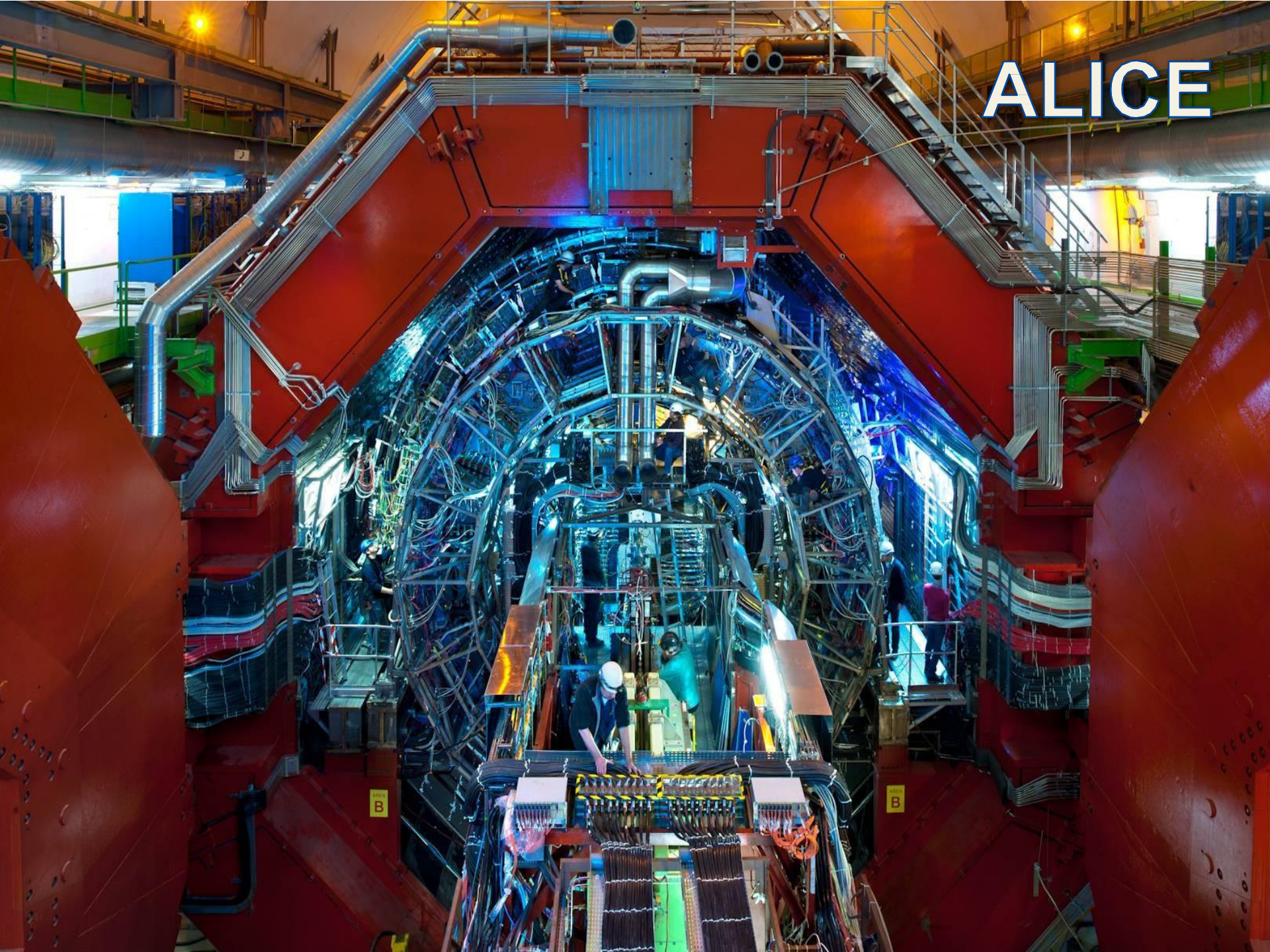
ATLAS; CMS; ALICE; LHCb



ATLAS



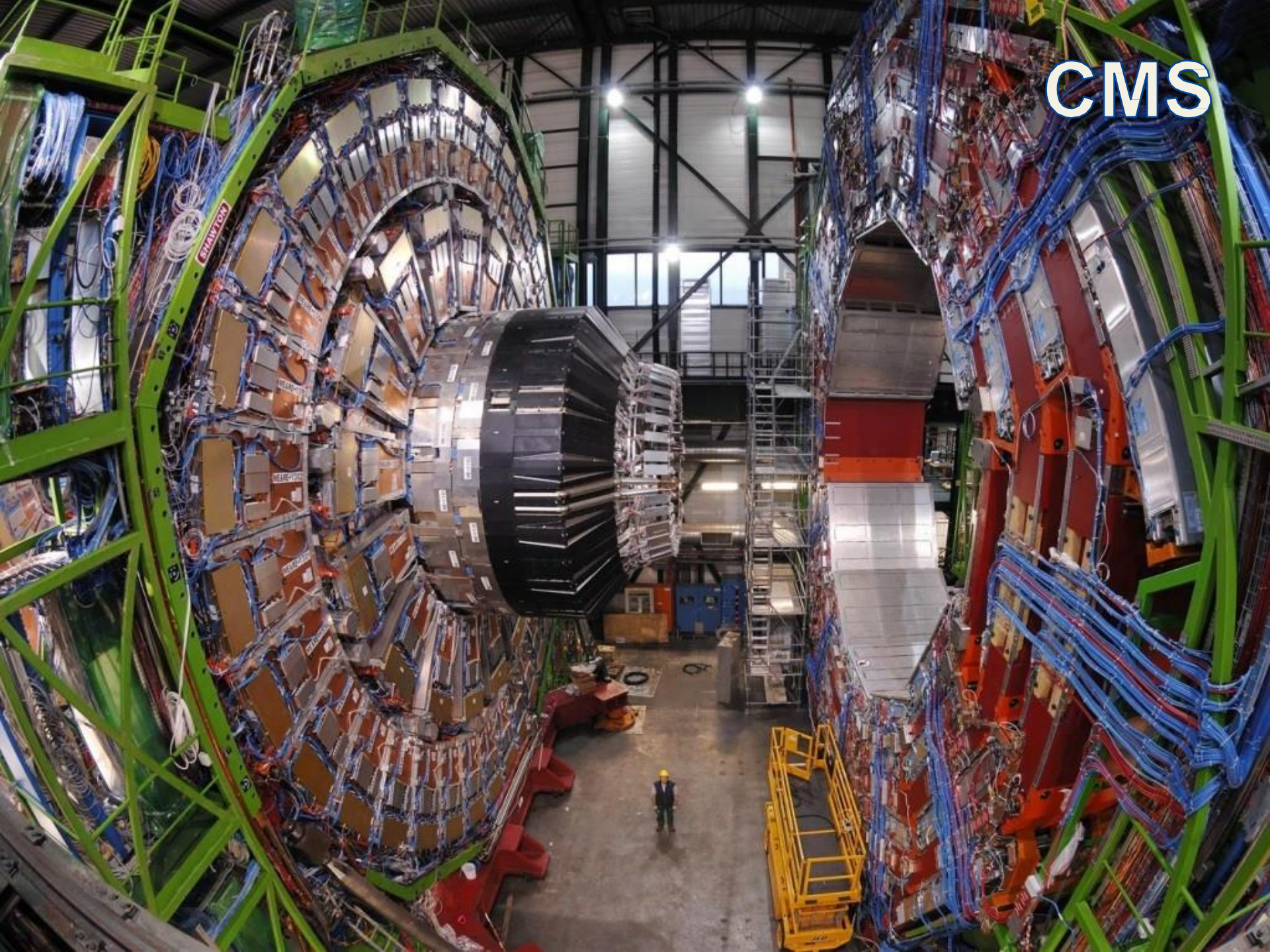
ALICE



LHCb



CMS

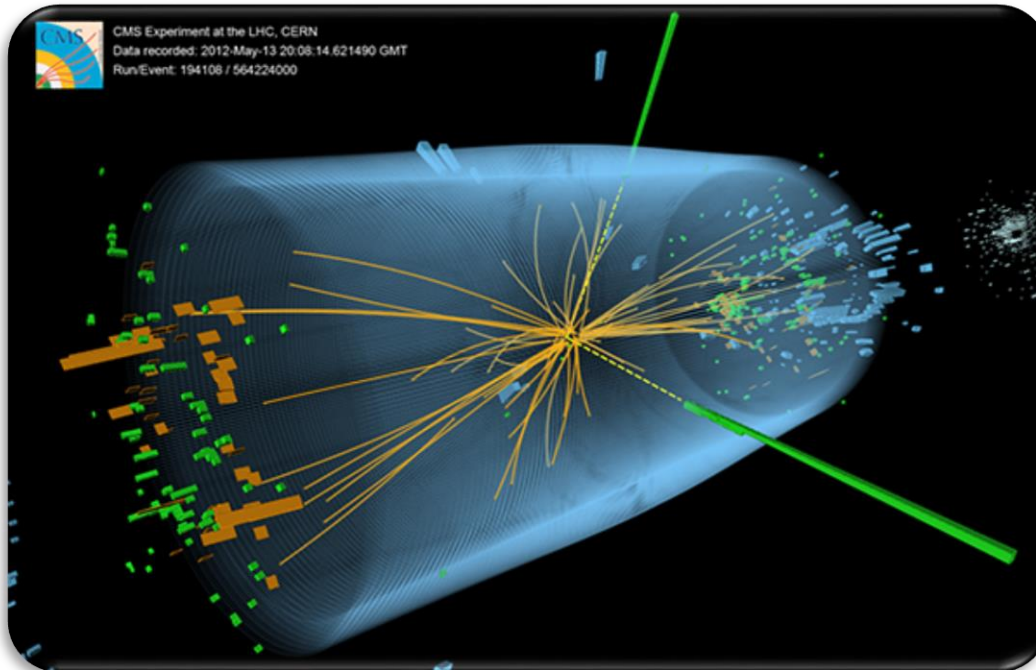




Овде иде филм

Како раде детектори?

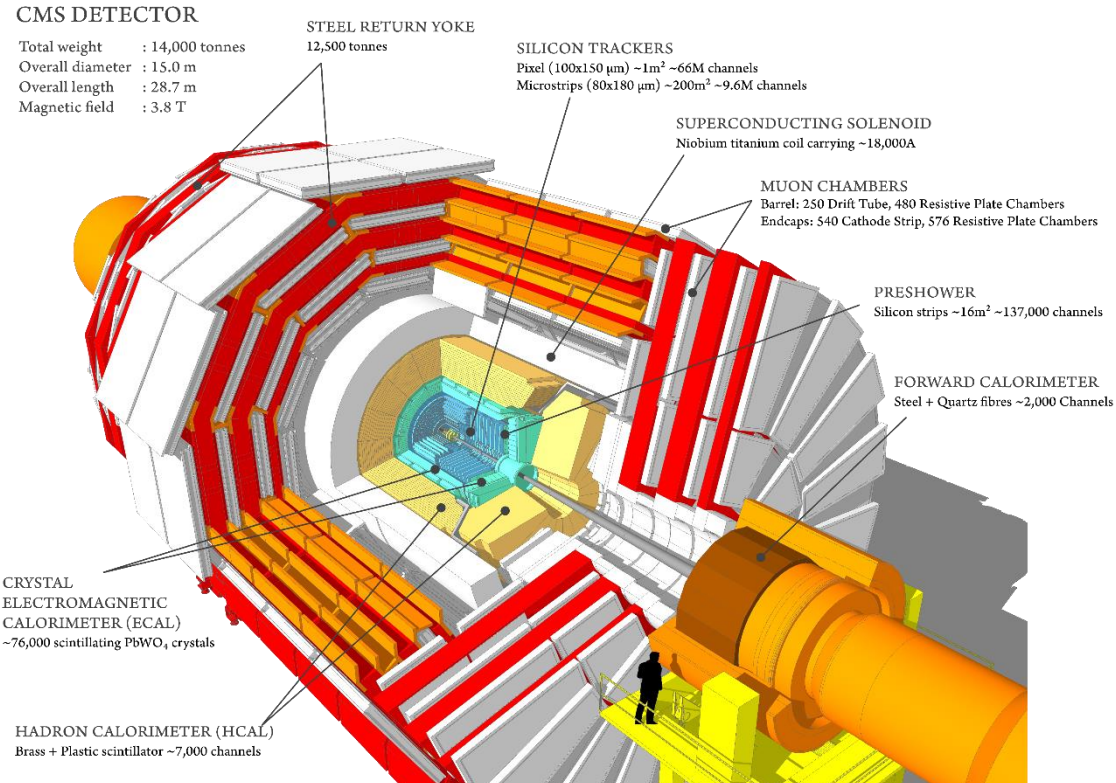
- Велике, цилиндричне, тродимензионалне камере
- Снимају „омнидирекционе фотографије“ судара честица до 40 милиона пута у секунди!
- Бележе **импулсе**, **енергије** и **трајекторије** честица насталих као производ судара протона



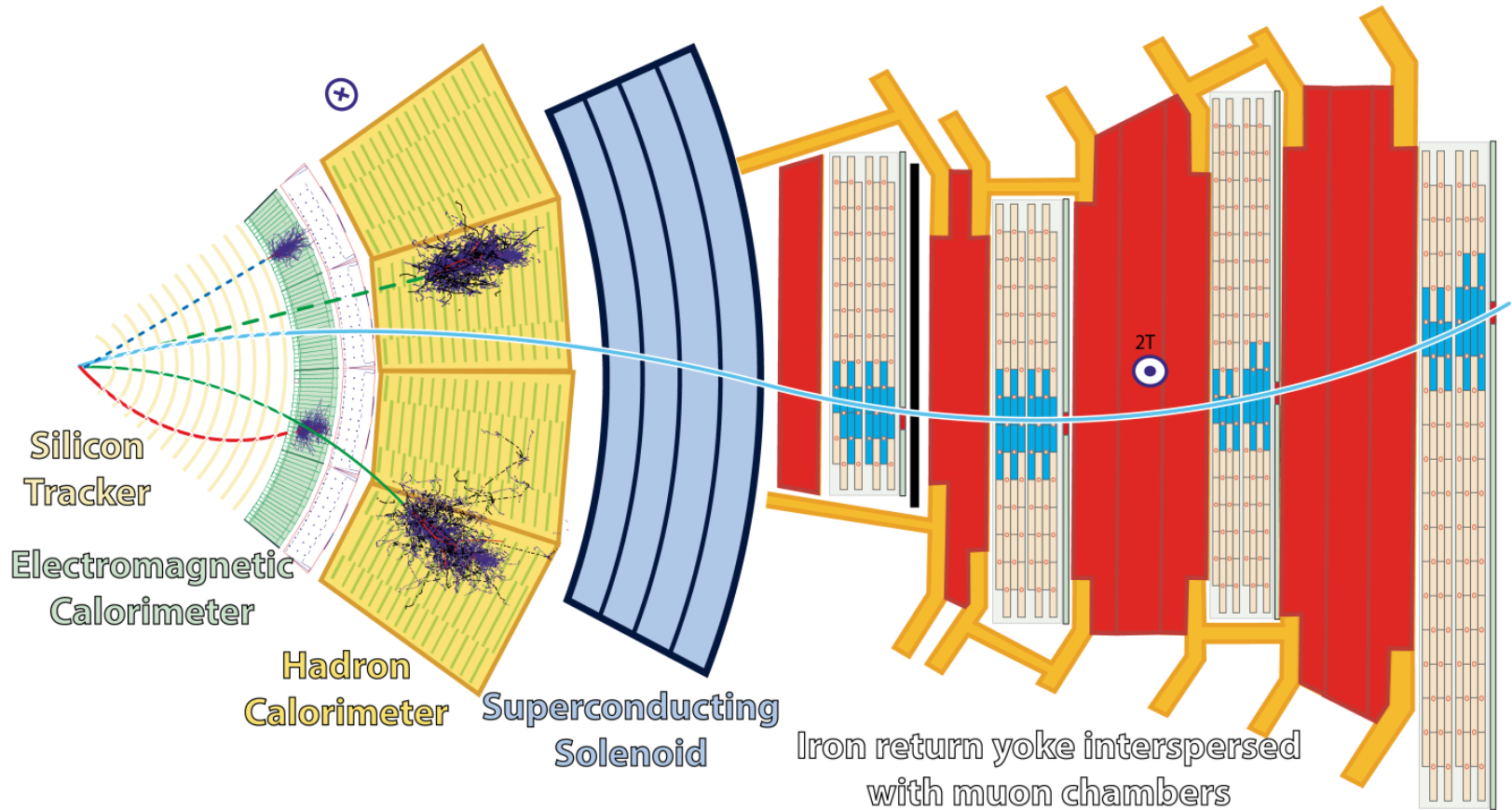
Компоненте детектора

Пример: Компактни Мионски Соленоид
(ЦМС):

- Трекер систем:** Снима трајекторије наелектрисаних честица.
- Електромагнетски калориметар:** Мери енергије електрона, позитрона и фотона.
- Хадронски калориметар:** Мери енергије хадрона.
- Соленоидни магнет:** Ствара јако магнетно поље за прецизније мерење трајекторија и импулса наелектрисаних честица.
- Мионске коморе:** Детектују мионе и друге наелектрисане честице.



Идентификација честица



— Muon

— Electron

— Charged hadron (e.g. pion)

- - - Neutral hadron (e.g. neutron)

- - - Photon

Идентификација честица

