

INTERNATIONAL MASTERCLASSES HANDS ON PARTICLE PHYSICS

2018 EDITION

www.physicsmasterclasses.org



Programa

Física de Partículas

- ▣ Conceitos Básicos

O LHC e o CMS

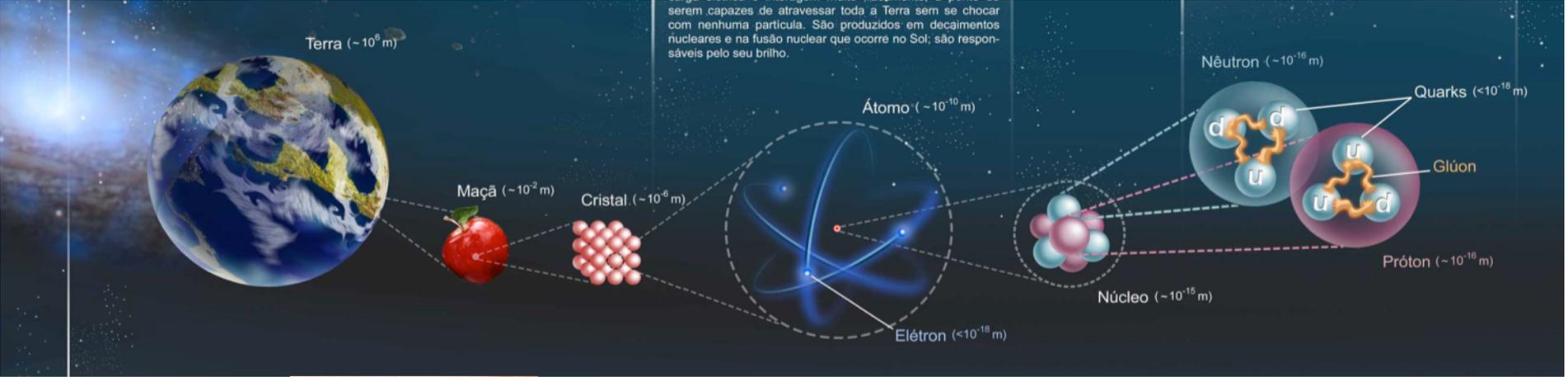
- ▣ Explorando o mundo subatômico: Aceleradores e Detectores

Introdução à Análise de Dados

- ▣ Exercício MasterClass: Identificação e propriedades dos W, Z e Higgs

Explorando o mundo subatômico: Aceleradores e detectores

Como se observa o mundo?



Explorando o mundo subatômico

1910 Rutherford:

Uma idéia que deu certo!

...

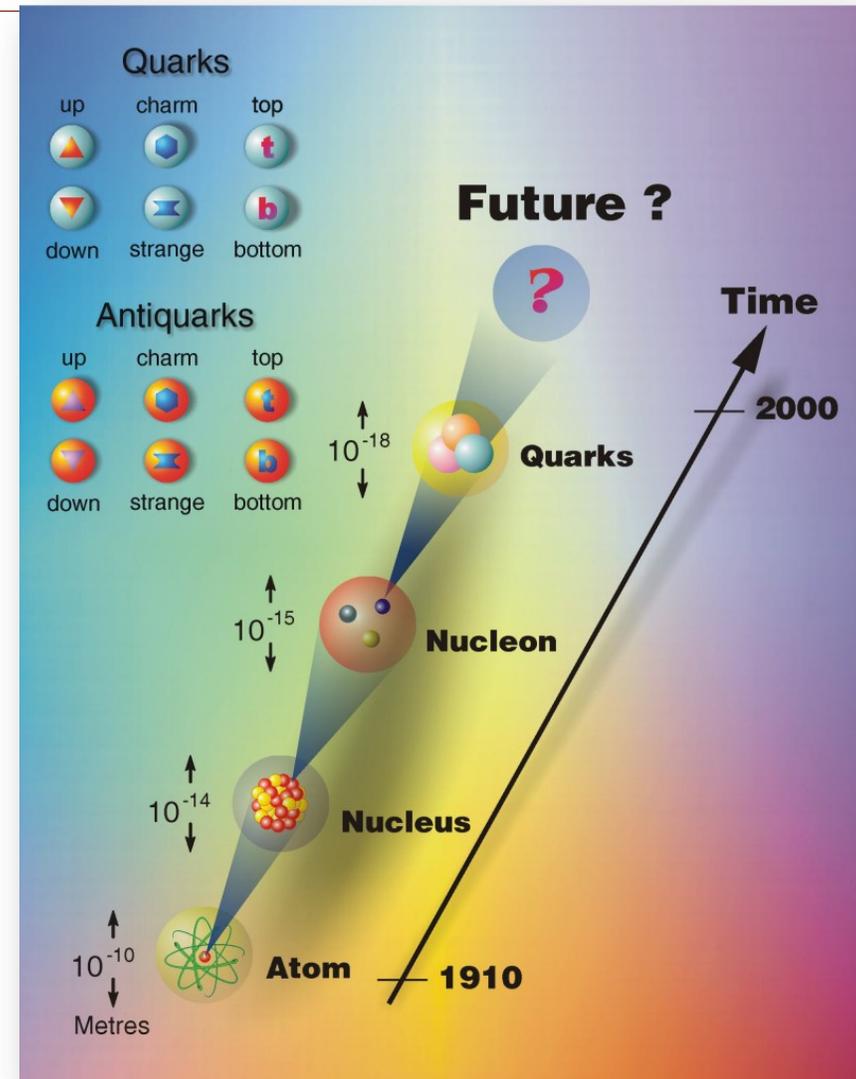
1995 Tevatron/Fermilab

2009 LHC/CERN

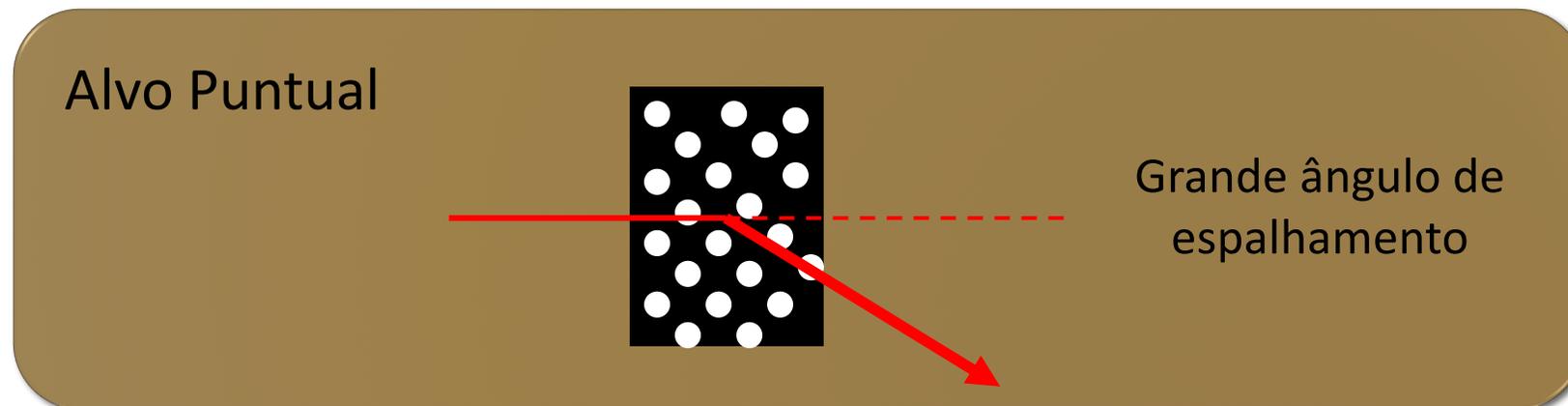
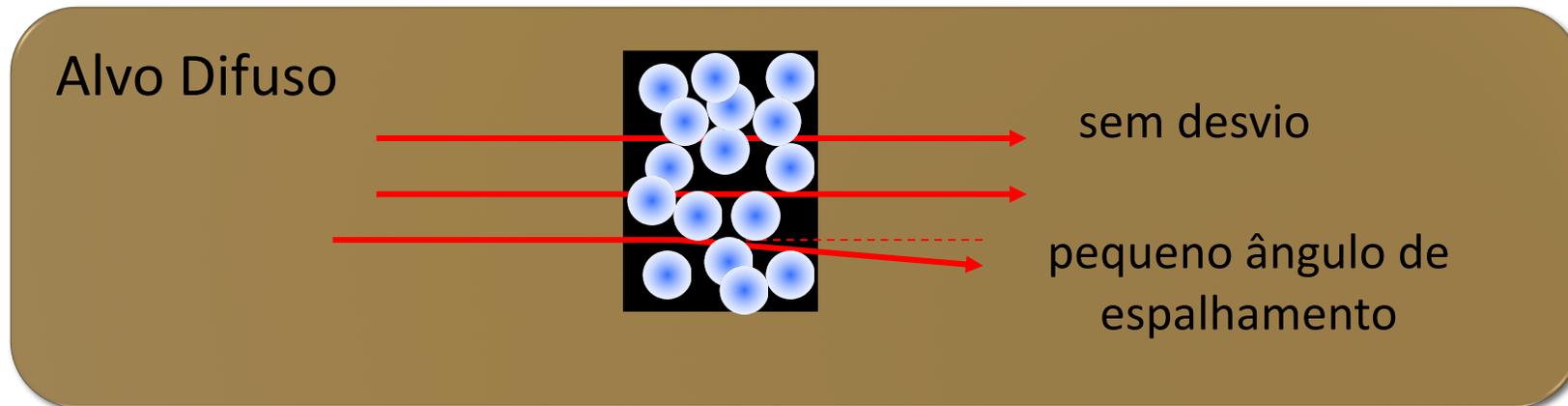
2020 ILC

?

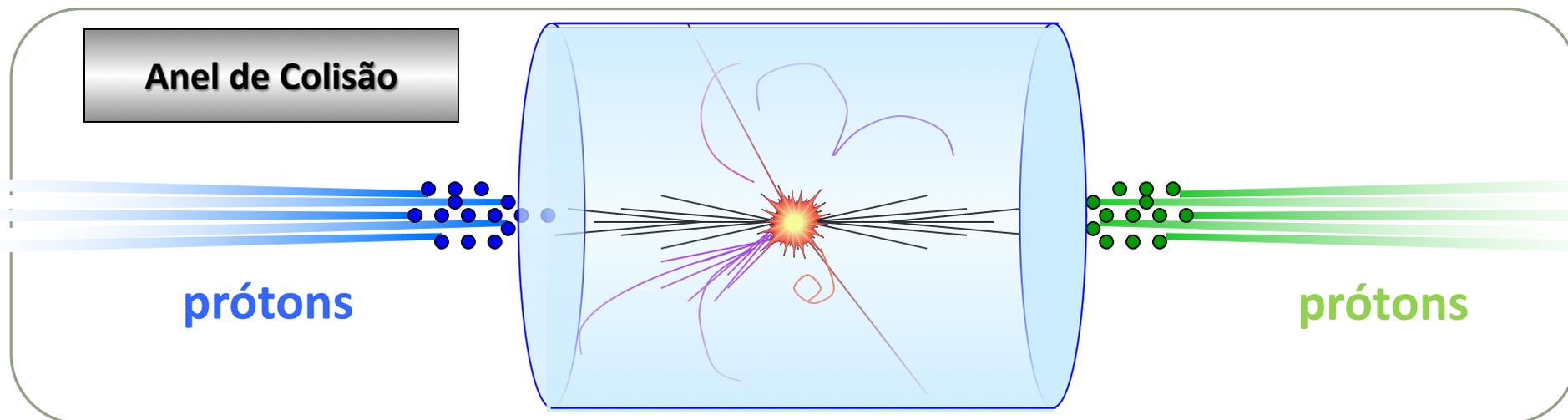
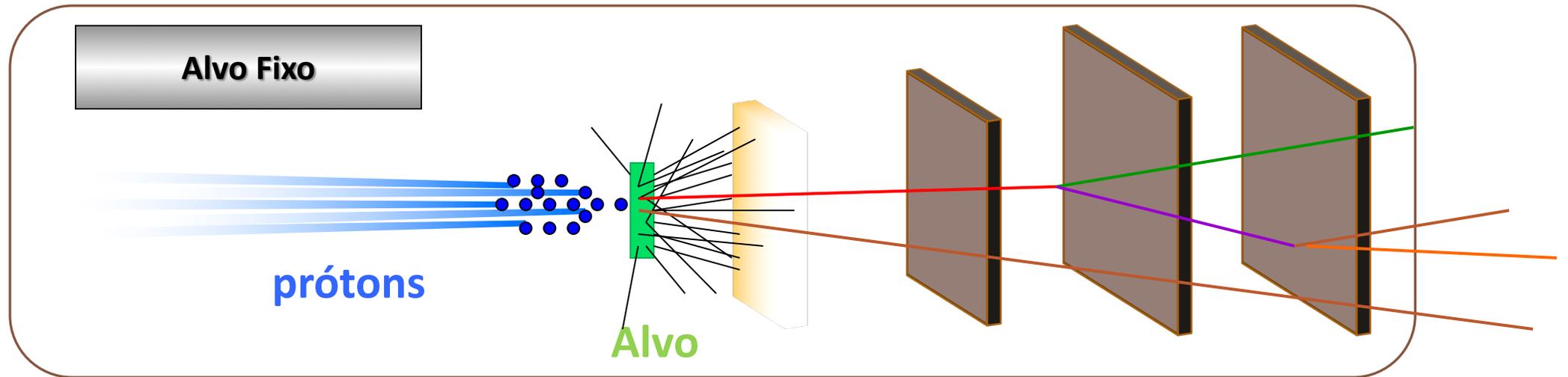
...



Rutherford e o Espalhamento



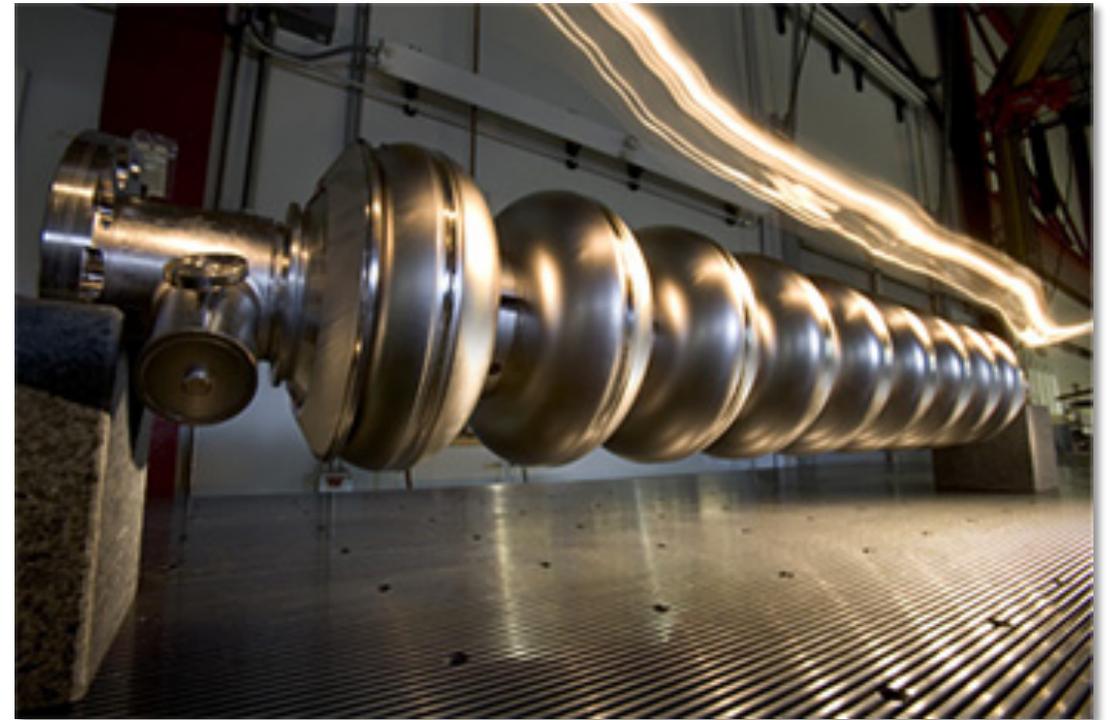
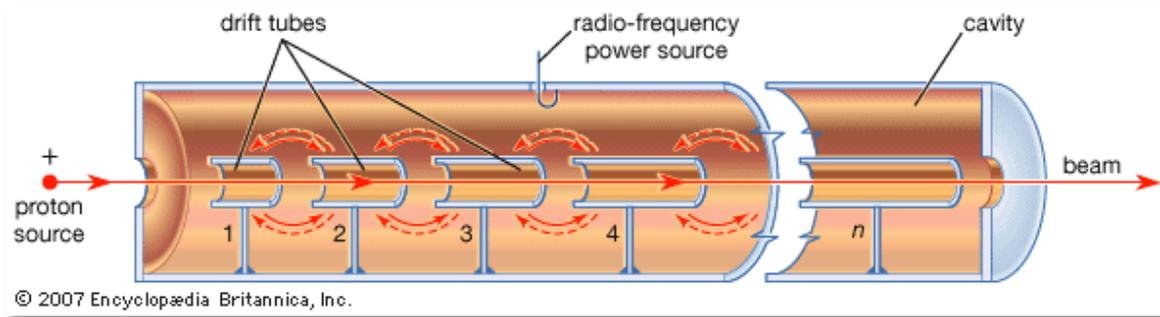
Alvo Fixo X Anel de Colisão



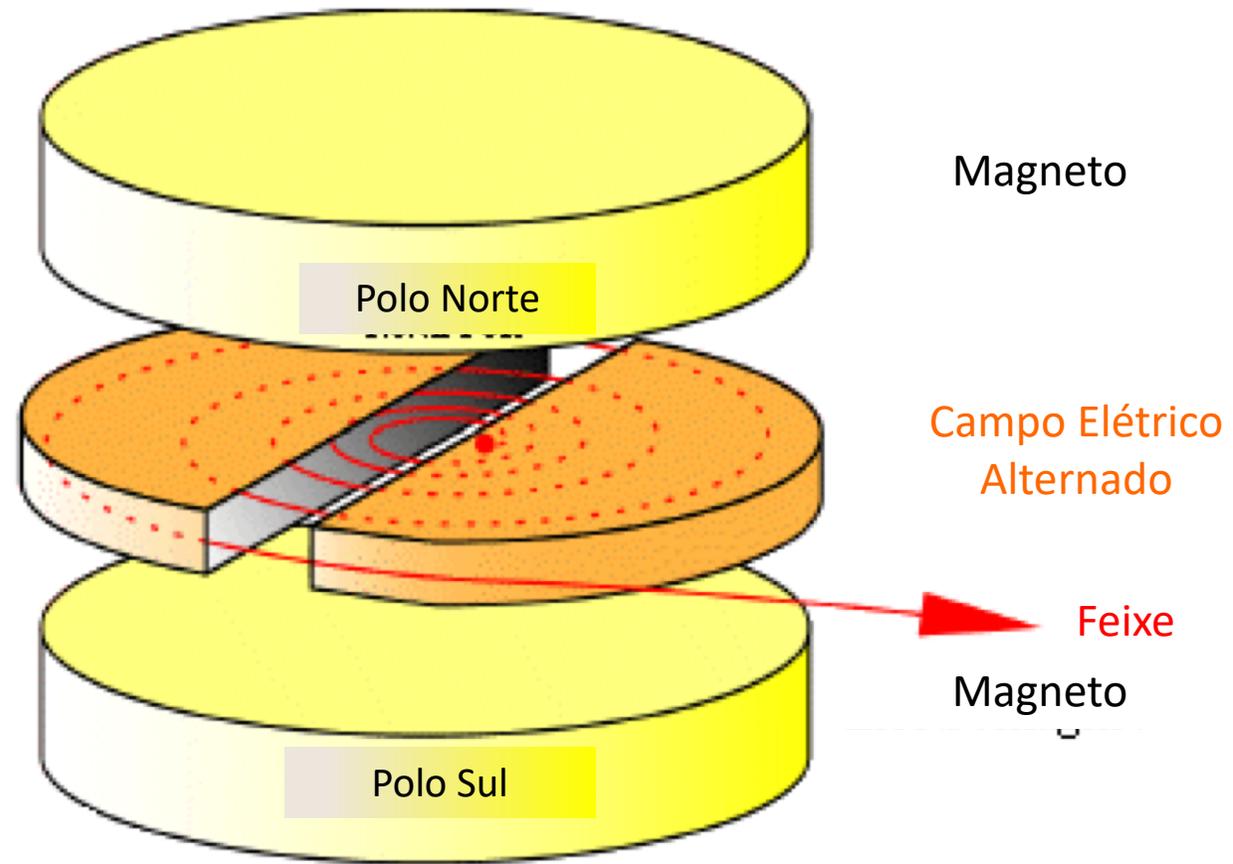
Acelerador Linear

Partículas carregadas e estáveis são aceleradas

- ❑ Energia é limitada apenas pelo comprimento
- ❑ Alvo fixo: feixe se perde após a colisão



Cíclotron



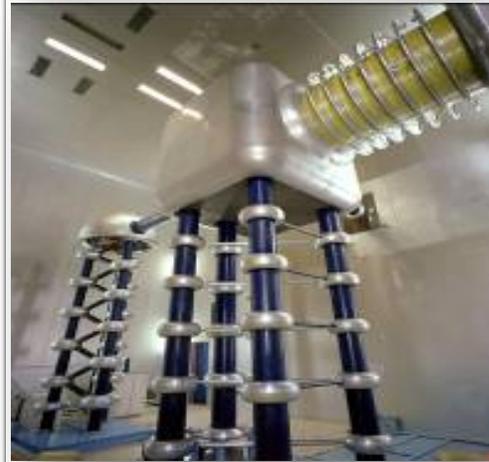
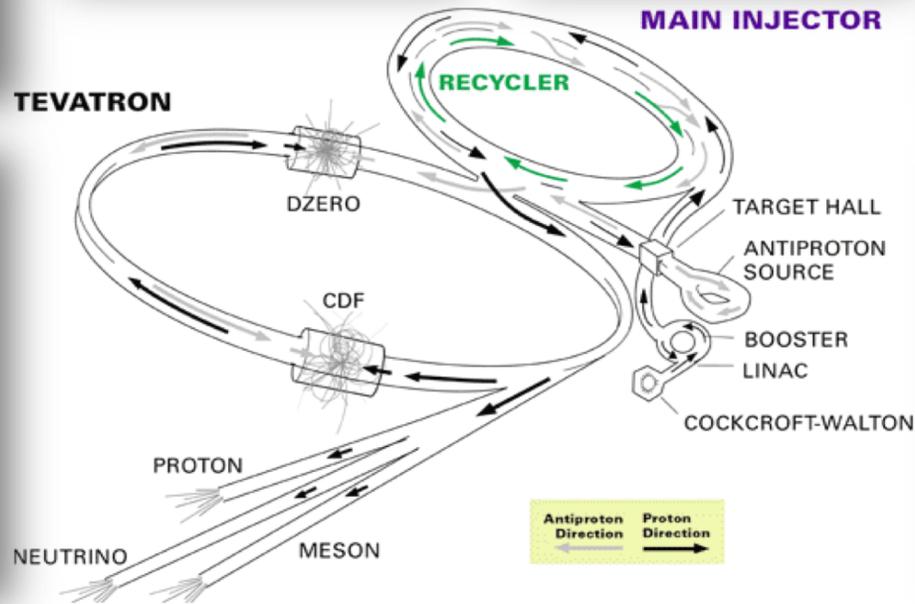
Aceleradores e Detectores além da Física



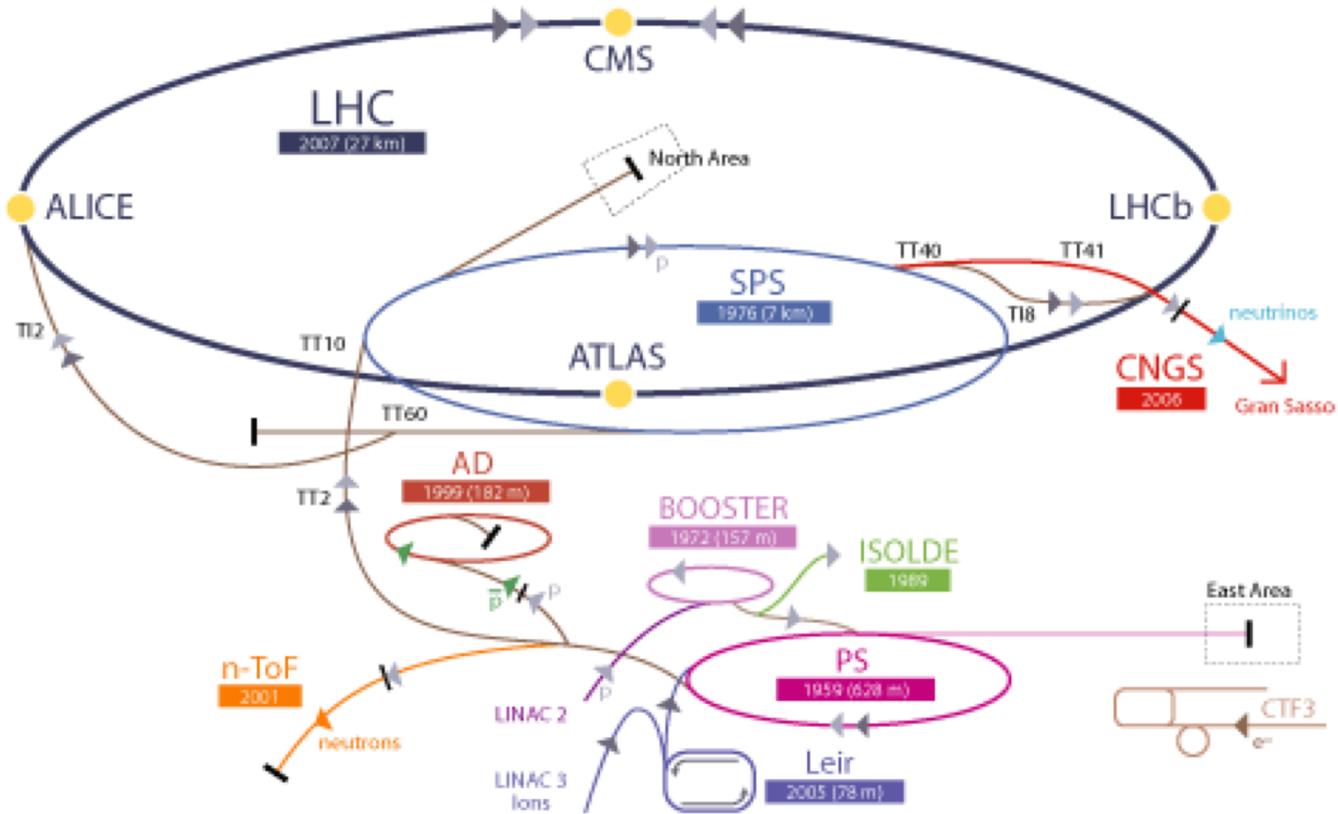
Milhares de aceleradores e detectores de partículas são utilizados hoje em Medicina

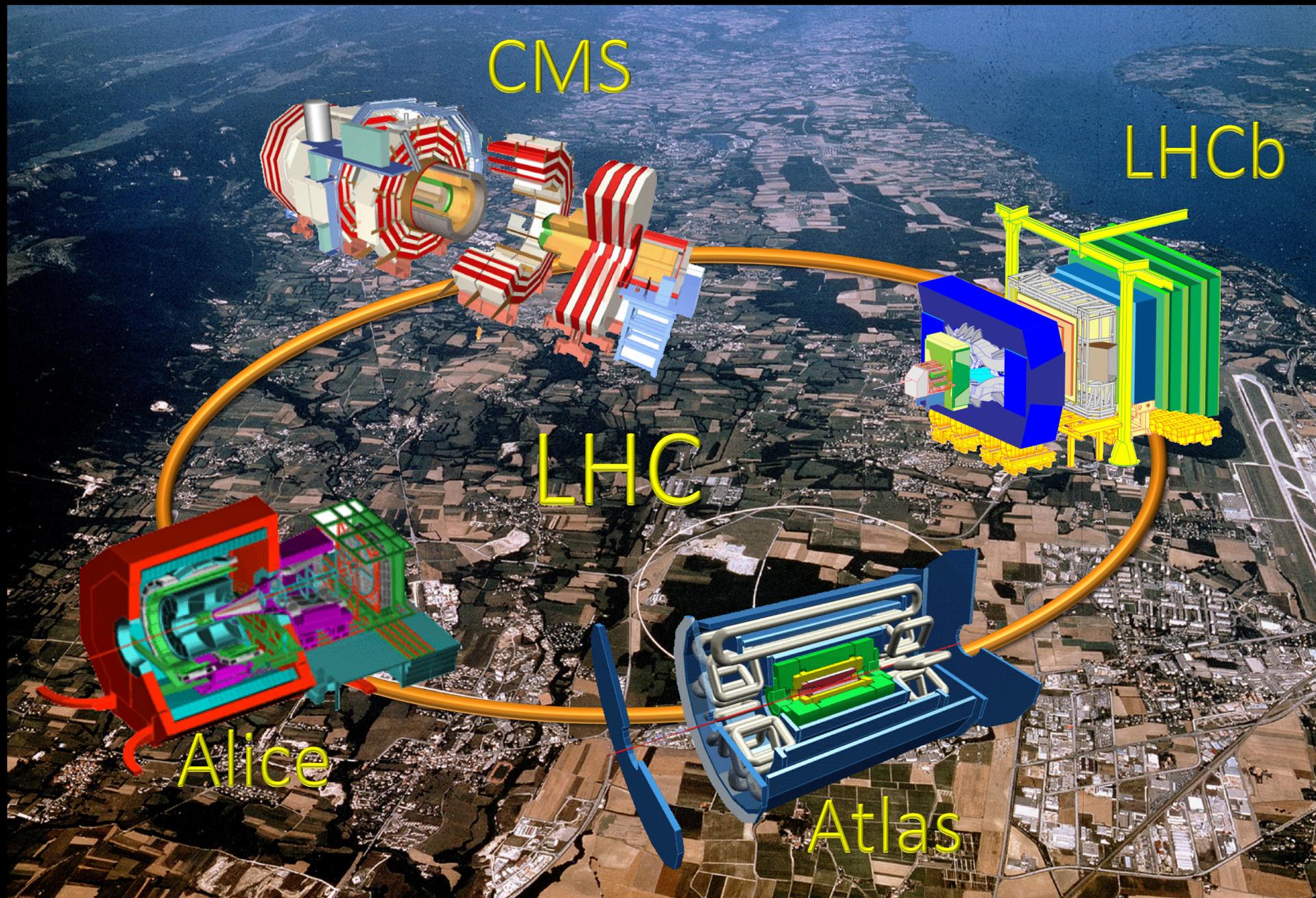


Complexos de Aceleradores: Fermilab



Complexo de Aceleradores: CERN





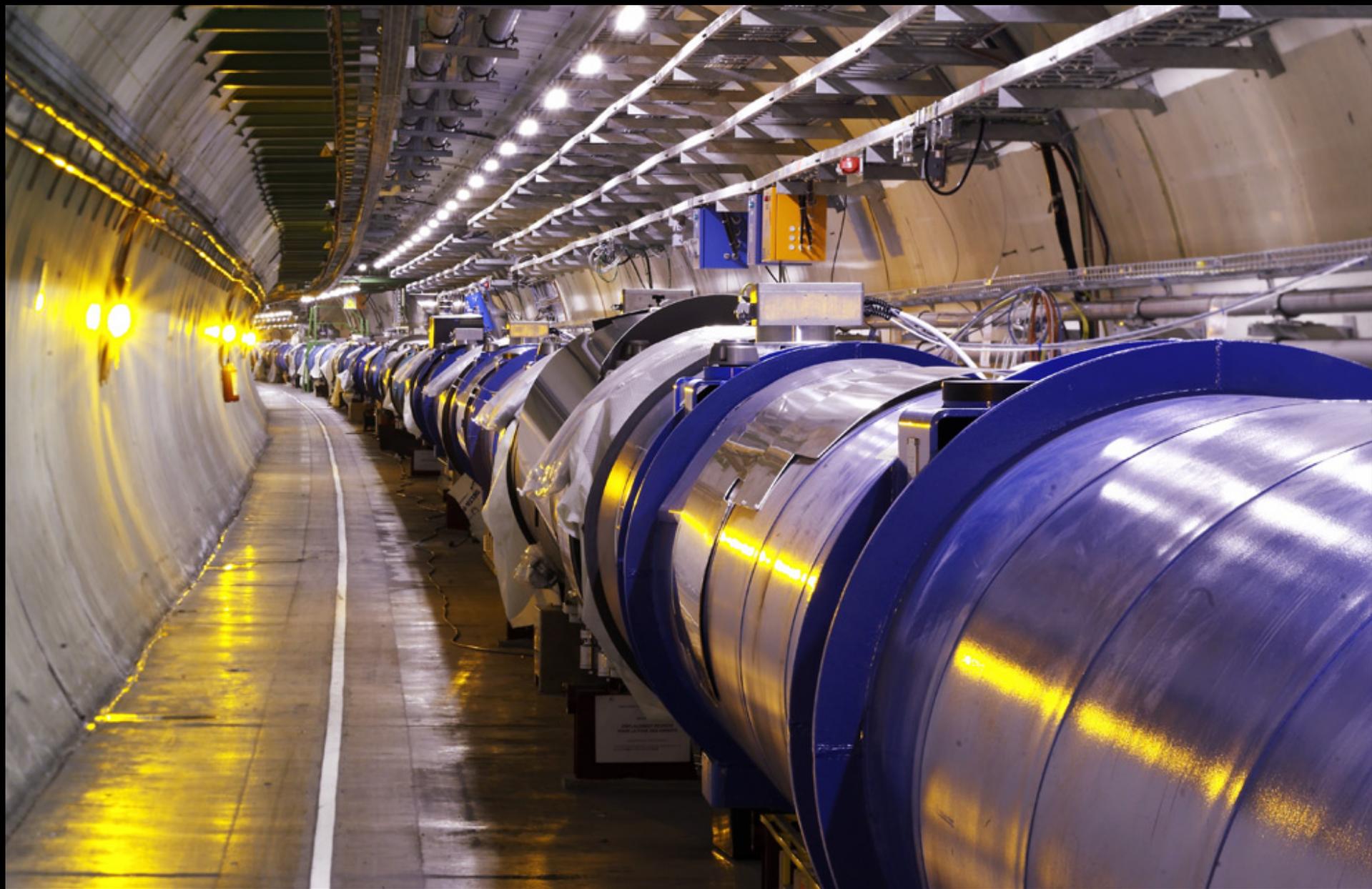
CMS

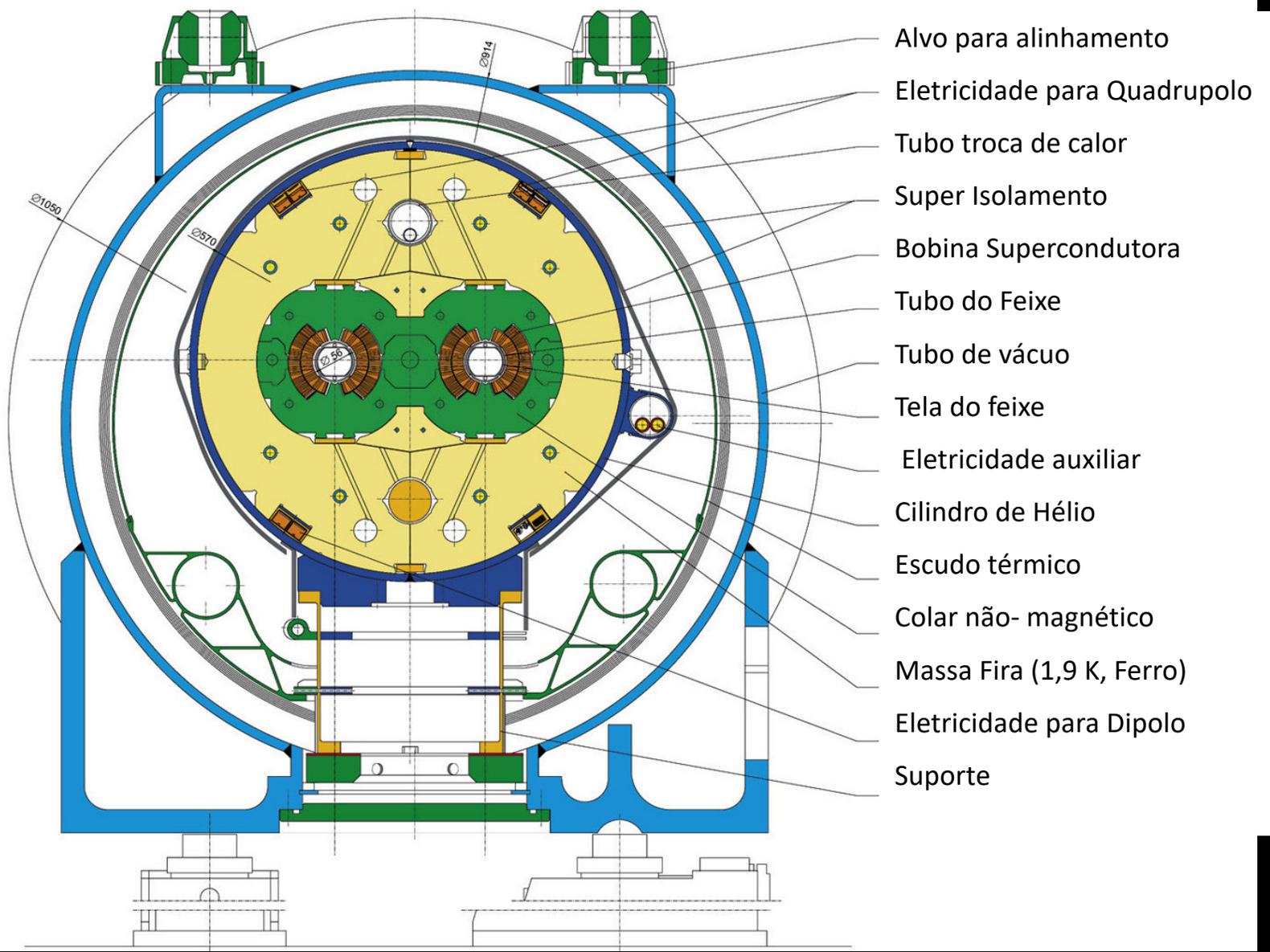
LHCb

LHC

Alice

Atlas

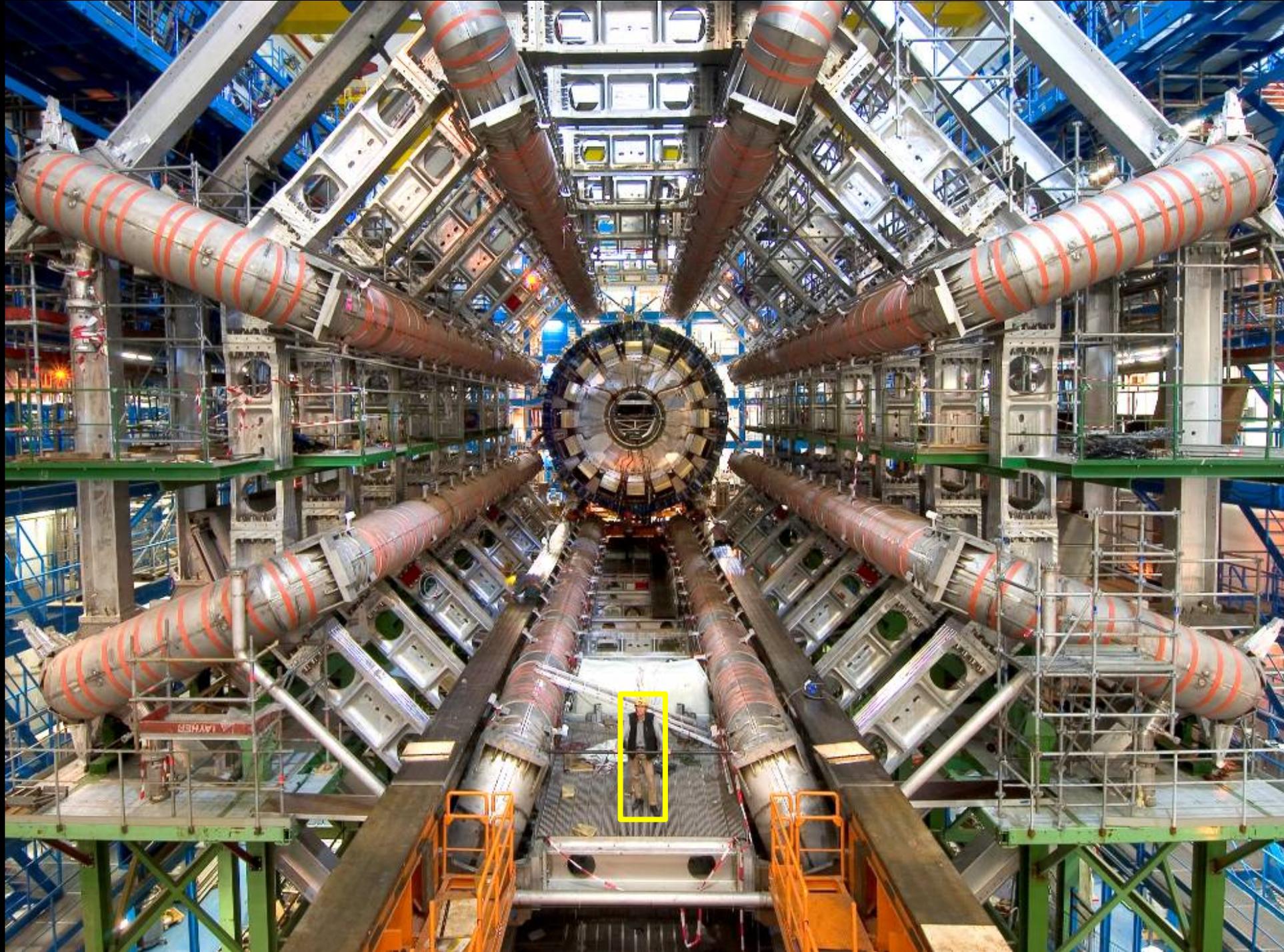




- Alvo para alinhamento
- Eletricidade para Quadrupolo
- Tubo troca de calor
- Super Isolamento
- Bobina Supercondutora
- Tubo do Feixe
- Tubo de vácuo
- Tela do feixe
- Eletricidade auxiliar
- Cilindro de Hélio
- Escudo térmico
- Colar não- magnético
- Massa Fira (1,9 K, Ferro)
- Eletricidade para Dipolo
- Suporte

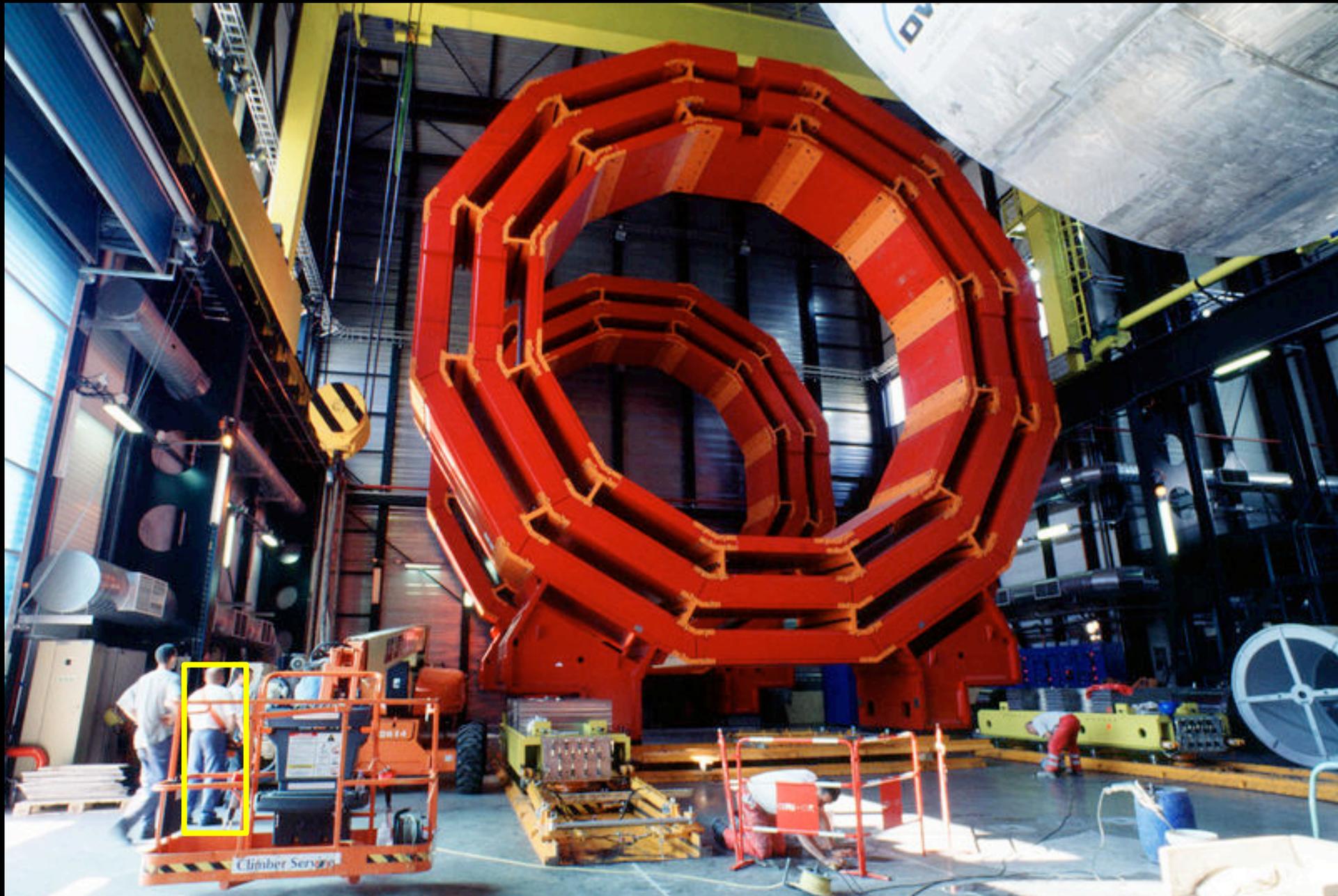
Sala de Controle do LHC



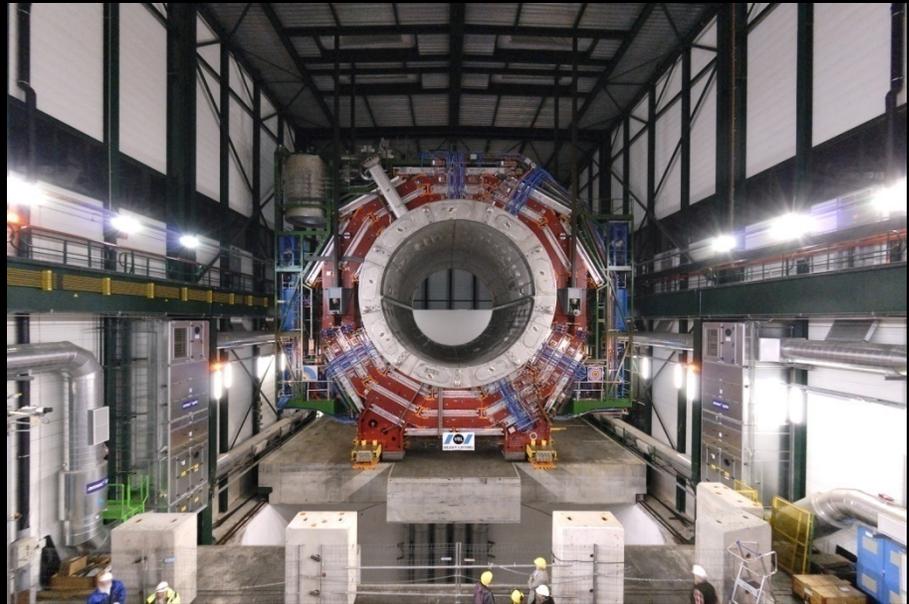


A Construção do CMS

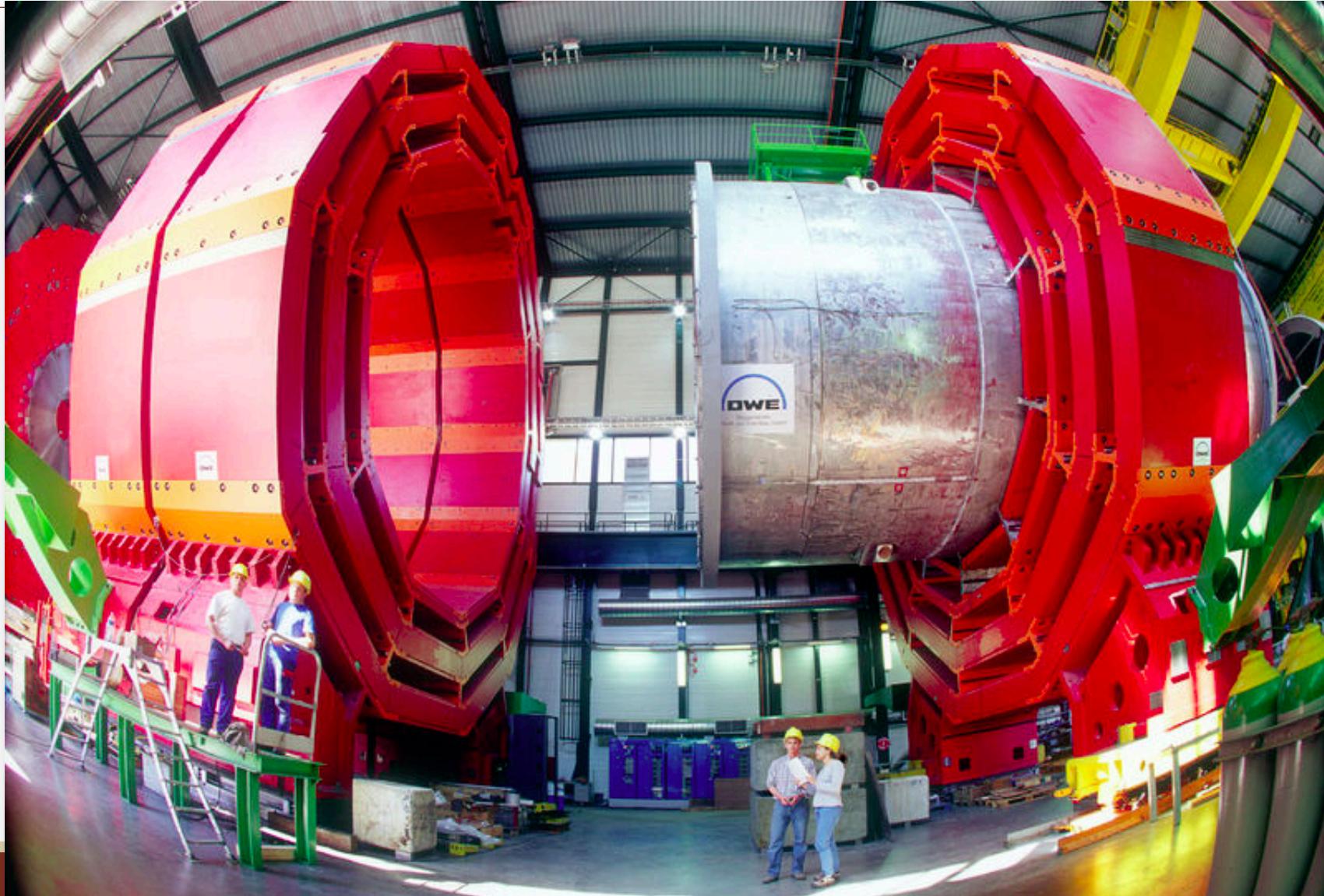




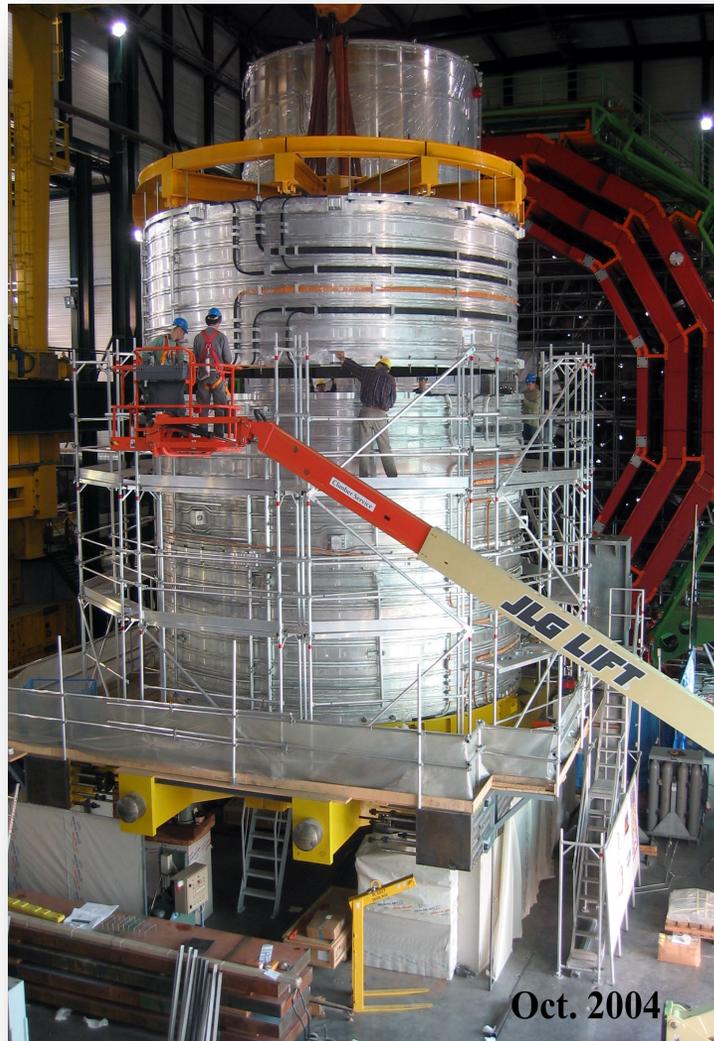




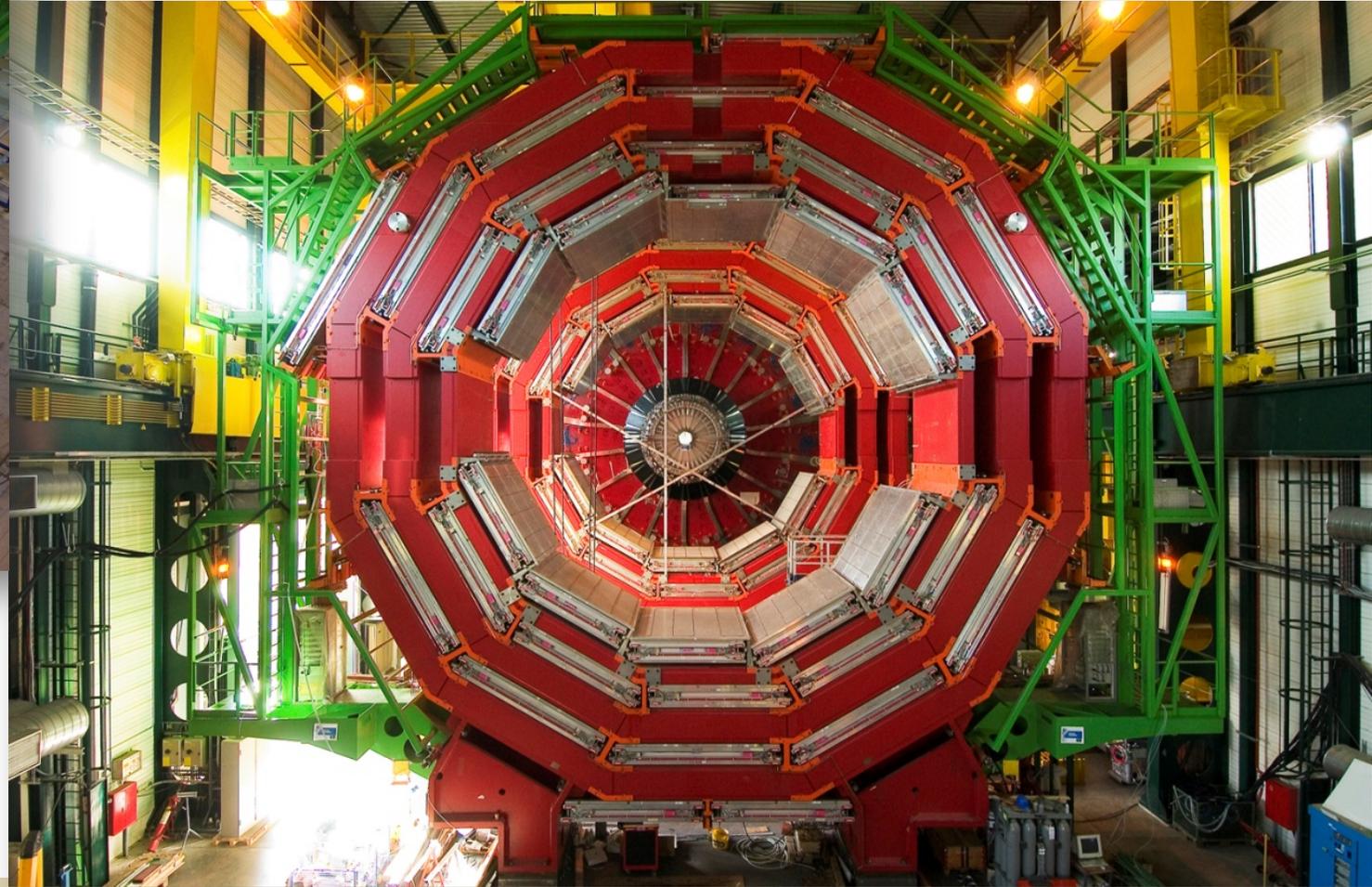
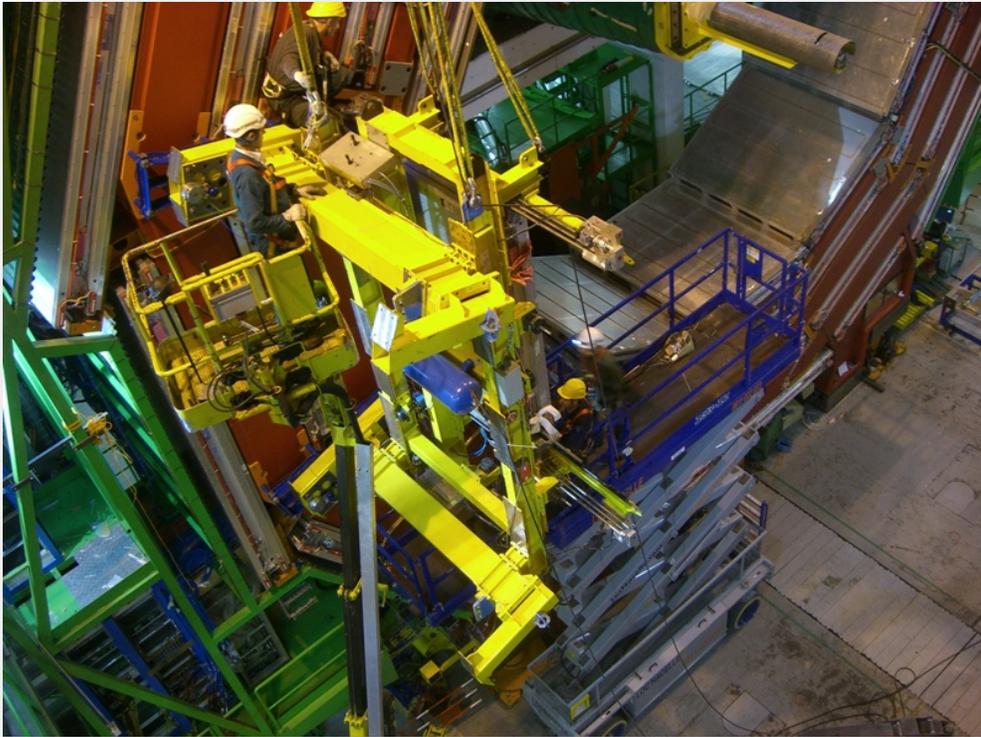
A Estrutura do Detector



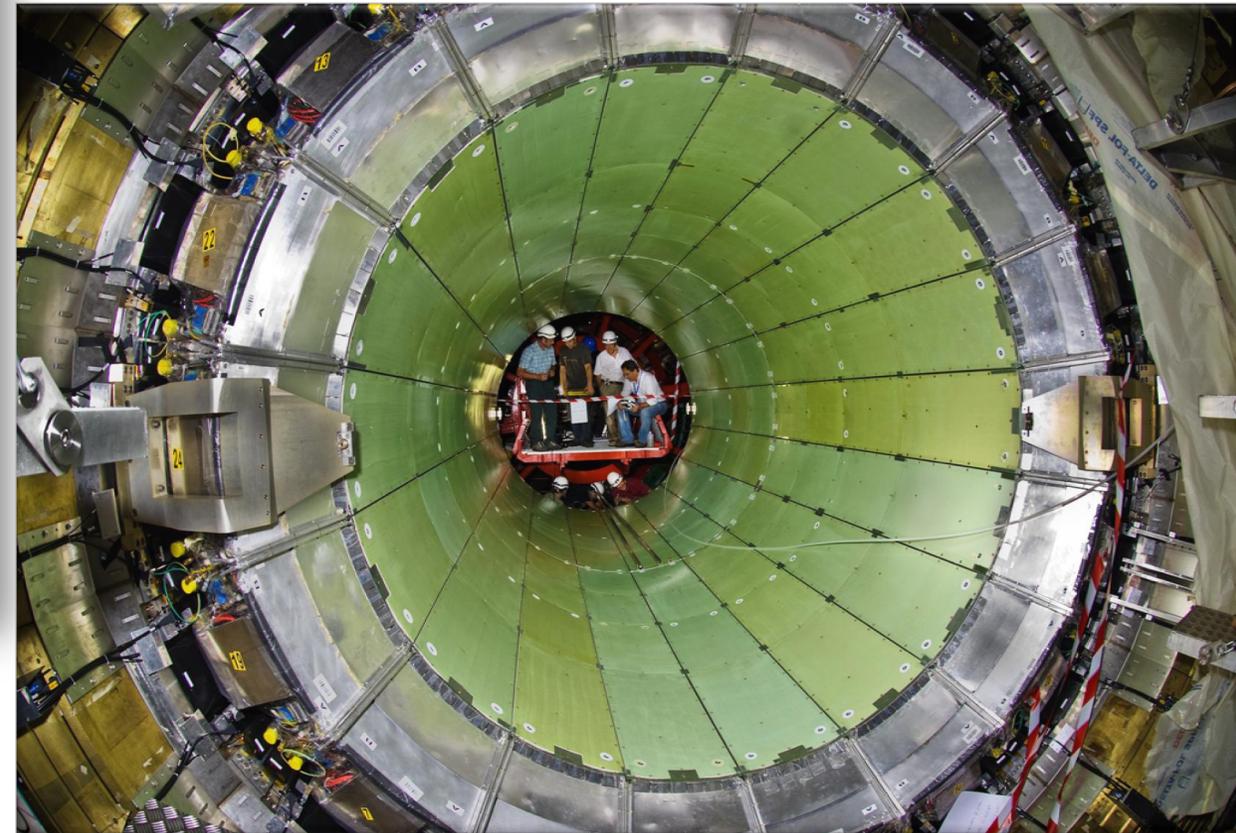
O Solenóide Supercondutor



Montagem das Câmaras de Múons



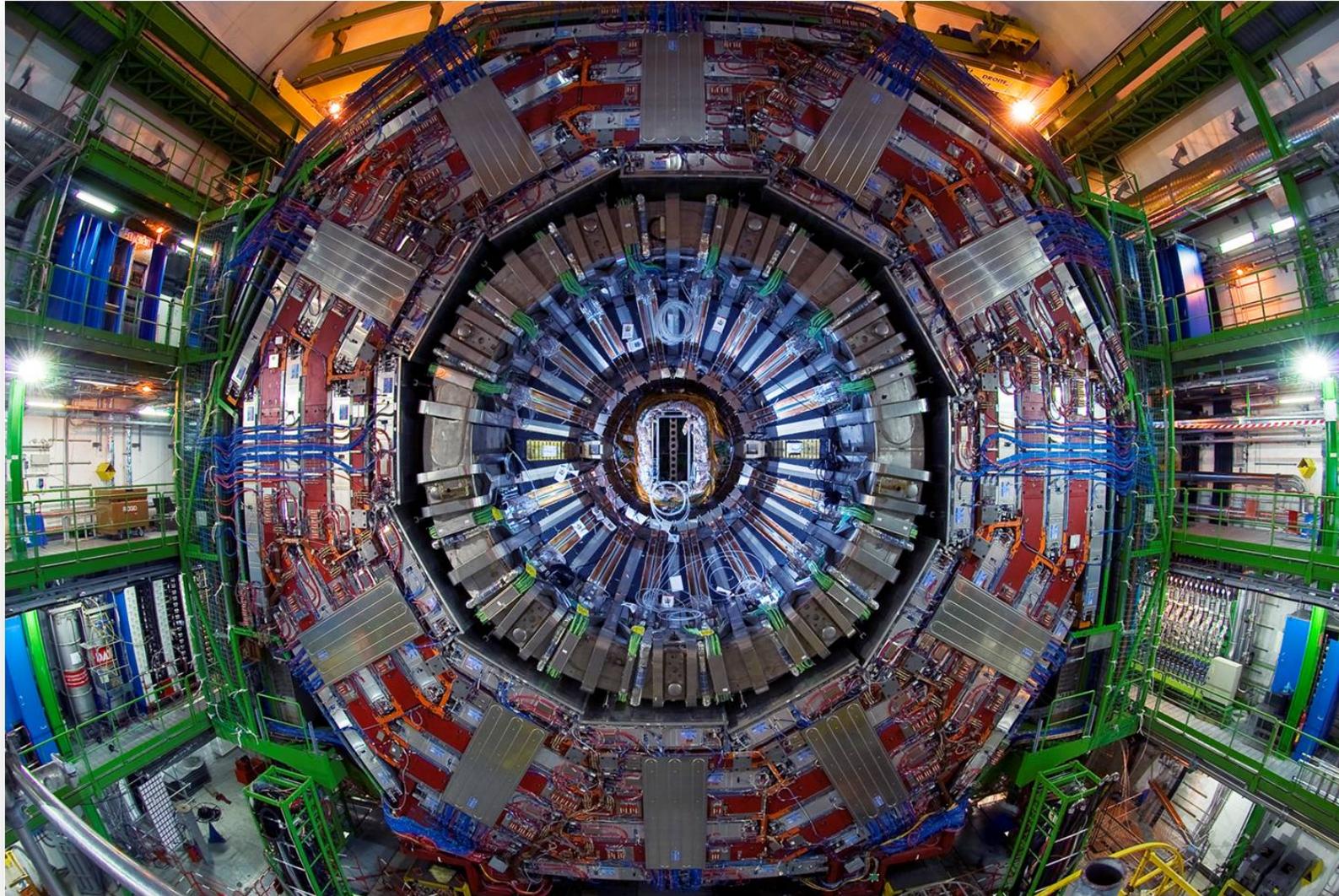
Inserção do Calorímetro EM



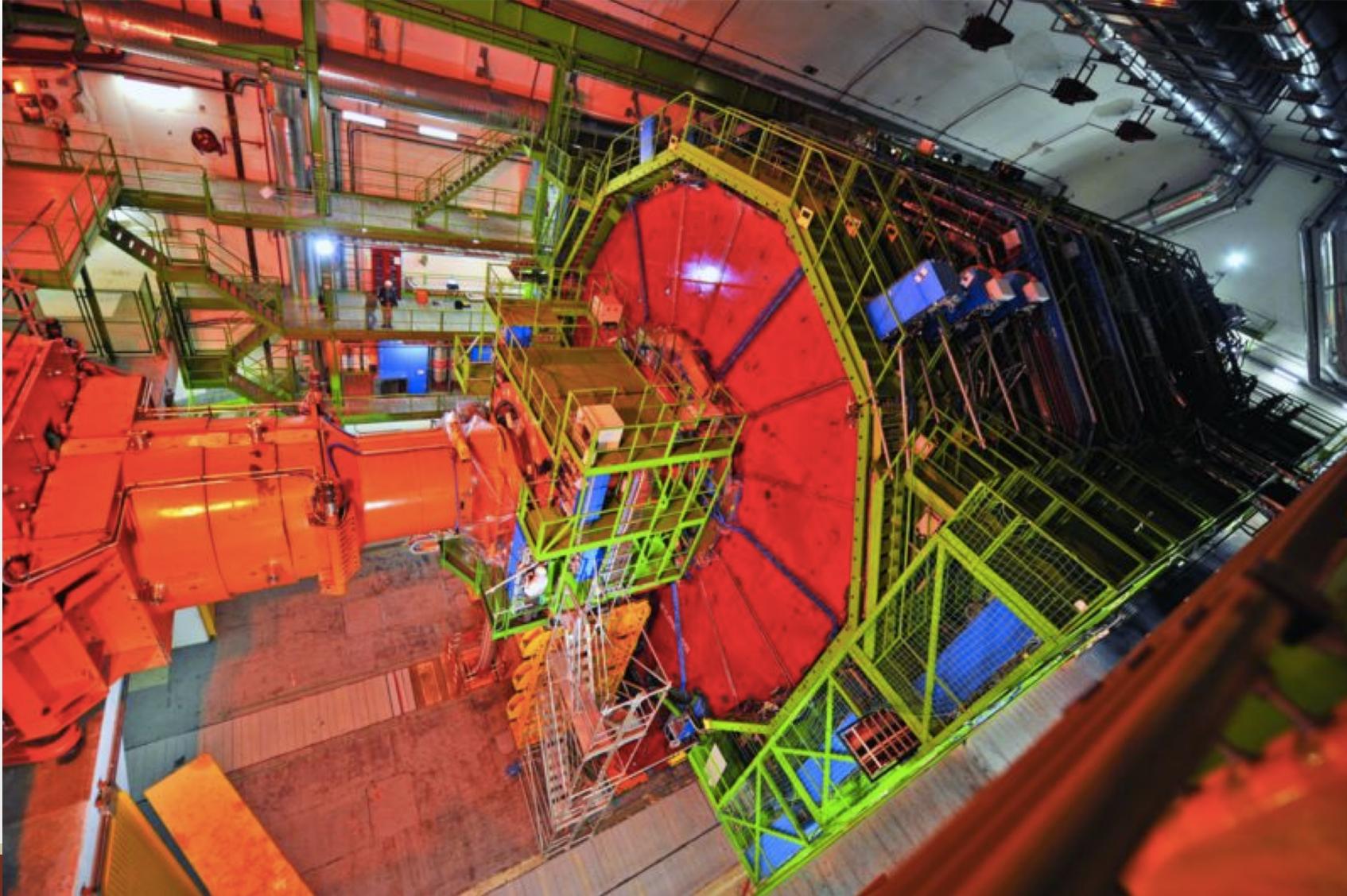
Sistema de Traços Central



Visão Frontal da Parte Central



Detector em modo de operação



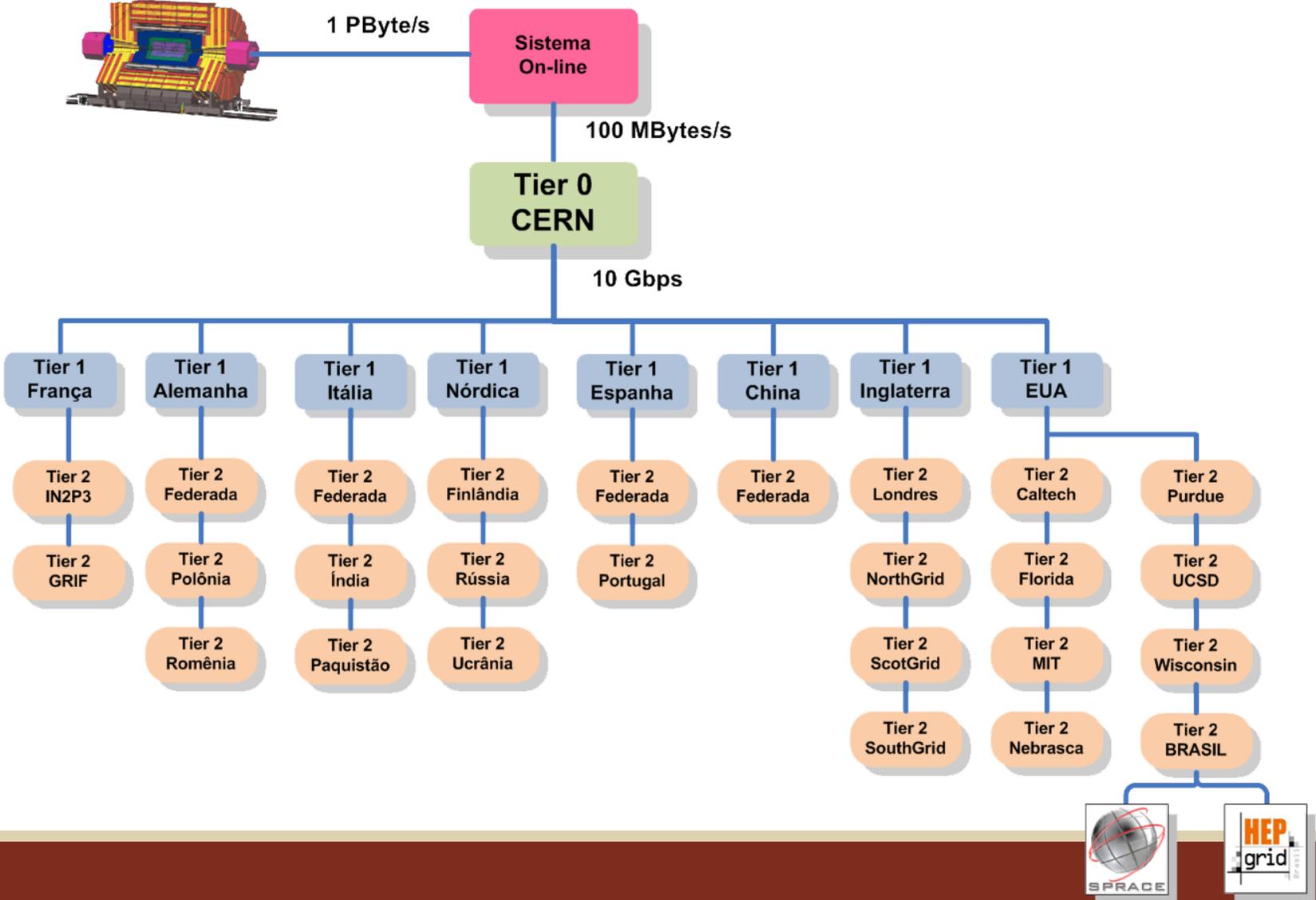
CMS: Sala de Controle



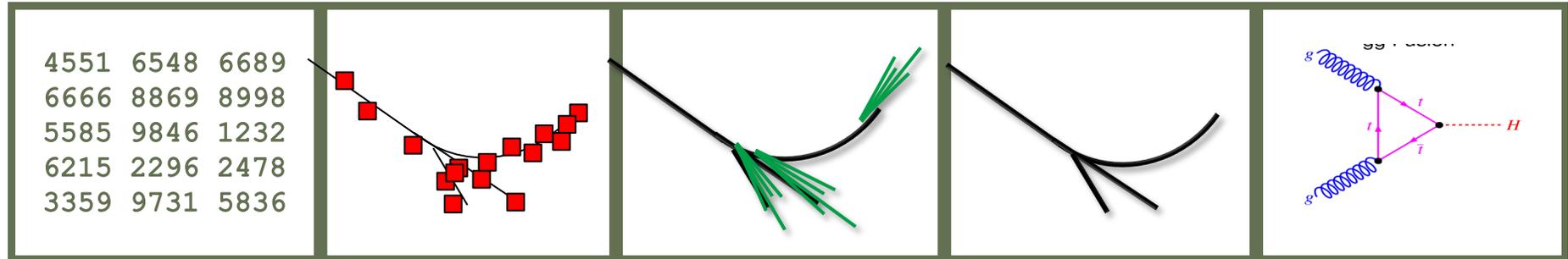
Processamento dos Dados



Sistema de Processamento



Dos dados à Física



Dado Cru
(Raw Data)

Resposta
do Detector

Interação com
Material

Decaimento e
Fragmentação

Fenômenos
Físicos

Alinhamento/Calibração
Conversão de bits em quantidade
físicas

Reconstrução
Reconhecimento de Padrões e
Identificação de Partículas

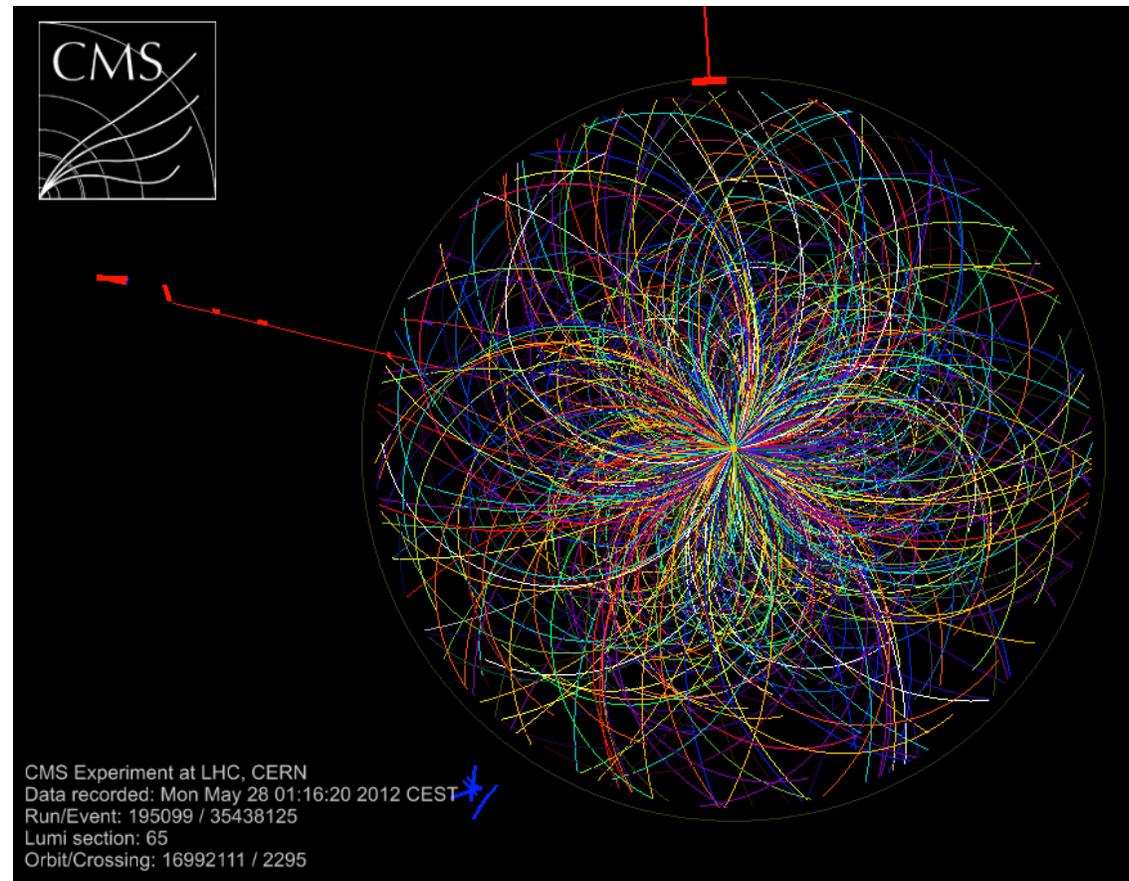
Análise Física
Comparação com modelos

Seleção dos Eventos de Interesse

- ❑ 40 milhões de cruzamentos do feixe / segundo
- ❑ 1 bilhão de colisões / segundo
- ❑ 10.000 traços no detector / 25 ns
- ❑ 40 TeraBytes de dados produzidos / segundo
 - Impossível guardar tudo

Dois estágios de seleção:

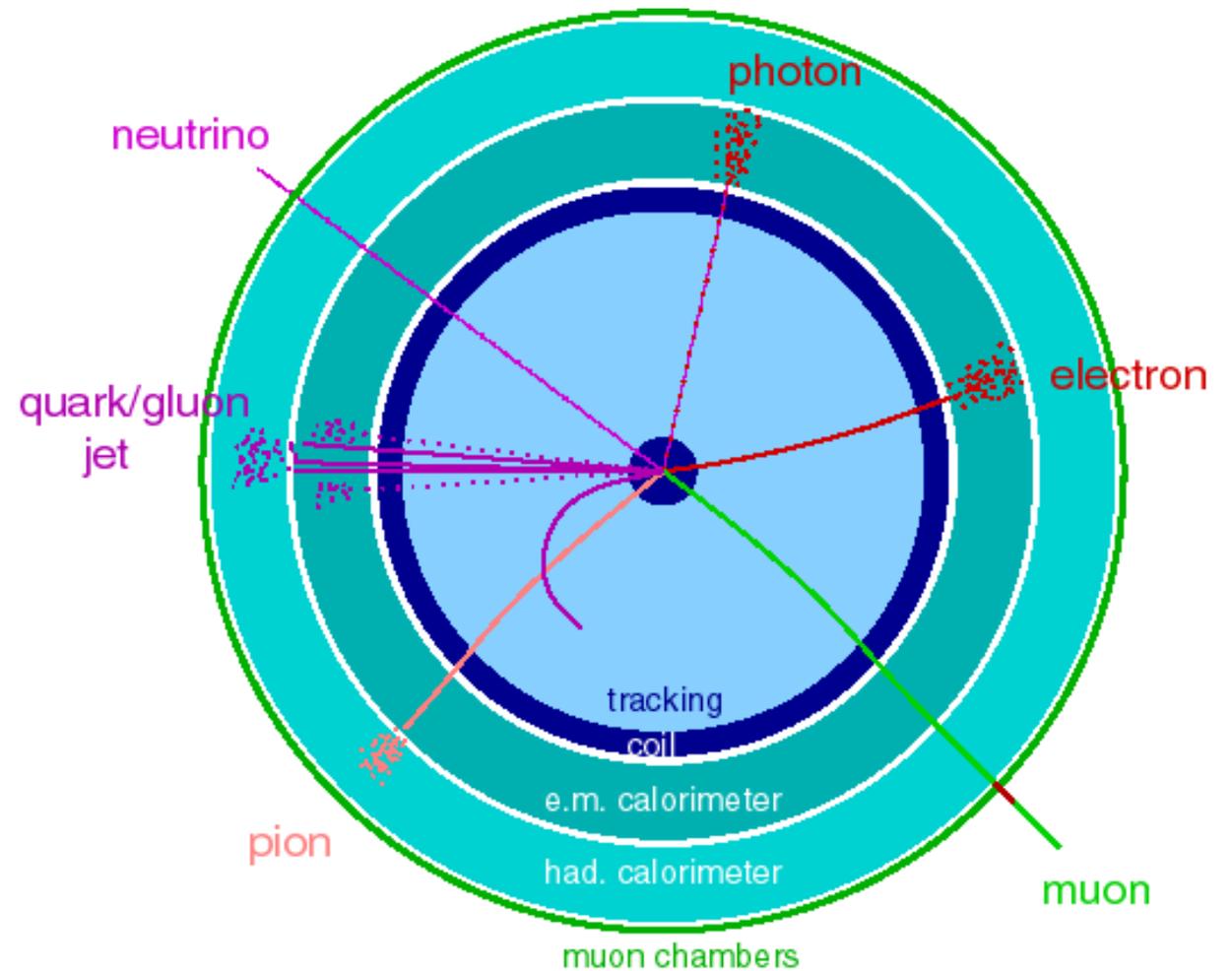
- ❑ Hardware:
 - Eletrônica rápida:
40 MHz → 100 kHz
- ❑ Software:
 - 30.000 CPU's
100 kHz → 100 Hz



Detectores

São utilizados para:

- ❑ Determinar a trajetória das partículas
 - Câmaras de fios, arrasto, projeção temporal
 - Detectores de silício
- ❑ Medir a energia das partículas
 - Calorímetro Eletromagnético
 - Calorímetro Hadrônico
- ❑ Medir momento das partículas
 - Curvatura no campo magnético
- ❑ Identificar a partícula
 - Conjunto de suas propriedades



Identificação e medida das propriedades dos bósons W , Z e Higgs

EXERCÍCIO MASTERCLASS

Quais são as partículas Elementares?

Quais partículas são detectadas no CMS?

ESTRUTURA ELEMENTAR DA MATÉRIA

PARTÍCULAS MEDIADORAS

Interação Eletromagnética

FÓTON

Interação Fraca

W⁺ Z⁰ W⁻

Interação Forte

GLÚON

Interação Gravitacional

GRÁVITON

QUARKS

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

LÉPTONS

ν_e neutrino e	ν_μ neutrino μ	ν_τ neutrino τ
e elétron	μ múon	τ tau

H
higgs

Higgs

Responsável pela geração de massa das partículas. Descoberto em 2012 no LHC.

Léptons

Léptons são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética e fraca. Há três famílias de léptons, cada uma composta por um lépton carregado, que interage eletromagnética e fracamente, e por um neutrino, que interage apenas fracamente.

Os **elétron (e)** são estáveis e compõem a eletrosfera que envolve o núcleo dos átomos, sendo os responsáveis pelas ligações químicas entre os elementos. Em movimento, produzem a corrente elétrica e geram campos magnéticos. Os léptons **múon (μ)** e **tau (τ)** possuem características similares às do elétron, mas são muito mais pesados e instáveis, decaindo rapidamente em partículas mais leves.

Os **neutrinos (ν)** são extremamente leves, não possuem carga elétrica e interagem muito fracamente, a ponto de serem capazes de atravessar toda a Terra sem se chocar com nenhuma partícula. São produzidos em decaimentos nucleares e na fusão nuclear que ocorre no Sol, a qual é responsável pelo seu brilho.

Quarks

Quarks são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética, fraca e forte, e possuem carga elétrica fracionária (+2/3 e -1/3), além das "cargas de cor" relativas à interação forte. Eles formam os hádrons (três quarks ou um quark e um antiquark) e permanecem confinados dentro deles, não sendo observados em estado livre.

Os quarks da primeira família, **up (u)** e **down (d)**, formam os prótons (uud) e nêutrons (udd) e, portanto, toda a matéria usual, além de diversos mésons, como o pión π⁺ (u d̄) e o káon K⁰ (d s̄).

As outras duas famílias de quarks, compostas pelo **strange (s)** e **charm (c)**, e pelo **bottom (b)** e **top (t)**, não formam a matéria usual, sendo apenas produzidas como resultado de colisões entre outras partículas.



Interação Eletromagnética (γ)

O fóton (γ) é o quantum do campo eletromagnético. Toda radiação **eletromagnética**, desde as ondas de rádio e televisão, passando pela luz visível, até os raios ultravioleta e gama, é formada por fótons. Partículas sem massa ou carga, os fótons são responsáveis pela transmissão da interação entre as partículas eletricamente carregadas.

Interação Gravitacional (G)

A interação gravitacional atua sobre todas as partículas e seria intermediada pelo gráviton. No entanto, no mundo subatômico, ela não tem nenhuma influência, já que ela é uma centena de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão (10⁻³⁸) de vezes mais fraca que as outras três interações.

Interação Fraca (W e Z)

A **interação fraca** é intermediada pelos bósons carregados **W⁺** e **W⁻** e pelo bóson neutro **Z⁰**. A interação fraca é de curtíssimo alcance, agindo em distâncias 1.000 vezes menores que o núcleo atômico, sendo 10.000 mais fraca que a interação eletromagnética. A interação fraca afeta tanto léptons como quarks e é responsável pelo decaimento beta, quando um nêutron se transforma em um próton, emitindo um elétron e seu antineutrino. Ela também desempenha importante papel na geração da energia das estrelas como o Sol.

Interação Forte (g)

O glúon (g) desempenha para a **interação forte** papel semelhante ao dos fótons para a interação eletromagnética. Eles são trocados entre partículas que possuem "cargas de cor", como os quarks. As três "cores" são as "cargas fortes" equivalentes às cargas elétricas positiva e negativa. A interação forte é 100 vezes mais intensa que a interação eletromagnética e seu alcance não vai além do núcleo atômico. Ela é responsável por manter os quarks ligados, formando prótons e nêutrons, e seu efeito residual de longa distância mantém prótons e nêutrons unidos, formando o núcleo atômico.

Antipartículas

Toda partícula possui sua antipartícula, com mesma massa e spin, mas com carga oposta. Para diferenciar as antipartículas das partículas, as correspondentes antipartículas são denotadas com uma barra sobre seu símbolo ou então pela troca de carga (+ ↔ -). A matéria formada por antipartículas é chamada de antimatéria.

Para obter mais informações sobre os conceitos apresentados neste cartaz, acesse o site:

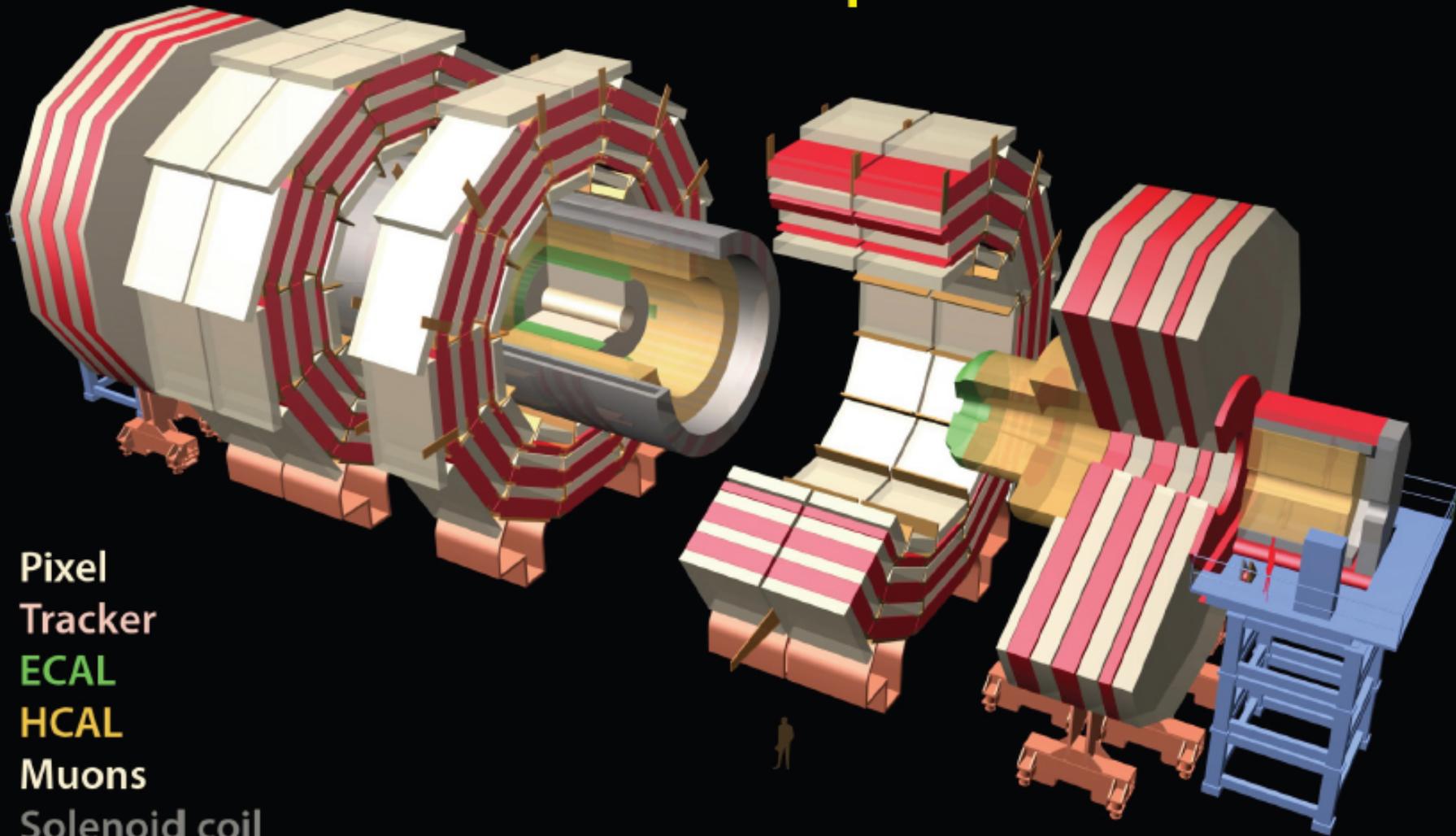
<http://www.sprace.org.br/eem/>

Se você quiser fazer perguntas sobre o tema para especialistas na área ou discutir com seus colegas, acesse o Fórum de Discussão no site:

<http://www.sprace.org.br/forum/>

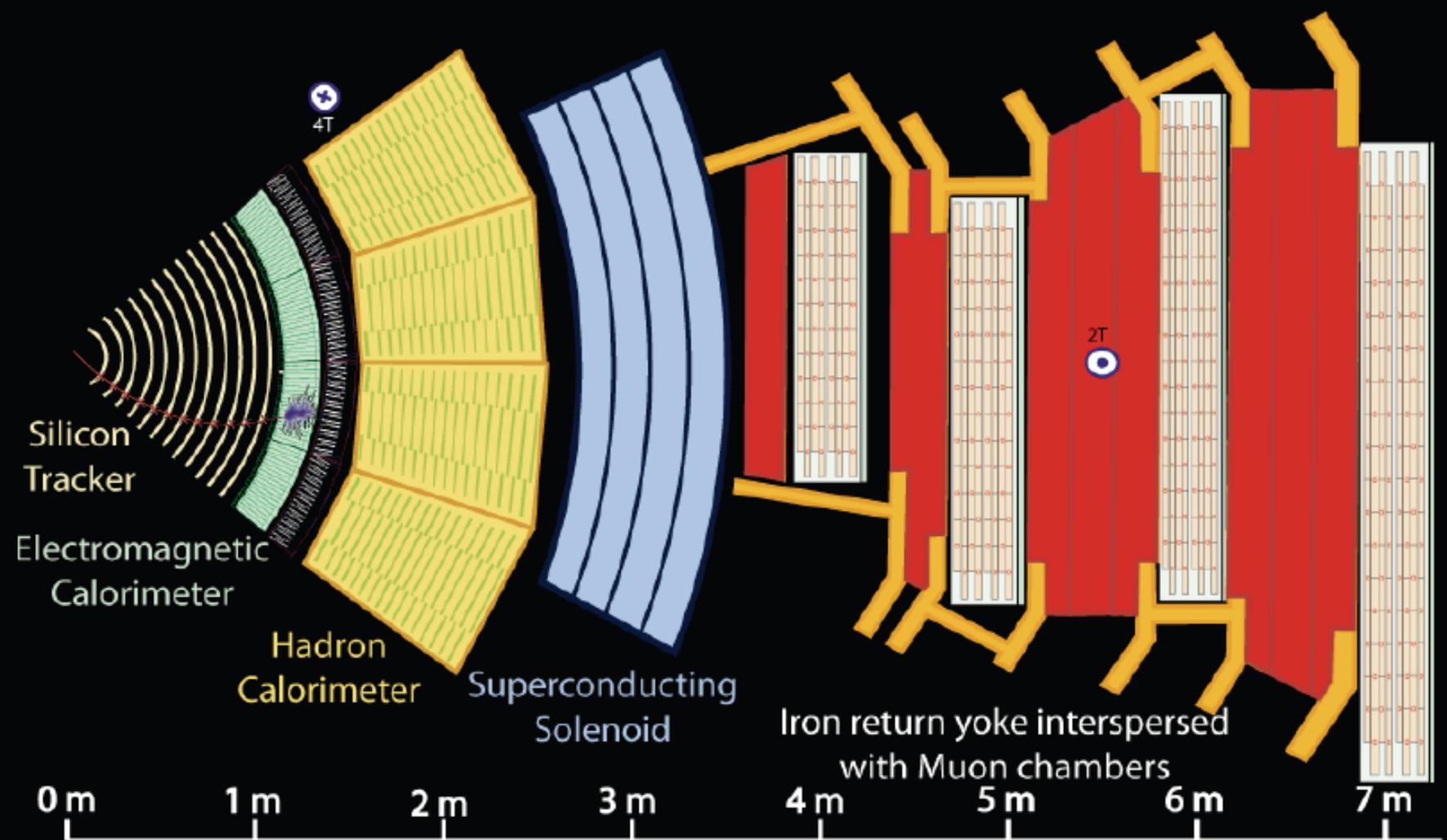


Compact Muon Solenoid



Pixel
Tracker
ECAL
HCAL
Muons
Solenoid coil

| Peso: 16.000 ton. | Diâmetro: 15 m | Comprimento: 21,6 m | Campo Magnético: 4 Tesla |



Key:

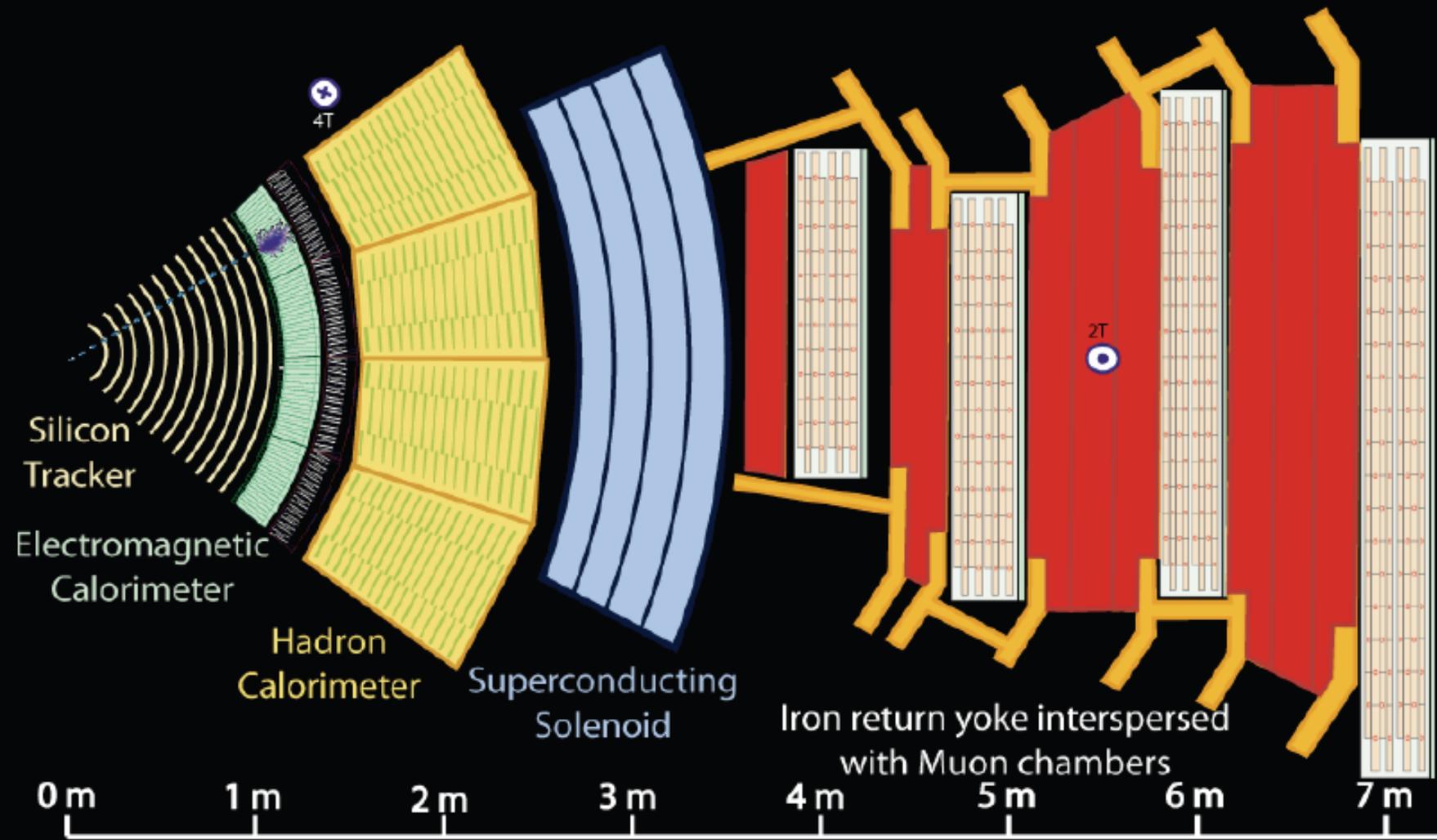
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

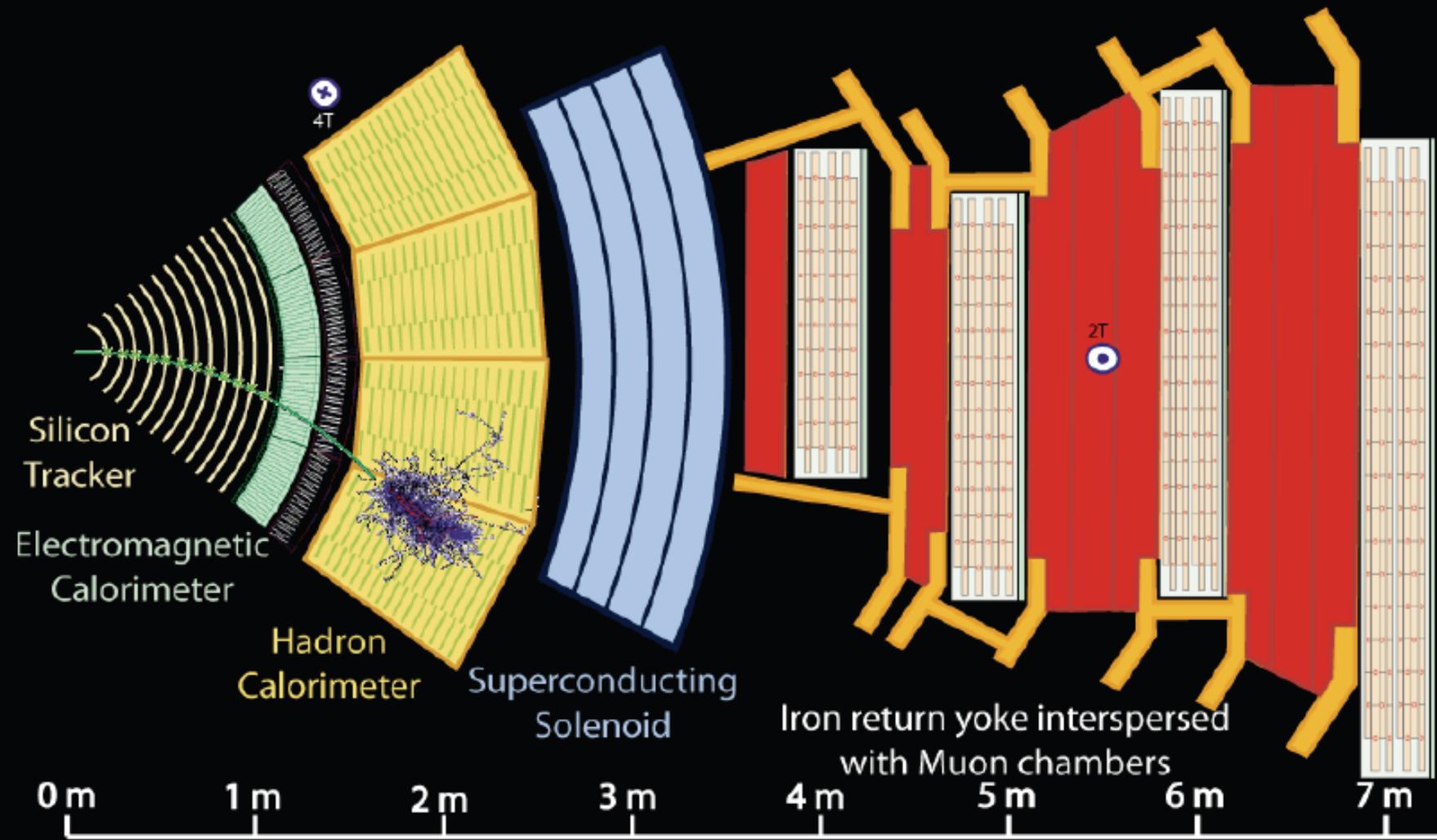
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



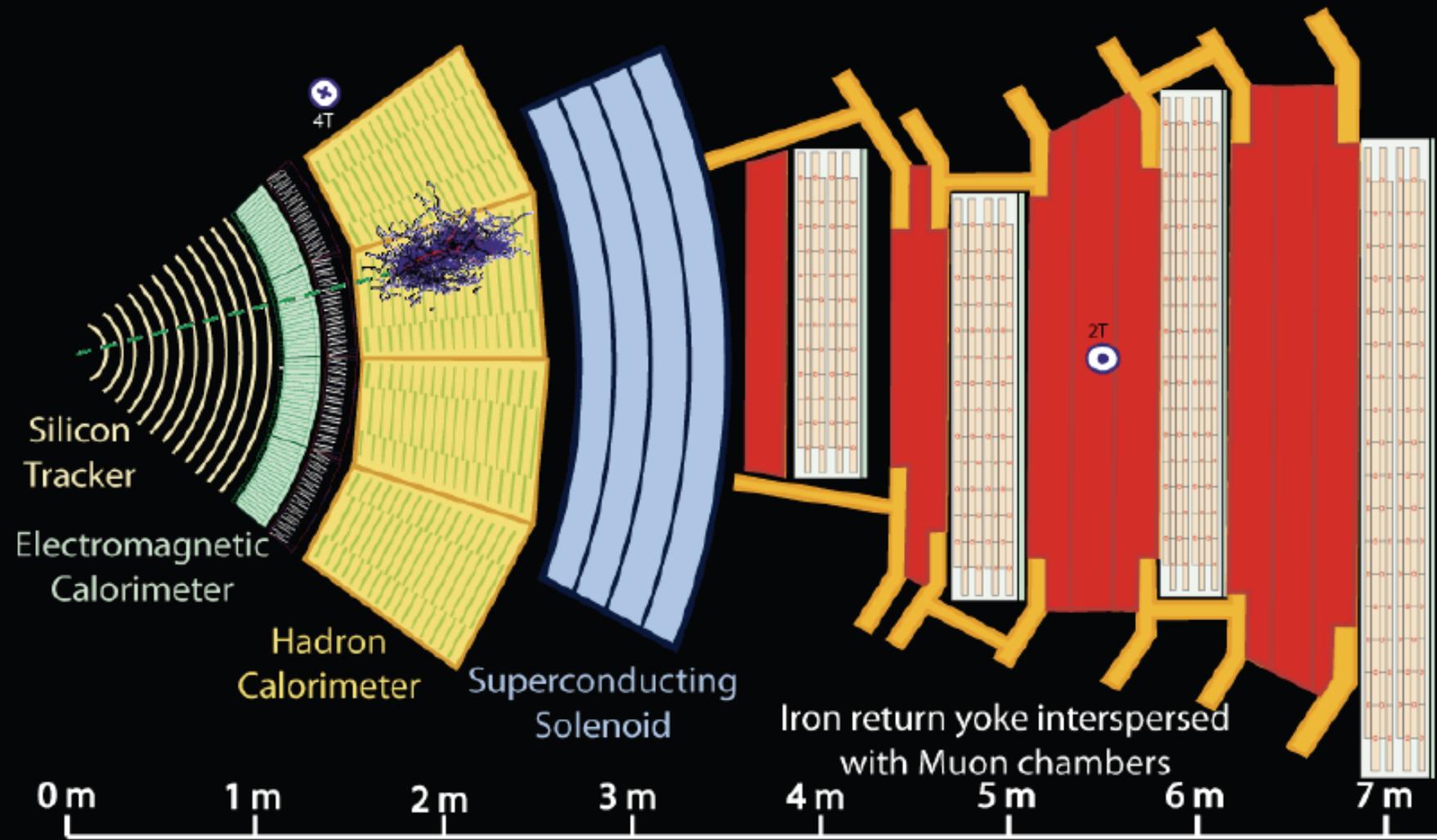
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



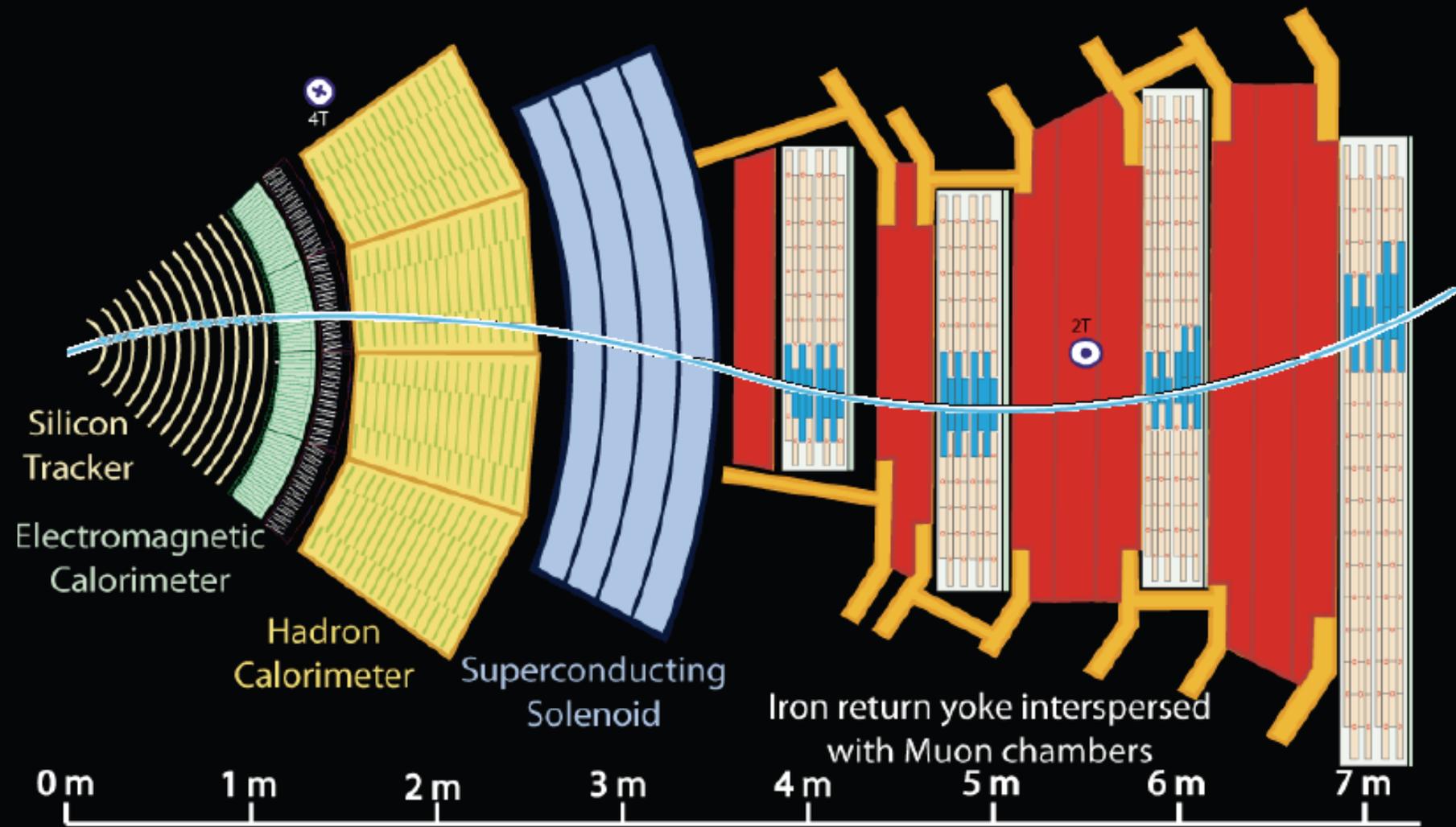
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

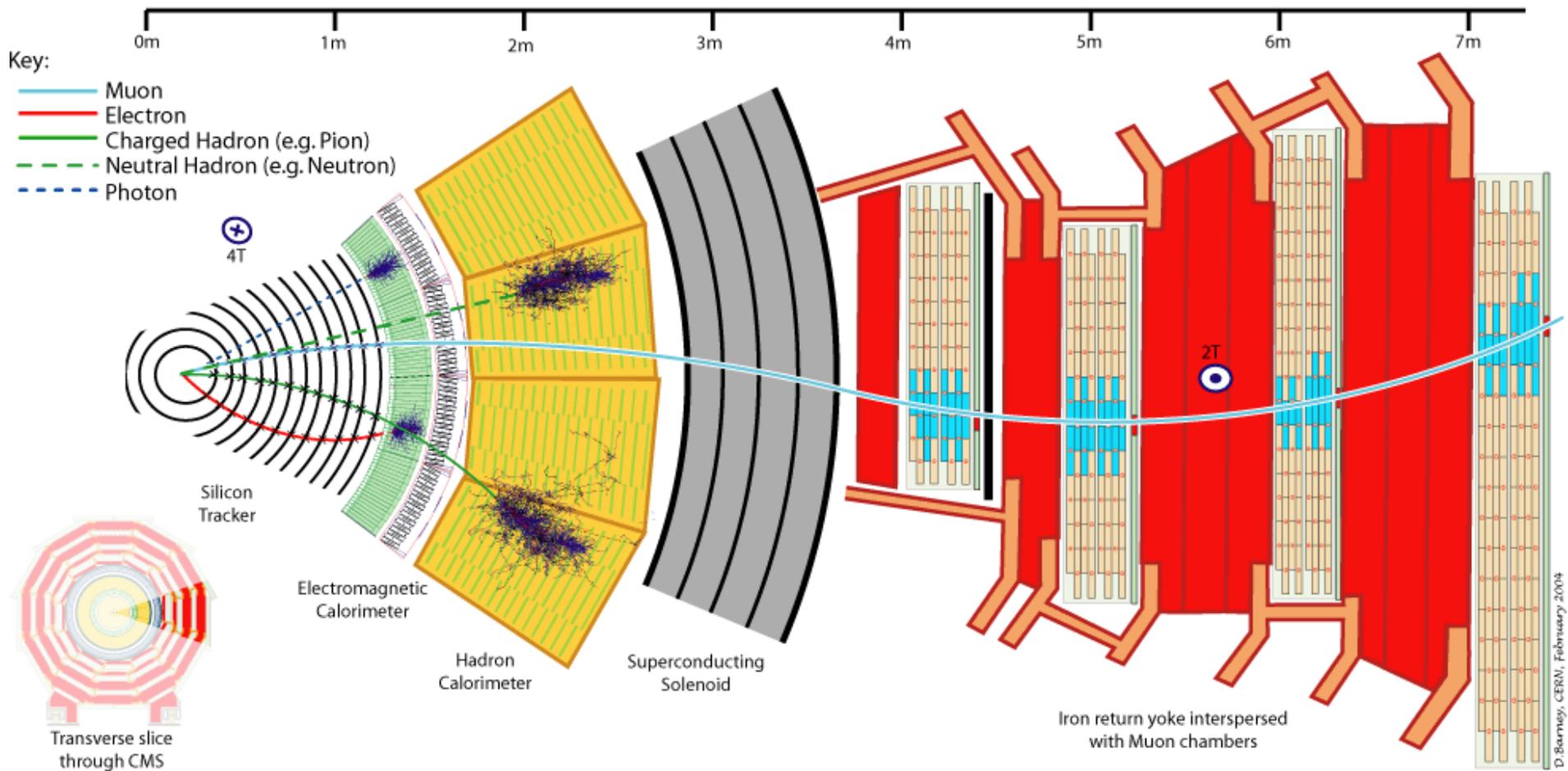
- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon

Detecção no CMS



Identificando Bósons W, Z e Higgs

W e Z

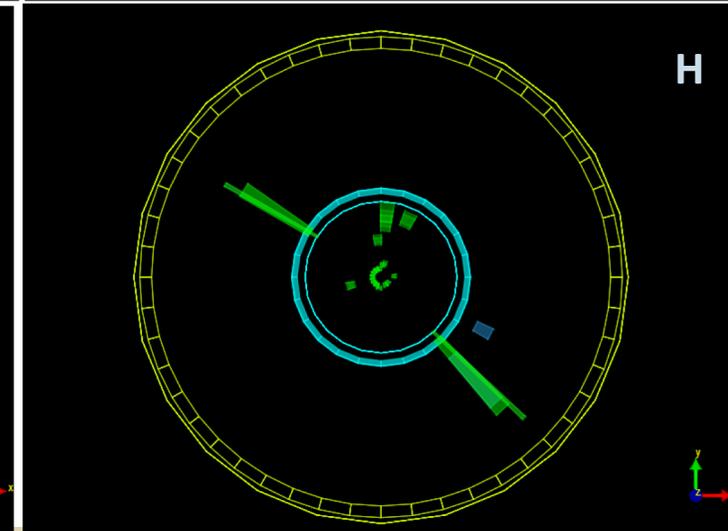
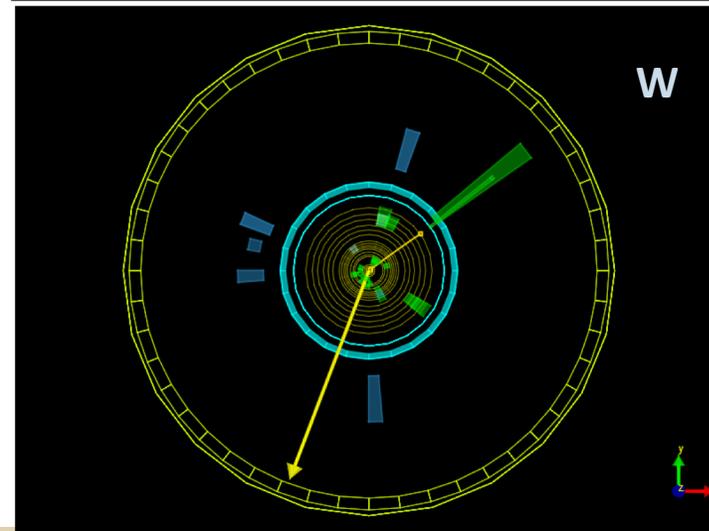
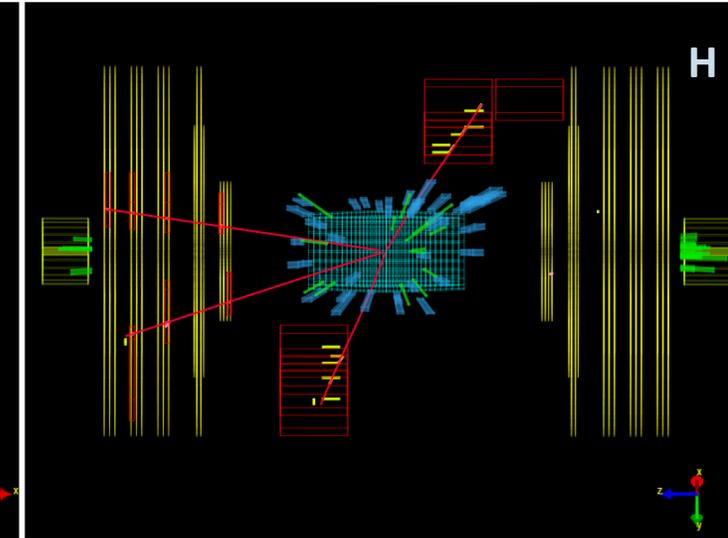
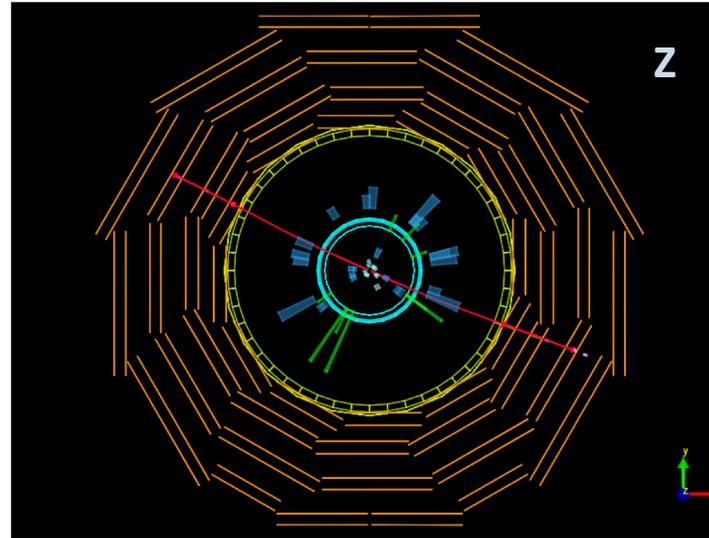
- ❑ Mediadoras da força fraca
- ❑ Decaem imediatamente

Higgs (H)

- ❑ Responsável por gerar massa para outras partículas

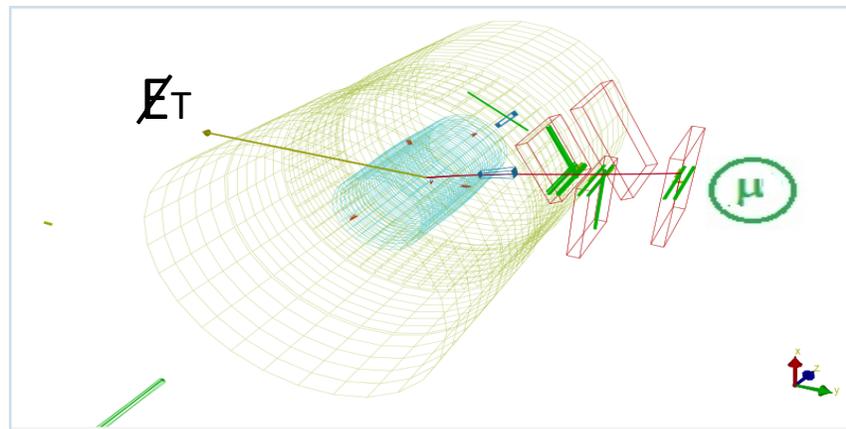
Como identificá-las?

- ❑ Decaimentos leptônicos

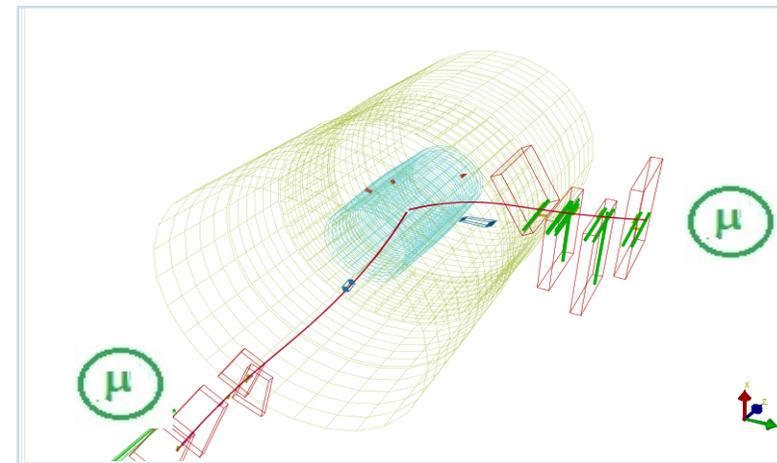
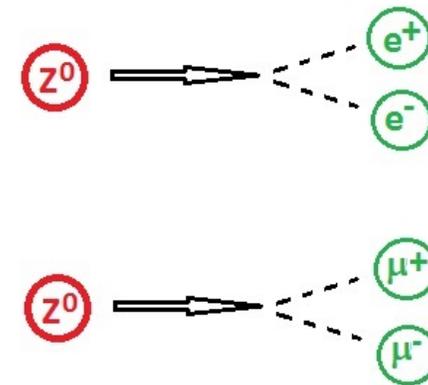


É possível separar W's de Z's ?

Decaimento leptônico do W



Decaimento leptônico do Z



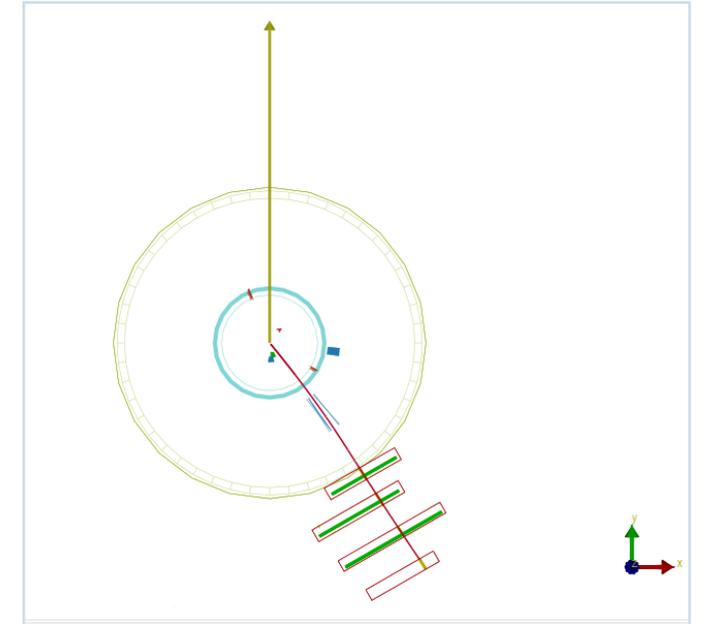
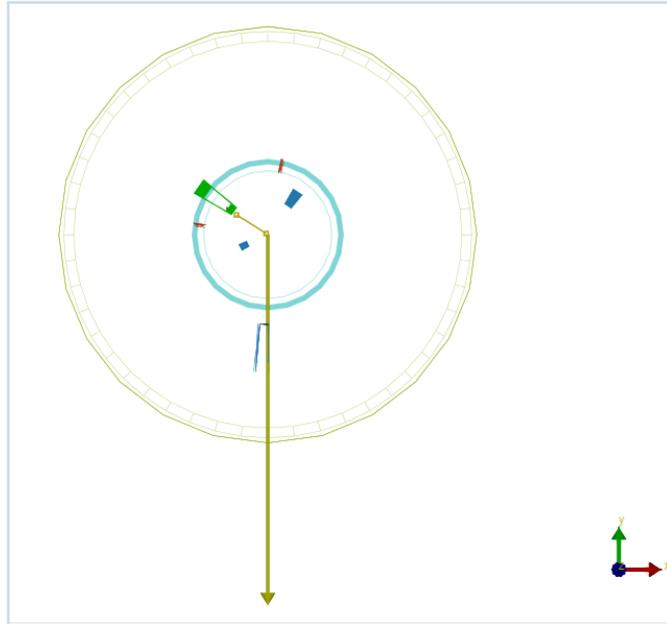
É possível diferenciar elétrons de múons ?

Elétrons depositam toda a energia no calorímetro eletromagnético

Muons atravessam o sistema de calorímetros

Muons deixam traços no sistema de múons

Vamos calcular a razão muons/eletrons. O que esperamos?



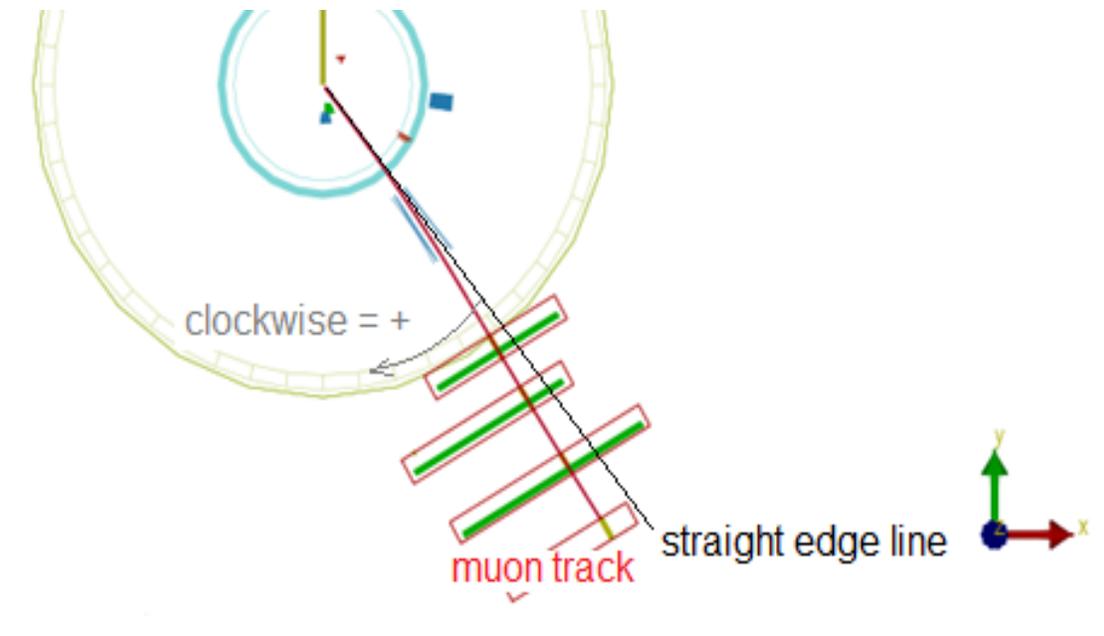
É possível diferenciar a carga?

Campo magnético na direção do eixo z

Partículas positivas curvam no sentido horário

Vamos calcular a razão +/- para os bósons W

Esperamos alguma diferença?



É possível identificar o Higgs?

Modos de decaimento

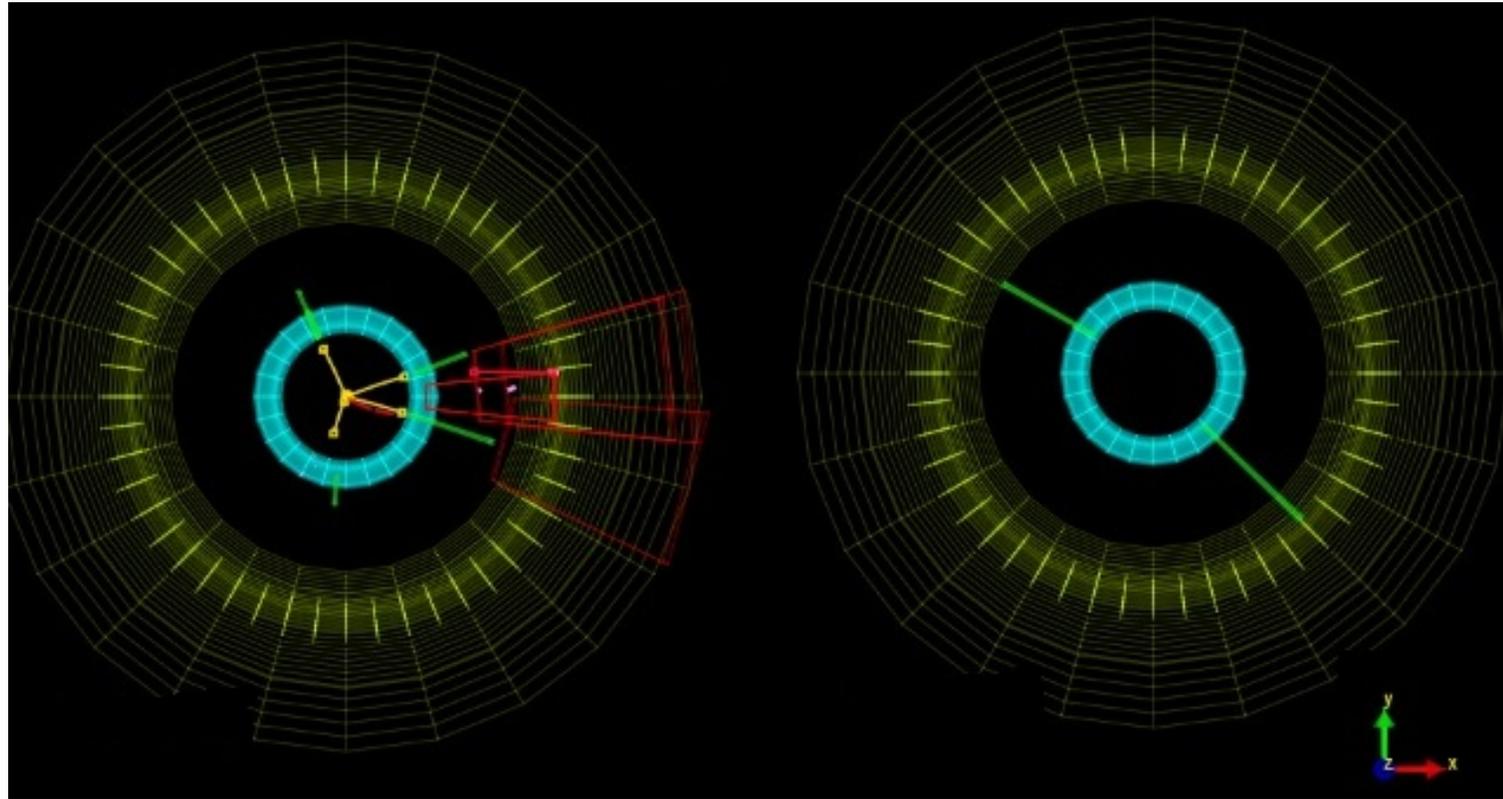
- ❑ b b
- ❑ 2 Z's -> 4 leptons
- ❑ 2 fótons

Identificar fótons:

- ❑ Calorímetro eletromagnético
- ❑ Sem traço

Identificar 4 leptons

- ❑ 2 muons, 2 elétrons
- ❑ 4 muons
- ❑ 4 elétrons



Pergunta: Como sabemos que um par de muons veio de uma partícula que decaiu?

Massa invariante do bóson Z

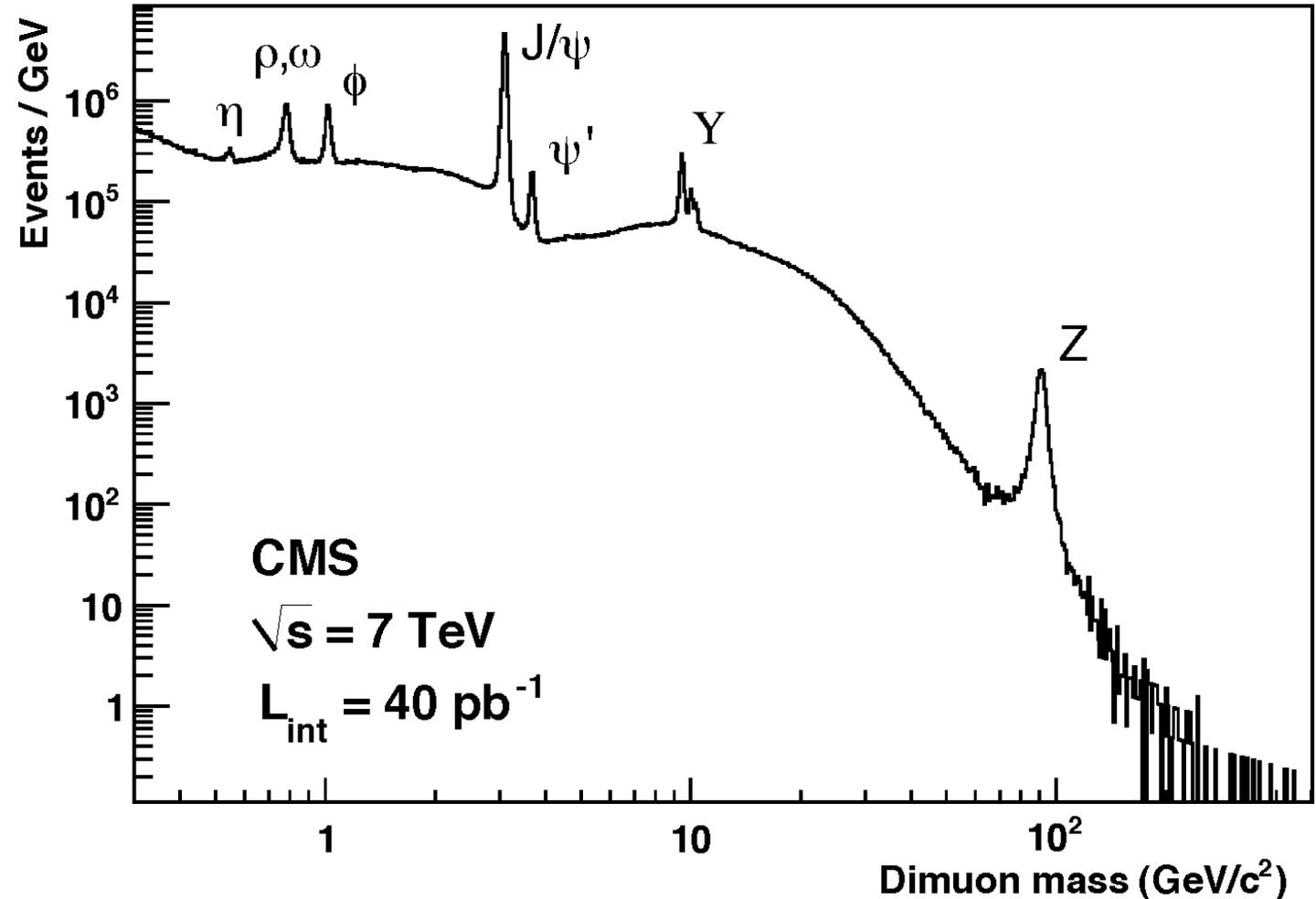
Massa Invariante:

- Relação massa-energia

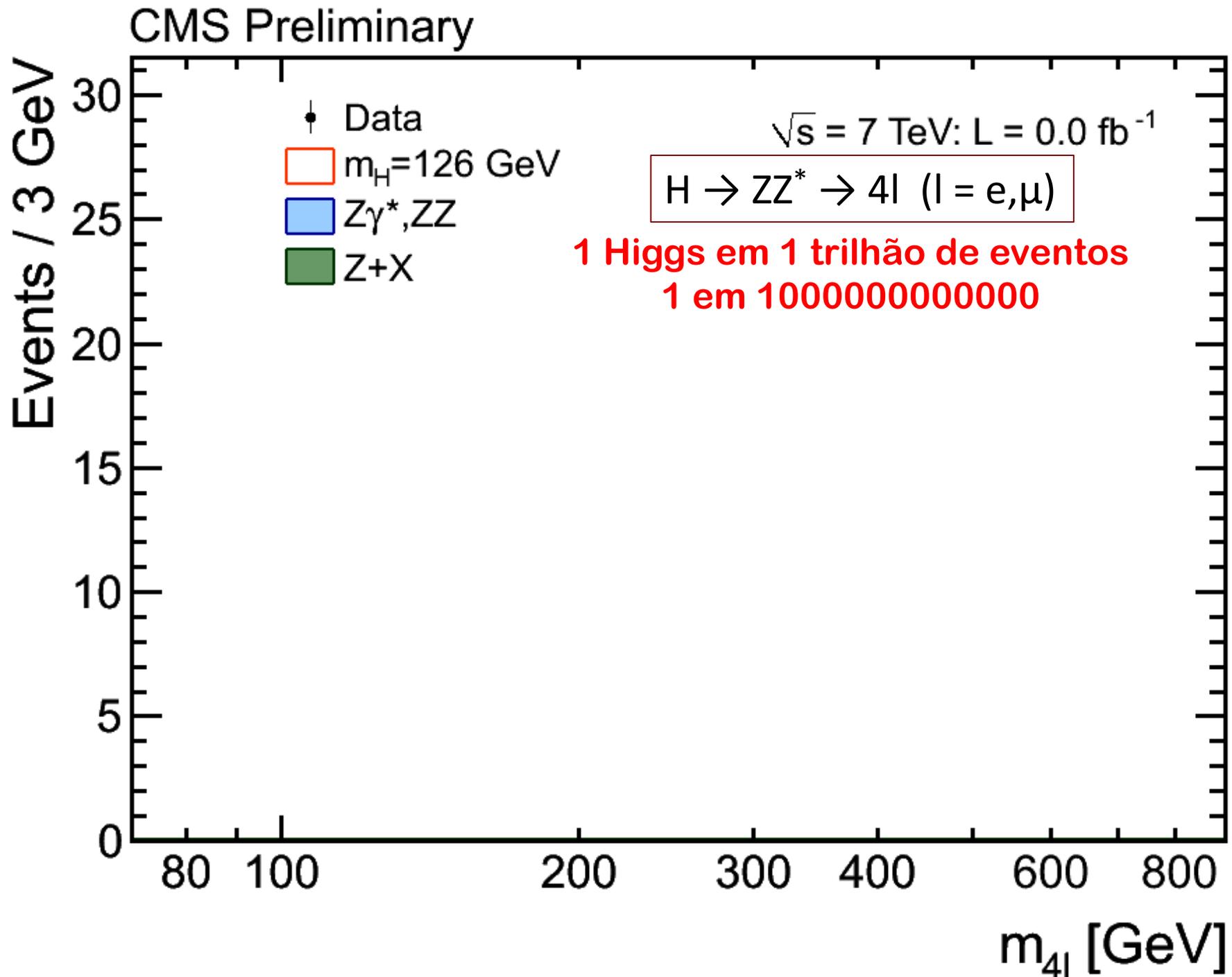
$$E = mc^2$$

- Partícula decai: Energia final é a massa da partícula que decaiu

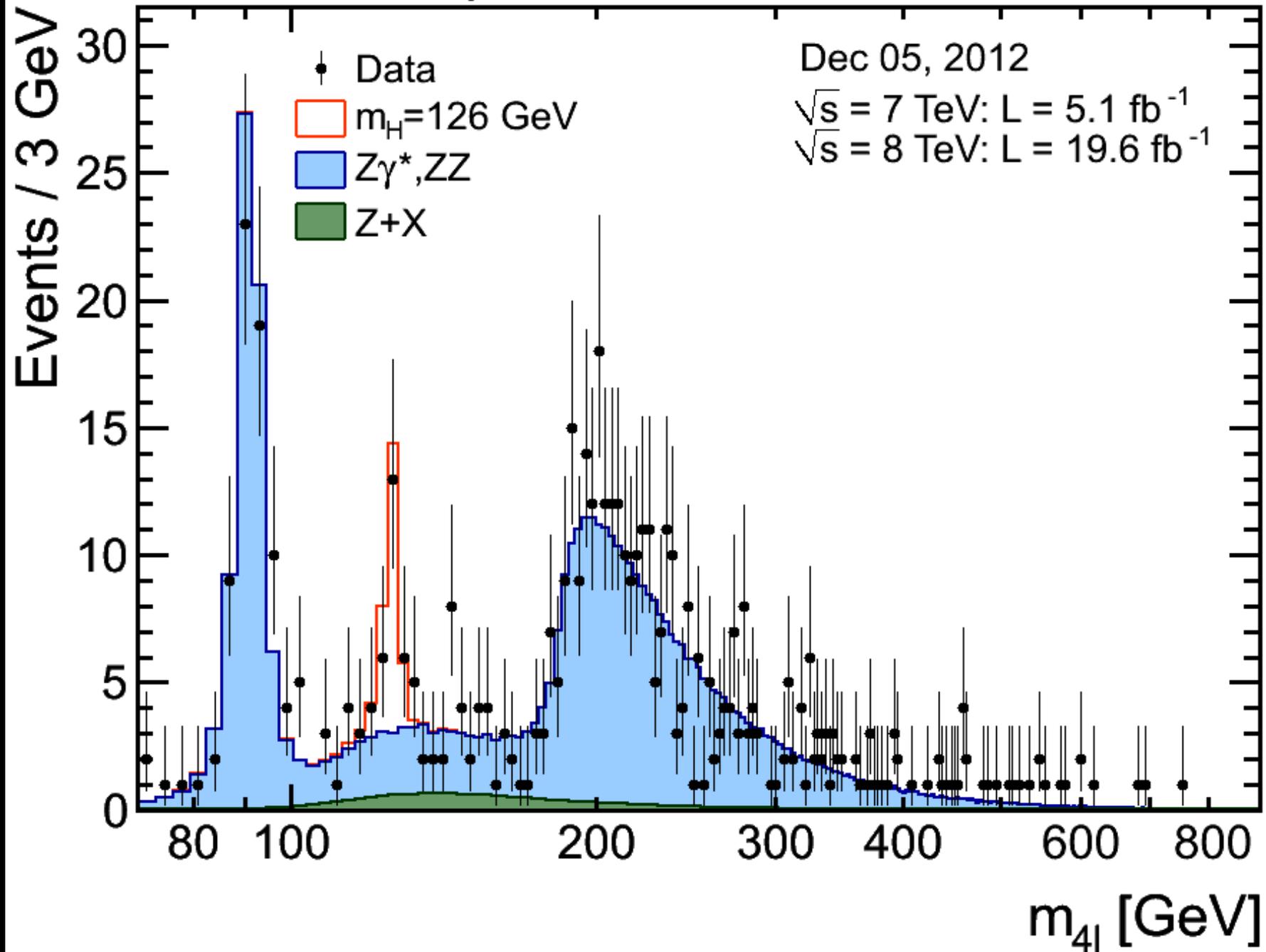
- Medindo a energia do par resultante, determinamos a massa da partícula que decaiu



Histograma da descoberta do Higgs



CMS Preliminary



Mecânica do Exercício

Abrir evento de sua lista (conferir o número!)

Para cada evento, identifique o estado final e selecione um candidato (muon ou elétron)

- ❑ Para Higgs ou candidato Zoo, nenhum estado final é escolhido

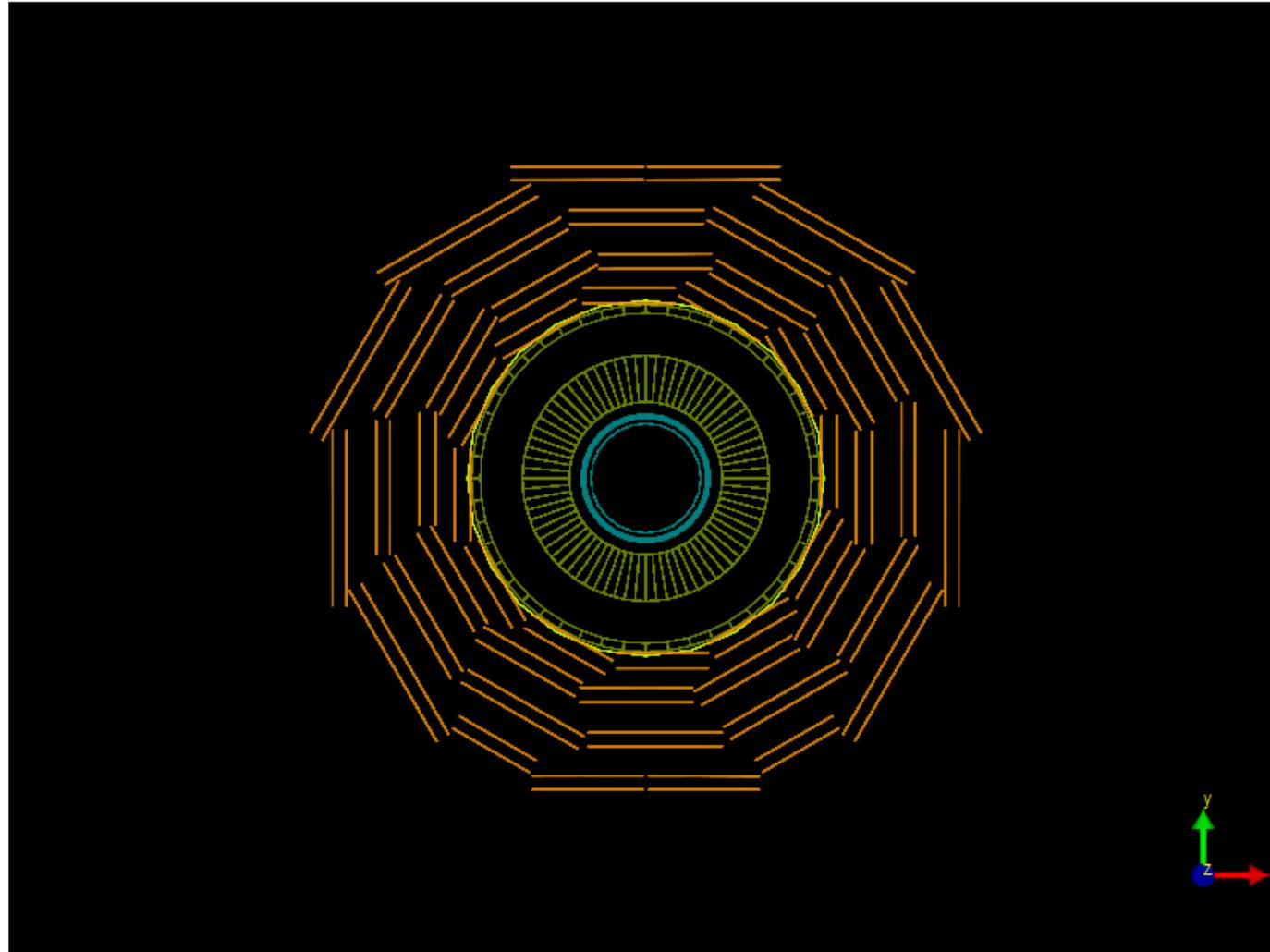
Determine a partícula produzida (W ou Z)

- ❑ Para o W determine a carga (W + ou W-). Se não conseguir escolha W
- ❑ Para uma partícula neutra (como um Z), selecione NP (Neutral Particle).
 - Encontre sua massa no Display de Eventos e insira-a.
 - Preencha o histograma.

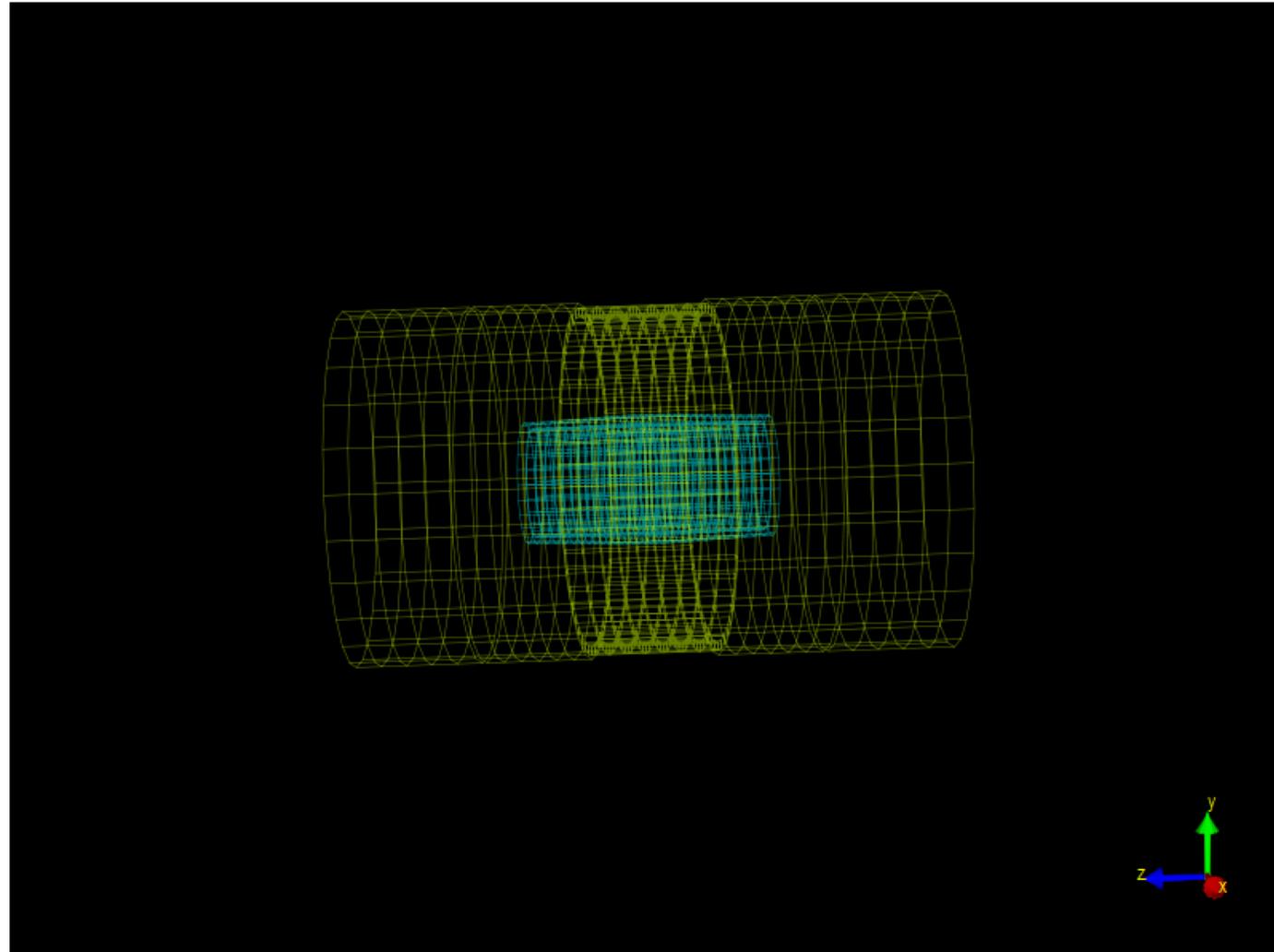
Depois de ter selecionado tudo, clique em "Submit".

Vá para o próximo evento!

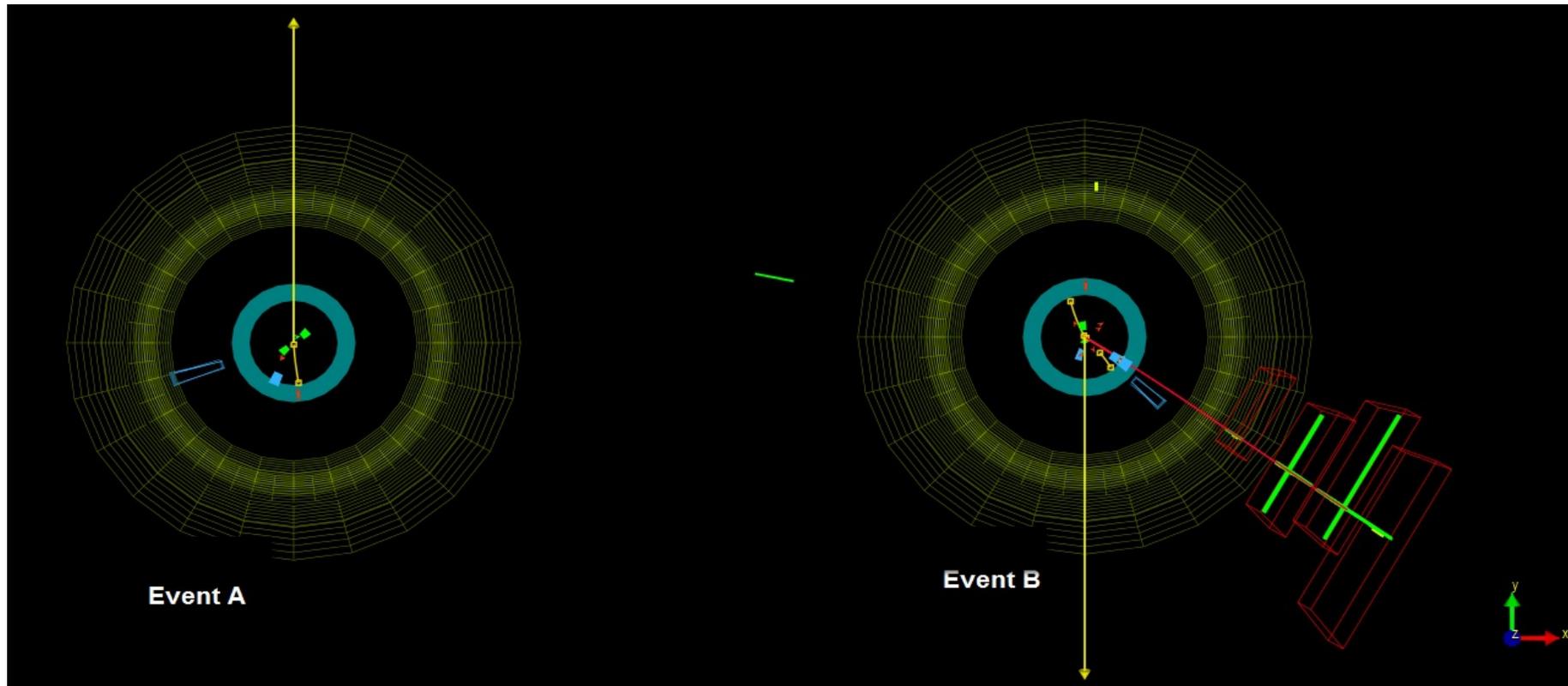
Seção Transversal do Detector



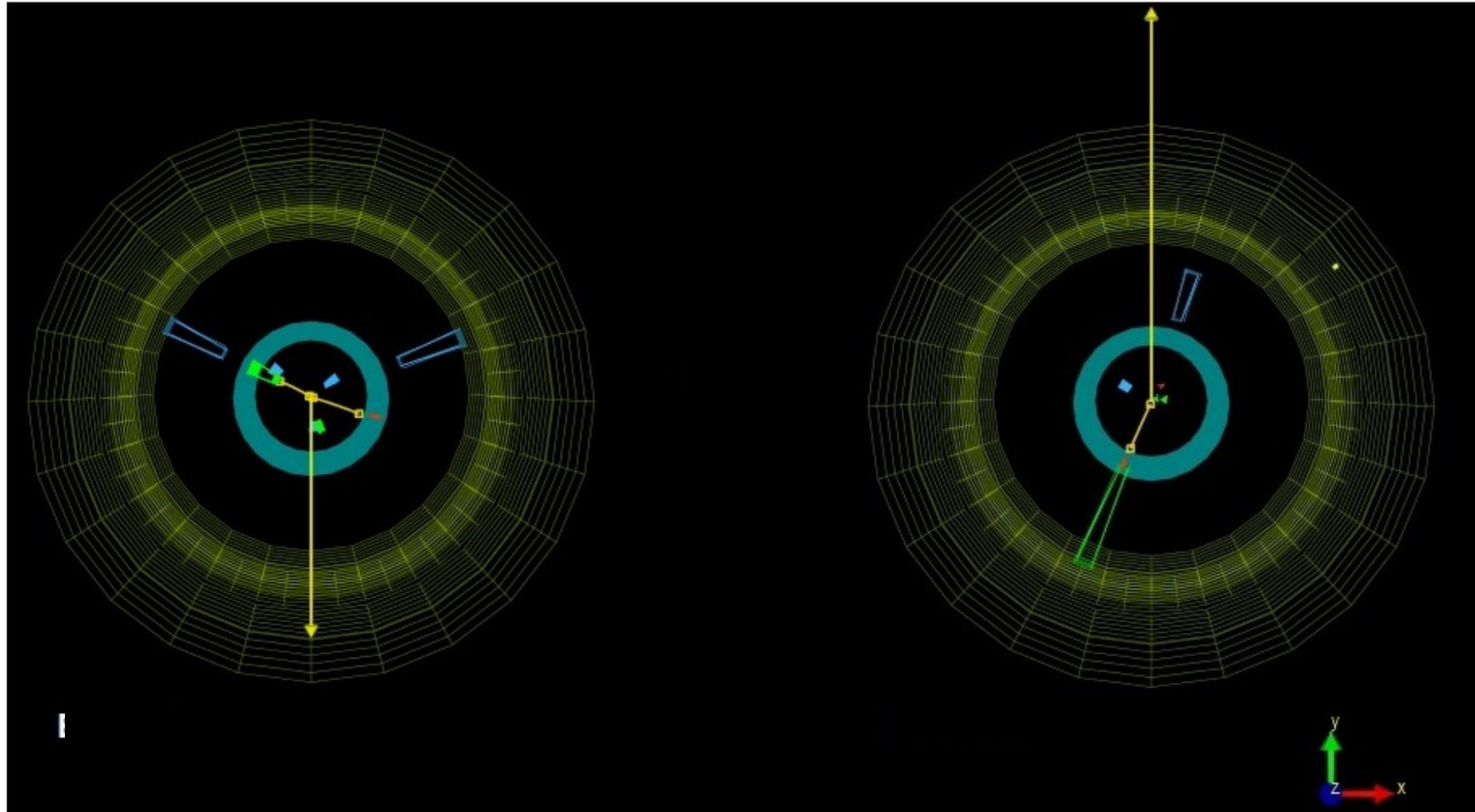
Visão Lateral do Detector



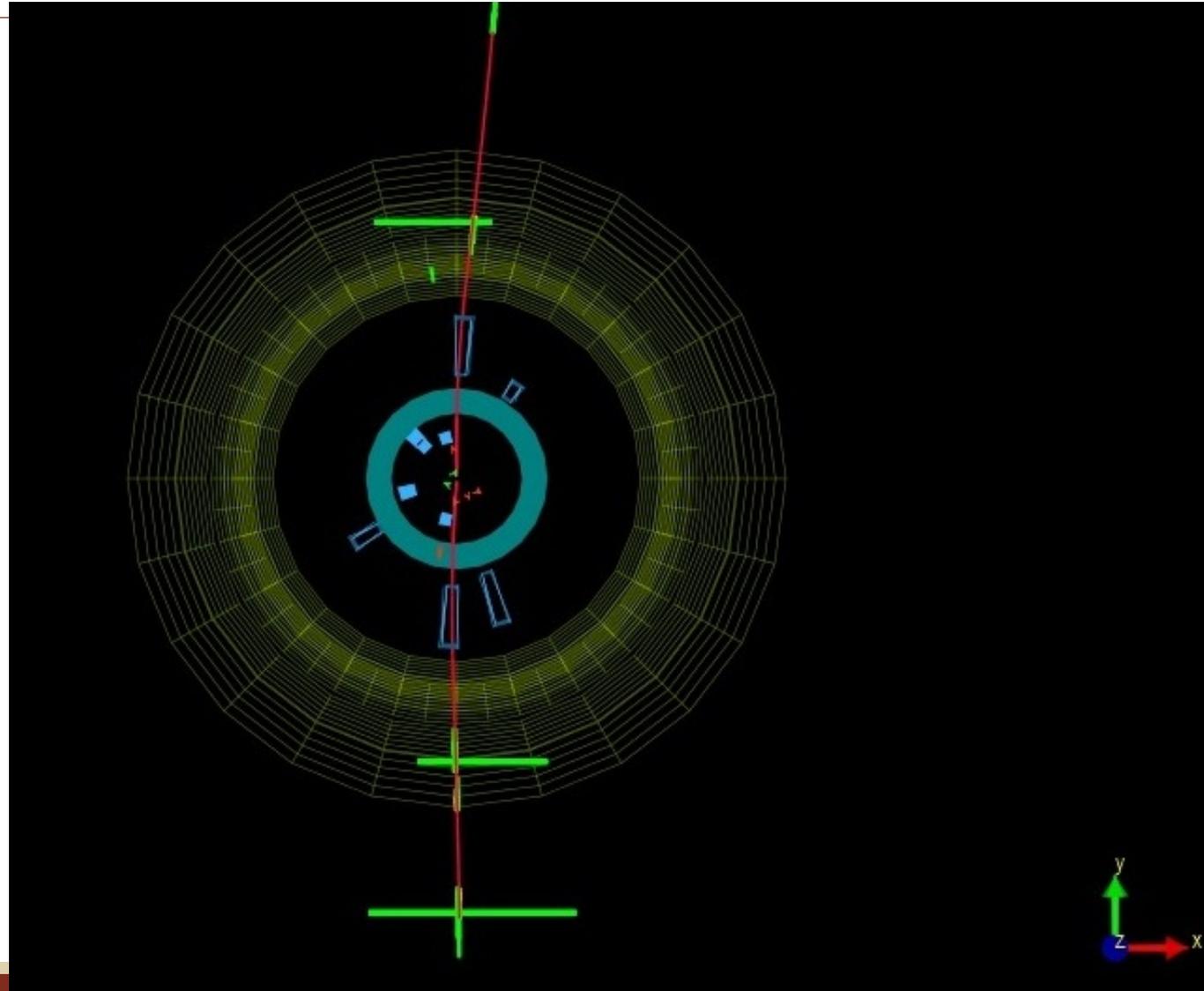
Decaimento Leptônico do W



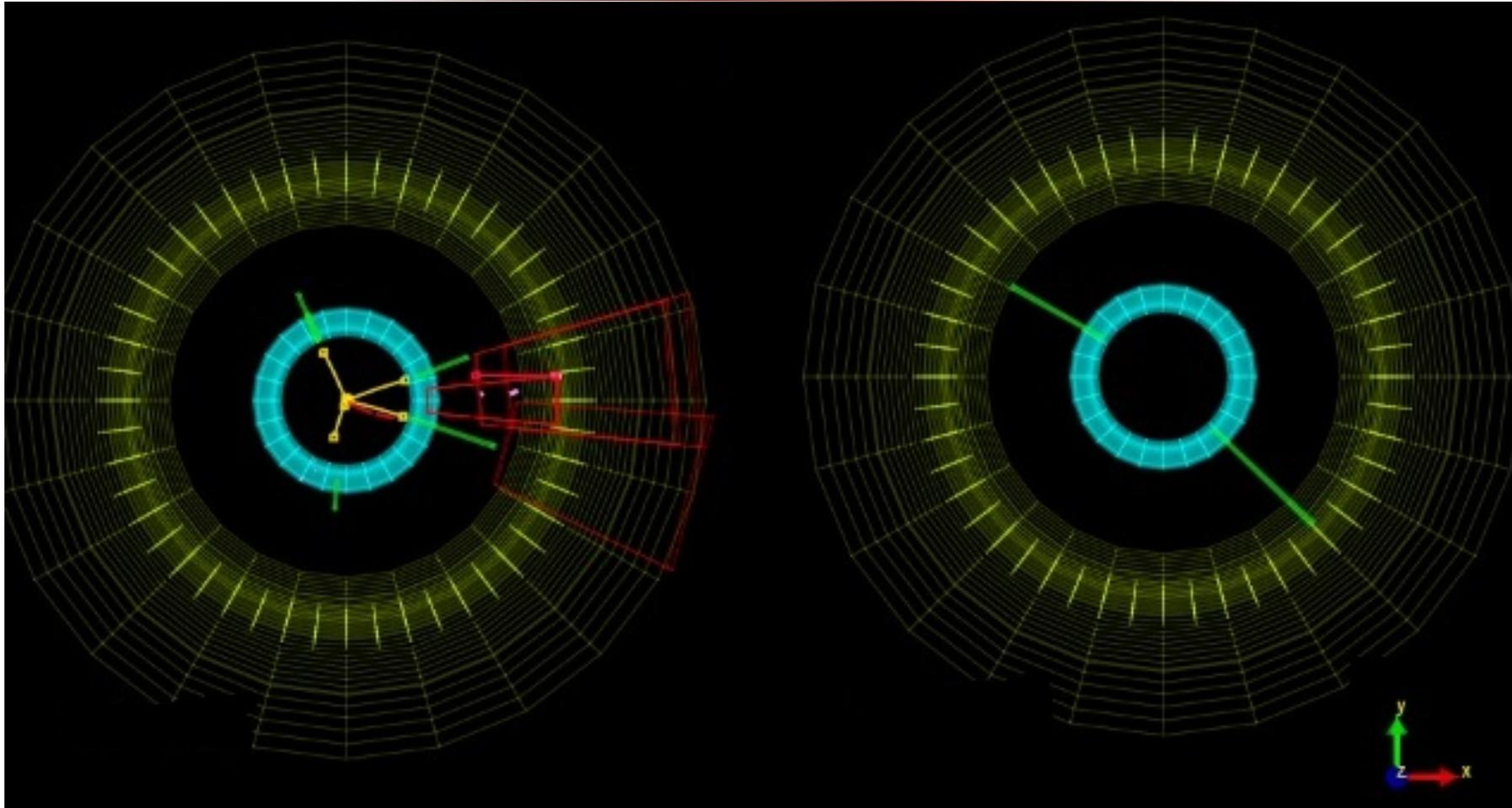
Decaimento Leptônico do W



Decaimento Leptônico do Z



Como identificar o bóson Higgs?



Decaimento em 4 léptons

Decaimento em 2 fótons

CIMA

Masterclass: CERN-10Mar2017
location: SaoPauloSPRACE-A2017
Group: 61

Instructions (also available as [screencast](#)):

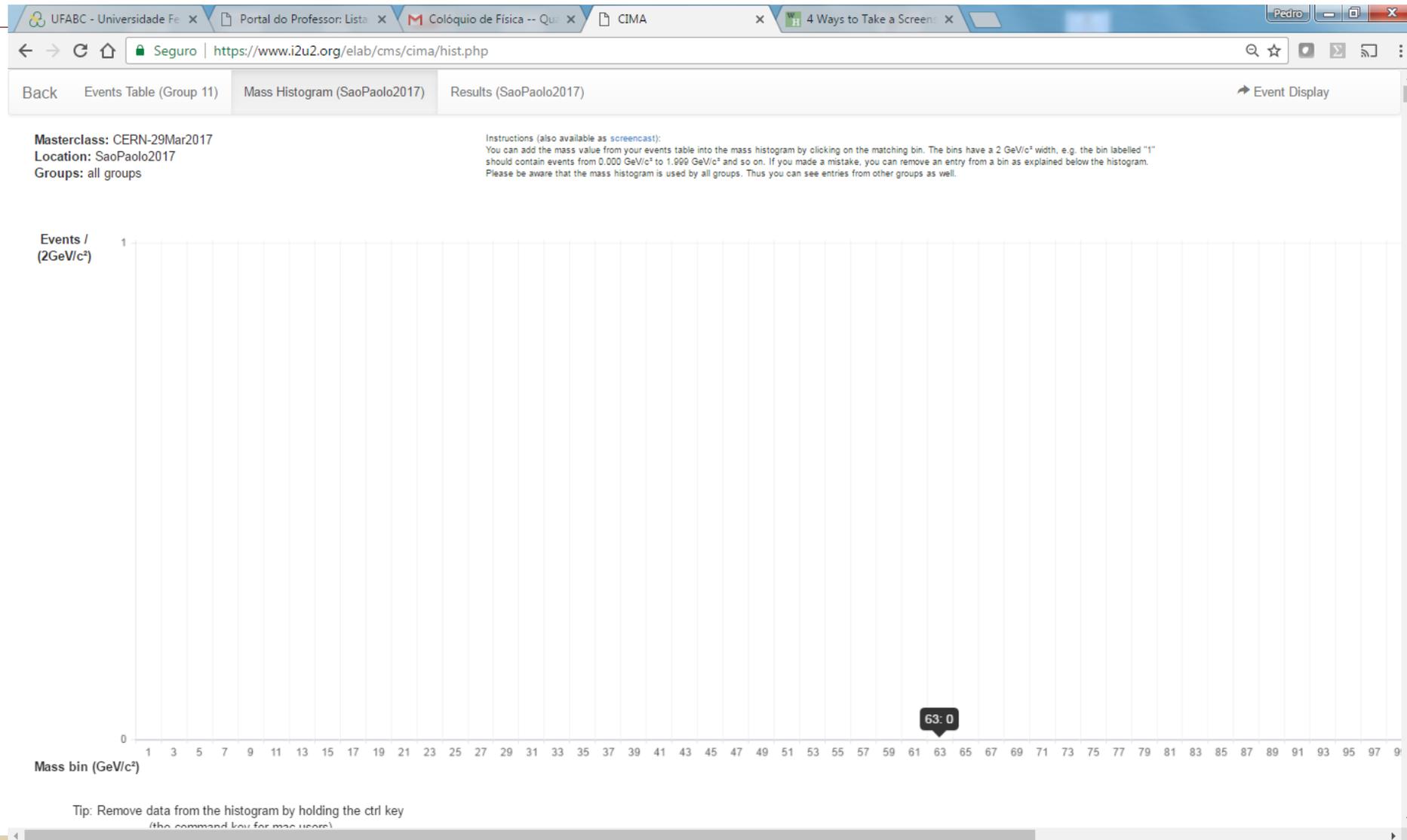
1. For each event, identify the final state and select a primary state candidate.
 - o For Higgs or Zoo candidate, no final state is chosen
 - o If you cannot decide between W^+ and W^- , choose W instead
2. If you think the final state is a neutral particle (like a Z), but you don't know its exact type, select NP for "neutral particle." Find its mass from the Event Display and enter it.
3. Once you have selected everything, click "Submit".

In case of an error, double clicking the data line will reload it; you can then try it again.

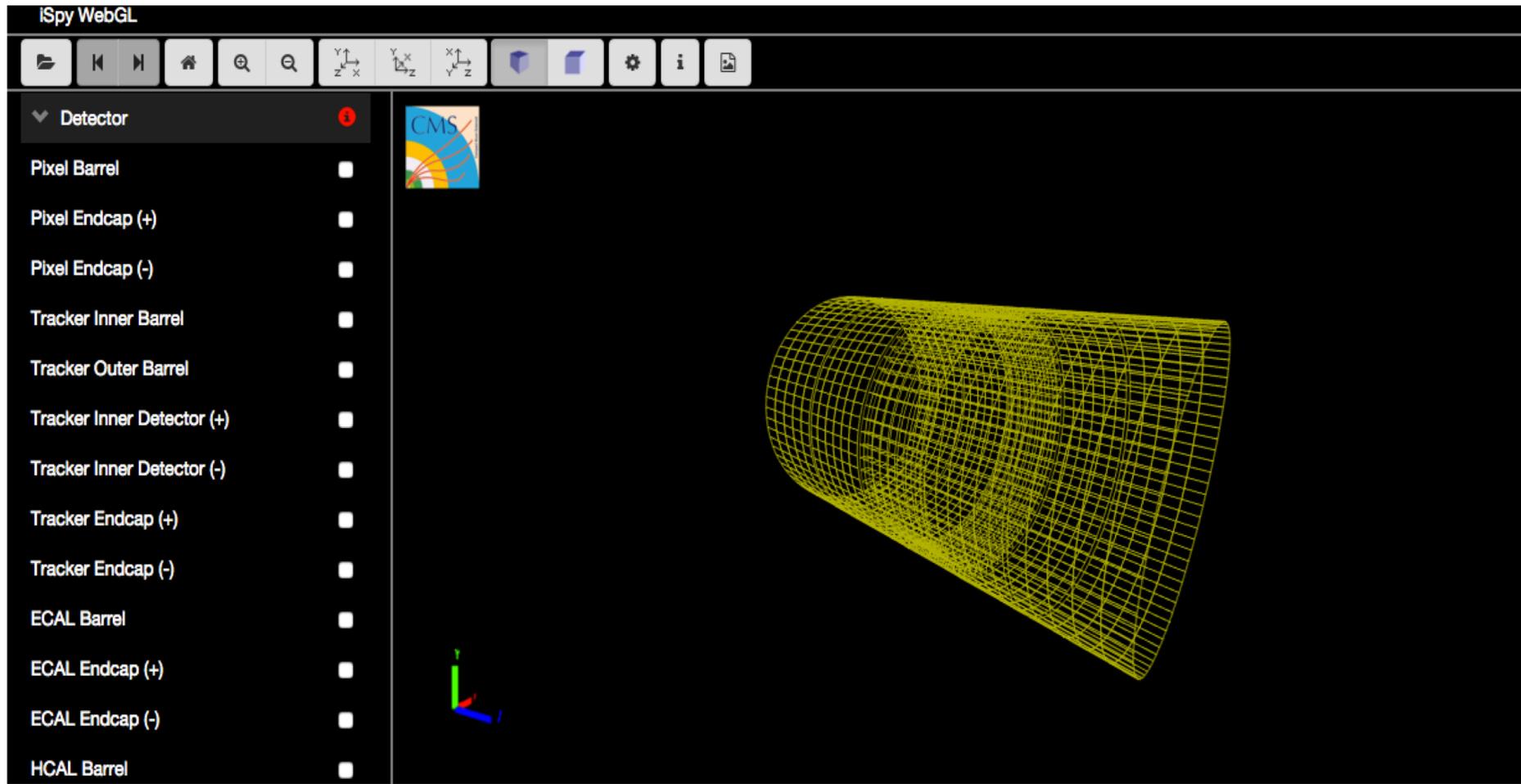
Select Event Event index: <input type="text" value="1"/> Event number: 61-1	final state <input type="checkbox"/> Electron <input type="checkbox"/> Muon (μ)	primary state candidate <input type="checkbox"/> W^- <input type="checkbox"/> W^+ <input type="checkbox"/> NP <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> Higgs <input type="checkbox"/> Zoo	NP Mass: <input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Submit"/>
--	--	---	--

<https://www.i2u2.org/elab/cms/cima/>

Histograma



ISPY



EVENTS

▼ HCAL ⓘ

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Outer Rec. Hits
- Forward Rec. Hits

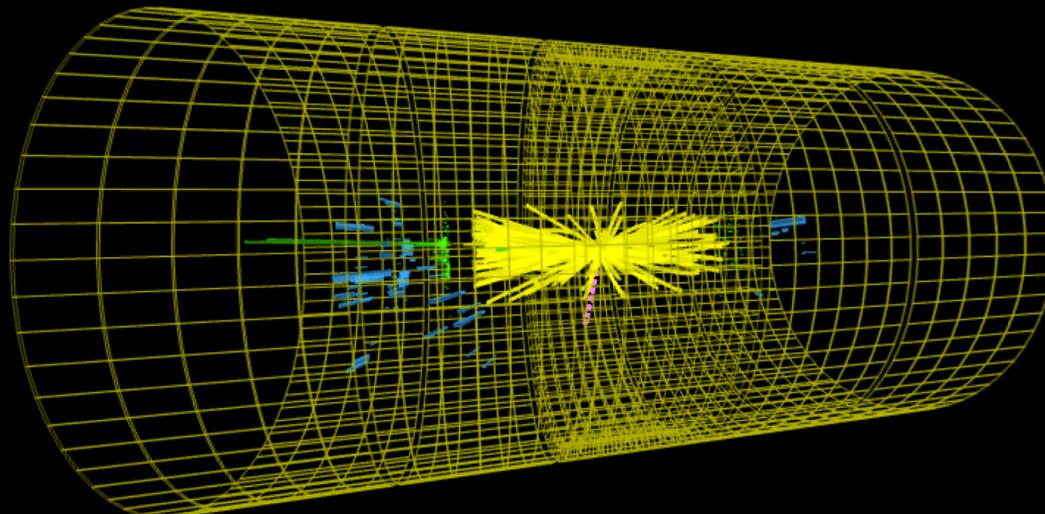
▼ Muon ⓘ

- DT Rec. Hits

▼ Physics ⓘ

- Vertices (reco)
- Electron Tracks (GSF)
- Photons (Reco)
- Jets (Reco)
- Missing Et (Reco)

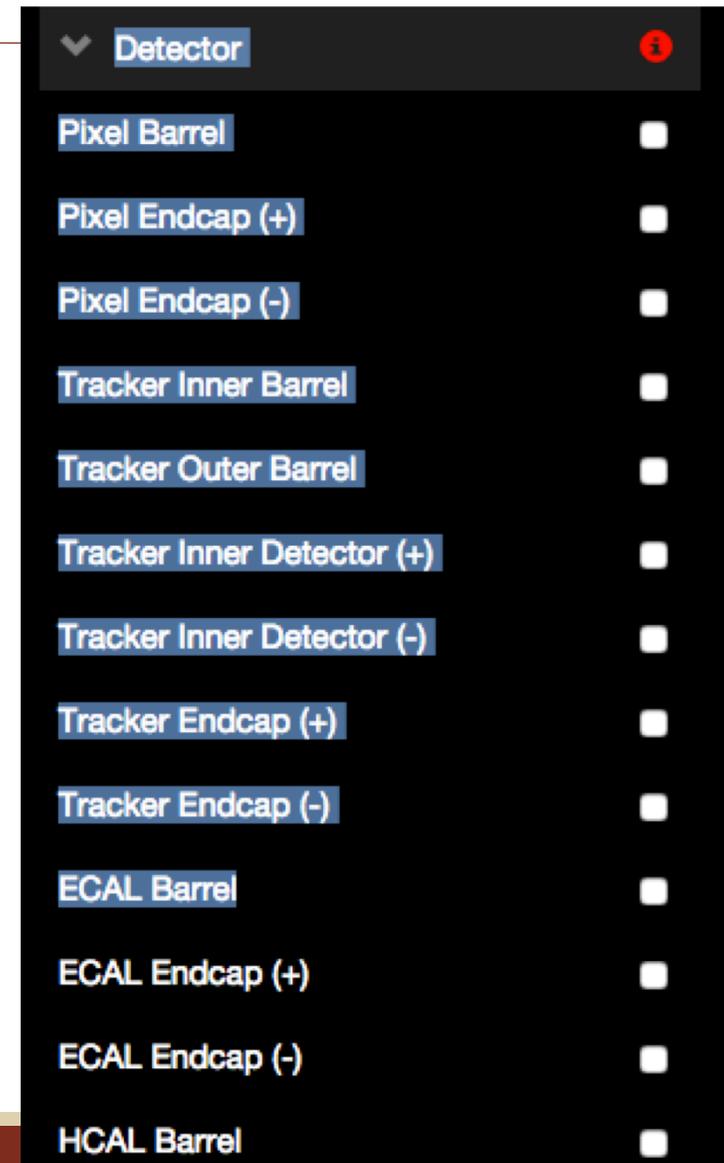
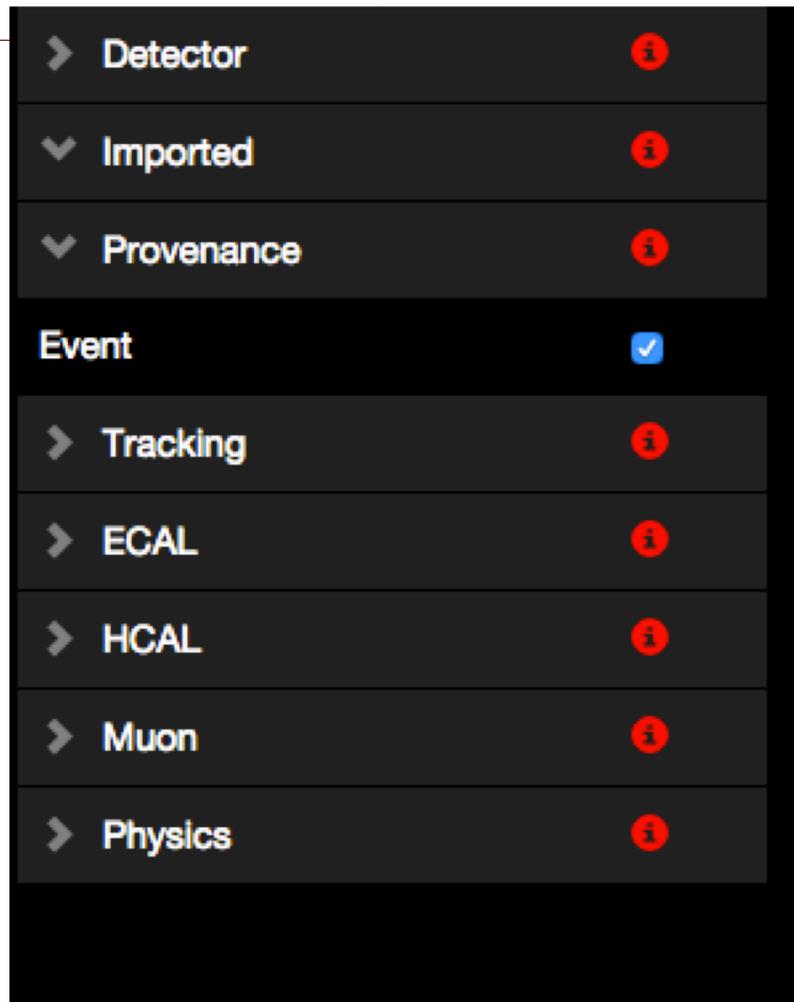
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2010-Oct-03 14:23:03.836045 GMT
Run / Event / LS: 147114 / 708526311 / 651



Physics: Missing Et (Reco)

↕ phi	↕ pt	↕ px	↕ py	↕ pz
2.23878	25.7552	-15.9529	20.2197	0

Painel da esquerda



Event

▼ Tracking

SI Pixel Clusters

SI Strip Clusters

Tracking Rec Hits

Matching Tracker Dets

Tracks (reco.)

▼ ECAL

Barrel Rec. Hits

Preshower Rec. Hits

Endcap Rec. Hits

▼ HCAL

Barrel Rec. Hits

Endcap Rec. Hits

Outer Rec. Hits

Forward Rec. Hits

▼ Muon

DT Rec. Hits

▼ Physics

Vertices (reco)

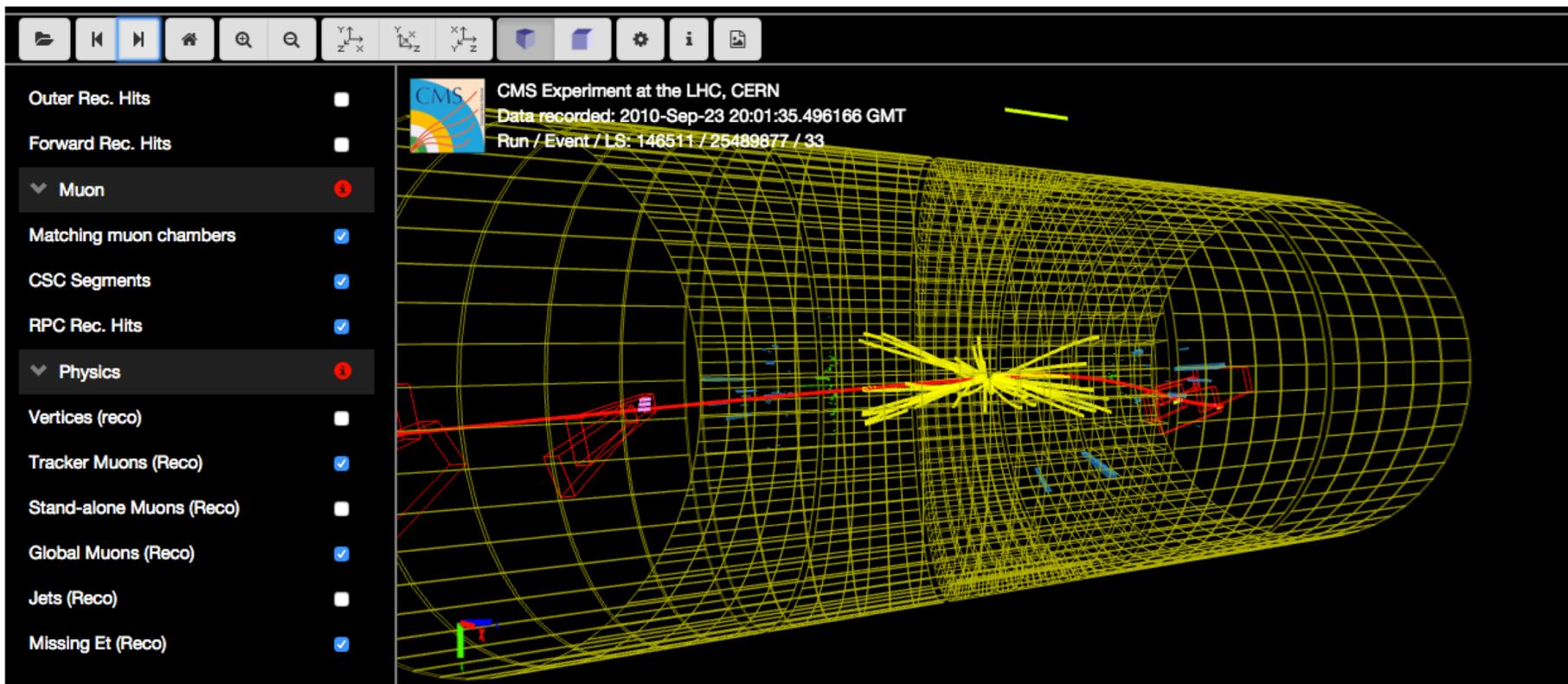
Electron Tracks (GSF)

Photons (Reco)

Jets (Reco)

Missing Et (Reco)

Outro Evento...



Links

<http://www.sprace.org.br/events/MasterClass-2018/>

<http://www.sprace.org.br/eem/>

http://www.hephy.at/fileadmin/user_upload/Physik/Detektoren/CMS_Slice_Loop.swf

https://twiki.cern.ch/twiki/pub/CMSPublic/PhysicsResultsHIG/HZZ4l_date_animated.gif

<http://www.i2u2.org/elab/cms/ispy-webgl/>