



ЦЕРН, 17 Септември 2012

Детектори

Владимир Генчев

ИЯИЯЕ, БАН, София

Съдържание

Програма на LHC

**Преминаване на частици през
веществото**

Детектори: ATLAS и CMS

Трекови детектори

Калориметри

Мюонна детектори

GRID

Програма на LHC

**Да се намерят нови частици/ нови симетрии/
нови сили?**

Произход на масата – Higgs бозон;

**Суперсиметрични частици – частици на
тъмната материя?**

**Допълнителни размерности пространство-
време: гравитон?**

Изучаване на CP нарушението;

Изучаване на кварк-глюонна плазма;

Неочаквани резултати.

Да се излезе извън SM

Инструментарииум

Ускорители - мощни машини, които ускоряват частици до екстремно високи енергии и ги сблъскват с други частици;

Детектори - гигантски инструменти, които записват информацията от родените в точката на сблъскване нови частици;

Компютинг – да събира, съхранява, анализира и разпространява огромното количество данни, произведени от тези детектори;

Световни научни колективи – учени и инженери, които да построят, поддържат и използват тези комплексни машини.

Размери и методи на измерване



Дължината на вълната на пробника трябва да е \ll от размера на обекта

$$\lambda \ll \frac{h}{p} = \frac{hc}{E}$$

<u>Обект</u>	<u>Размер</u>	<u>Енергия</u>
Атом	10^{-10} м	10^{-5} GeV
Ядро	10^{-14} м	10^{-2} GeV
Нуклон	10^{-15} м	0.1 GeV
Кварк	??	> 1 GeV

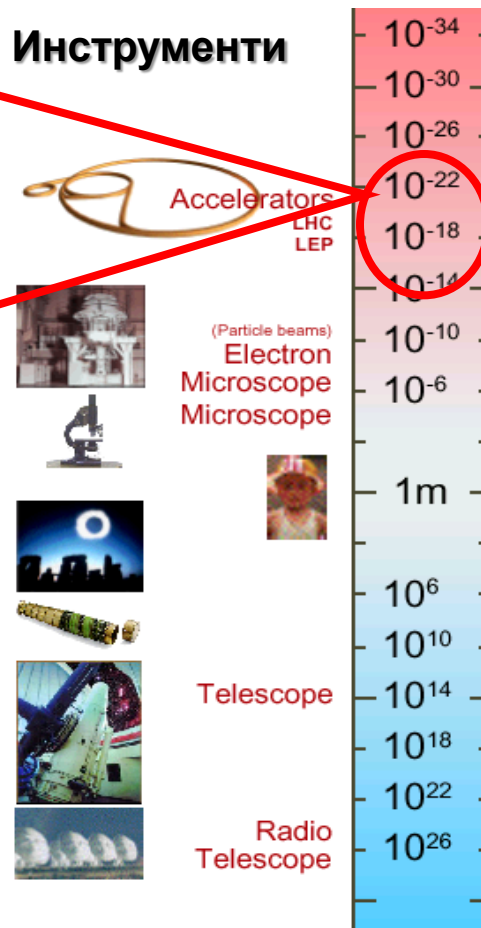
Ускорител



Електронно око

Големия взрив

Инструменти



Наблюдаеми



LHC

pp взаимодействие при 7 + 7 TeV

2 насрещни снопа

$k = 2808$ пакета от протони в сноп

$N = 10^{11}$ протона в пакет

$f =$ пресичане на сноповете = 40 MHz

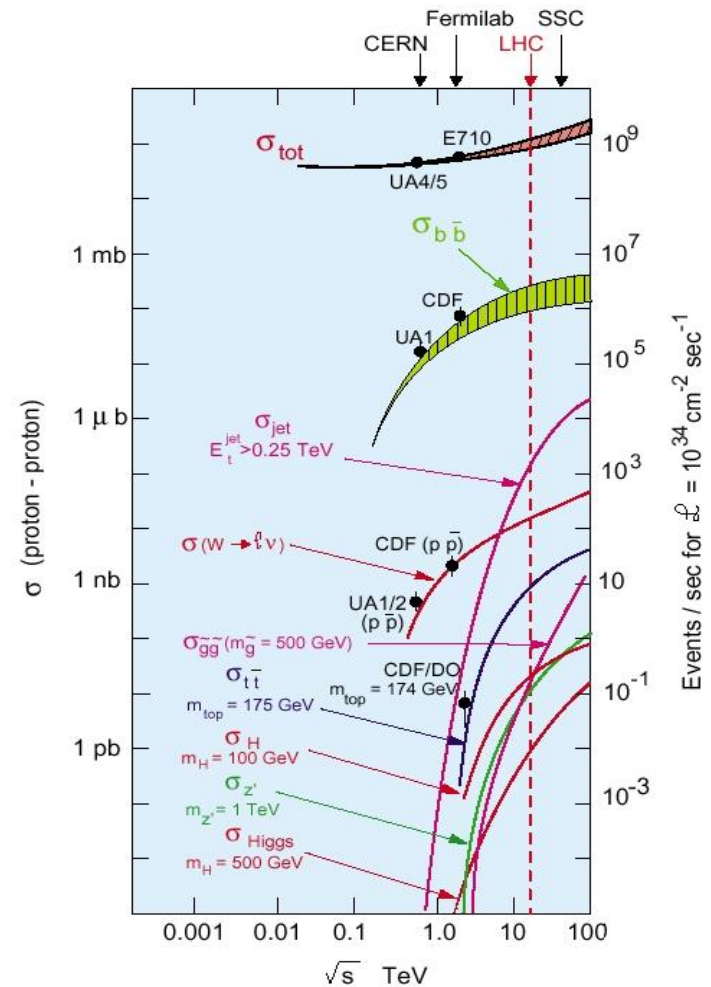
Светимост

$$L = N^2 k f \gamma / 4 \pi \epsilon \beta = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

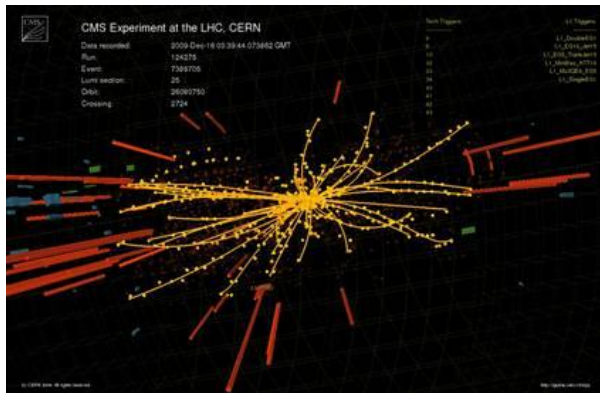
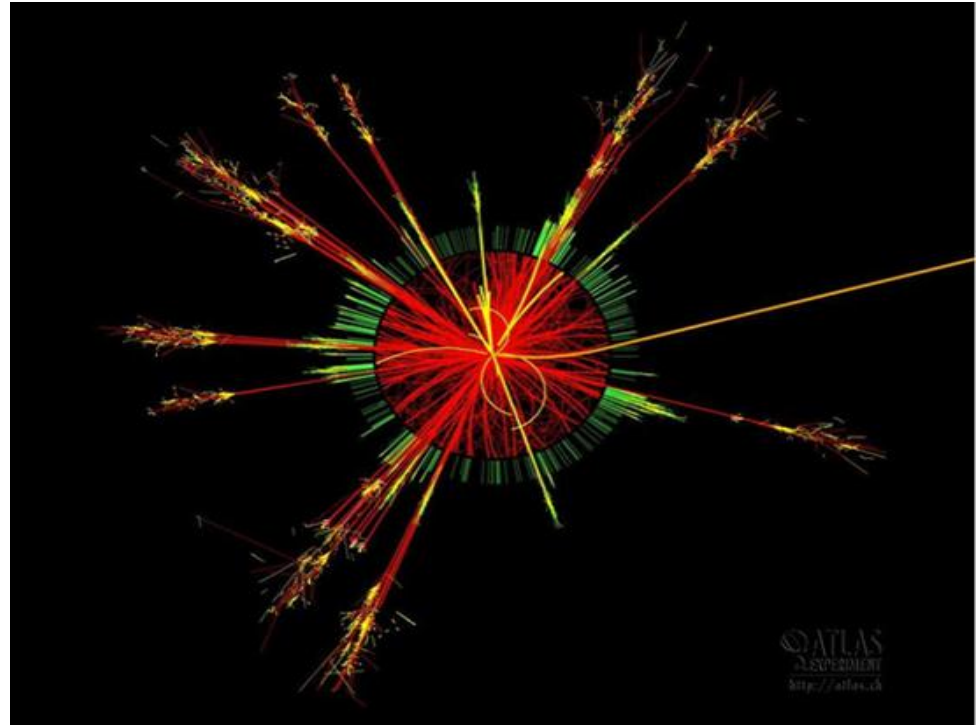
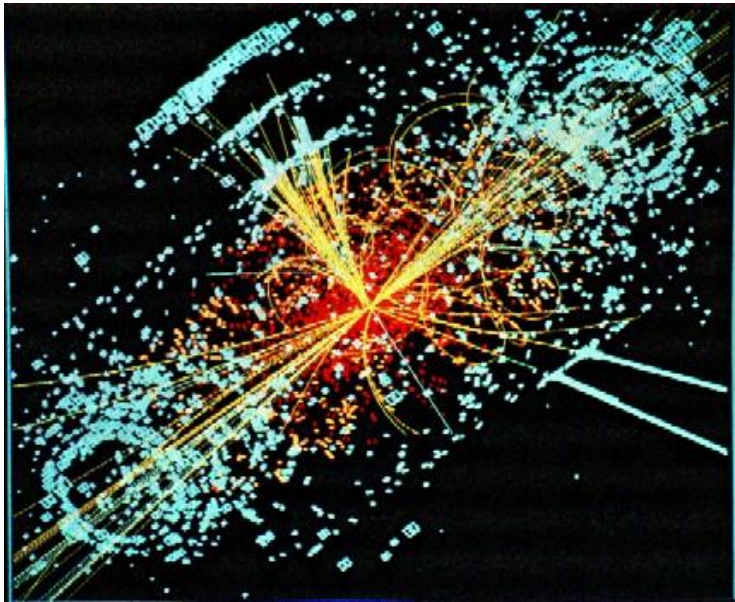
$$N_{ev} = L \cdot \sigma \cdot BR$$

$$H(1 \text{ TeV}) \rightarrow ZZ \rightarrow 2e + 2\mu; 4e; 4\mu$$

$$N_{ev}/\text{година} = 10^{34} \cdot 10^{-37} \cdot 10^{-3} \cdot 10^7 = 10$$



Събитие



CMS ~ 100 милиона канала

цифрова камера ~ 6 милиона пиксела, но CMS прави “цифрова снимка” 40 милиона пъти в секунда !!

Технологично предизвикателство

1. ~ 1 милиард протон-протонни взаимодействия за 1 s

Пакети, съдържащи 10^{11} протона, се пресичат 40 милиона пъти в центъра на всеки експеримент

2. Огромни потоци от вторични частици

Хиляди частици пресичат детектора всеки 25 ns

Голям брой канали ~ 100 милиона

Голям брой информация ($1 \text{ MB} / 25 \text{ ns} = 40 \text{ TB}$ за 1 s)

3. Висока радиация от n и γ

Изисквания към детекторите

Многоканален детектор

Да покрива целия телесен ъгъл 4π

Херметична калориметрична система

**Да регистрира направлението и идентифицира заряда
и масата на всички частици**

Да измери техния импулс или енергия

Мощна вътрешна трекова система

**Висока разделителна способност на електромагнитния
калориметър**

**Много добра мюонна идентификация и измерване на
импулса**

Високо радиационно устойчиви материали

Преминаване на частици през **вещество**

По настоящем за регистрация на частици се използват следните процеси при тяхното взаимодействие с веществото на детектора:

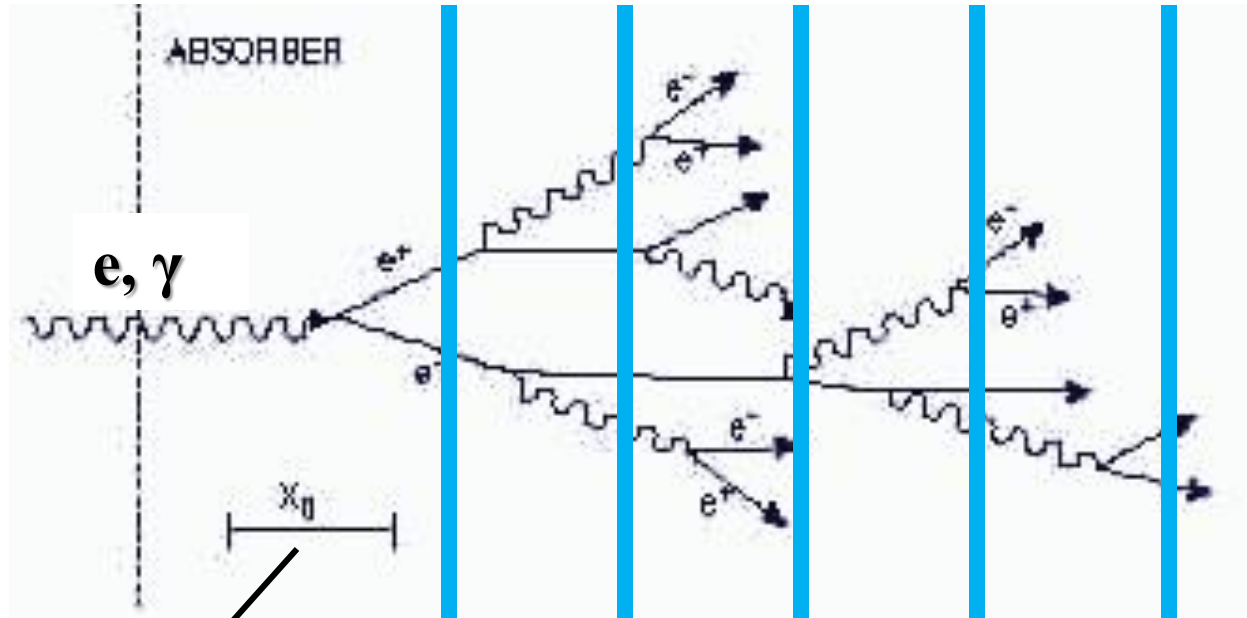
- 1. Електромагнитно взаимодействие (всички заредени + γ)**
- 2. Силно взаимодействие (адрони, включително и неутралните – n)**
- 3. Слабо взаимодействие (нейтрино - ν)**

Взаимодействие на γ и e^{\pm} с ВЕЩЕСТВО

За да се регистрира γ – квант е необходимо той да предаде енергията си на заредена частица:

1. Фотоефект: $\gamma + \text{атом} \rightarrow \text{атом}^* + e^-$
2. Комптоново разсейване: $\gamma + e \rightarrow \gamma' + e'$
3. Раждане на двойка e^+e^- : $\gamma + \text{ядро} \rightarrow e^+e^- + \text{ядро}$
(в полето на ядрото или електрона, само ако $E_{\gamma} > 2m_e c^2$)
4. Йонизационни загуби: $e + \text{ядро} \rightarrow e' + \gamma + \text{ядро}$
5. Многократно разсейване

Електромагнитна лавина

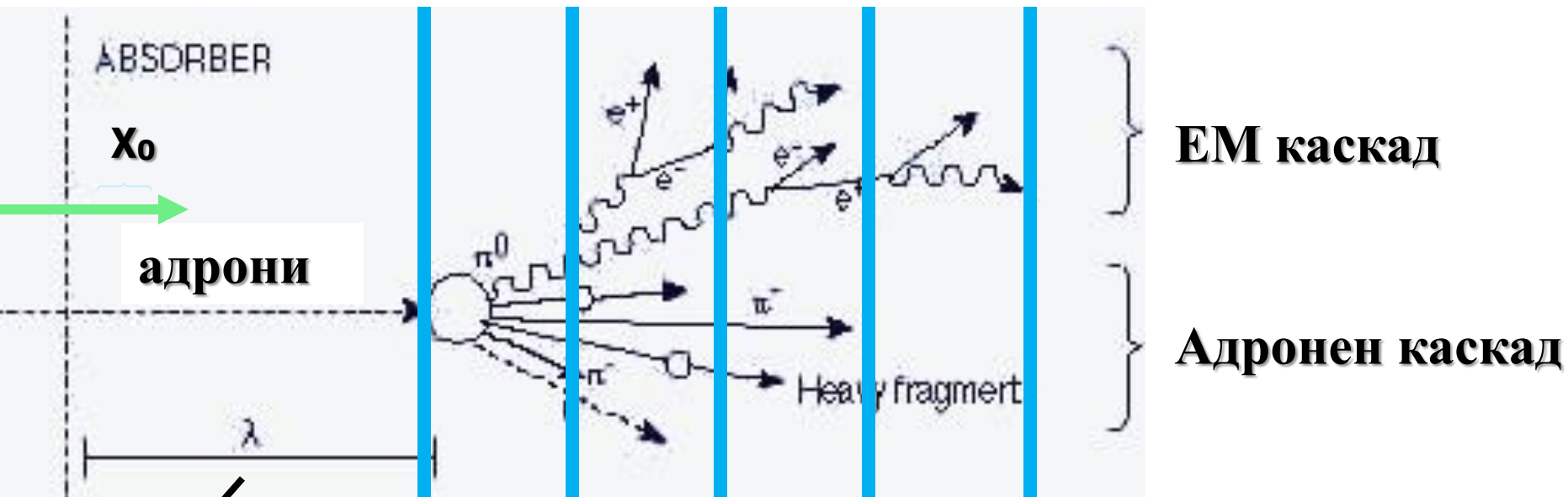


1. Масата (e) конвертира в енергия (γ)
2. Раждат се e^+e^- двойки

Чувствителен елемент

X_0 - Радиационна дължина – средната дължина на проникване във веществото преди да се предизвика ЕМ лавина само от електрони, позитрони и фотони

Адронна лавина



EM каскад

Адронен каскад

1. Разбиване на атомното ядро

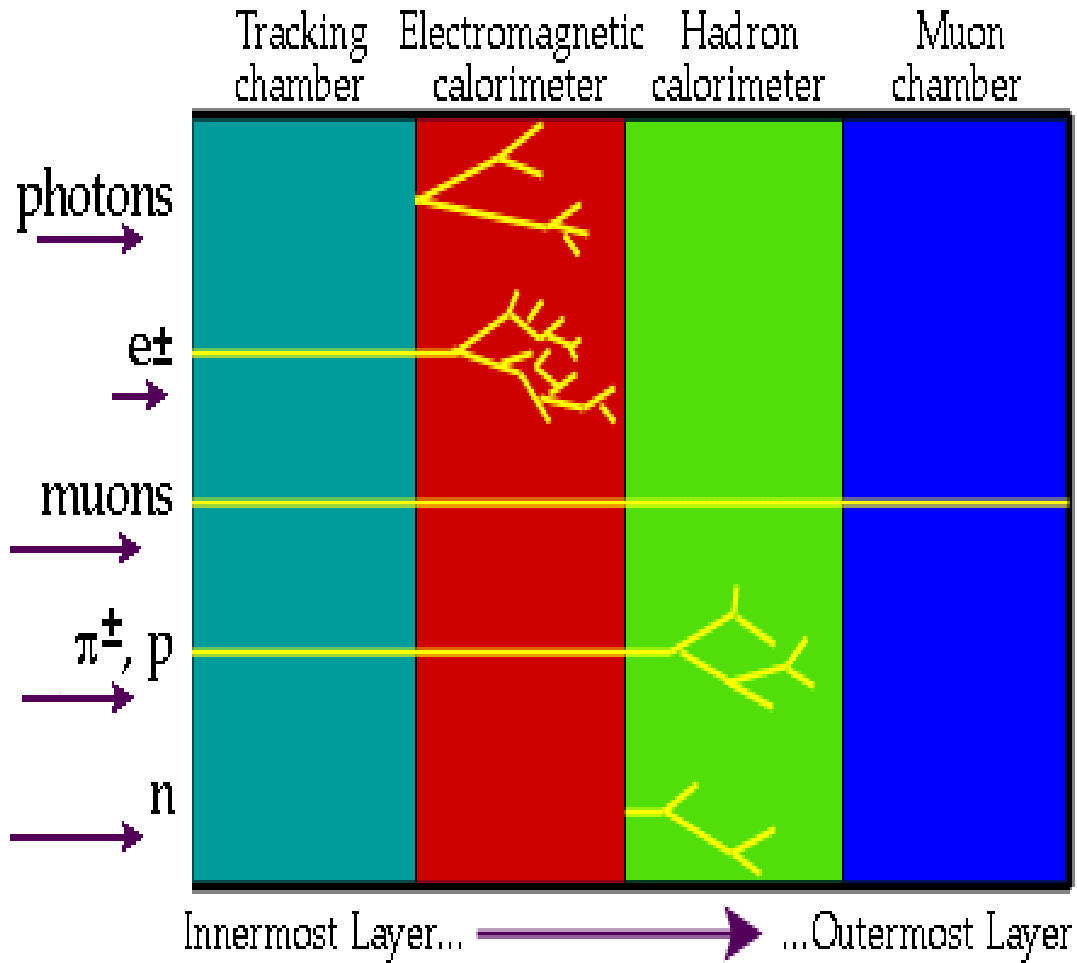
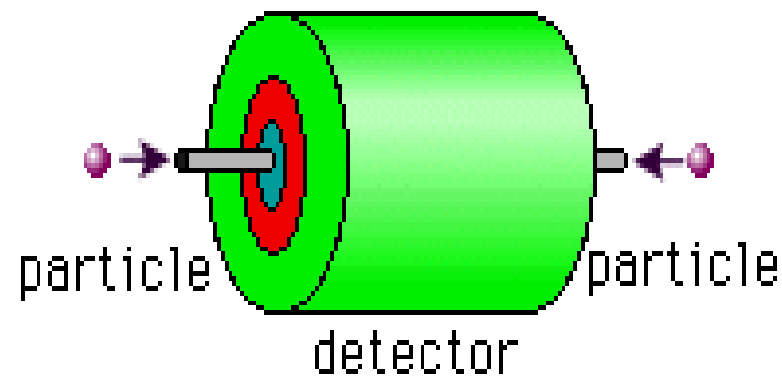
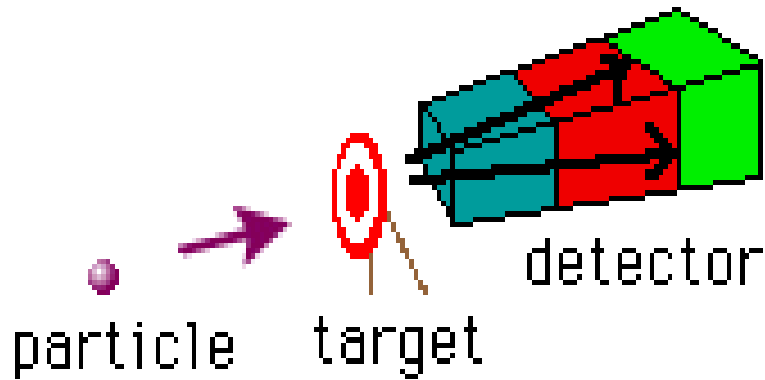
2. Разпади

Чувствителен елемент

Интеракционна дължина – средната дължина на проникване във веществото преди да се предизвика адронна лавина

Ражда се разнообразие от ел. частици: $p, n, \pi, \nu, \Lambda, K, \Xi$ 13

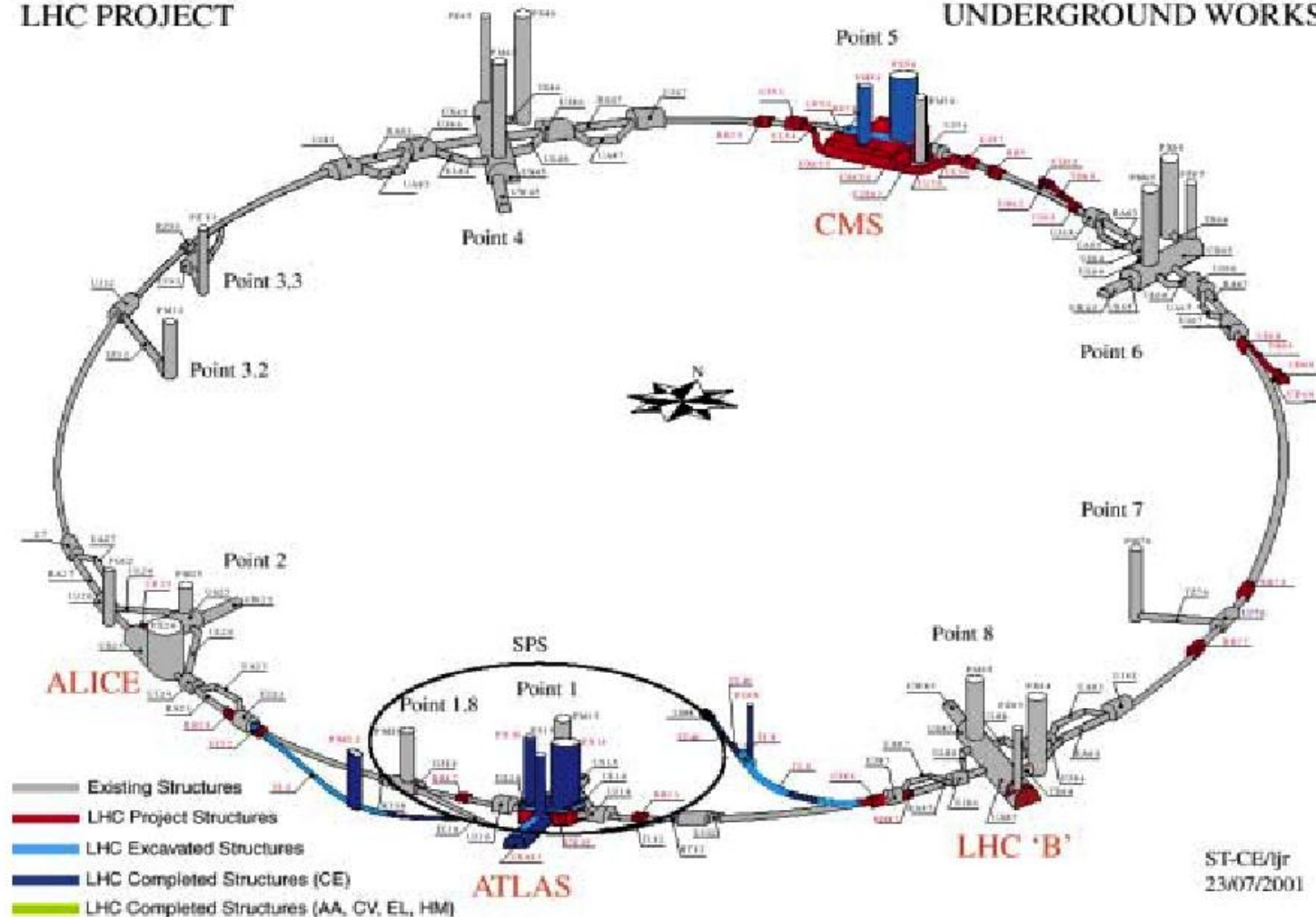
Типове детектори



Детектори на LHC

LHC PROJECT

UNDERGROUND WORKS



ATLAS & CMS



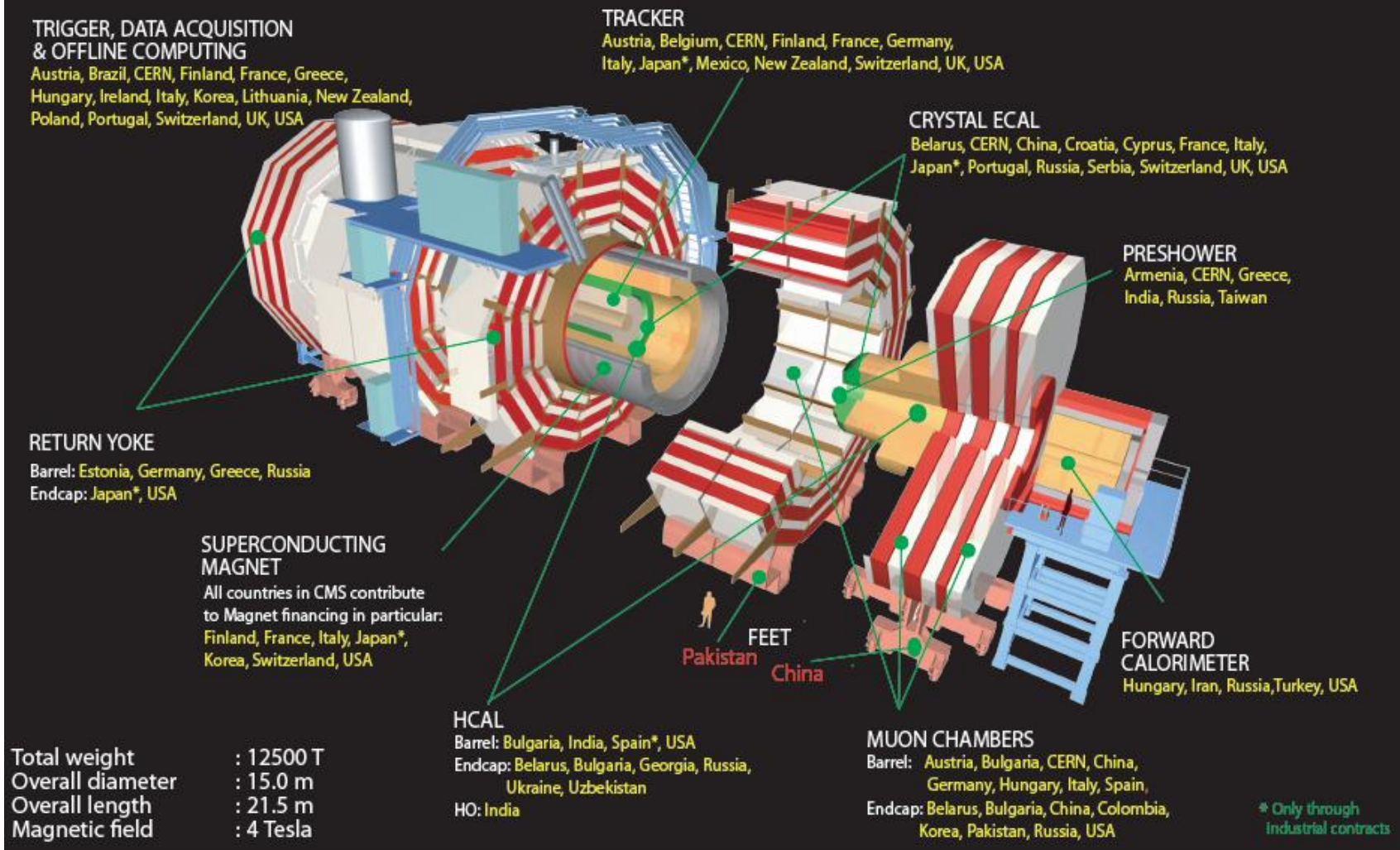
Диаметър
Дължина
Тежина
Маг. Поле

25 m
46 m
7000 t
2 Tesla + 0.5 Tesla

15 m
21.5 m
12550 t
4 Tesla

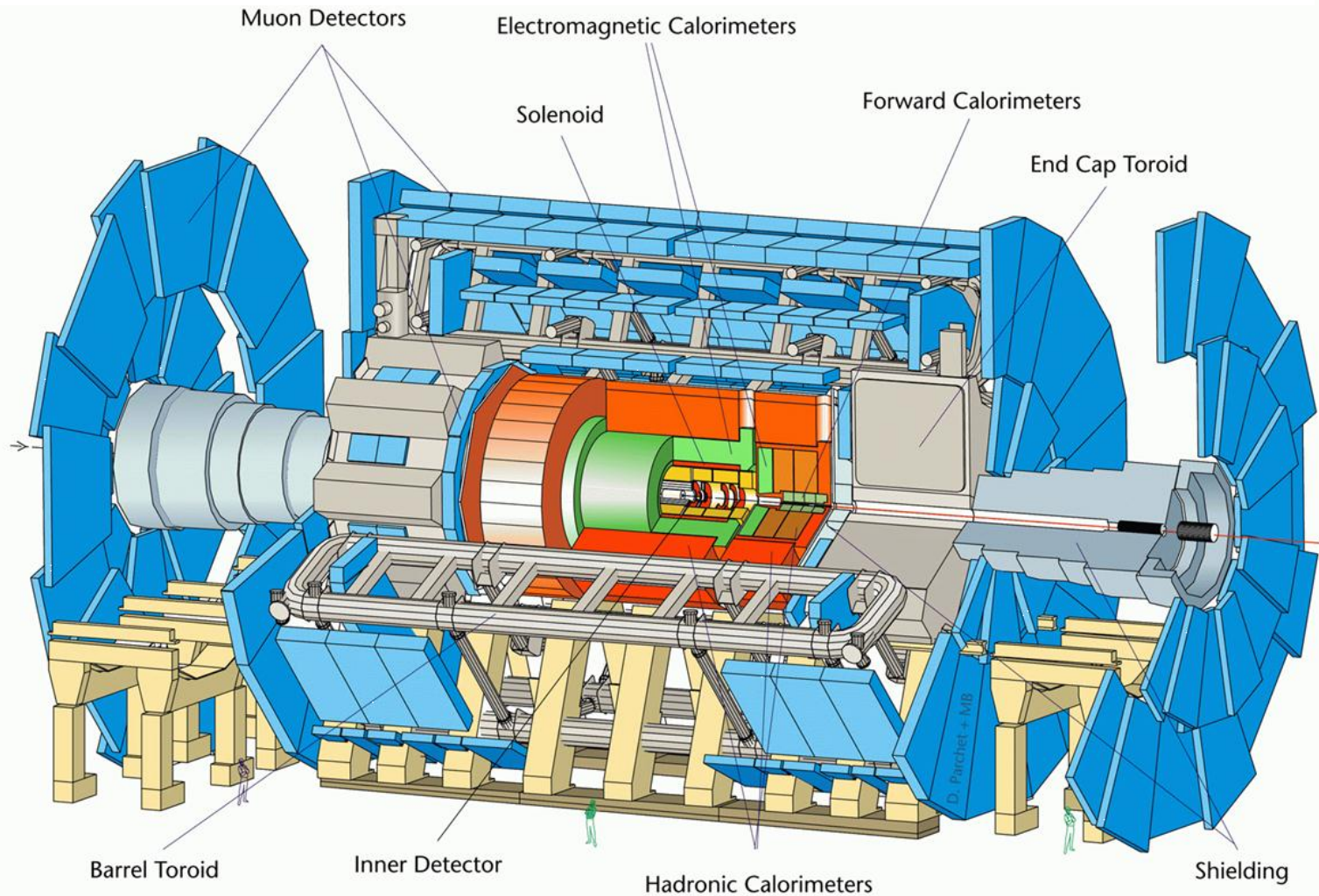
CMS

39 страни, 193 Института, 3300 учени и инженери, 800 студенти

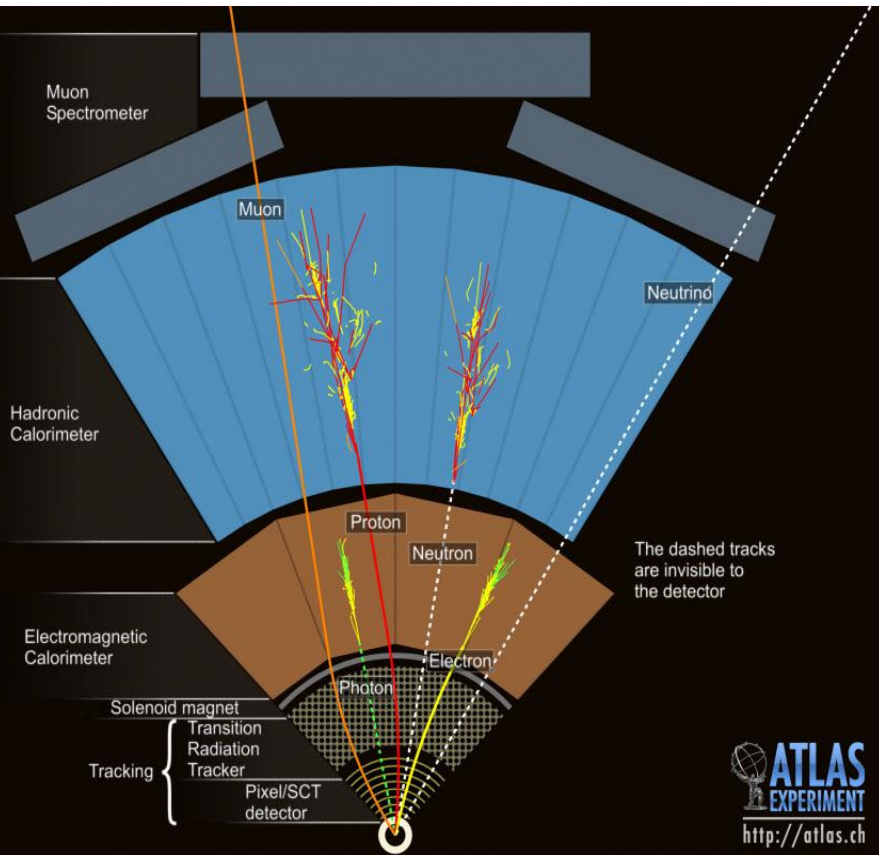
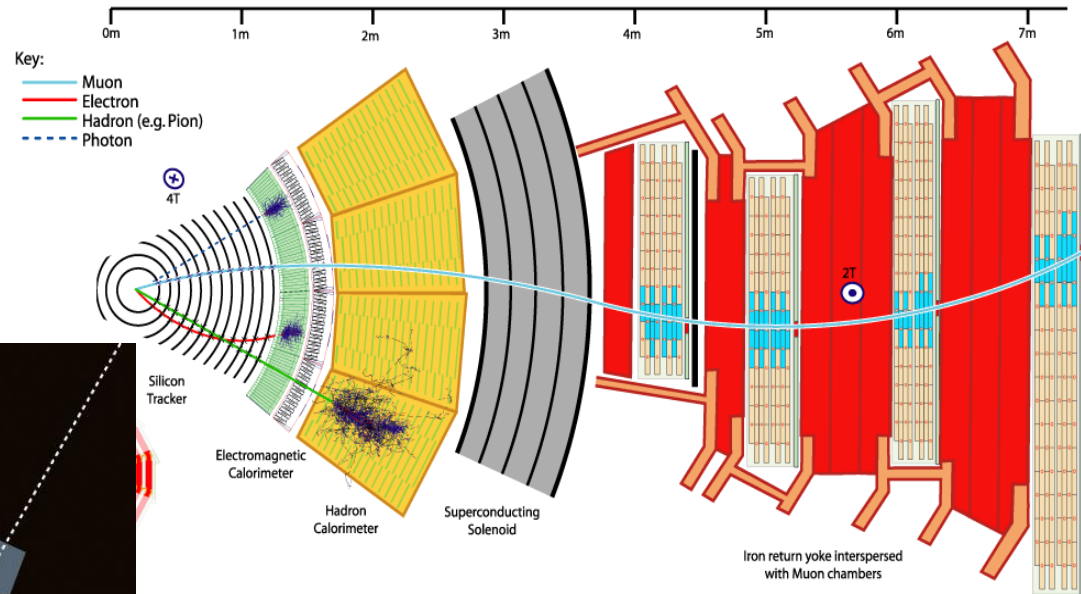


ATLAS

37 страни, 169 Института, 2800 учени и инженери



ATLAS & CMS



$$P = 0.3 B R$$

Видове детектори

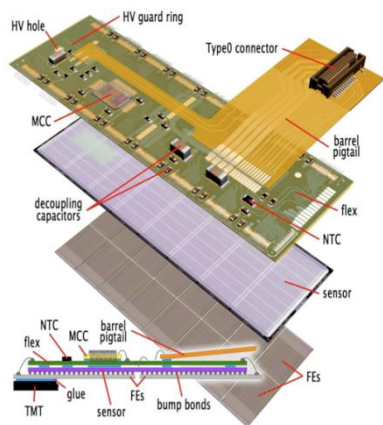
Зарядочувствителни и светочувствителни

- 1. Трекови детектори: измерва траекторията на заредени частици**
- 2. Електромагнитни калориметри: измерва ЕМ компонента на енергията на заредени частици и γ**
- 3. Адронни калориметри: измерва енергията на заредени и неутрални частици**
- 4. Мюонни детектори: измерва траекторията и времето на прелитане (тригерни) на мюони**

Трекови детектори

Измерва траекторията и импулса на заредени частици

1. Силициевеи детектори: - пикселни, стрипови



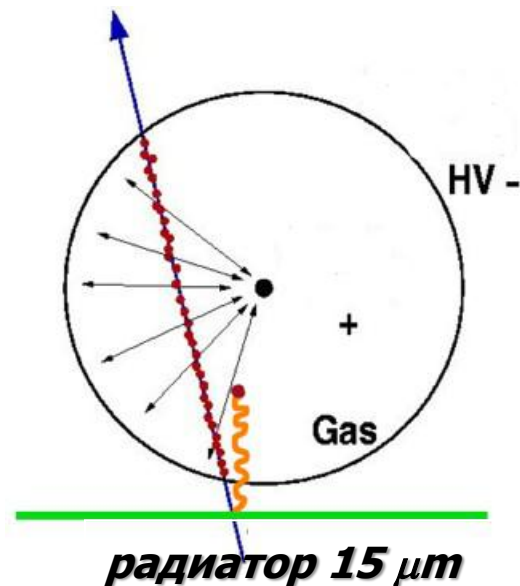
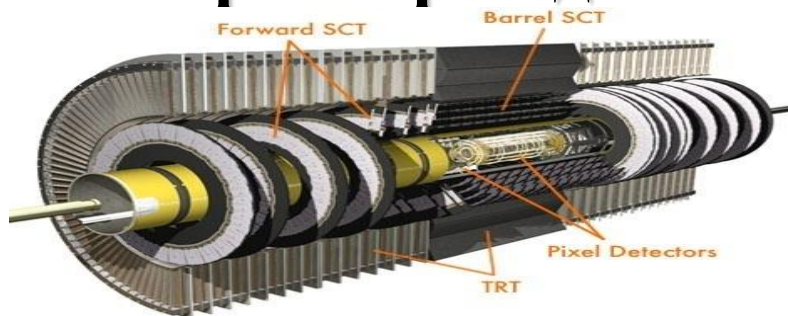
ATLAS
1744 модули
пиксели 50×400
 μm^2 1.8 m^2

4088 модули
80 μm микро-
стрипа 61 m^2

CMS
 $66 \cdot 10^6$ пиксела
 $150 \times 150 \mu\text{m}^2$
 $9,6 \cdot 10^6$ микро-стрипа
 210 m^2



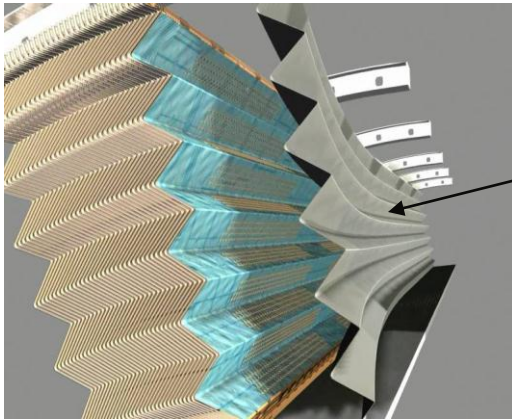
2. Детектори с преходно излъчване



Електромагнитни детектори

Измерва енергията на заредени частици и γ

1. Течни: LAr – течен аргон

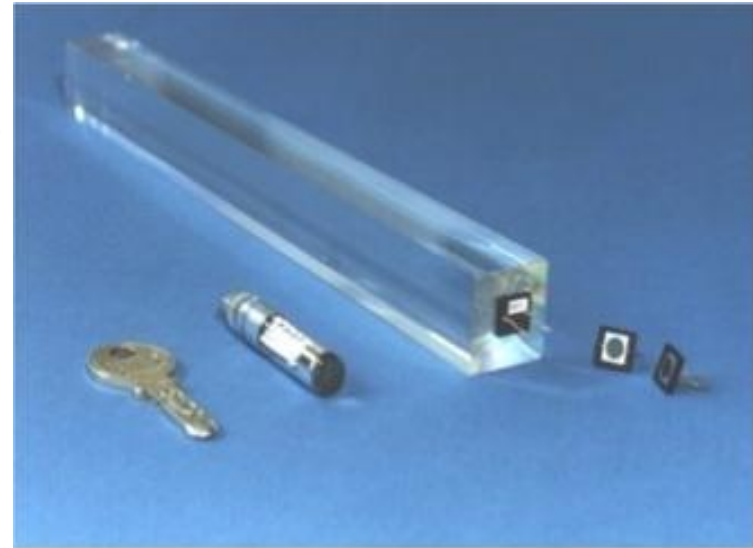


абсорбер (Fe+Pb+Fe)

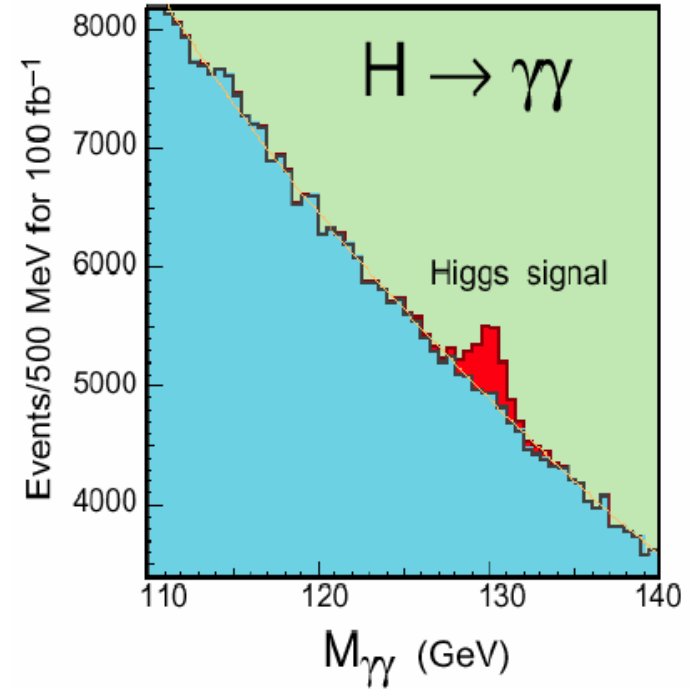
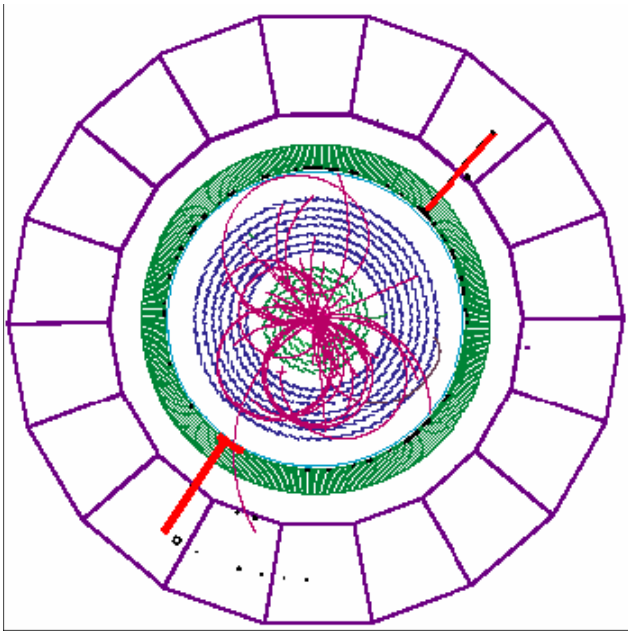
2. Хомогенни: кристали - PbWO_4



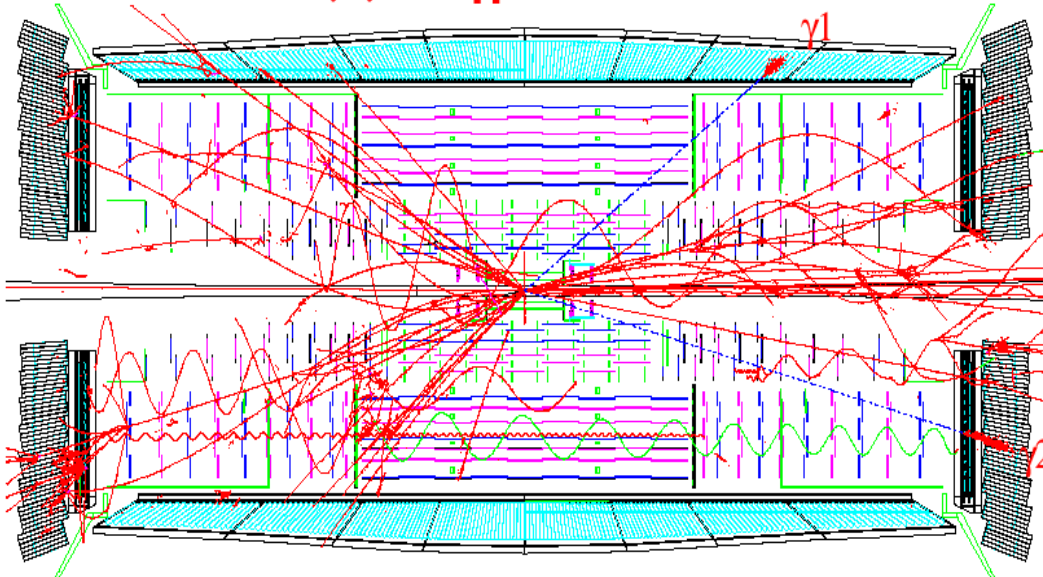
75000 2x2x23 cm



Higgs



$H \rightarrow \gamma\gamma$, $M_H = 100$ GeV

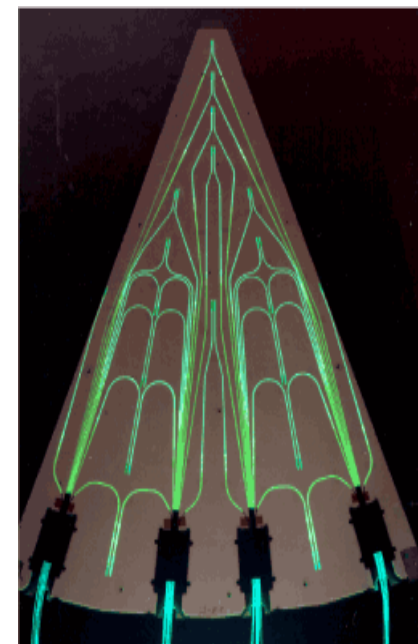
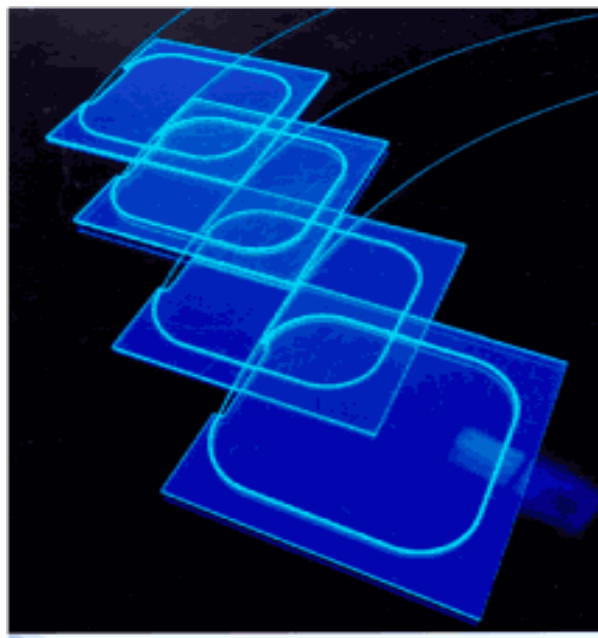


$H \rightarrow 2$ gammas

Адронни калориметри

Измерва енергията на заредени и неутрални частици

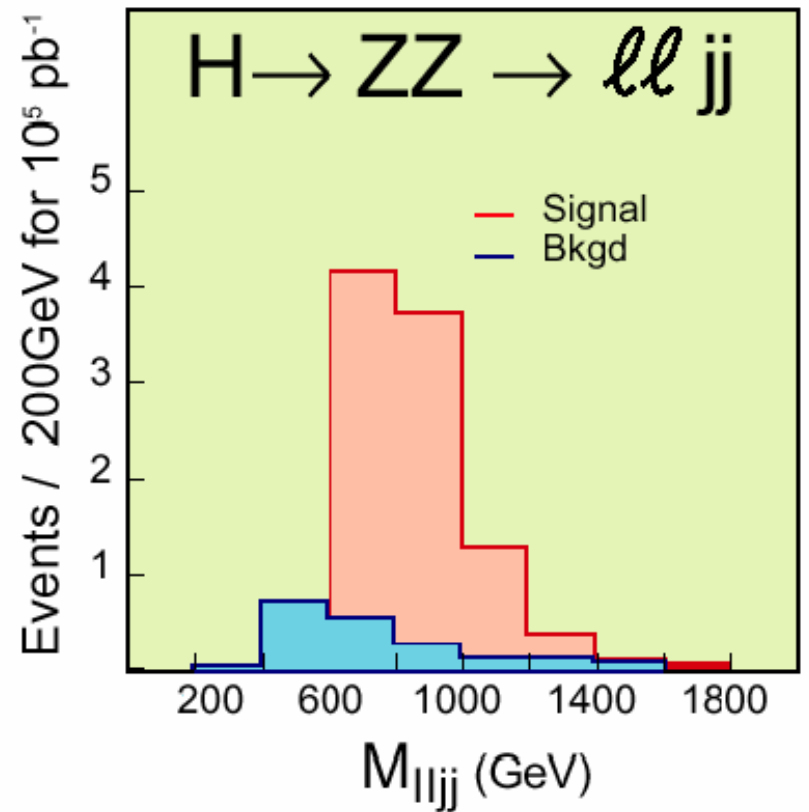
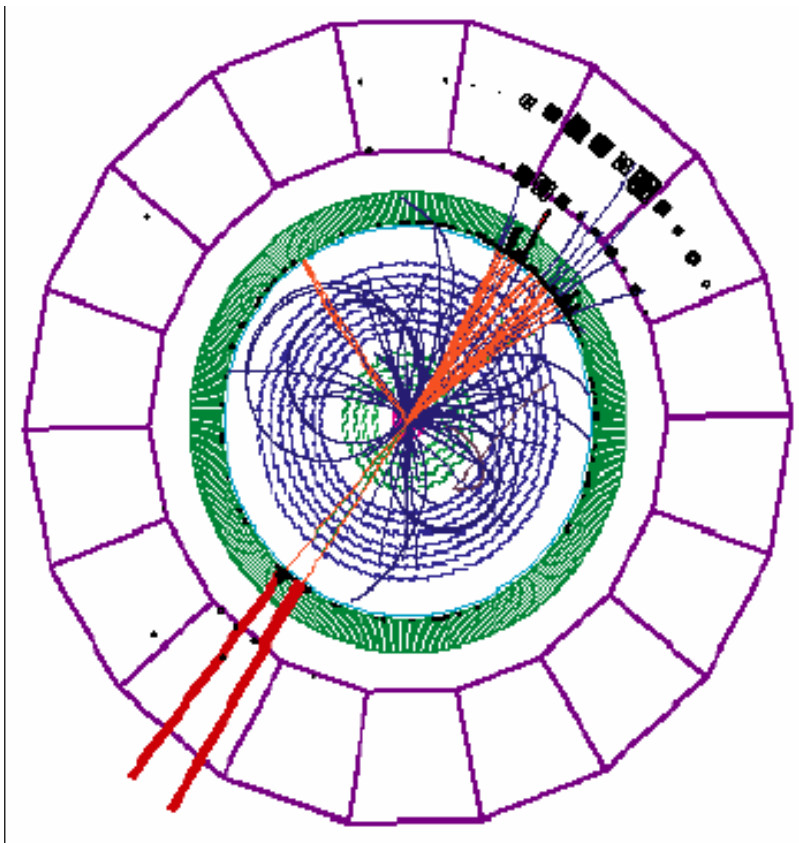
1. CMS: месинг/сцинтилатор (централен) + Fe/световод (преден)



2. ATLAS: Fe/сцинтилатор (централен) + Fe/LAr (преден)

Higgs

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2 \text{ leptons} + 2 \text{ jets}$

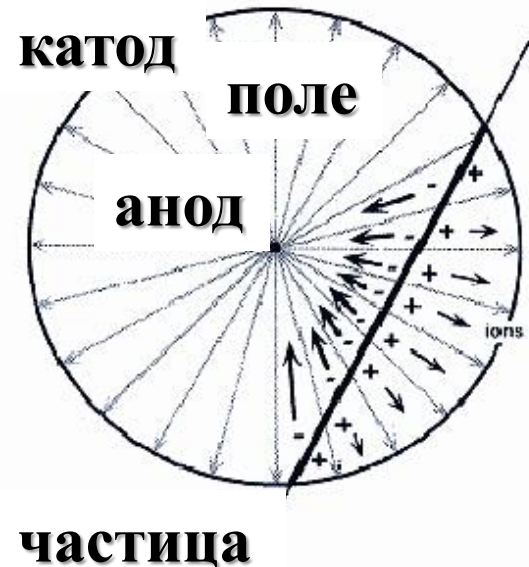
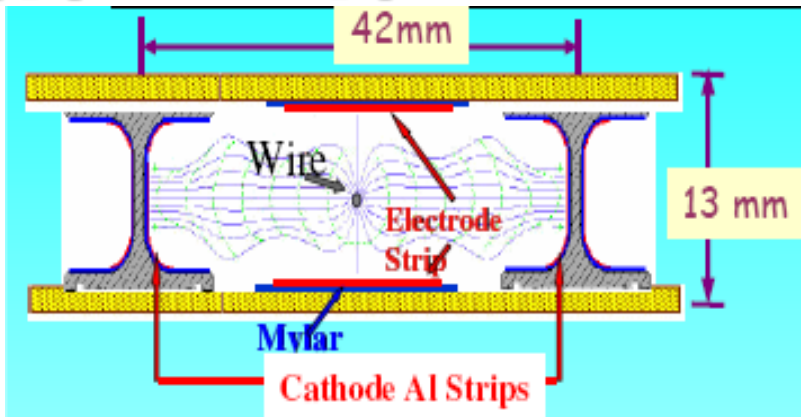


Мюонни детектори

1. Координатни – измерват координатите и импулса на мюоните

DT - Дрейфови камери

$dp_T/p_T \sim 1\%$ за $p_T = 10-100$ GeV



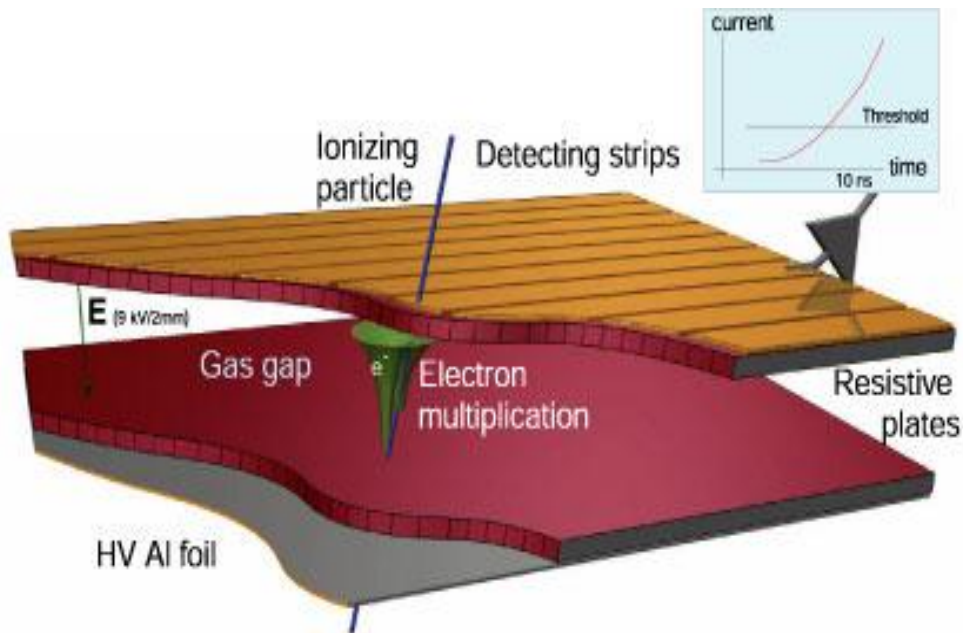
CSC - Катодни стрипови камери

10 г работа при големи потоци от частици ~ 1 kHz/cm² с 99% ефективност и 75 μ пространствена разделителна способност

Мюонни детектори

2. Тригерни – измерват времето за преминаване на мюоните

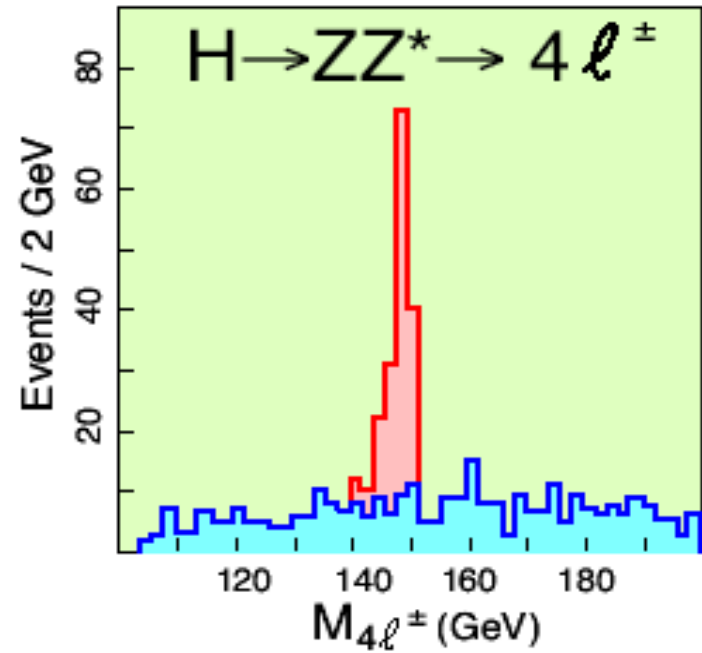
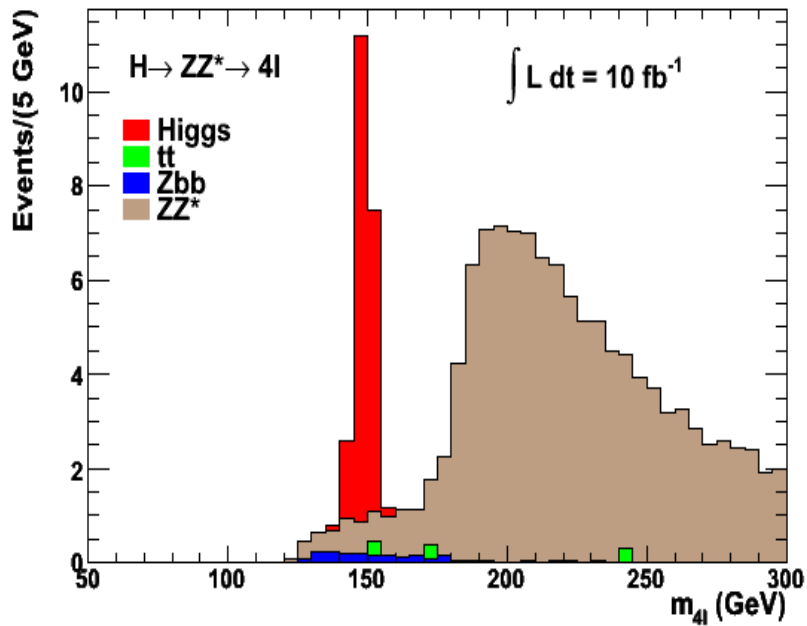
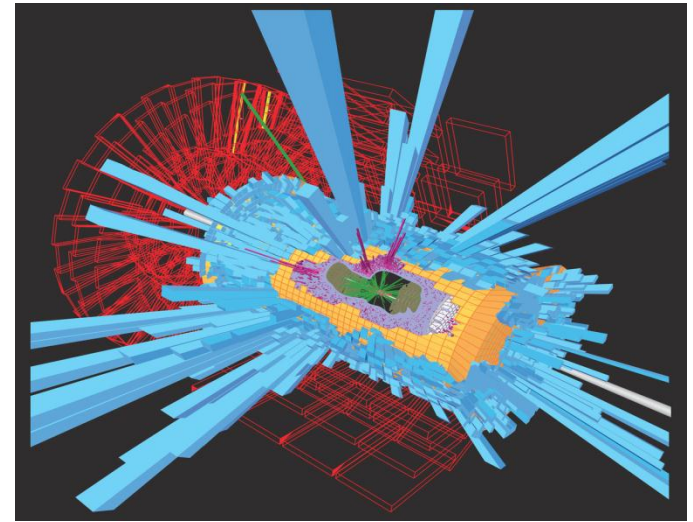
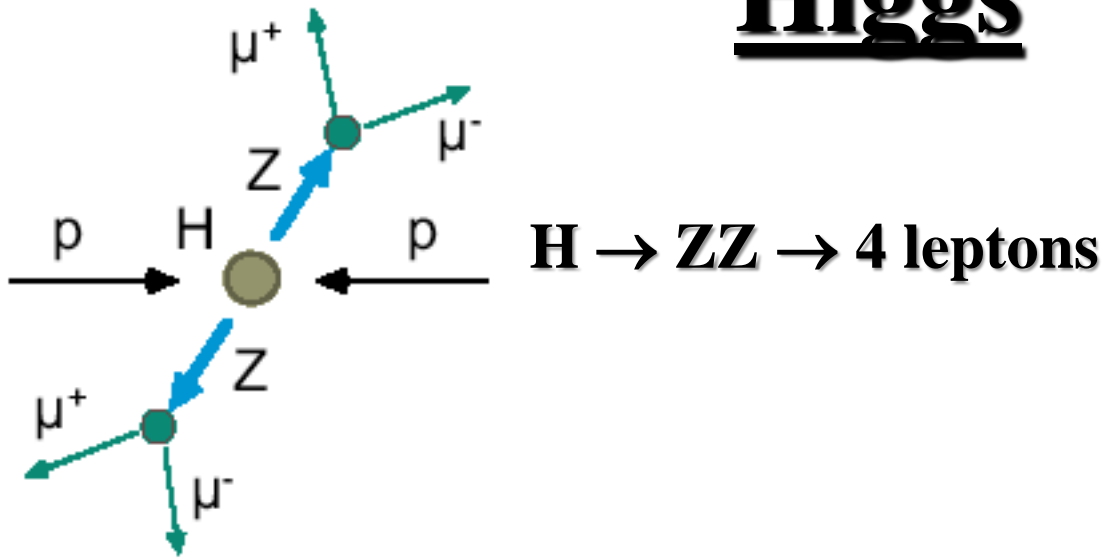
RPC - Камери със съпротивителни плоскости



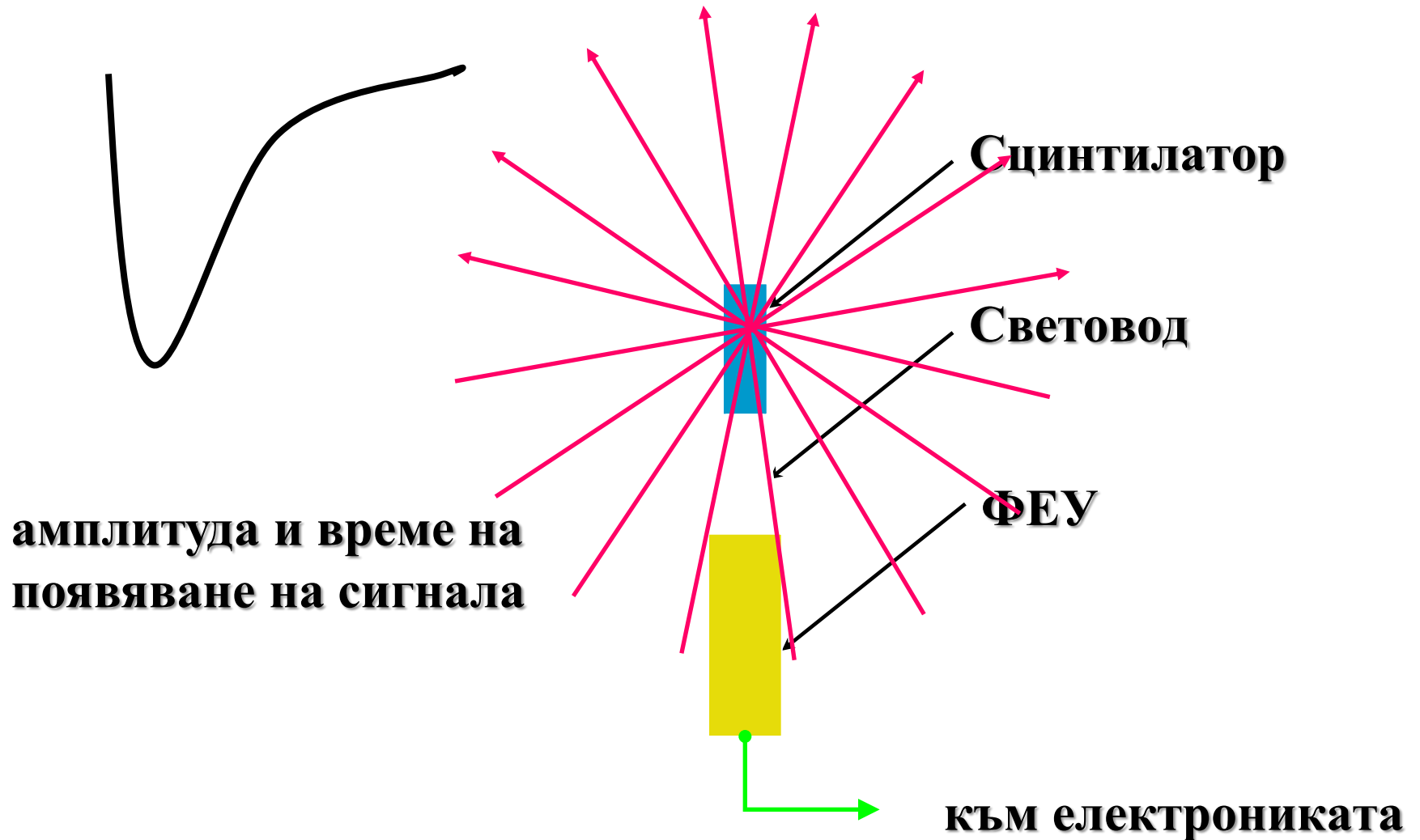
разрешение

по време ~ 2 ns

Higgs

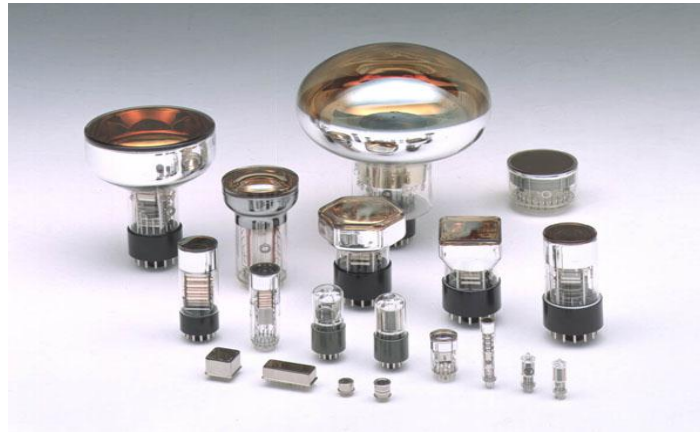


Сигнал от детектора

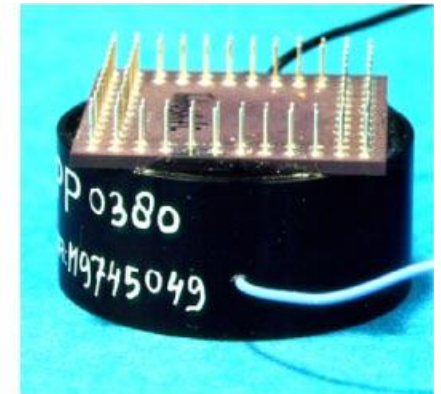
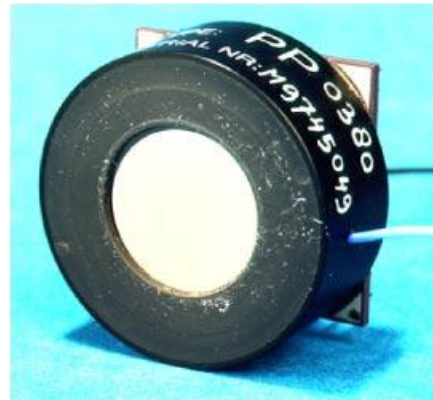
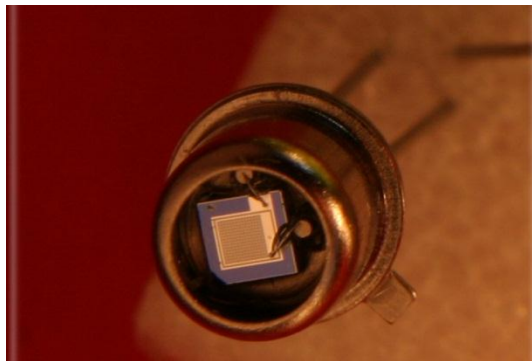


Фотодетектори

1. Фото-електронни умножители



2. Полупроводникови фотодетектори – лавинни (APD), хибридни (HPD)



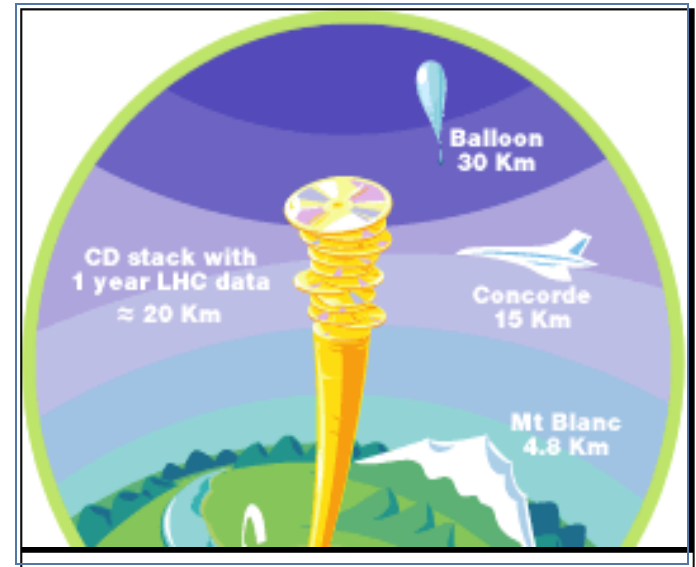
Набрана информация

CMS ~ 100 милиона канала

цифрова камера ~ 6 милиона
пиксела, но CMS прави
“цифрова снимка” 40 милиона
пъти в секунда !!

Събития на лента:

~ 100 / sec, всяко 1-2 MB



Обем данни за 1 година: 10 Petabytes

Едно CD има ~ 600 Megabytes (1MB = 10^6 Byte)

1 Petabyte = 10^9 MB = 10^{15} Byte

GRID

World Wide Web

(изобретена в CERN през 1989) позволява достъп до информация, която се съхранява в милиони различни географски точки.

Grid позволява достъп до изчислителна мощност и данни, разпределени по целия СВЯТ.

