

# **Въведение във детекторния комплекс CMS**

**Румяна Хаджийска**  
**ИЯИЯЕ, Българска Академия на Науките**  
**CMS Experiment, CERN**  
*[roumyana.mileva.hadjiiska@SPAMNOTcern.ch](mailto:roumyana.mileva.hadjiiska@SPAMNOTcern.ch)*

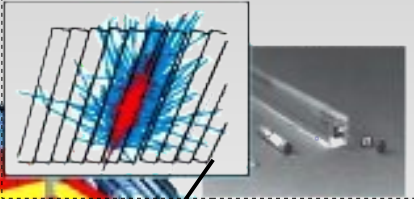
# Експериментът CMS

## (Компактен мюонен соленоид)

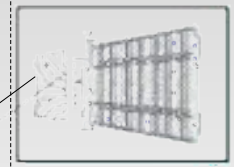
<http://cms.web.cern.ch/news/detector-overview>

Соленоидален магнит  
 Суперпроводяща намотка  
 Магнитно поле:  
 3.8 T във вътрешността,  
 затворена от магнита  
 ~1.8 T извън магнита

Електромагнитен  
 калориметър  
 Кристали от оловен  
 волфрамат

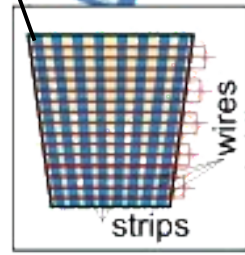
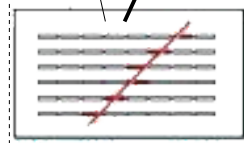
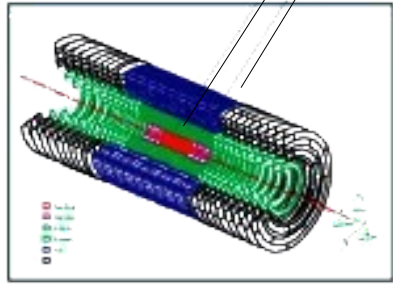


Адронен калориметър -  
 тип сандвич  
 Стомана(в централната част)  
 или месинг(в затварящите части)  
 и пластмасови сцинтилатори



Железен хамут на  
 детектора;  
 През него се затварят  
 магнитните силови  
 линии.

Вътрешен треков детектор – две основни  
 системи:  
 Силициев пикселов детектор  
 Силициев микрострипов детектор



Мюонна система –  
 затварящи части:  
 Катодни стрипови  
 камери (CSC)  
 Камери със  
 съпротивителна  
 плоскост (RPC)

Мюонна система - централна част:  
 Камери с дрейфови тръби (DT)  
 Камери със съпротивителна  
 плоскост (RPC)

Тегло	12.5 t
Диаметър	15 m
Дължина	21.6 m

# Мюонна детекторна система на CMS

Централна част

**DT & RPC**

$|\eta| < 1.2$

Затварящи части

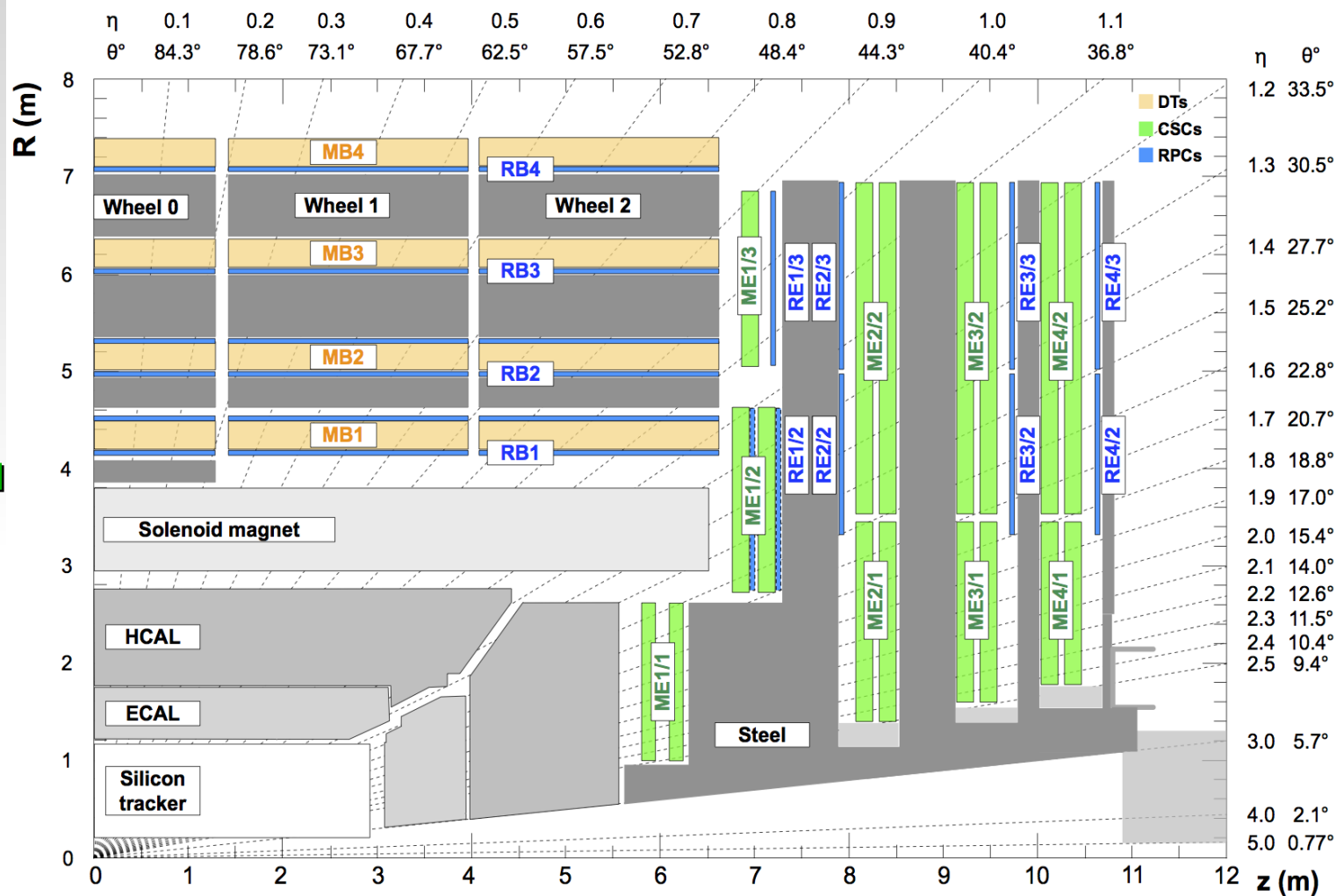
**CSC & RPC**

$0.9 < |\eta| < 2.4$

**RPC**

$|\eta| < 1.6$

$$\eta = -\ln \operatorname{tg}(\theta/2)$$



**DT** – Дрейфови тръби;

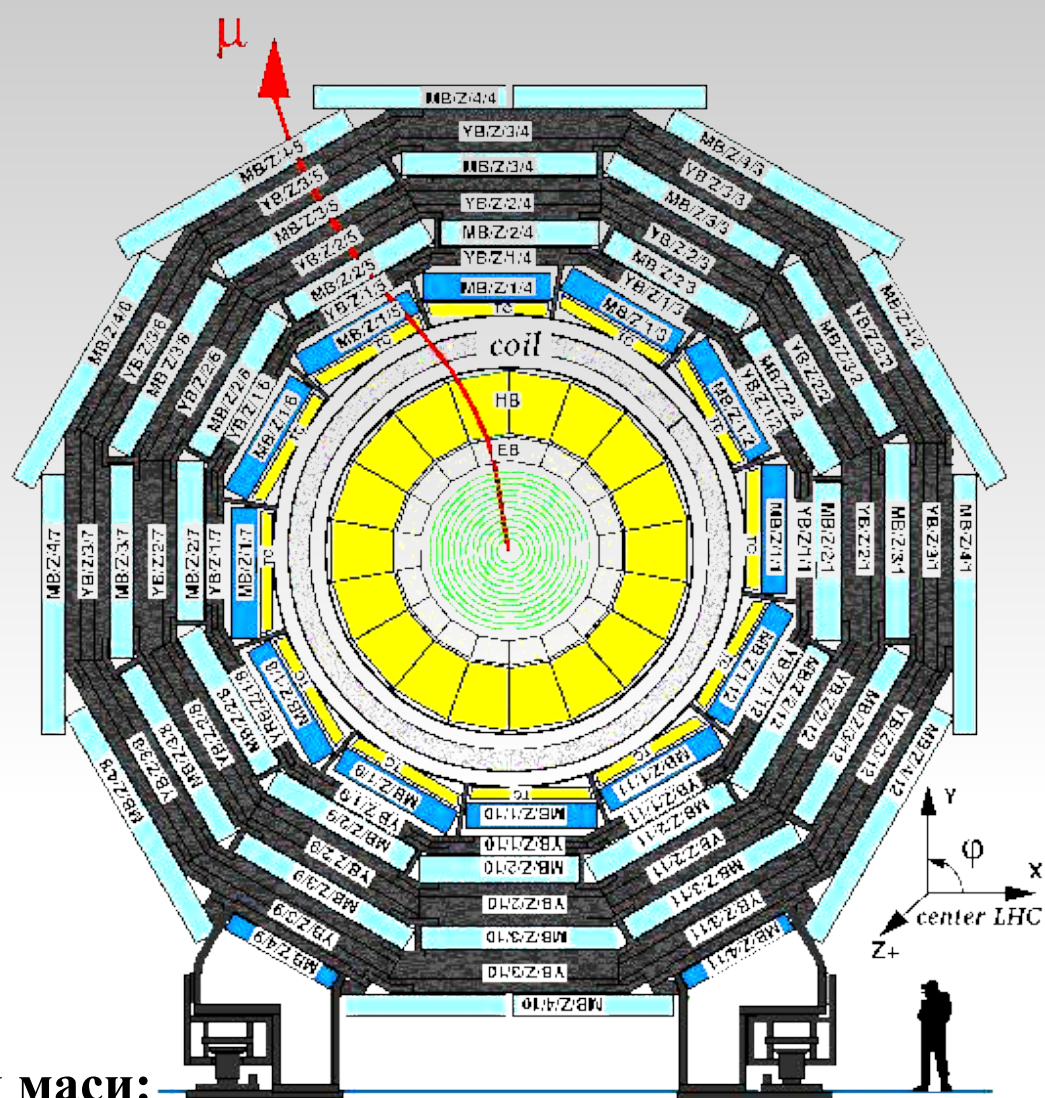
**CSC** – Катодни стрипови камери;

**RPC** – Камери със съпротивителна плоскост

# CMS Muon System

## Основни функции

- Идентификация на мюони;
  - Измерване импулса на мюоните;
  - Мюонен тригер.
- 
- Разделителна способност по импулси:
    - Мюонна система:
      - 8–15% за импулси  $\sim 10 \text{ GeV}/c$ ,
      - 20–40% за импулси  $\sim 1 \text{ TeV}/c$ ;
  - Разделителна способност по двумюонни маси:
    - 1% при  $100 \text{ GeV}/c^2$ ;
  - Неопределеност при определяне на знака на заряда на мюоните:
    - по-малка от 0.1% за мюони с импулсу  $p_T = 100 \text{ GeV}/c$ ;
  - Тригериране на събития с един мюон или събития с повече от един мюон – отчетлив тригерен праг по импулси от няколко до  $\sim 10^2 \text{ GeV}/c$ .

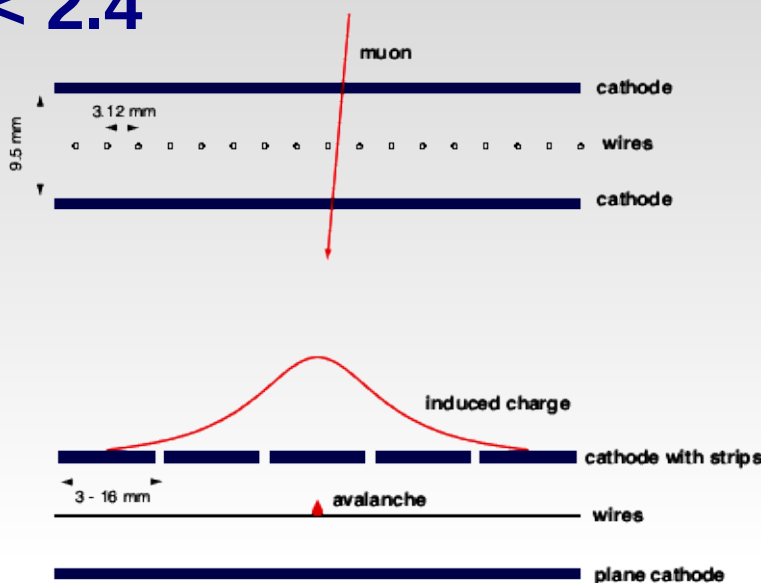
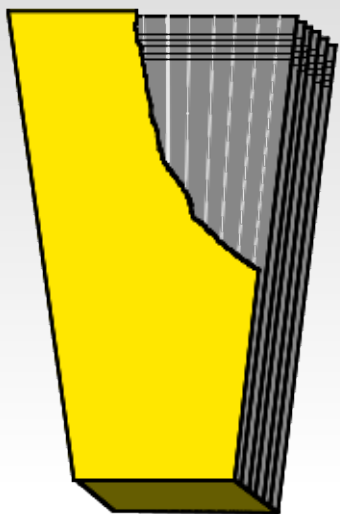




# Катодни стрипови камери – CSC

## Реконструкция и тригер

$$0.9 < |\eta| < 2.4$$



4 станции във всяка от затварящите части

Ъглово покритие:  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ;  
(зависи от положението на камерата)

Дължина на камерата  
от 1.7 m до 3.4 m

Разделителна способност  
(r-φ) 75 (ME1/1) - 150 μm  
(зависи от ъгъла на падане на мюона)

6 равнини в една камера;  
80 катодни стрипа в равнина :  
2.2 or 4.7 mrad;

Анодни нишки:  
ME 1/1:  $d = 30 \mu\text{m}$ ;  
отдалечени на  $\sim 2.5 \text{ mm}$ ;  
HV 2900 V;

Всички останали камери:  
 $d = 50 \mu\text{m}$ ; отдалечени на  $\sim 3.5 \text{ mm}$ ;  
HV = 3600 V;  
Групи от 5 до 16 нишки с ширина  
от 16 до 51 mm

Газова смес:  
50%  $\text{CO}_2$ , 40% Ar, and 10%  $\text{CF}_4$

# Камери със съпротивителна плоскост – RPC

Съпротивителни плоскости

Бакелит,  
специфично съпротивление  $(1-2) \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ;

Газов процес

$2 \text{ mm} \pm 20 \mu\text{m}$ ;

Газова смес

95,2%  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  (Freon),  
4,5 %  $\text{iC}_4\text{H}_{10}$  (Isobutan), 0,3 %  $\text{SF}_6$ ;

Изолиращ PET филм

0.3 mm

Медни сигнални електроди

2.3-4.1 cm (централна част),  
1.7-3.6 cm (затварящи части)

Лавинен режим

възможност за работа при  
потоци йонизиращи частици  $\sim 1 \text{ kNa/cm}^2$ ;

Тригер

разделителна способност  $< 2 \text{ ns}$   
привързване по време;

Работно напрежение

9.4-9.8 kV;

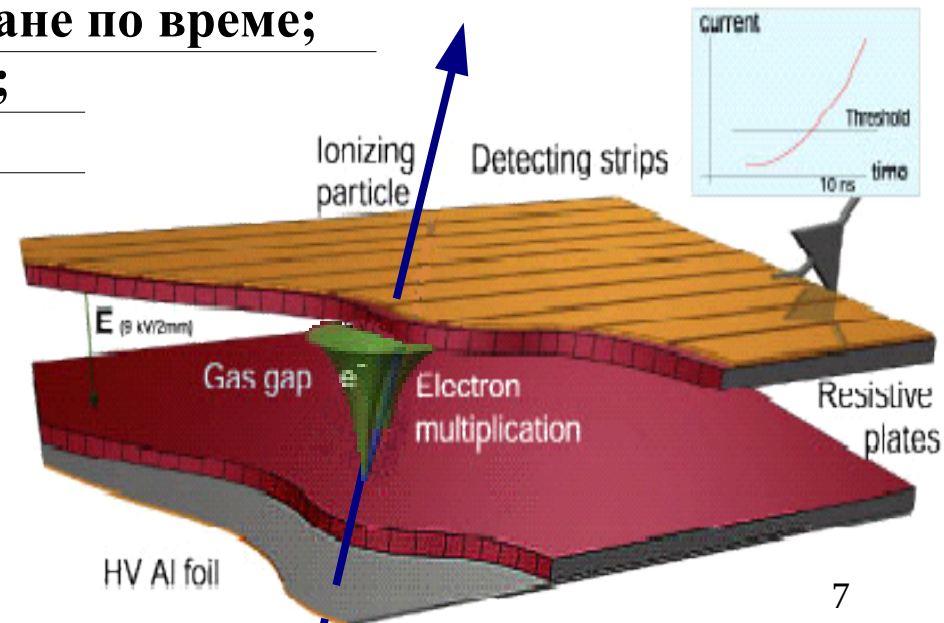
Раздалечители

$\varnothing = 8 \text{ mm}$

Екраниране с медно фолио;

Третиране с ленено масло;

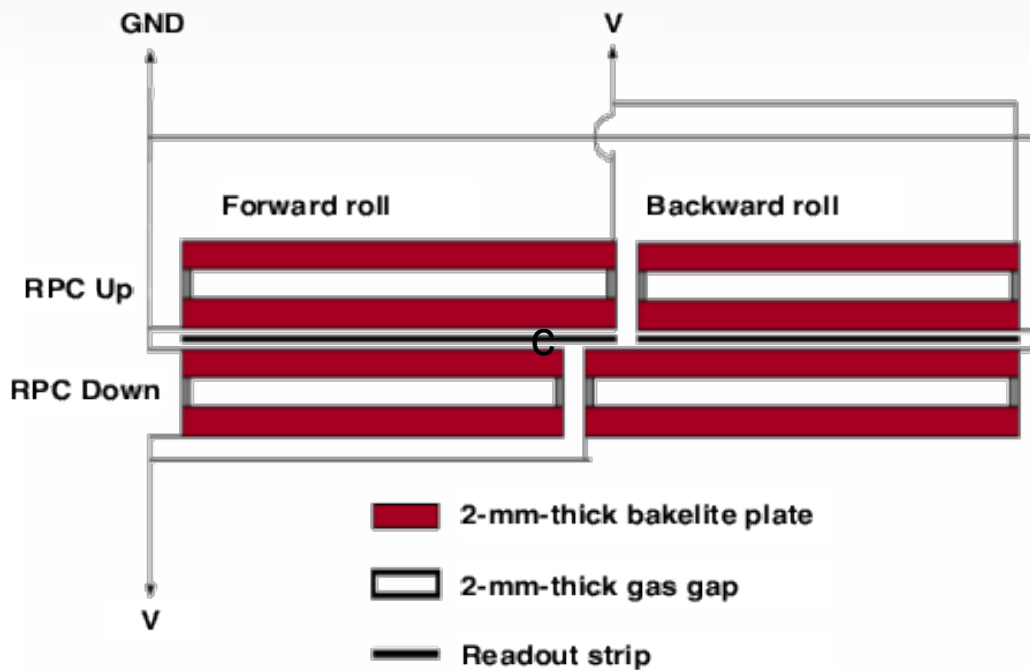
$$|\eta| < 1.6$$



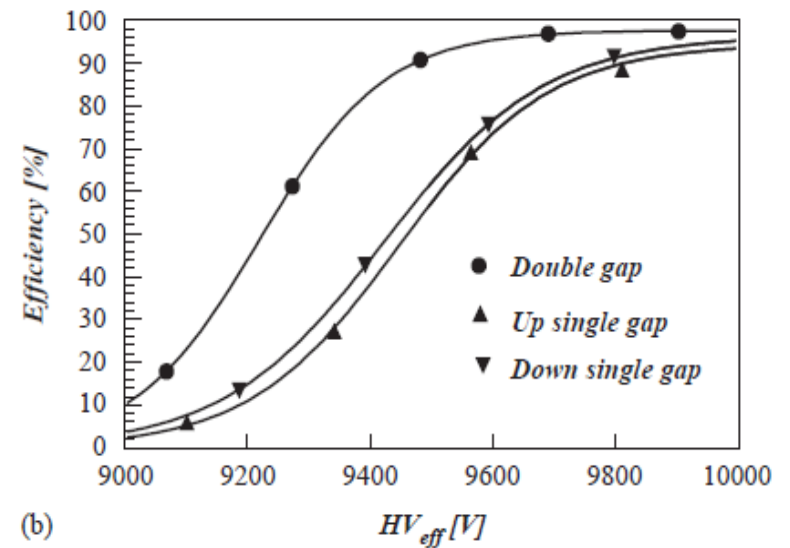
# Камери със съпротивителна плоскост – RPC

4 станции (6 равнини) в централната част  
480 камери, активна площ 2285 m<sup>2</sup>;

3 станции в затварящите части  
576 камери, активна площ > 668 m<sup>2</sup>;



**Двупроцепен дизайн  
подобрява:  
Разделителната способност  
по време и ефективността на  
камерите**





# Как се регистрират частици на CMS

<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

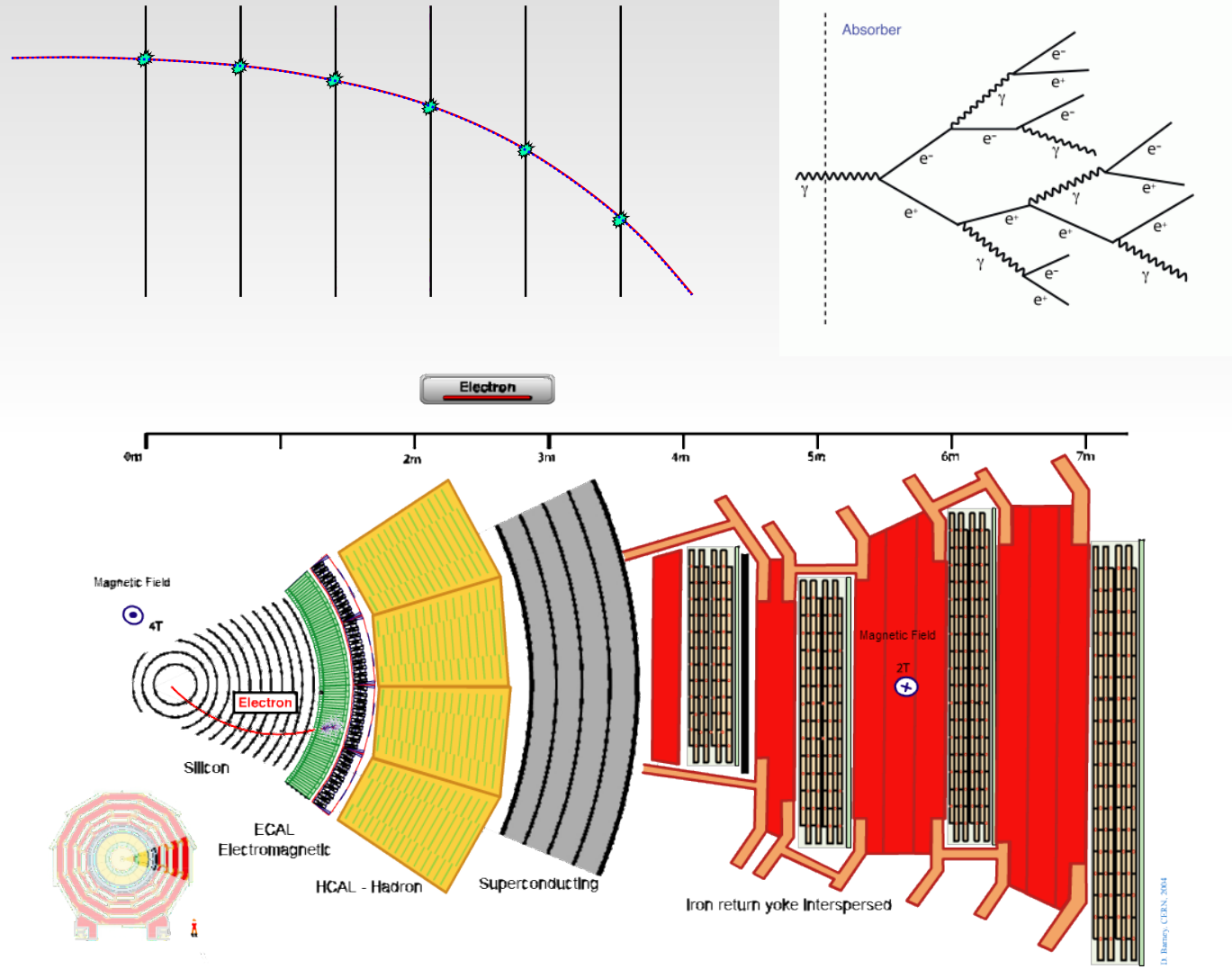
Анимирана версия

<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>

## Регистриране на електрон:

Сигнали във вътрешния треков детектор и в електронния калориметър (ECAL). Не се наблюдават сигнали в адронния калориметър или в мюонните станции.

Електроните имат електрически заряд и техните траектории се закривяват в магнитното поле. Сигналите от вътрешния треков детектор, позволяват да се реконструират техните траектории. Големината на закривяване на техните траектории позволяват определянето на техния импулс по формулата  $r = p/(0.3xB)$ , където  $r$  [m] е радиусът на кривината,  $p$  [GeV/c] – импулсът на електрона, а  $B$  [T] е магнитното поле. Електроните отдават цялата си енергия в кристалите на ECAL като инициират развитието на електромагнитни лавини. Броят на регистрираните фотони в тези лавини е пропорционален на енергията на електрона.



Напречен разрез на CMS

ЦЕРН - Учителска инженерна програма

3. Октомври 2016

# Как се регистрират частици на CMS

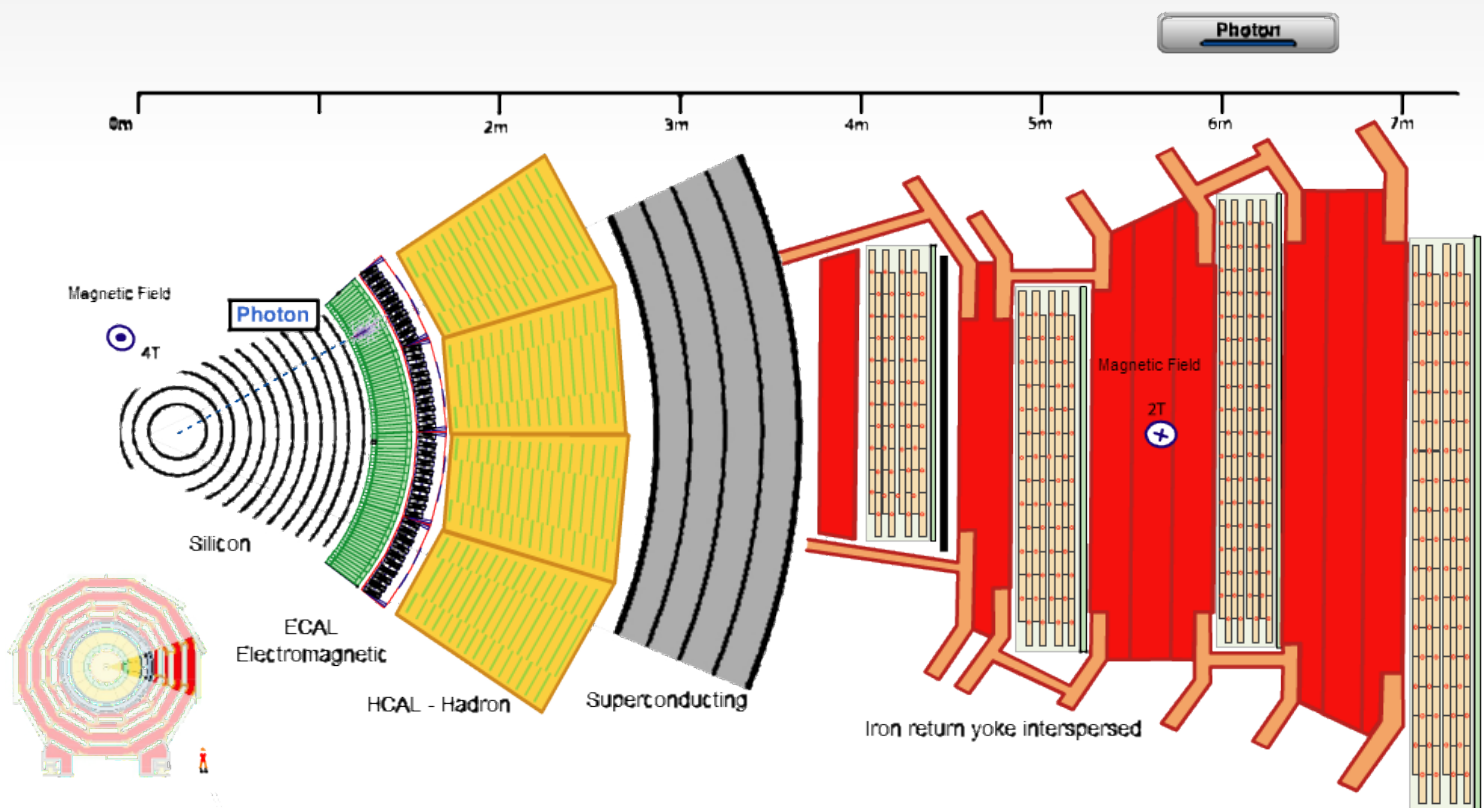
<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

Анимирана версия

<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>

## Регистриране на фотон:

Тъй като фотонът е електрически неутрален, той не оставя следи в силициевия треков детектор и освен това неговата траектория не се закривява от магнитното поле. Указание за регистриране на фотон е наличието на сигнали само електромагнитния калориметър.



# Как се регистрират частици на CMS

<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

Анимирана версия

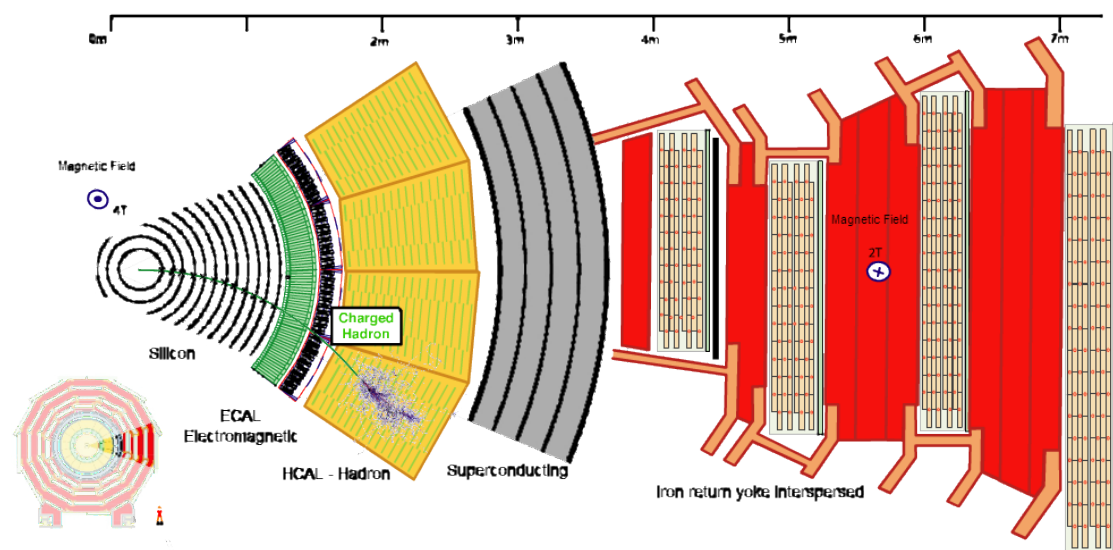
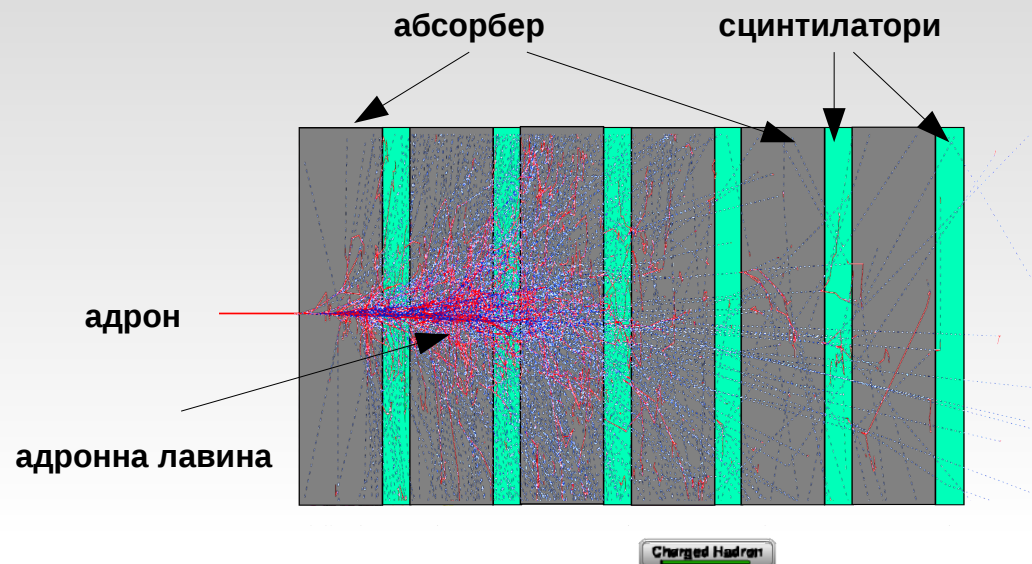
<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>

## Регистриране на зареден адрон:

Сигнали във вътрешния треков детектор и адронния калориметър (HCAL). Почти не се наблюдават сигнали електромагнитния калориметър.

Заредените адрони носят електрически заряд и са съставени от 3 кварка или от 2 кварка (кварк и антикварк). Адрони, които са съставени от 3 кварка се наричат бариони, а тези от 2 мезони. Пример за зареден барион е протонът, който е изграден от 2 горни и 1 долен кварк (uud).

Техните траектории също се закривяват от магнитното поле, което позволява да се определи техния импулс и заряд. Те почти не взаимодействат с ECAL, но когато попаднат в адронния калориметър, инициират развитието на лавина от вторични частици в плътните нива (абсорбера) на калориметъра, наречена адронна лавина. Преминаването на тези частици през пластмасовите сцинтилатори се регистрира чрез излъчената светлина от сцинтилаторите. Броят на светлинните фотони е пропорционален на енергията на частицата, иницирала развитието на адронната лавина.



Напречен разрез на CMS

ЦЕРН - Учителска инженерна програма

# Как се регистрират частици на CMS

<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

Анимирана версия

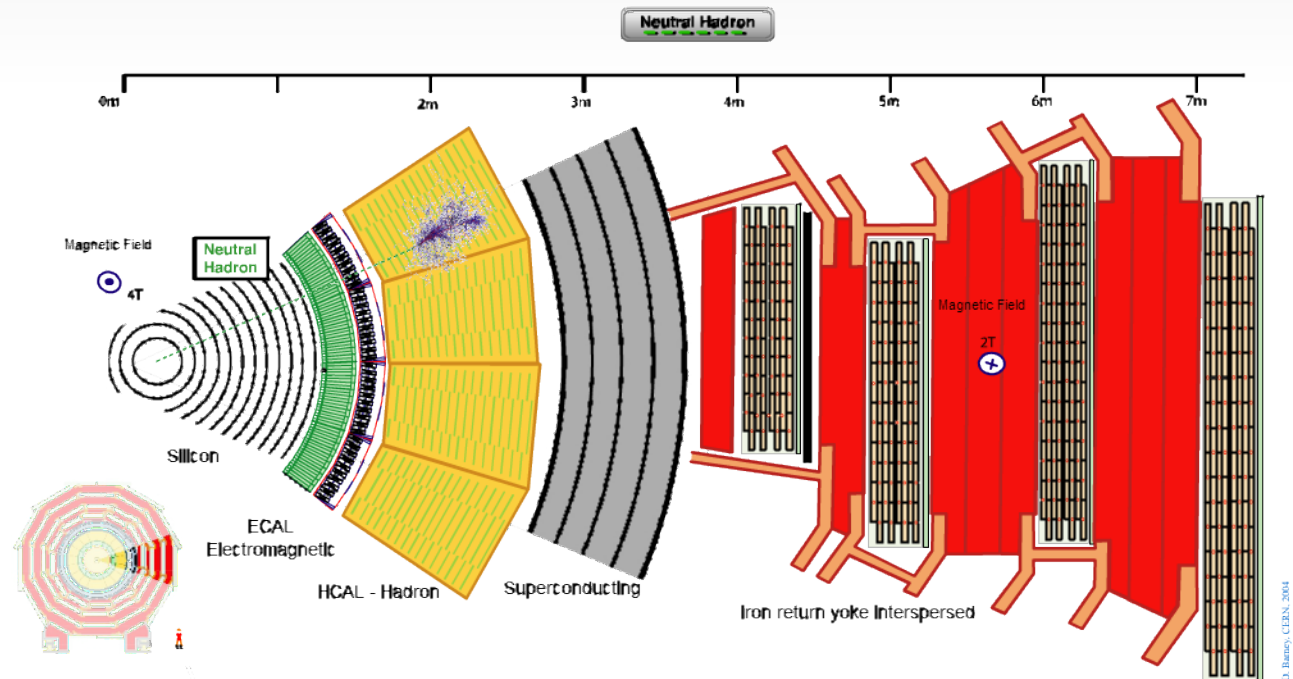
<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>

## Регистриране на неутрален адрон:

Неутралните адрони също могат да бъдат бариони и мезони. Пример за неутрален адрон е неутронът, който е съставен от два долни и един горен кварк ( $udd$ ). Неутралните адрони не оставят следи във вътрешния треков детектор и тяхната траектория не се влияе от магнитното поле. Подобно на заредените адрони, те отдават цялата си енергия в адронния калориметър, като инициират развитие на адронна лавина. Броят на излъчените фотони от пластмасовите сцинтилатори е пропорционален на енергията на налитания адрон.

## Регистриране на недостигаща енергия:

С помощта на закона за запаване на импулса може да се определи каква част от енергията е отнесена от нерегистрирани частици, т.е. от частици като неутриното, което взаимодейства изключително рядко или от нов тип неизвестни частици.



Напречен разрез на CMS

# Как се регистрират частици на CMS

<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

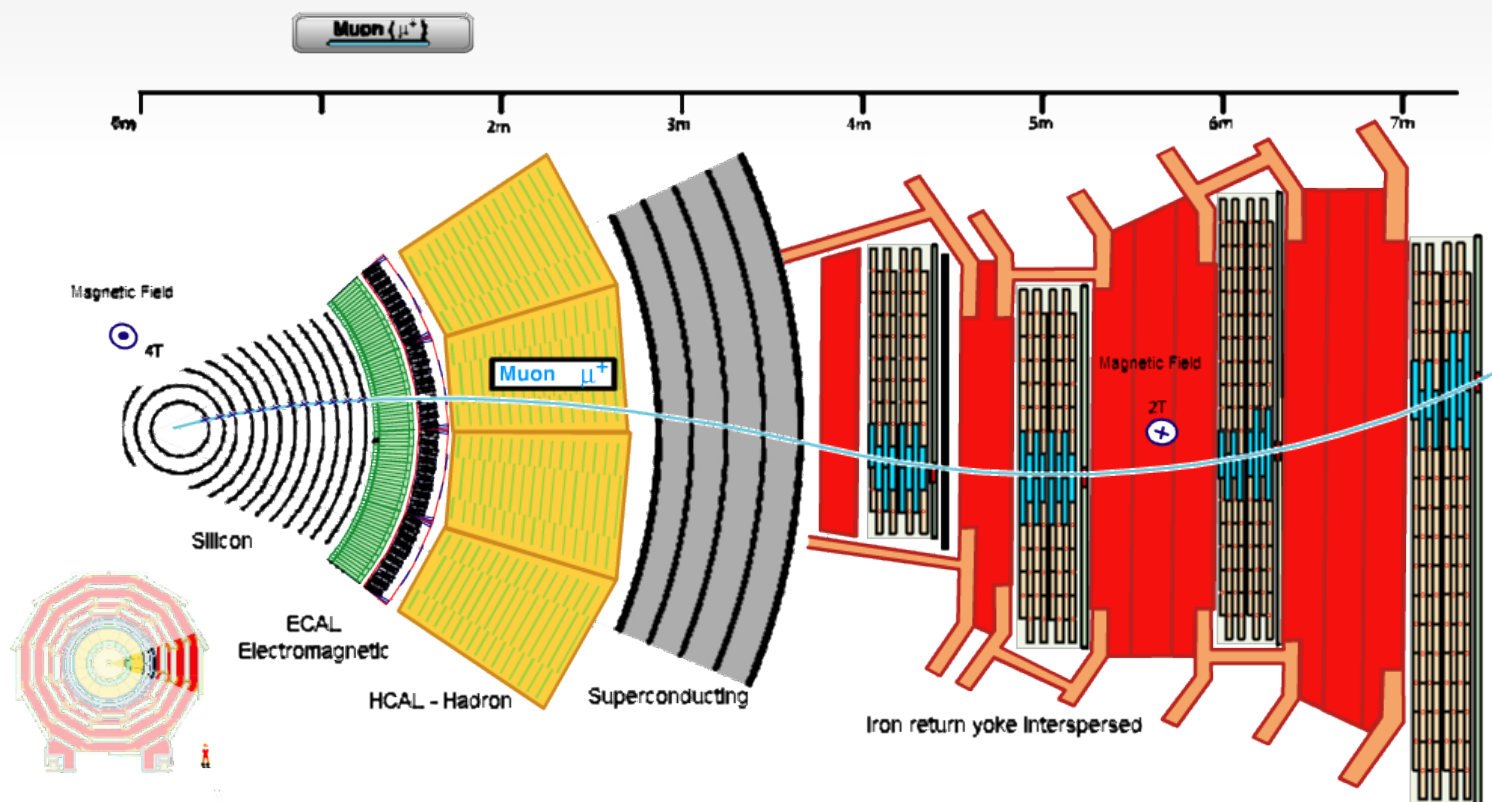
Анимирана версия

<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>

## Регистриране на мюон:

Сигнали във вътрешния треков детектор и в мюонните камери. Почти не се наблюдават взаимодействия в калориметричната система.

Мюоните са частиците, които се идентифицират най-лесно на CMS, тъй като няма други частици, които може да регистрираме и могат да преминат през целия детектор. Тъй като те имат електрически заряд техните траектории се закривяват в магнитното поле. Тъй като мюоните се раждат като резултат от разпадането на частици, които са по-тежки от тях, те носят информация за случването на потенциално интересни събития – примерно раждане и разпад на Хигс бозон.

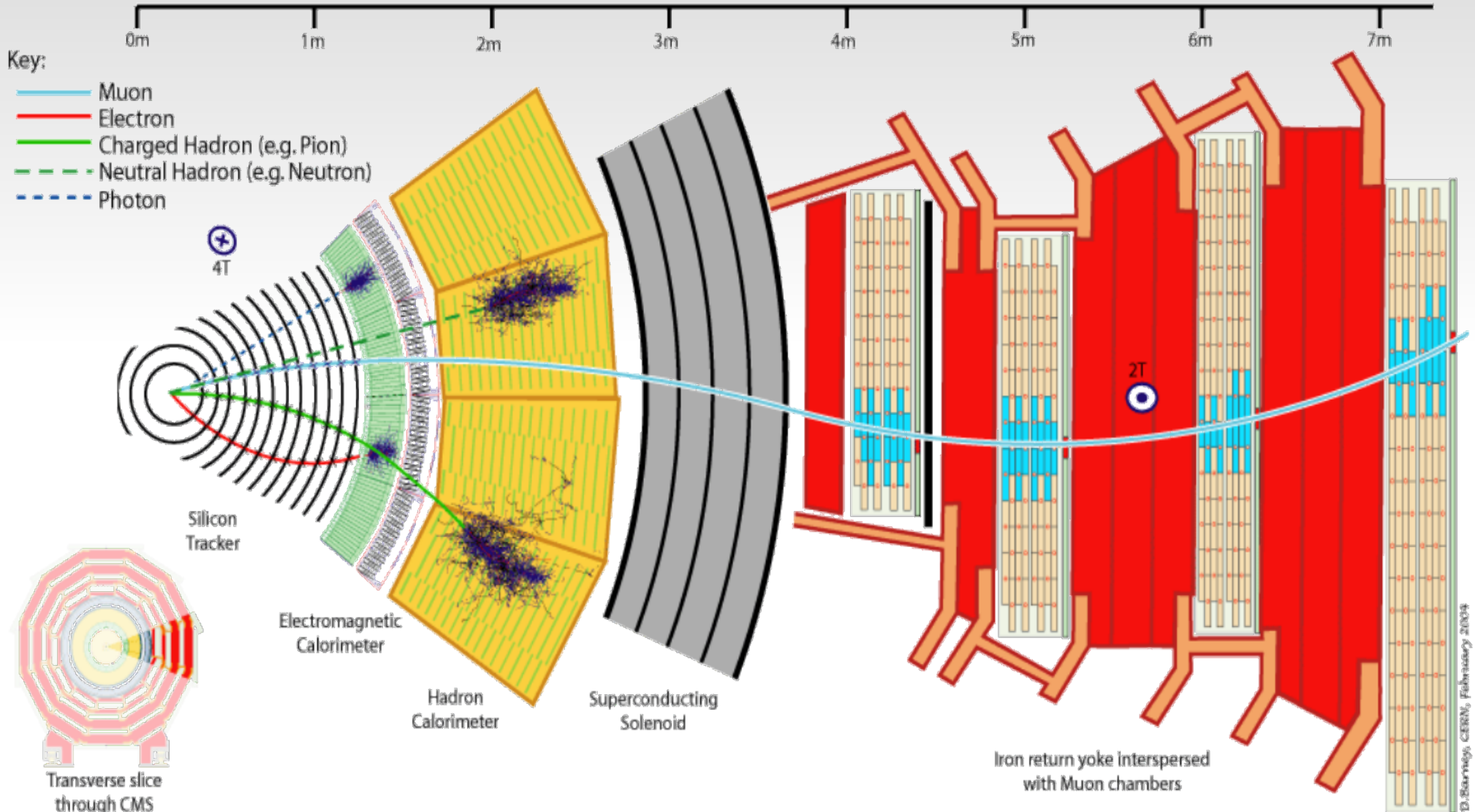


# Как се регистрират частици на CMS

<http://cms.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>

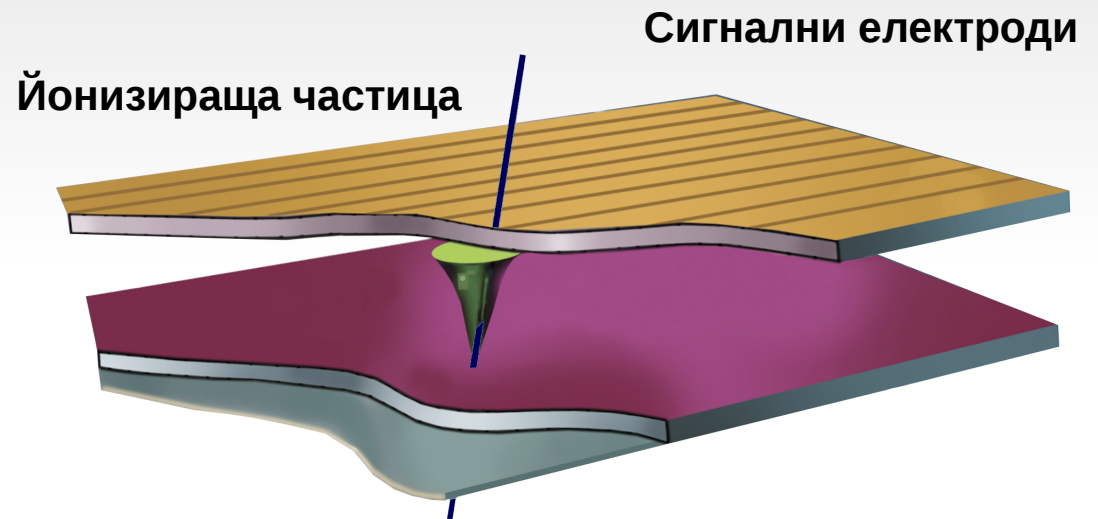
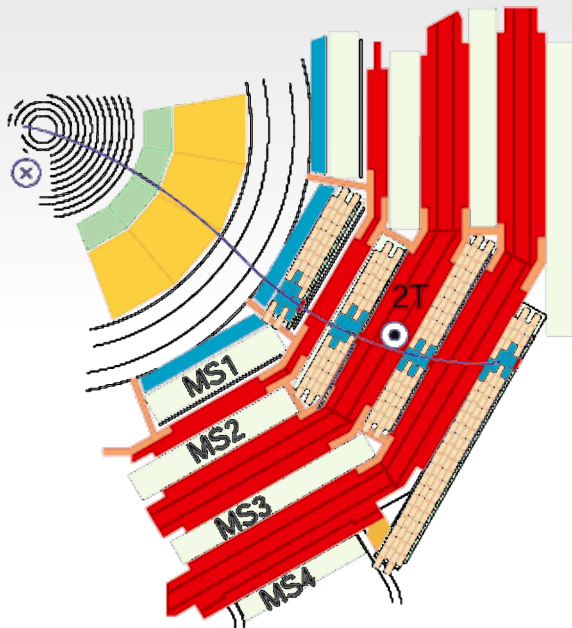
Анимирана версия

<https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=5582&version=1&filename=SliceForPowerpoint.pptx>



# Участие на България в CMS RPC

Системата от камери със съпротивителна плоскост (RPC) е най-голямата по площ в рамките на детекторния комплекс CMS. Заедно със системите от дрейфови тръби и катодни стрипови камери, те изграждат мюонната система на CMS и участват в регистрирането на мюони. Съществен принос в изграждането и експлоатирането на системата от RPC имат български колективи от Софийски университет “Св. Кл. Охридски” и Института за ядрени изследвания в БАН.



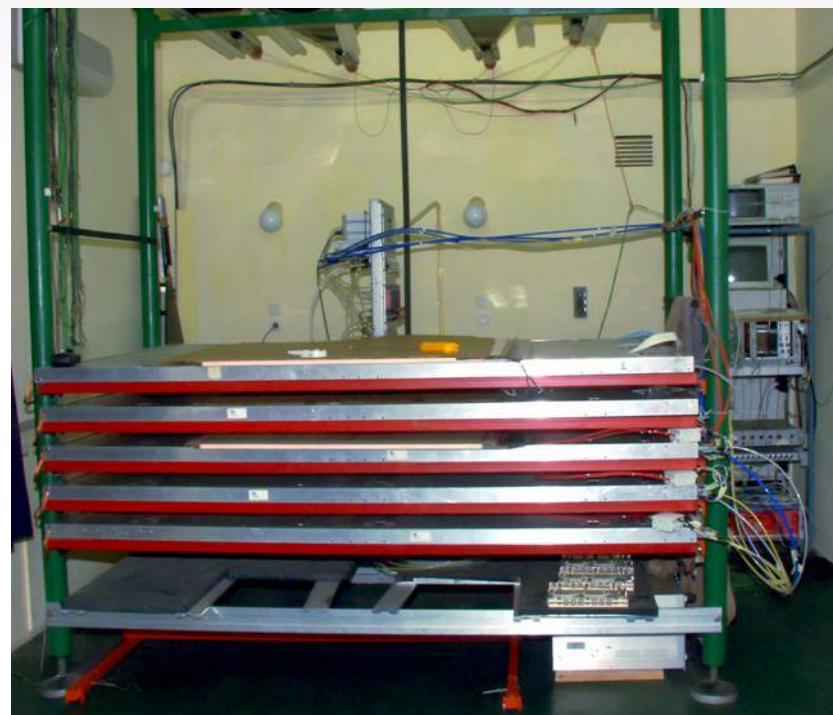
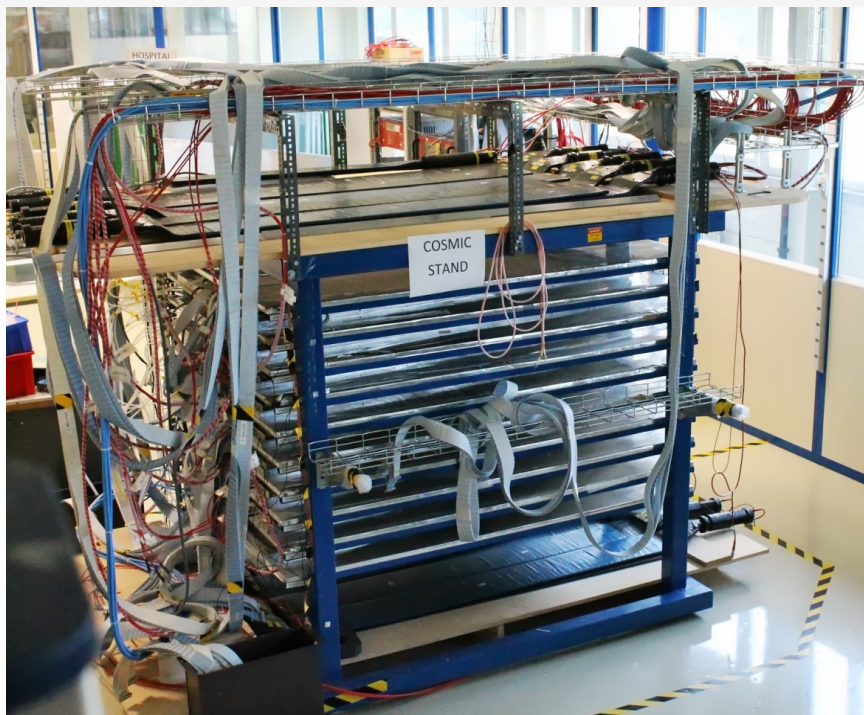
Мюоните са заредени частици и приличат на електроните, но са по-тежки от тях. Регистрирането на мюони носи важна информация за интересни физични събития.

Принципът на действие на RPC е относително прост – преминаването на заредена частица през чувствителния обем на камерата предизвиква развитието на електромагнитна лавина. Под действието на приложеното електрично поле, електроните се движат към положително заредения електрод, а тяхното движение индуцира сигнал в четящи електроди.

# Участие на България в CMS RPC

Групите от Софийски Университет „Св. Кл. Охридски“ и от ИЯИЯЕ БАН участват в инсталирането на камерите със съпротивителна плоскост в CMS, въвеждането им в експлоатация, набора на данни и системната поддръжка, софтуерното моделиране на работата на системата и анализирането на резултатите от събраните данни. България участва в дизайна и изработването на всички механични елементи за камерите от централната част на детектора – общо 375 камери. 125 от тези камери са асемблирани и тествани в България.

Българските учени участват и в тестването на камерите, проведено в Бари и Павия (Италия), а също и в лабораториите в Превесан и ISR (Intersecting Storage Rings) в ЦЕРН.

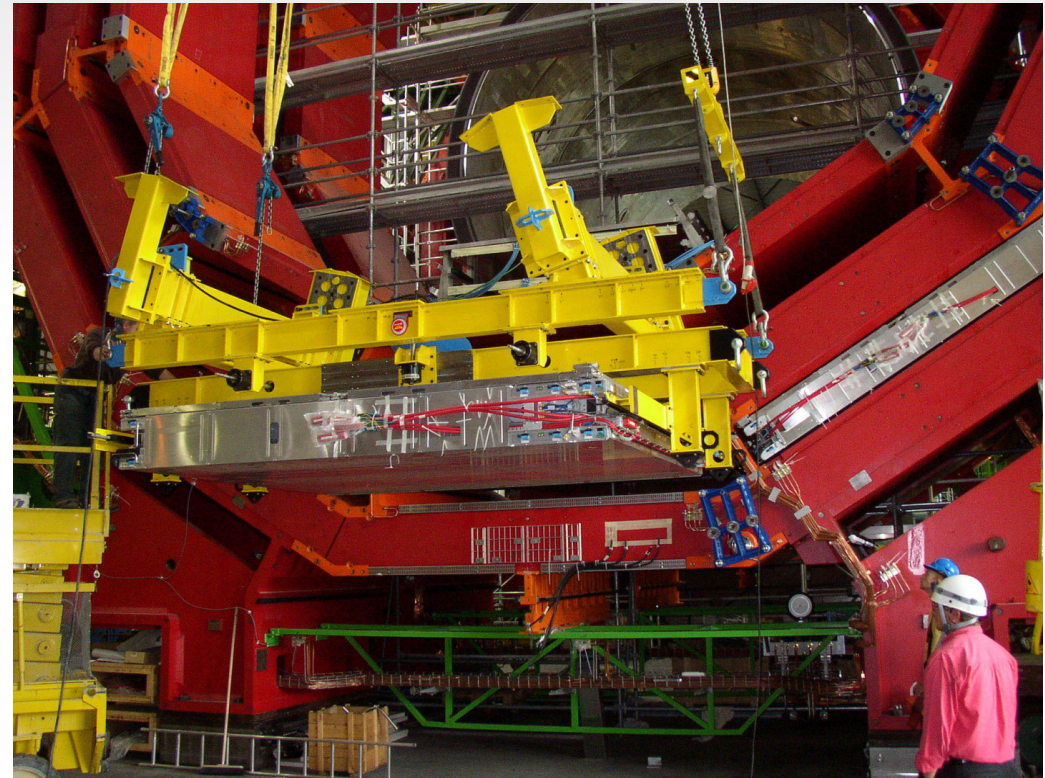


**Тестови установки в Превесан и София**



# Участие на България в CMS RPC

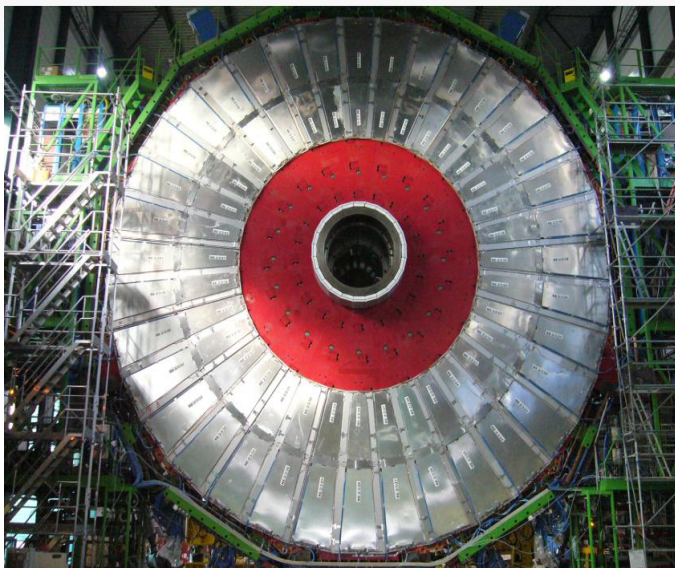
Окомплектоване и инсталиране на модулите от дрейфови тръби и камери със съпротивителни плоскости в един от пръстените на централната част на детектора



# Участие на България в CMS RPC

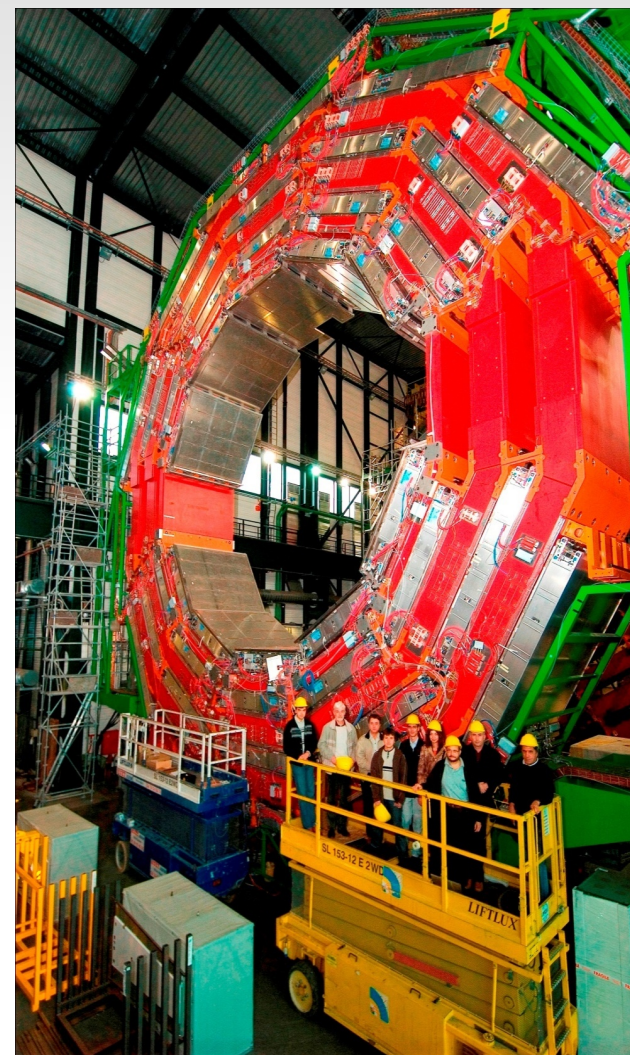
В рамките на планираното надстройване на детектора CMS, през периода от 2013-2014, българските учени участват в сглобяването, тестването и въвеждането в експлоатация на допълнително планираните камери в четвъртите станции на двете затварящи части на детектора.

По време на планираното обновяване и надстройване на CMS са тествани и въведени в експлоатация нови 144 камери със съпротивителни плоскости.



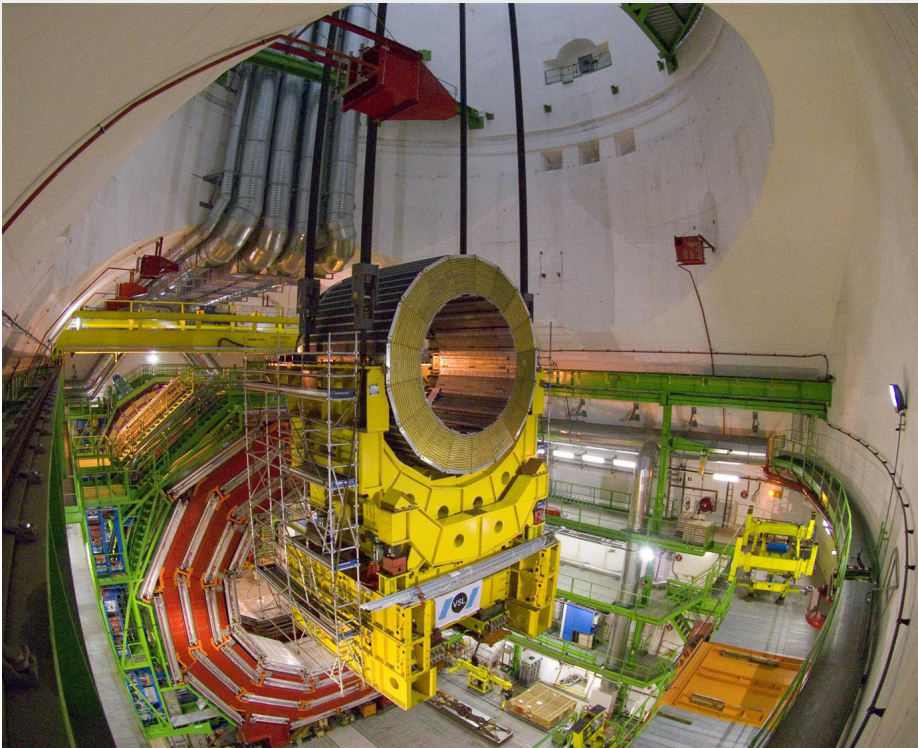
**Напълно инсталирани RPC на втората станция в една от затварящите части на CMS**

Част от българския екип пред един от централните пръстени на детектора CMS с инсталирани модули от дрейфови тръби и RPC.



# Участие на България в CMS HCAL

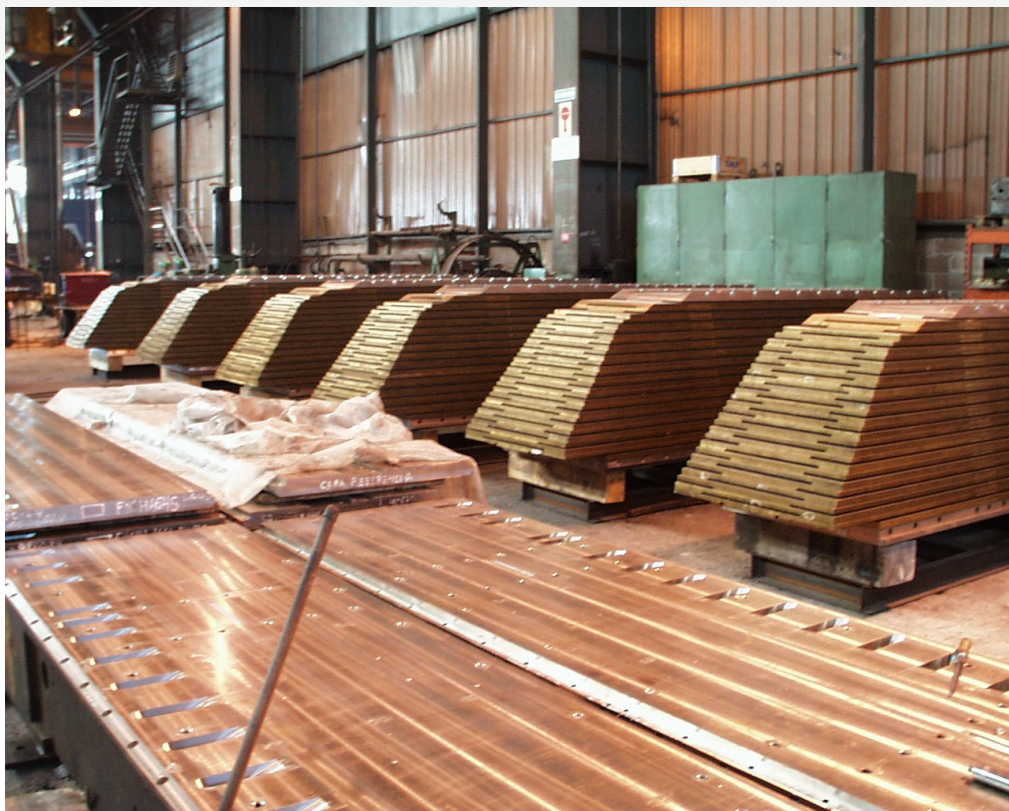
Адроните са частици, съставени от кварки, например протони, неутрони, пиони и каони. Тяхната енергия се измерва с помощта на адронния калориметър. В допълнение калориметричната система на CMS дава информация за присъствието на невзаимодействащи или рядко взаимодействащи частици, например като неутриното.



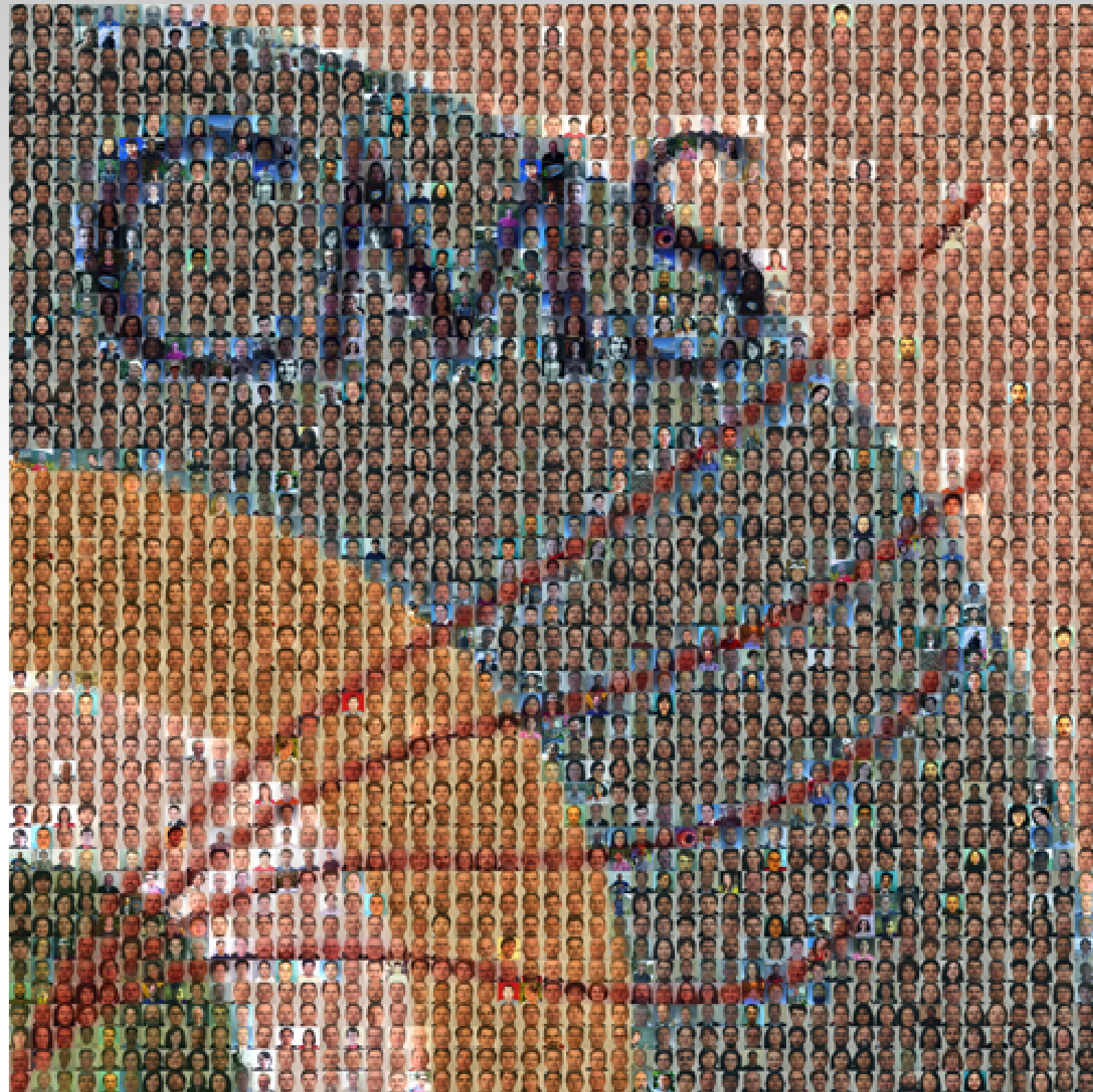
Асемблиране на един от модулите на адронния калориметър.

Адронния калориметър на CMS е от типа сандвич. Изграден е от повтарящи се нива от плътен абсорбер (месинг или стомана) и плочи от пластмасов сцинтилатор. Преминаването на адрон през някое от нивата с абсорбери води до раждането на множество вторични частици, които от своя страна също инициират раждането на други частици. Преминаването на частиците от адронната лавина през сцинтилаторните нива предизвиква излъчване на фотони в ултравиолетовия диапазон. Използват се специални оптични влакна, които поглъщат синята светлина и излъчват фотони в зеления диапазон. Оптичните сигнали се преобразуват в електрични от специални фотосензори и се подават към системата за събиране на данни.

Голяма част от месинговите плочи за абсорбера на централната част с тегло около 700 тона и част от абсорбера за крайните части (30 тона) на CMS адронния калориметър са произведени в Комбината за цветни метали, София, под качествения контрол на български специалисти от ИЯИЯЕ БАН и Софийски университет. След производството на абсорбера в София той е отправен в Испания за допълнителна механична обработка.



Българските специалисти, отговарят за разработката и производството на компютърно управляема високоволтова (до 14 kV) система за захранване на хибридните фотодиоди на адронния калориметър. От тази система са изработени, настроени и доставени в CERN 22 крейта с общо 125 четириканални модула. За предните адронни калориметри е разработена и произведена в България 72-канална система за захранване (до 2 kV) на общо 1728 фотоелектронни умножителя.



***Б  
Л  
А  
Г  
О  
Д  
А  
Р  
Я  
!***

# **Backup Slides**