



# **aceleradores e detectores na física de partículas elementares**

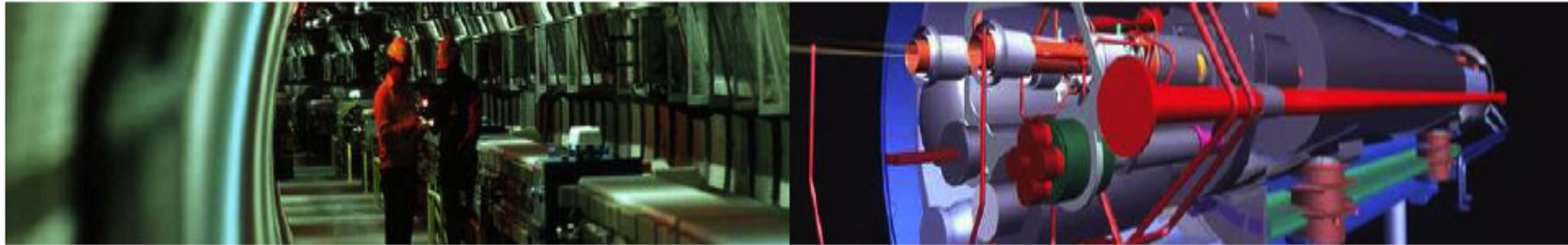
**joão carvalho**

**LIP e departamento de física da universidade de  
coimbra**

**S. Tomé 05 de setembro de 2009**



# estudar as partículas



produzir feixes e colidi-los: aceleradores

olhar para o que resulta: detectores



Acelerador = microscópio gigante

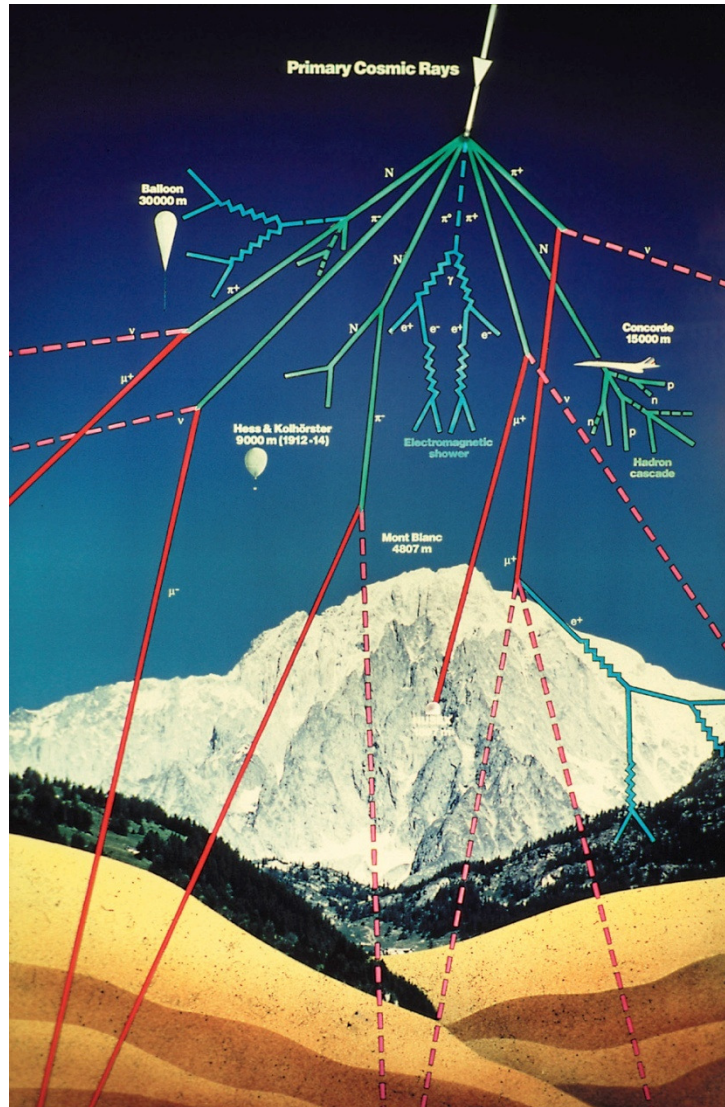
(quanto maior a energia menor o comprimento de onda associado e logo menor a dimensão dos objectos observáveis)

Maior energia = maior massa

(das partículas produzidas nas colisões)

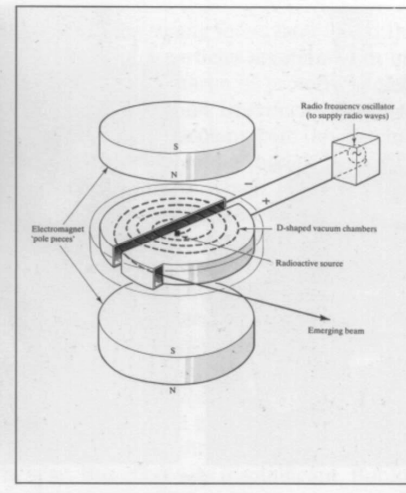
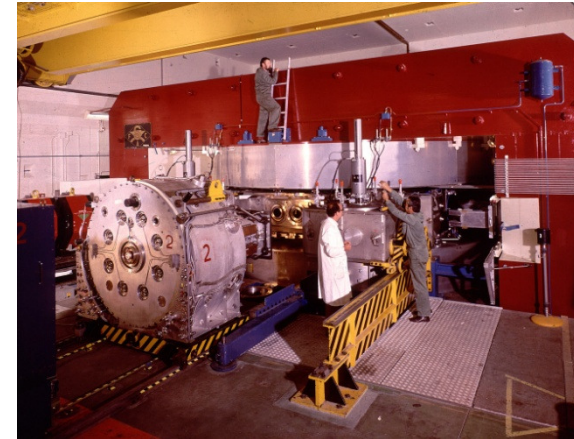
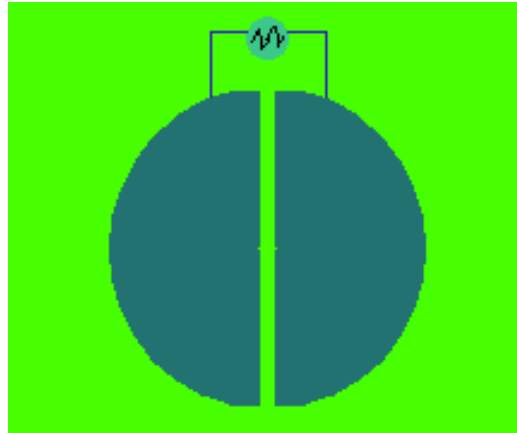
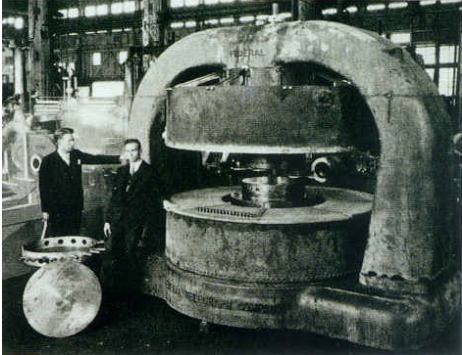
Existem aceleradores de muitos tipos diferentes

# raios cósmicos: o maior acelerador do universo

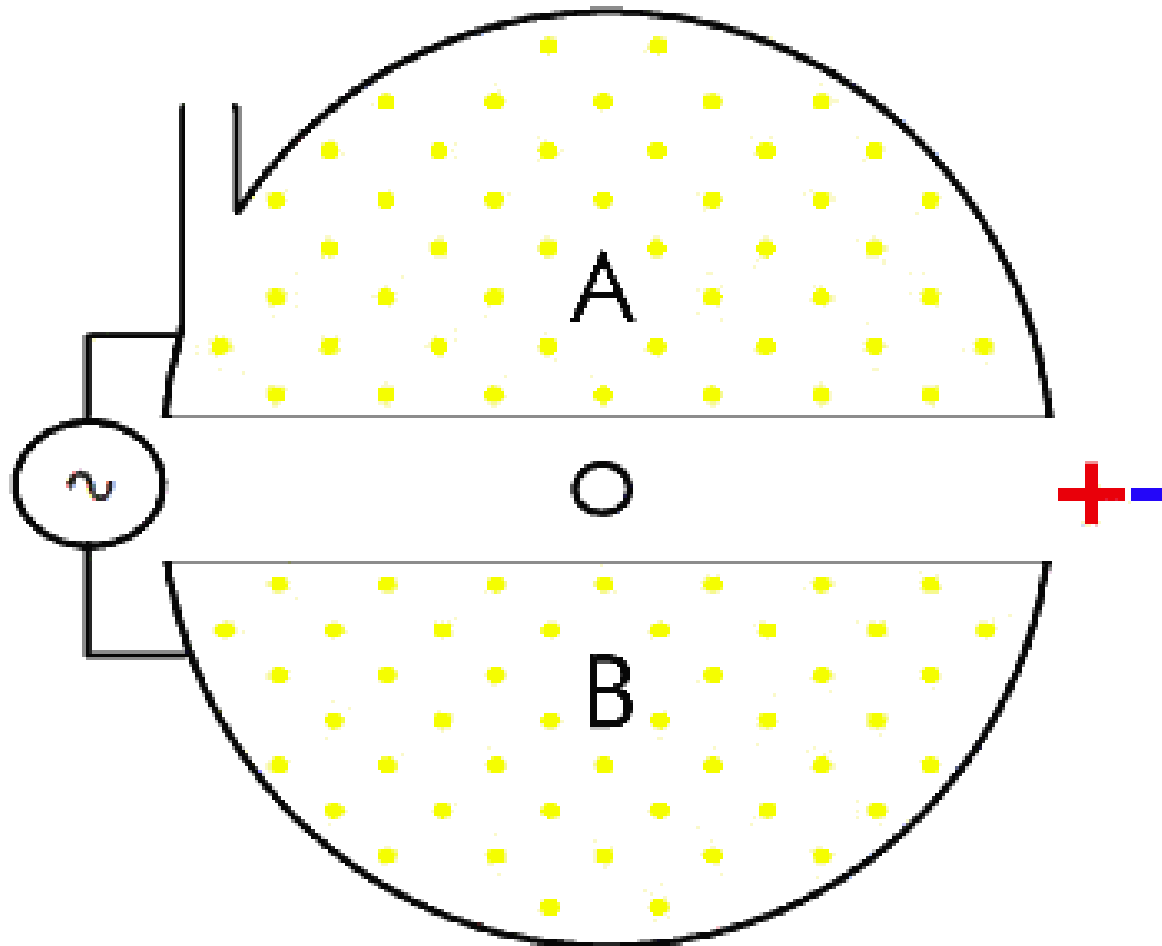




# o ciclotrão

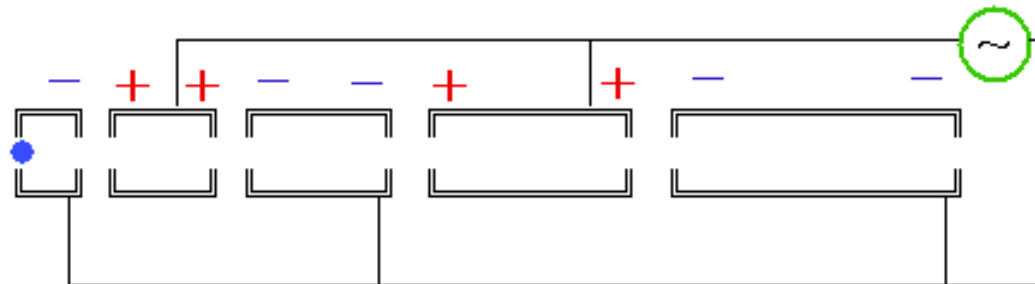
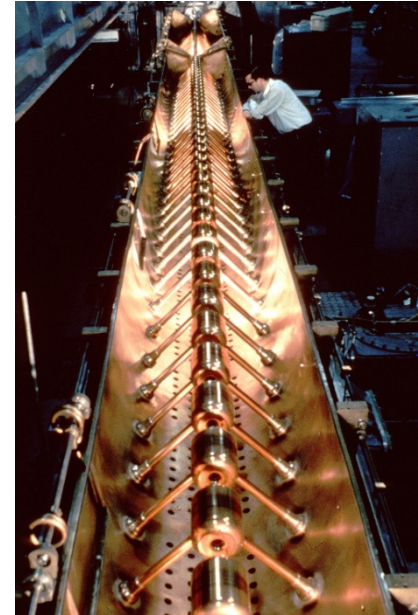
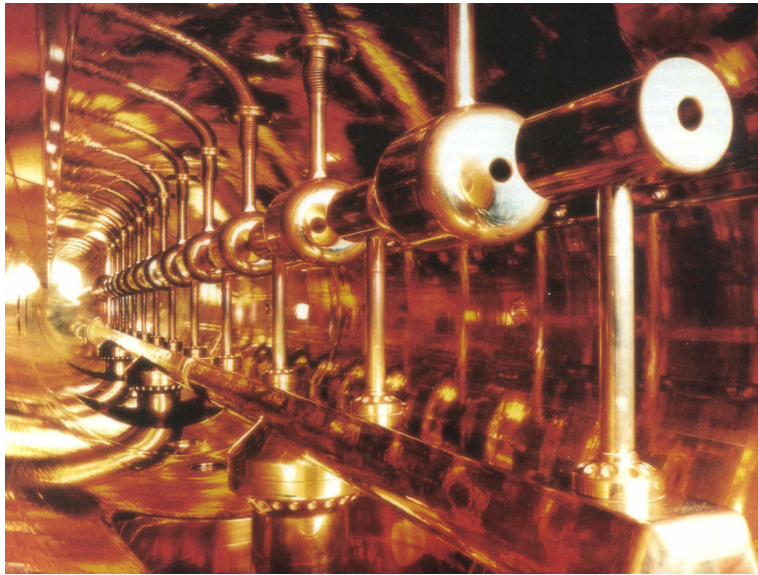


Combinado com um campo magnético razoável, uma diferença de potencial nos eléctrodos de apenas algumas dezenas de milhares de Volts pode acelerar partículas carregadas até 1 milhão de eV





# o acelerador linear



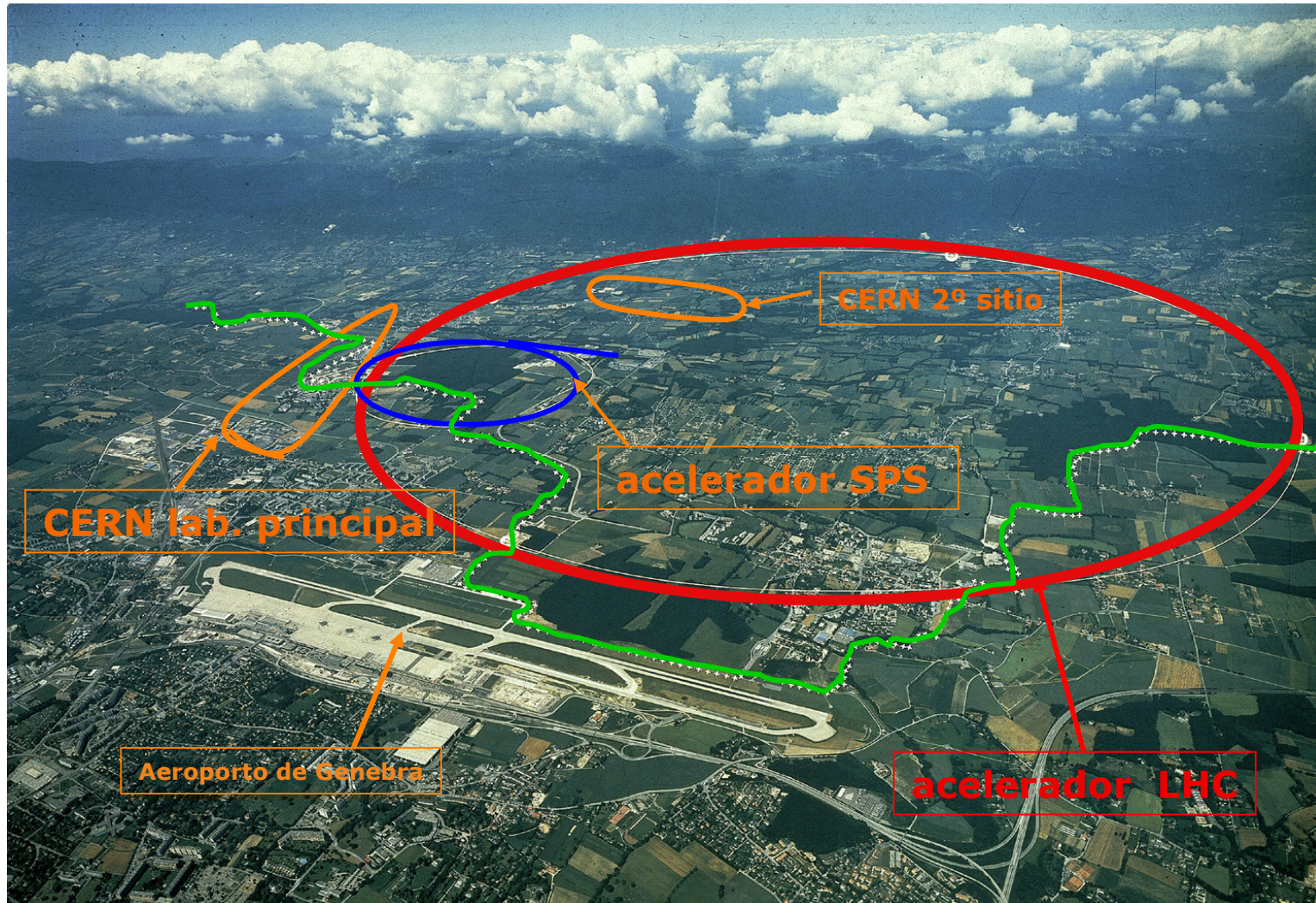
# CERN- European Organization for Nuclear Research

- fundado em 1954 por 12 países
- actualmente: 20 estados membros (1986-portugal)
- mais de 7000 utilizadores de todas as partes do mundo

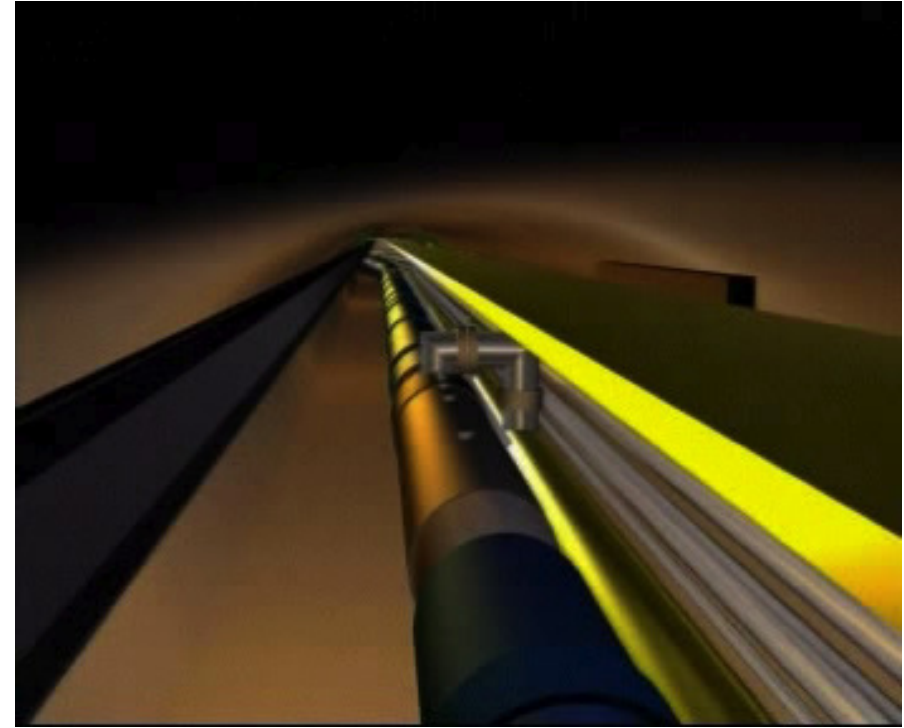
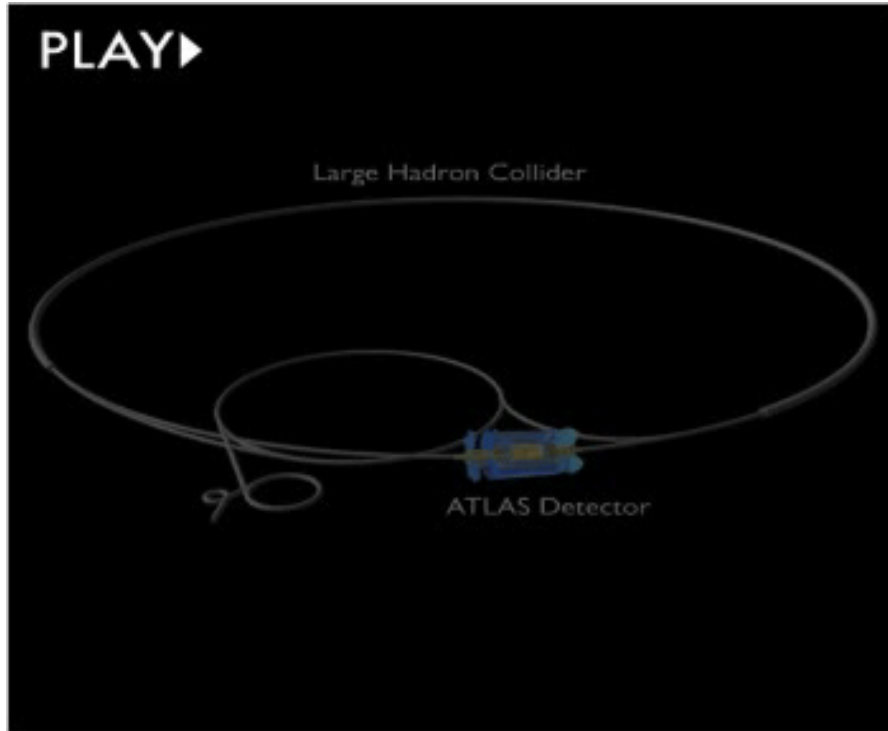




# localização do laboratório CERN



# LHC - o maior acelerador do mundo

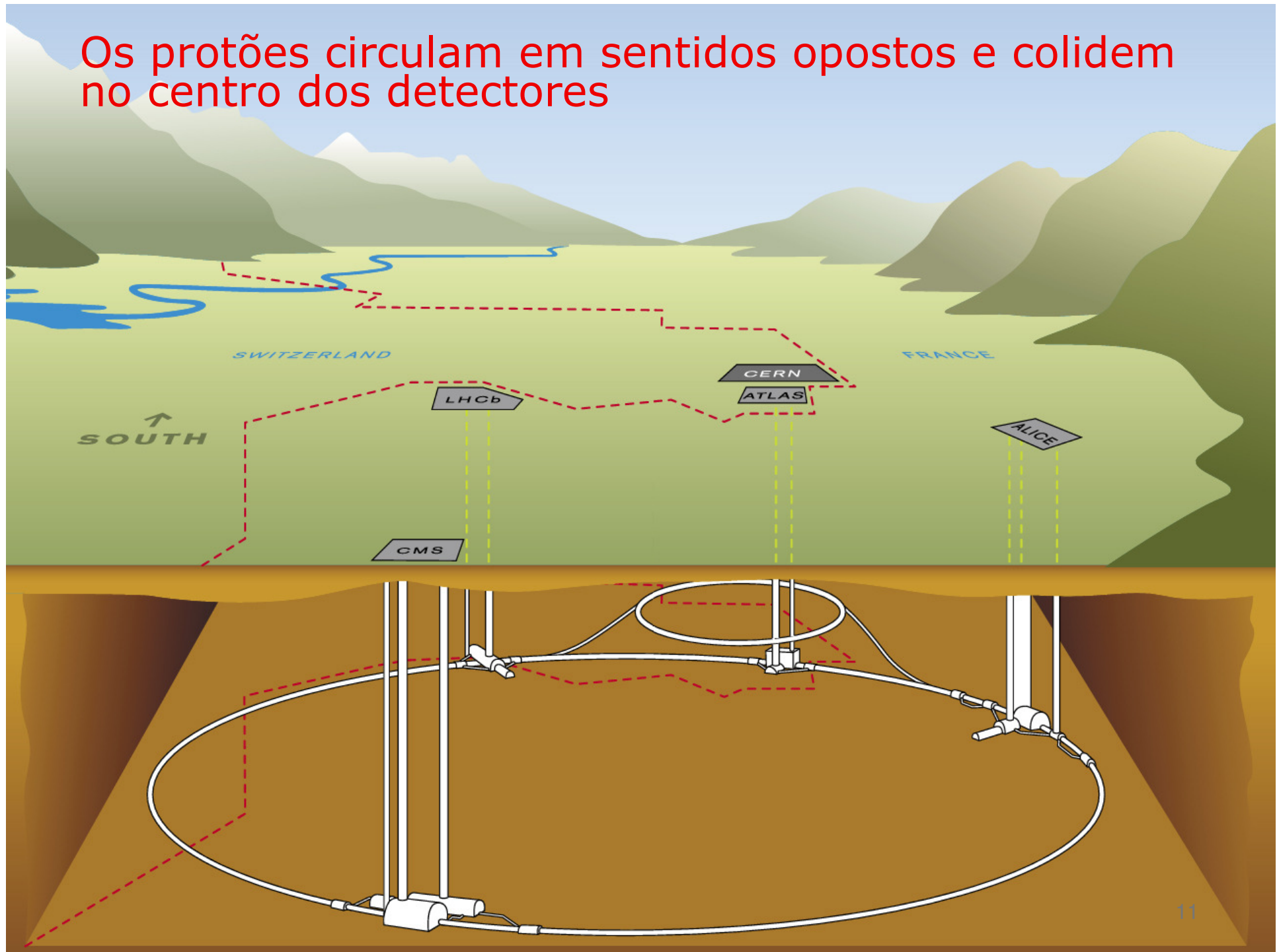


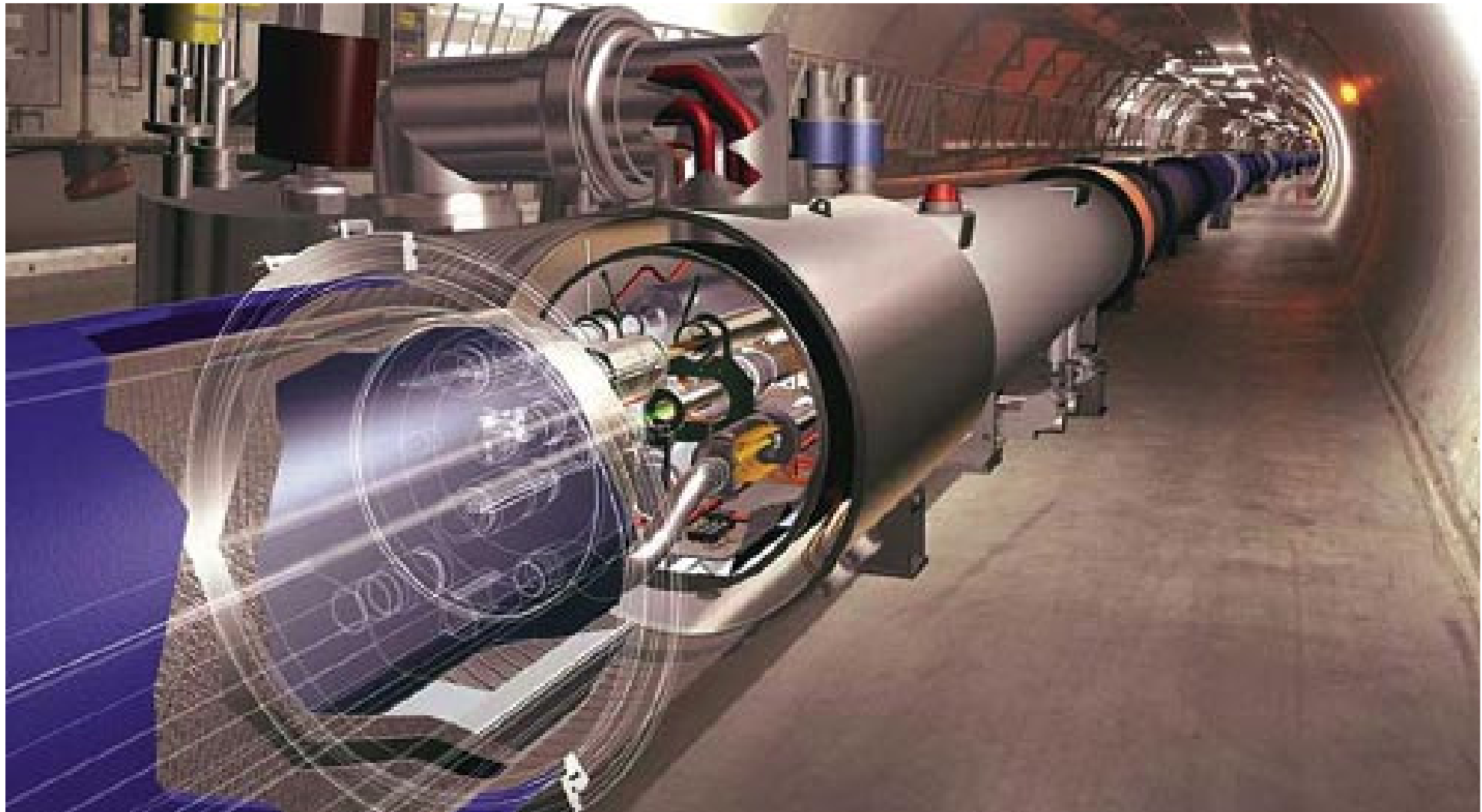
**27 km de perímetro**, ~100 m abaixo do solo, na fronteira suíça-frança, junto a genebra

é a maior instalação criogénica (supercondutora) do mundo, arrefecida a hélio líquido a 1,7 °K, mais frio do que o espaço exterior!



Os prótons circulam em sentidos opostos e colidem no centro dos detectores



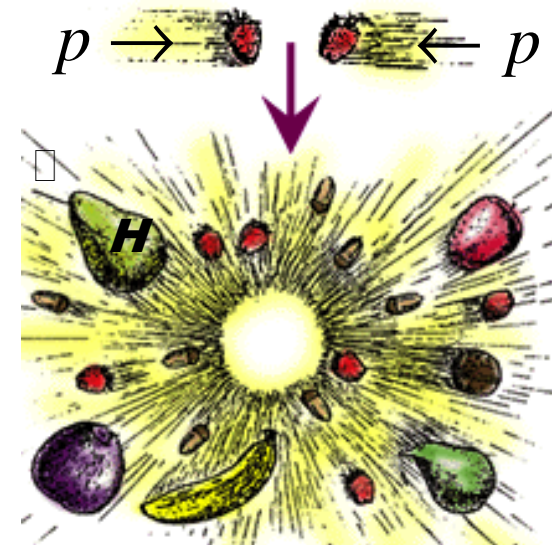


O sistema criogénico do LHC vai arrefecer **24 km de magnetes supercondutores**, que operam a  $1,7 \text{ }^\circ\text{K}$  e geram um campo magnético de  $8,33 \text{ T}$  (Terra:  $0,00003\text{-}0,00006 \text{ T}$ )

# LHC

na colisão são produzidas muitas partículas, já conhecidas ou não, através da relação:

$$E = mc^2$$



a energia é de **14 TeV** (equivalente a acelerar um electrão na diferença de potencial de 14 000 000 000 000 Volts!)

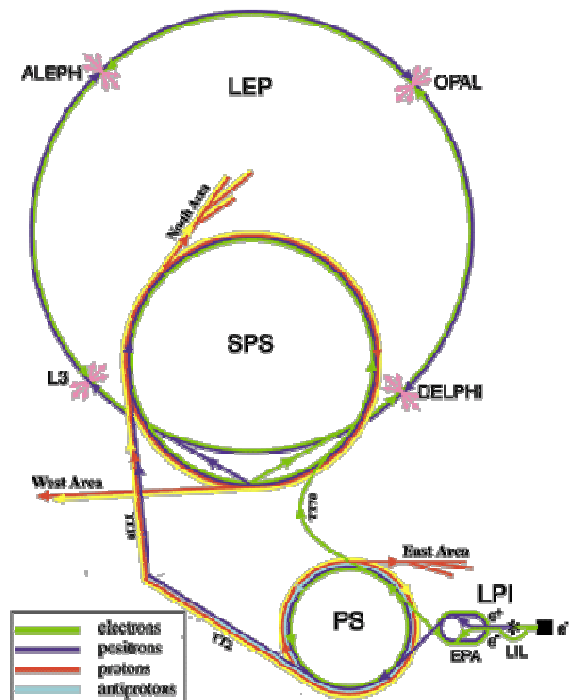
os protões viajam com velocidade muito próxima da da luz (99,9999991% de 300 000 km/s), ao longo dos 27 km de túnel

a energia de todos os protões do feixe é equivalente à energia cinética de um automóvel a uma velocidade de 1700 km/h!!



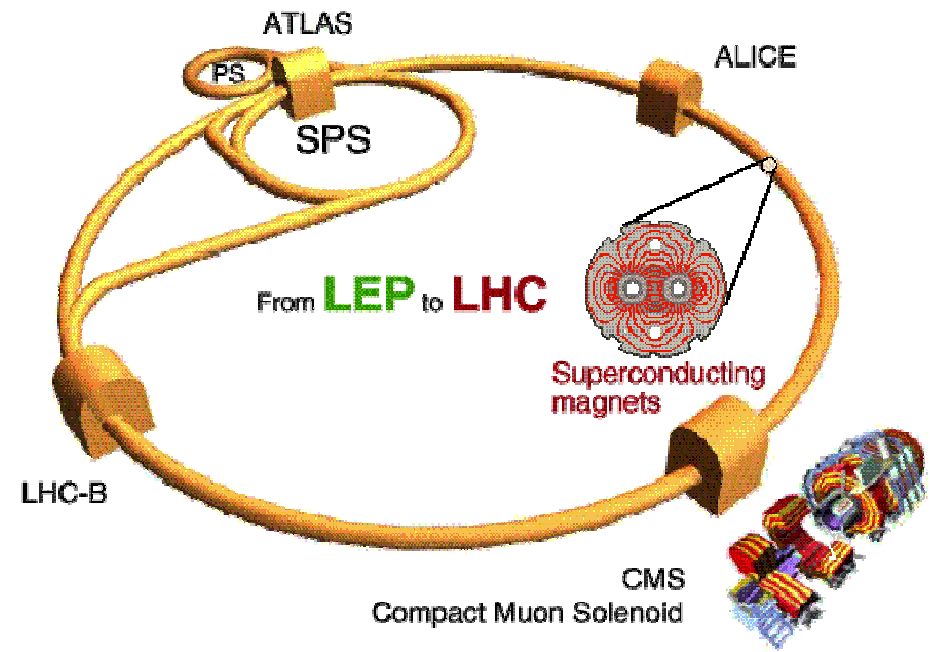
# o complexo de aceleradores do CERN

1990



LEP: Large Electron Positron collider  
 SPS: Super Proton Synchrotron  
 PS: Proton Synchrotron  
 LPI: Lep Pre-Injector  
 EPA: Electron Positron Accumulator  
 LIL: Lep Injector Lines


2009



# que partículas detectamos?

**leptões**







carga eléctrica

detecção de forma directa	<b>tau</b>		-1	<b>neutrino tau</b>		0
	<b>muão</b>		-1	<b>neutrino muão</b>		0
	<b>electrão</b>		-1	<b>neutrino electrão</b>		0

interacção muito fraca, difíceis de detectar

**quarks**

carga eléctrica

detecção indirecta a partir de partículas ou jactos de partículas	<b>Bottom</b>		-1/3	<b>Top</b>		2/3
	<b>Strange</b>		-1/3	<b>Charm</b>		2/3
	<b>Down</b>		-1/3	<b>Up</b>		2/3

*cada quark: ●R, ●B, ●G 3 cores*

# detectores de partículas

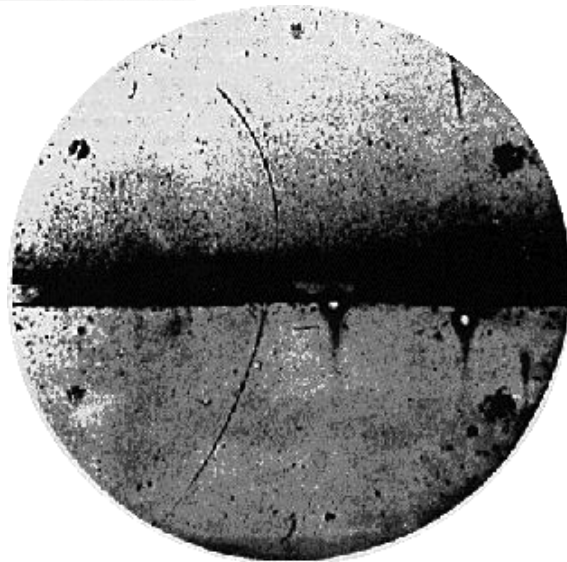
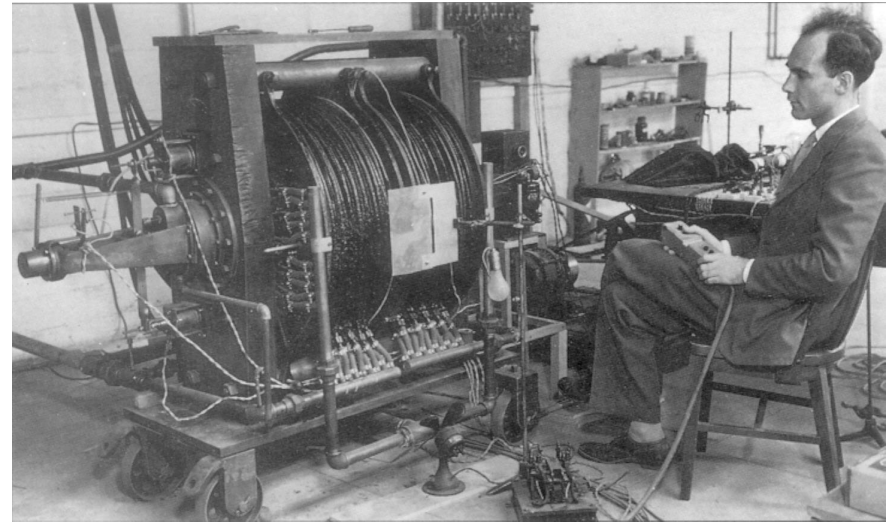
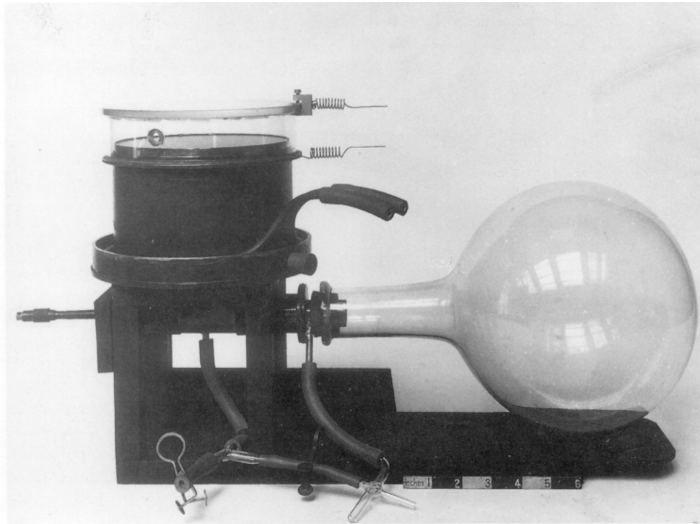
São os nossos “**olhos especiais**”, que conseguem “ver” o que se passa nas colisões de partículas a alta energia

Recorrem a tecnologias muito variadas

Existem muitos tipos diferentes, cada um deles com um **papel bem determinado**



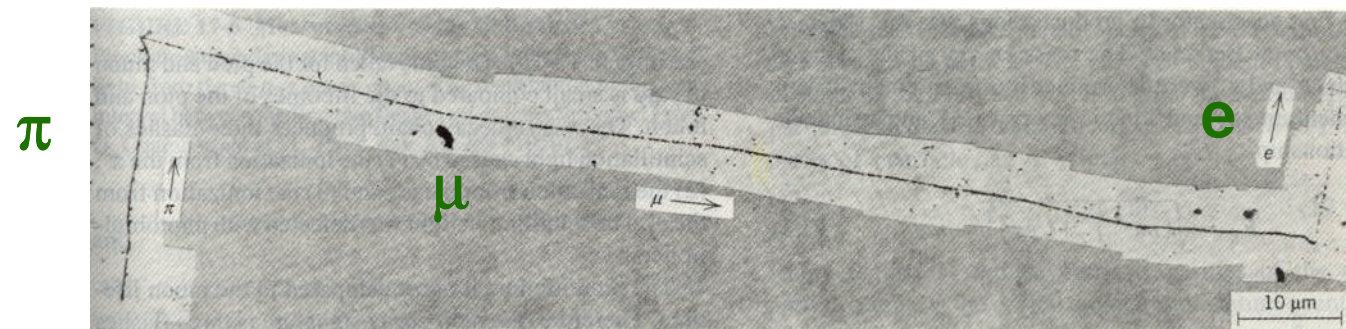
# a câmara de nevoeiro



# emulsões fotográficas



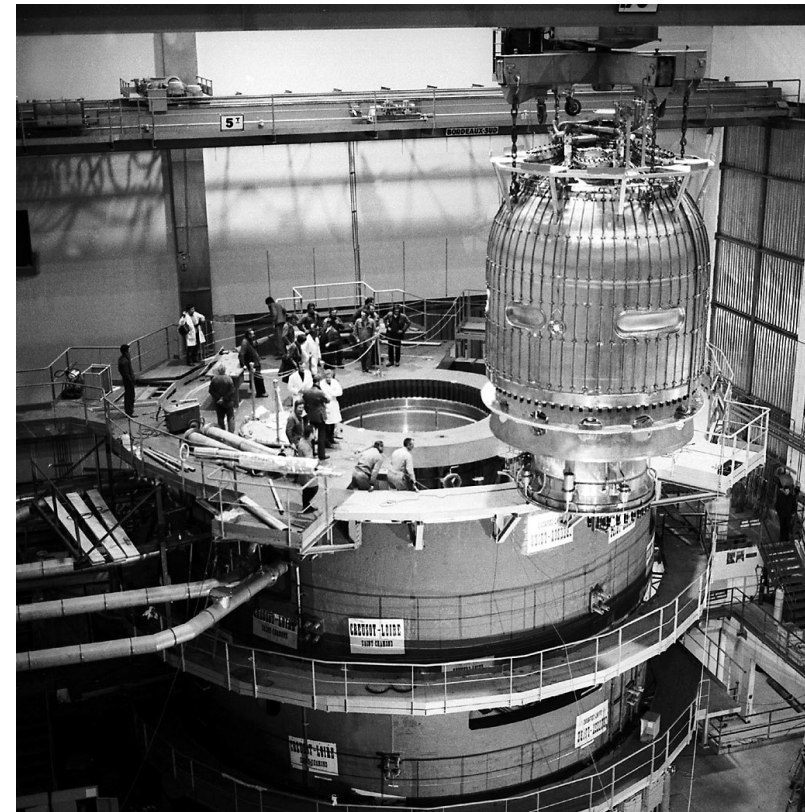
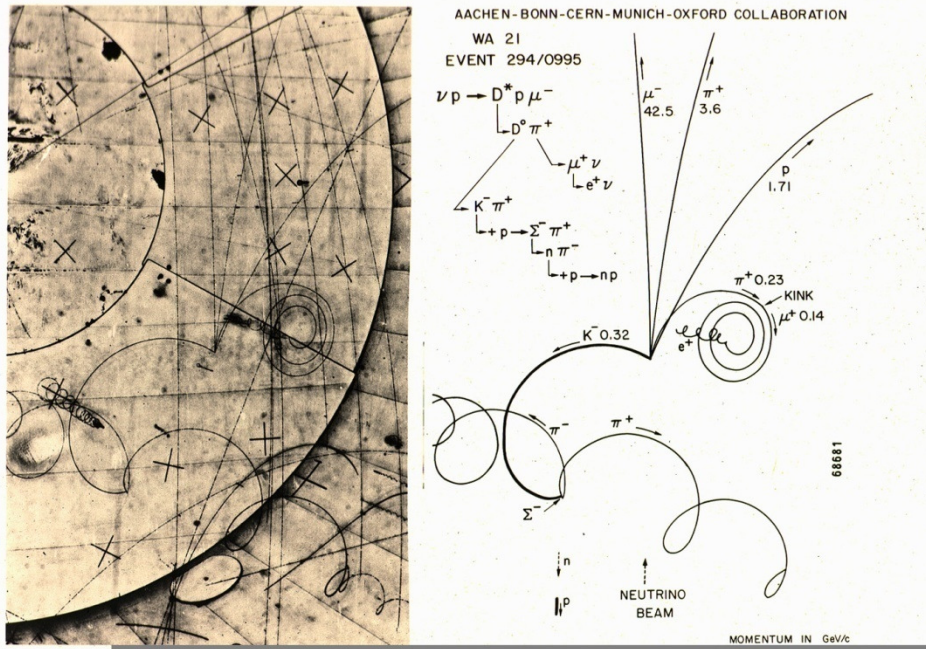
## emulsão fotográfica





# as câmaras de bolhas

big european bubble chamber





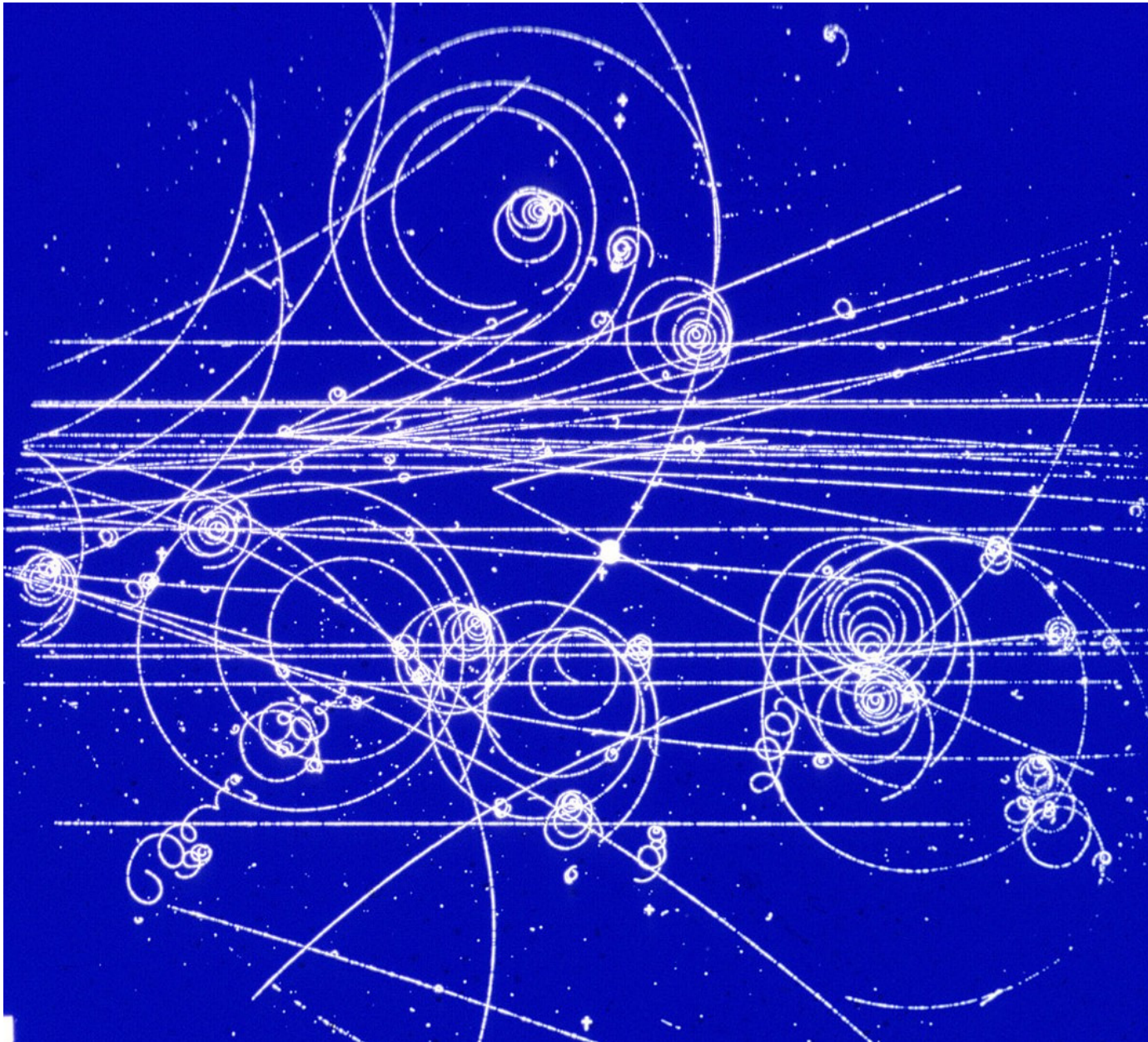
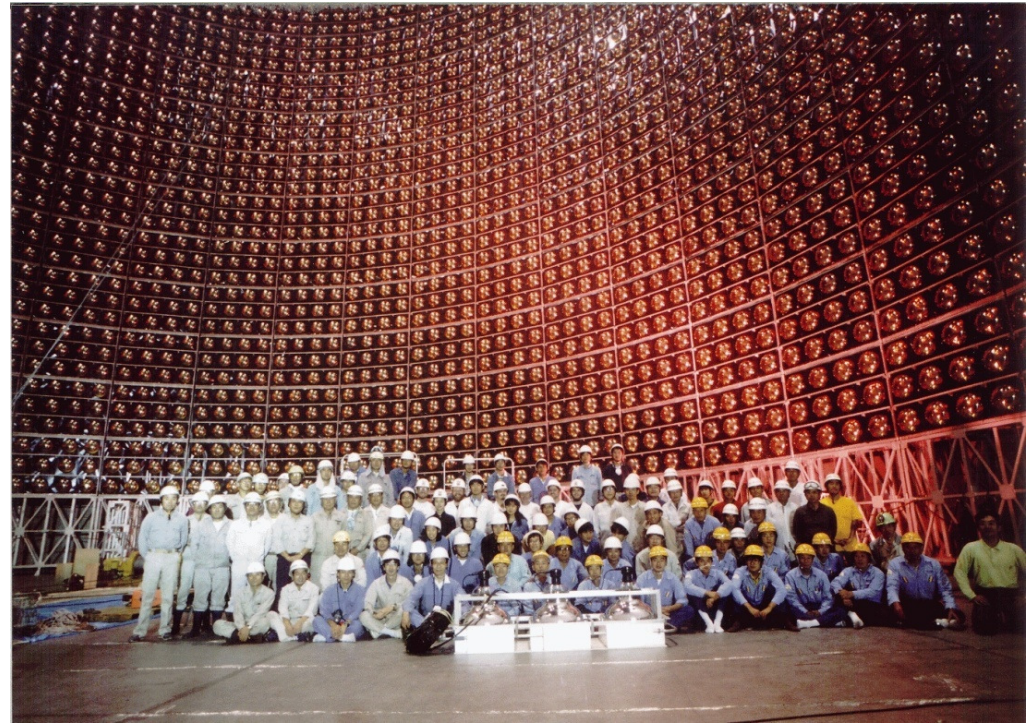
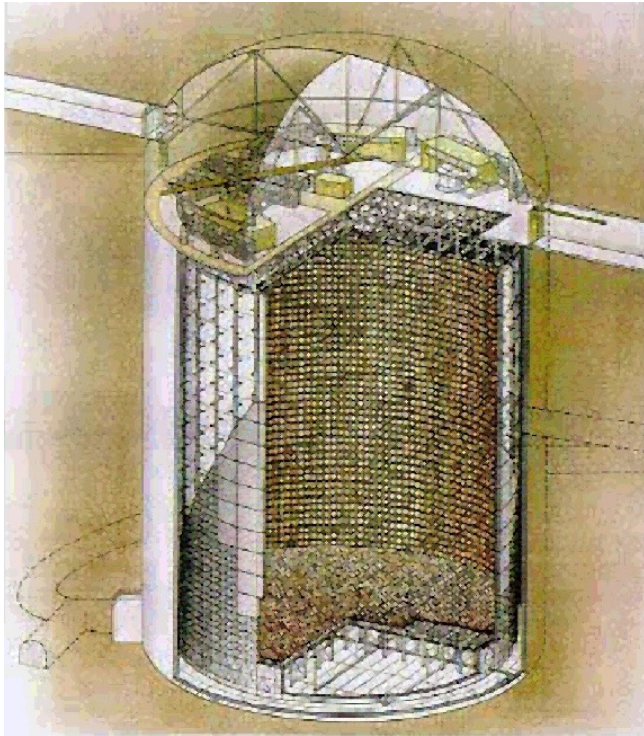


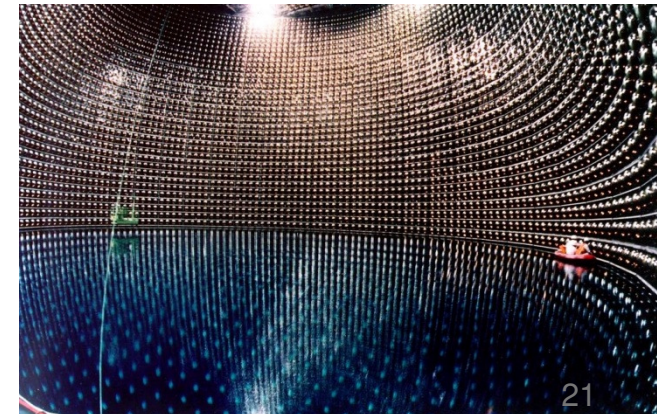
Imagem  
obtida numa  
câmara de  
bolhas  
(trajectórias  
de partículas  
carregadas)



# detectores gigantes de neutrinos

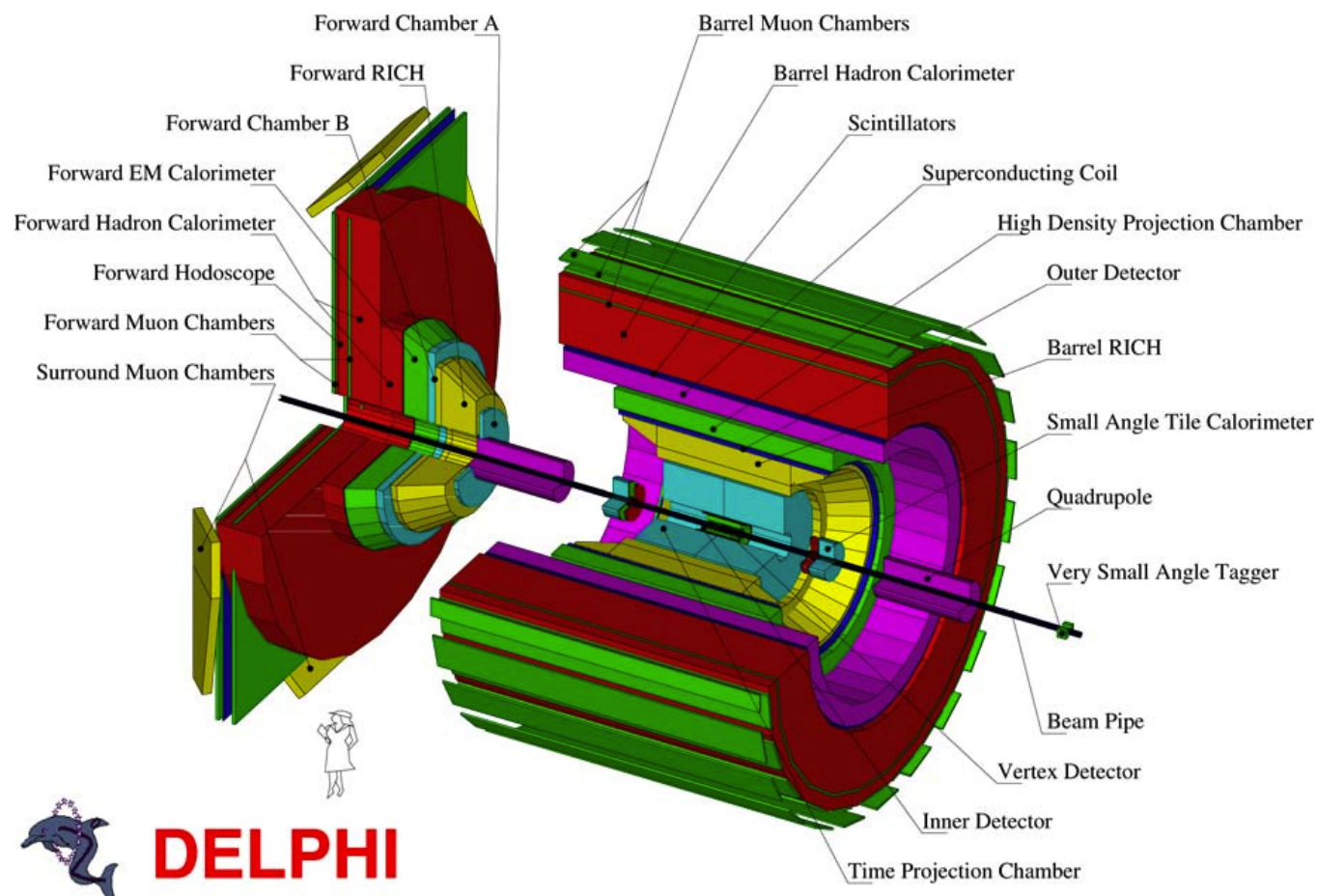


SuperKamiokande





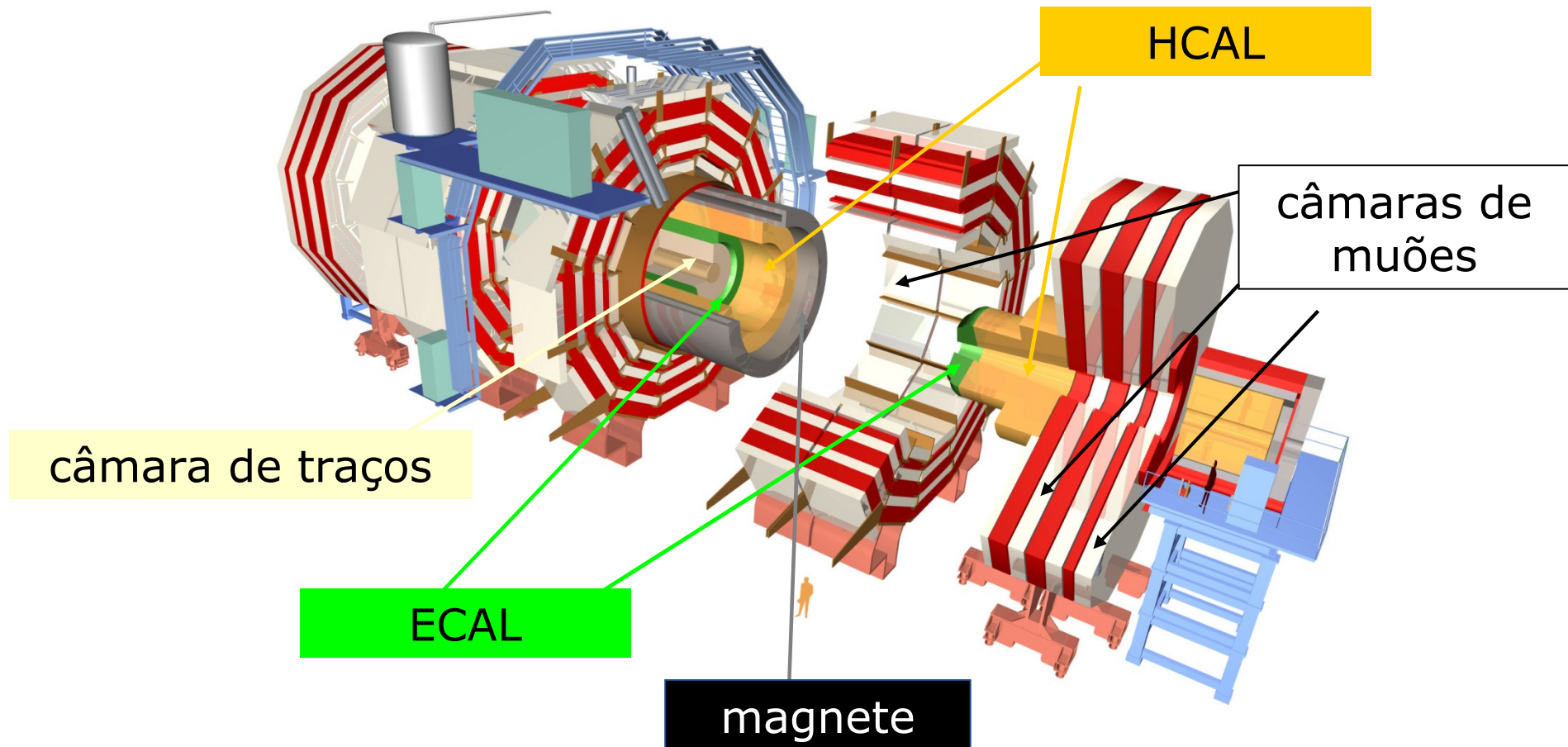
# detectores para anel de colisão



aproximadamente cilíndrico, as partículas produzidas no centro atravessam as diferentes camadas do detector, e as diferentes partículas deixam sinais diferentes (isto permite distingui-las)



# dentro de um detector de LHC



O detector CMS tem um peso equivalente à da torre Eiffel, em Paris!

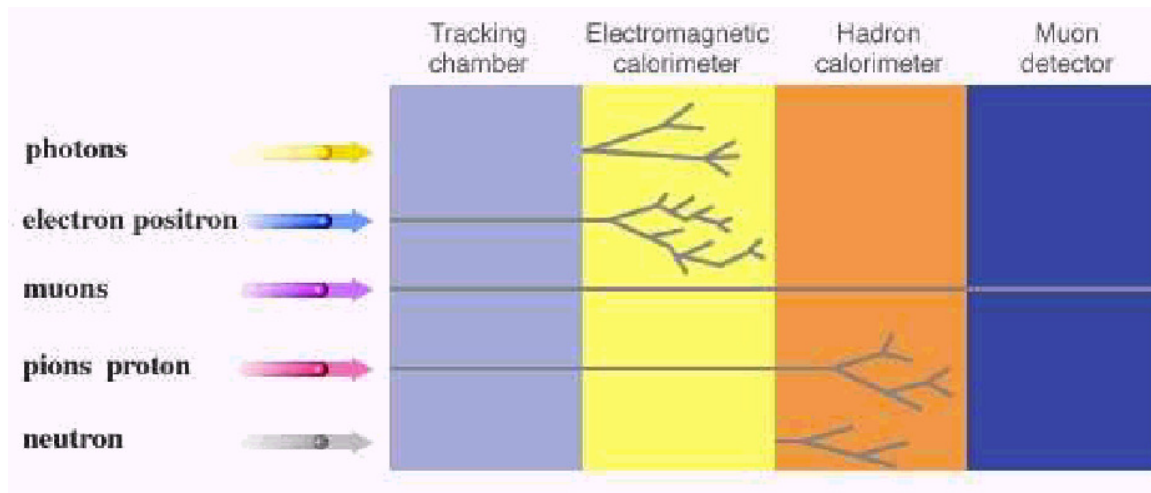
# tipos de detectores de partículas

**câmaras de traços:** trajetórias de partículas carregadas electricamente

**calorímetro electromagnético:** energia de electrões e fótons (interacção electromagnética)

**calorímetro hadrónico:** energia de hadrões (interacção forte)

**detectores de muões:** trajetórias de muões que atravessam todo o detector (muito penetrantes)



# A experiência ATLAS (A Toroidal Lhc ApparatuS)





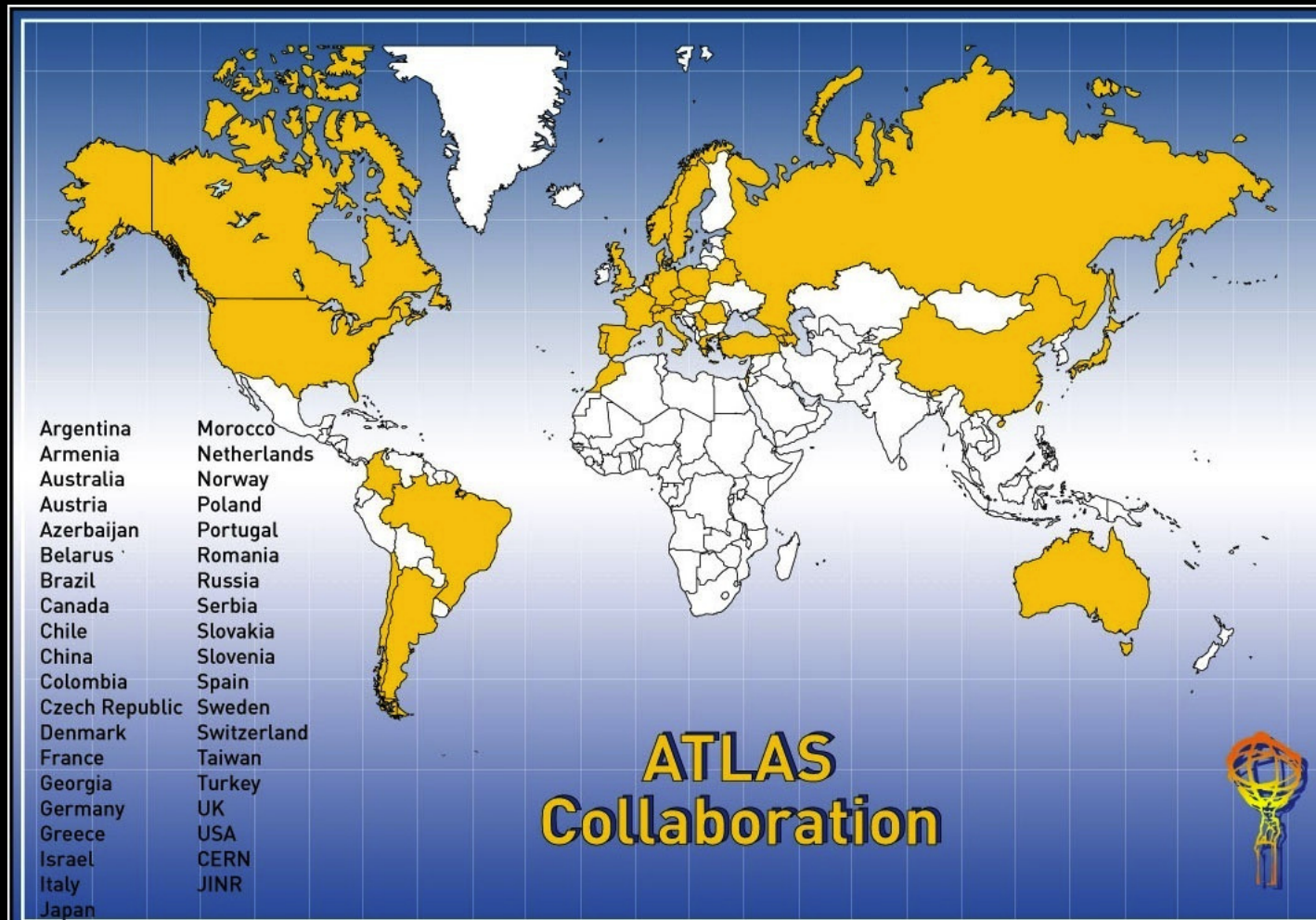


**Caverna de ATLAS (antes da instalação do detector)**



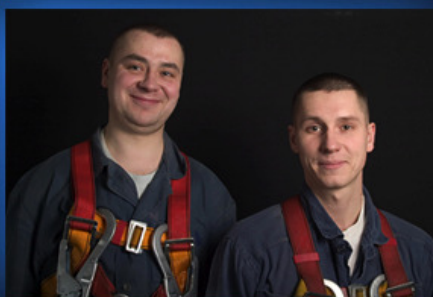
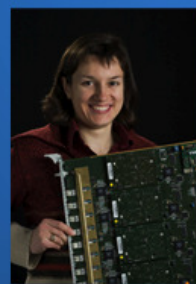
# Quem construiu e trabalha em ATLAS?

2500 cientistas de quase 200 universidades e laboratórios de 37 países



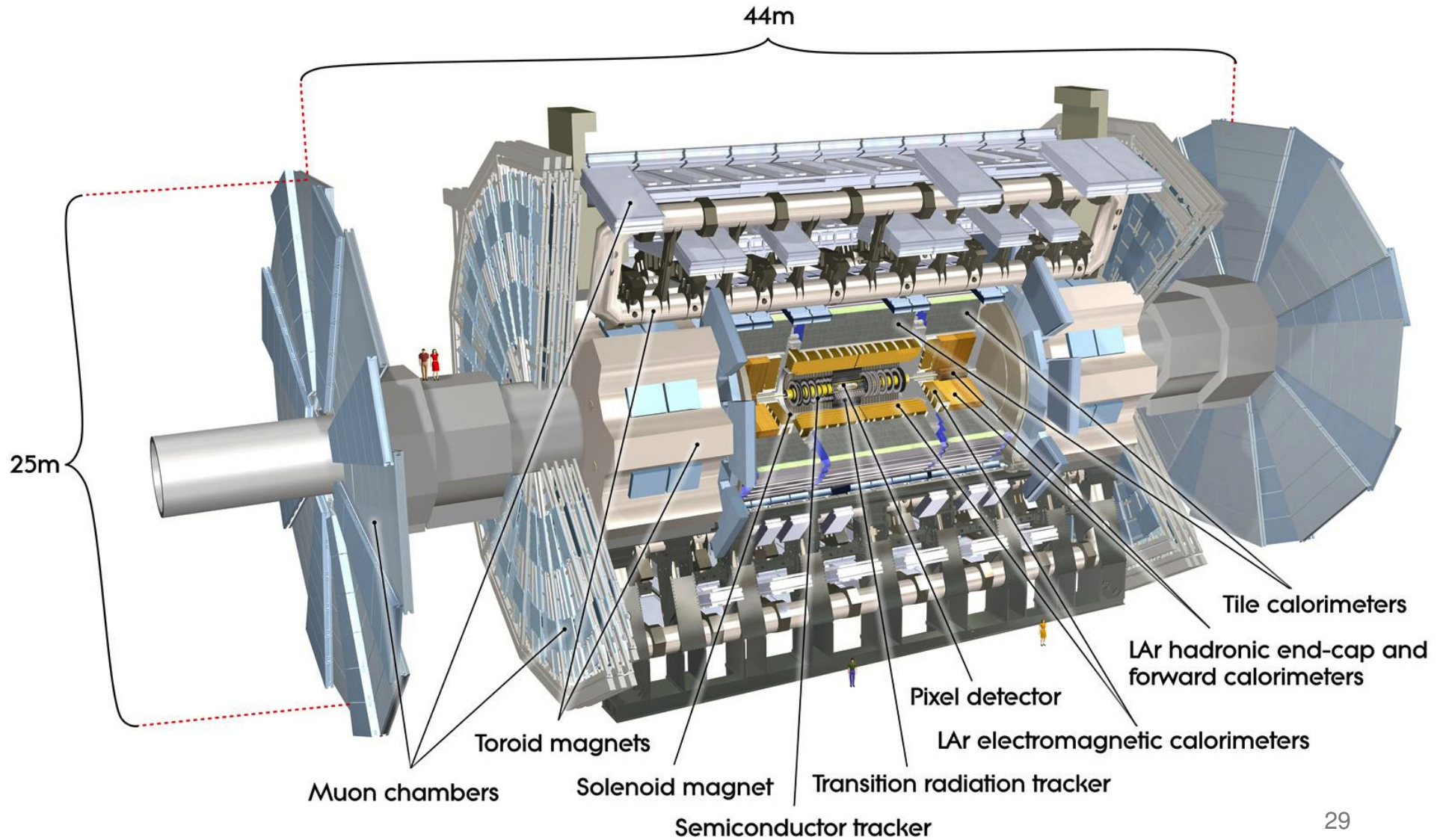
# Quem construiu e trabalha em ATLAS?

2500 cientistas de quase 200 universidades e laboratórios de 37 países

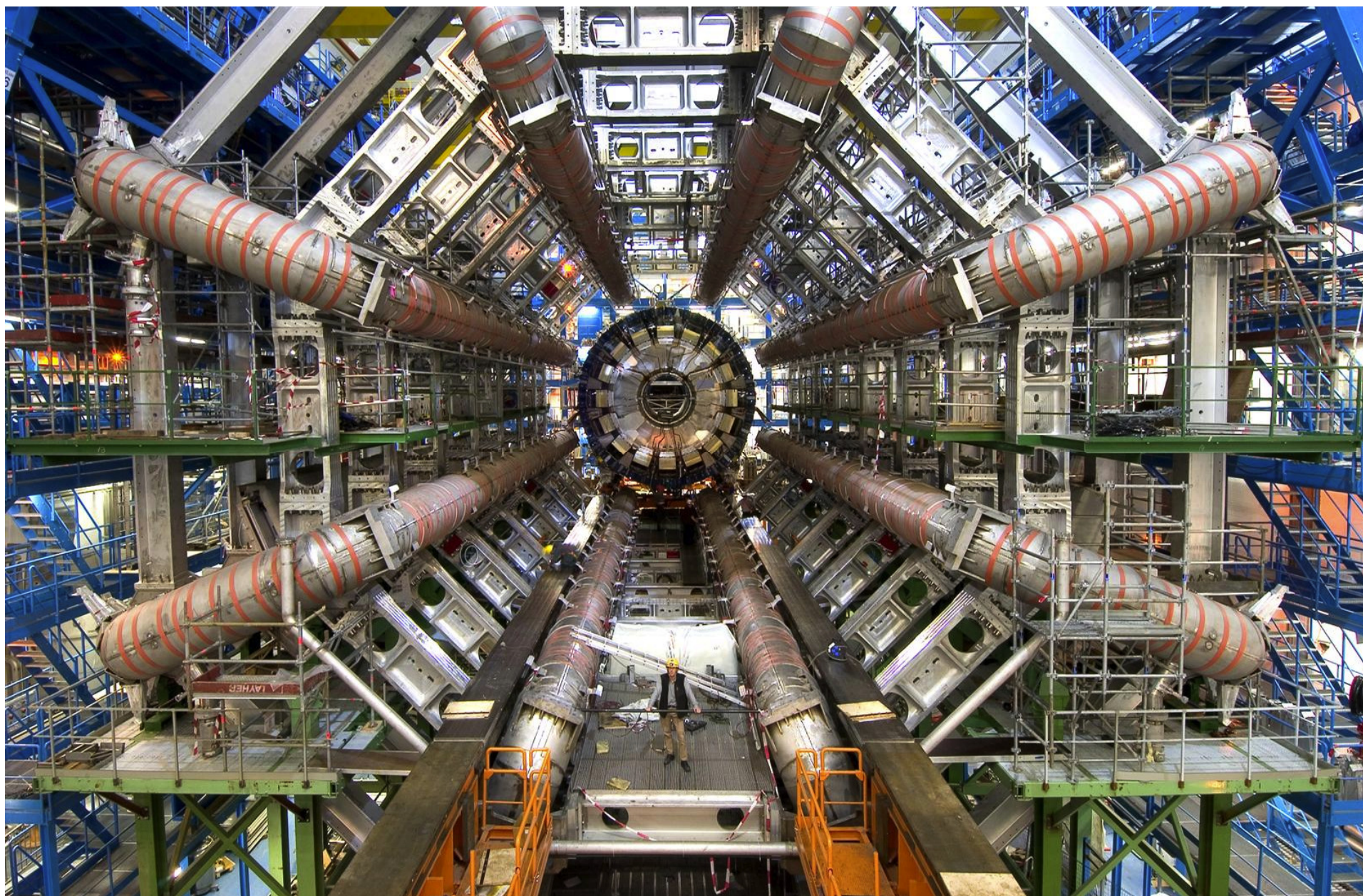




# O detector ATLAS



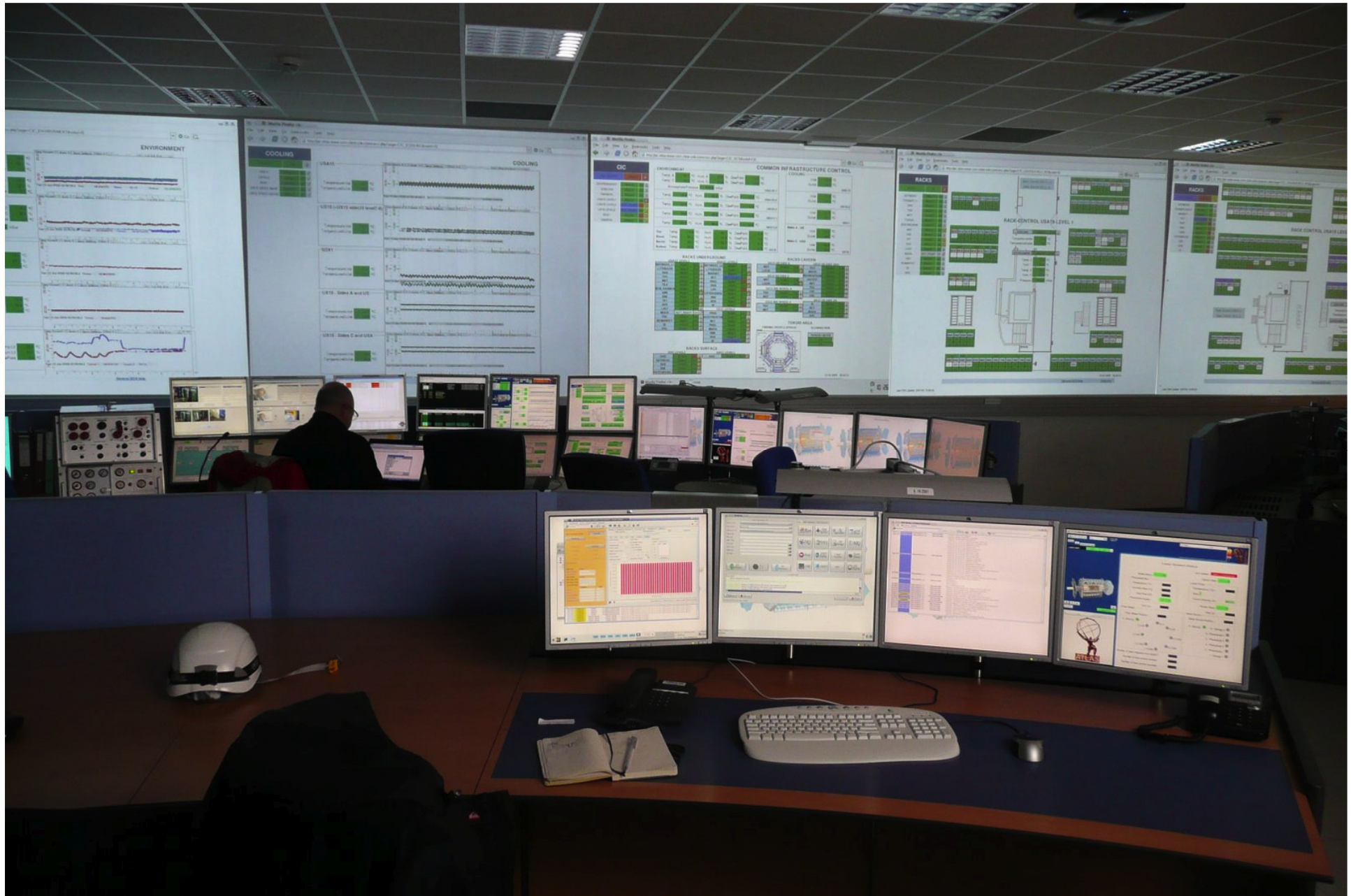




## Vista "clássica"

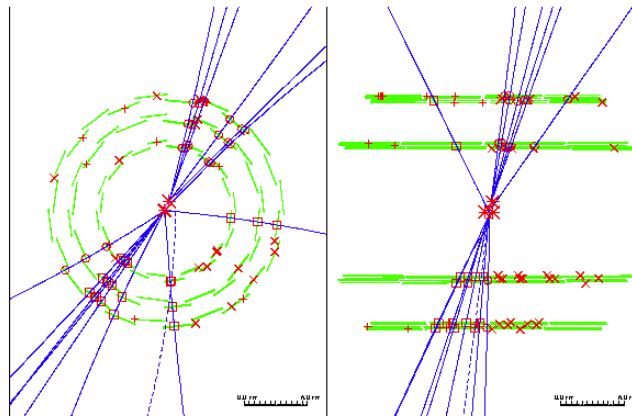
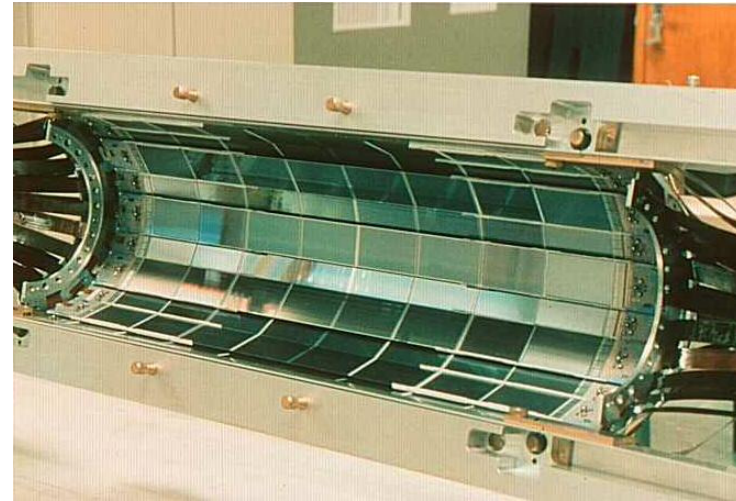
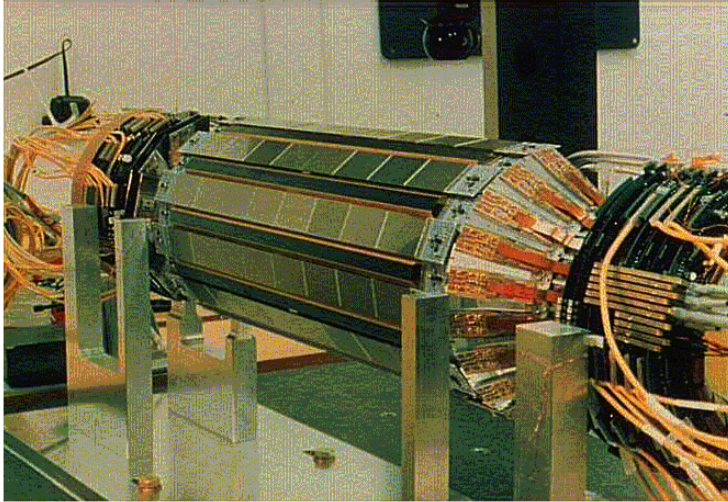
Os 8 toróides centrais e os calorímetros





**Vista parcial da sala de controlo de ATLAS**

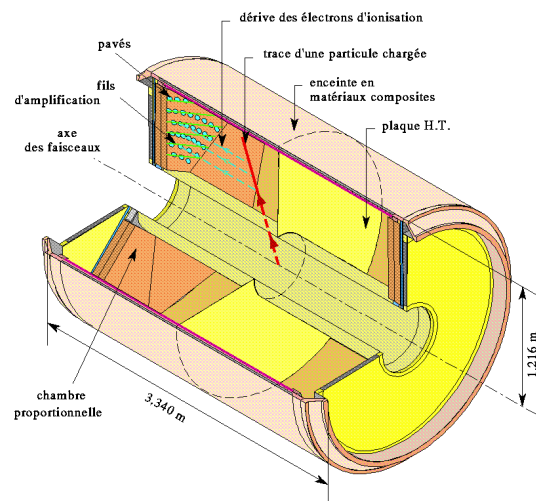
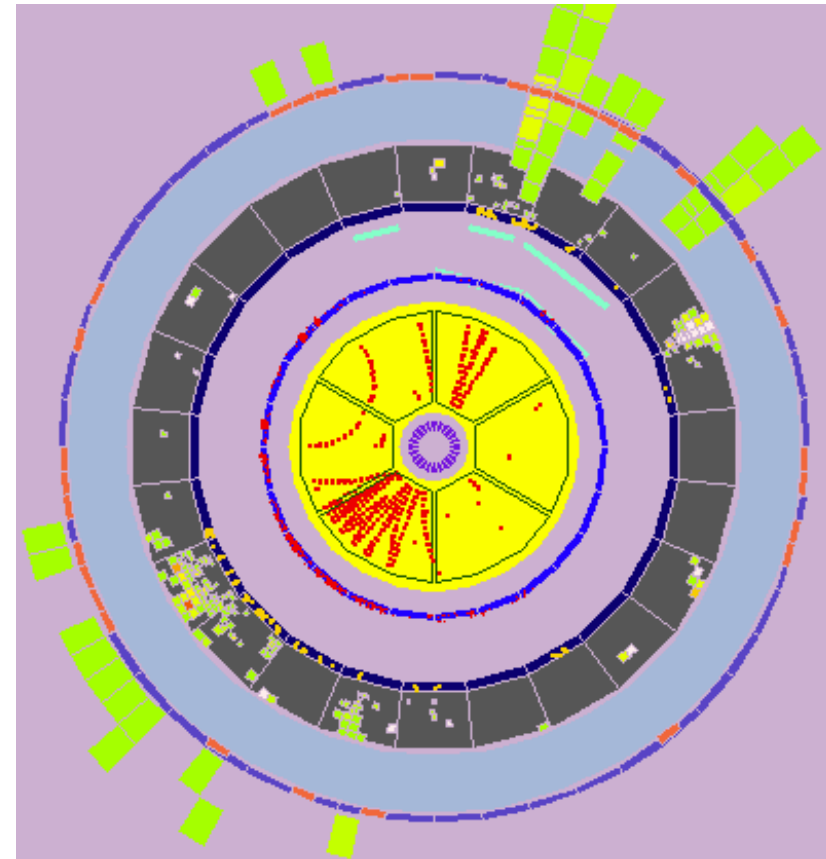
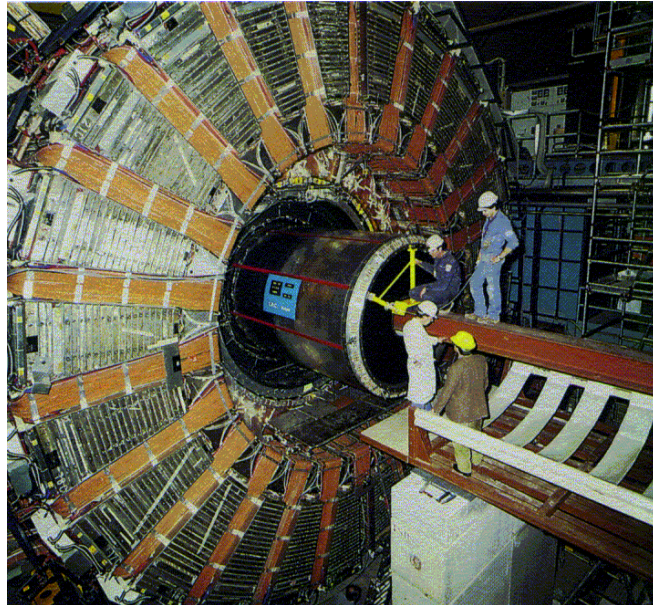
# detector de vértices



detecta a trajetórias das partículas mesmo junto ao ponto de interacção do feixe



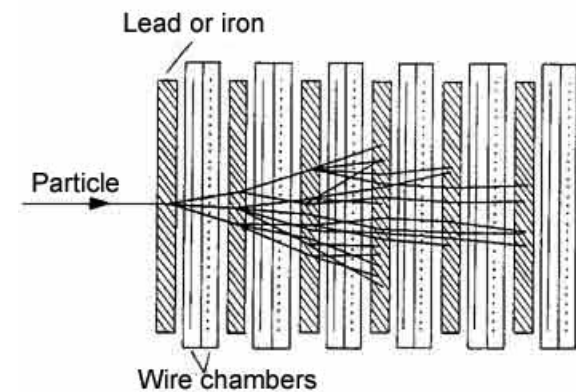
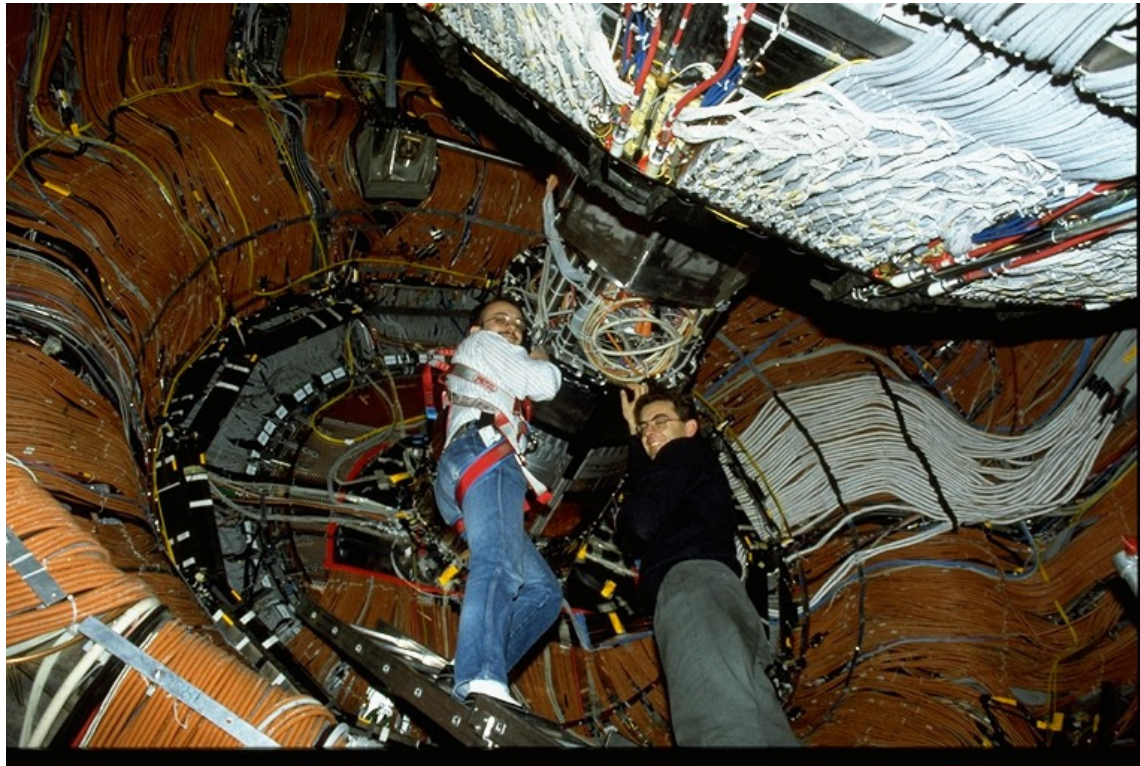
# câmaras de traços



reconstroem a trajetórias das partículas carregadas (em conjunto com o campo magnético permite medir a sua carga e momento)

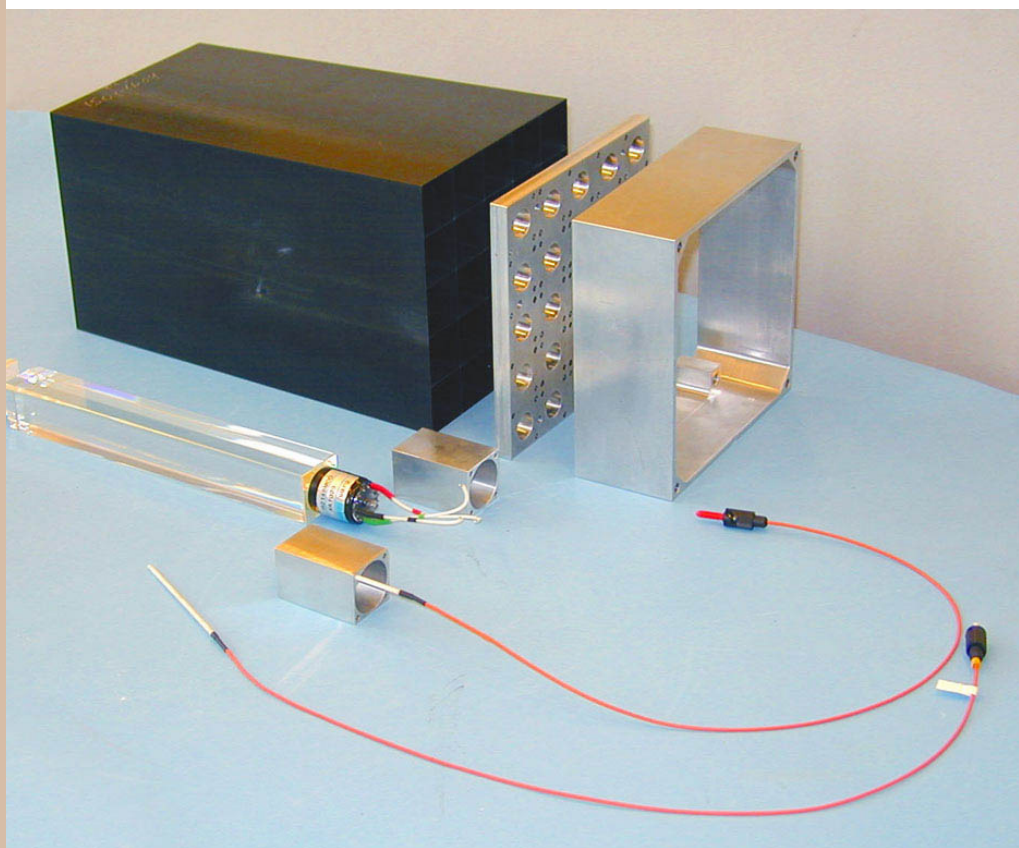
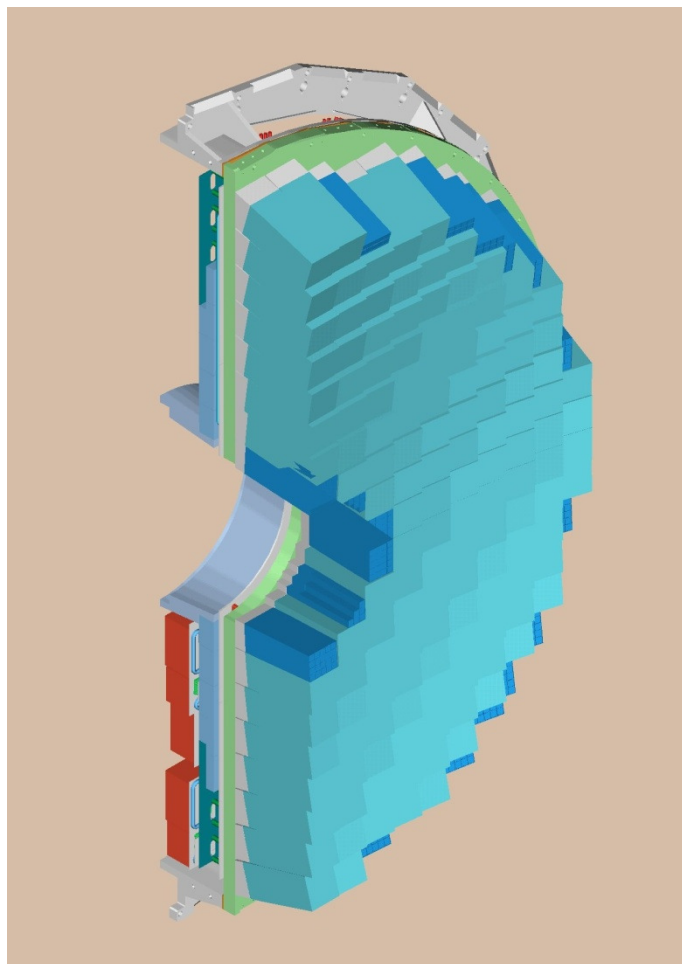


# calorímetros electromagnéticos



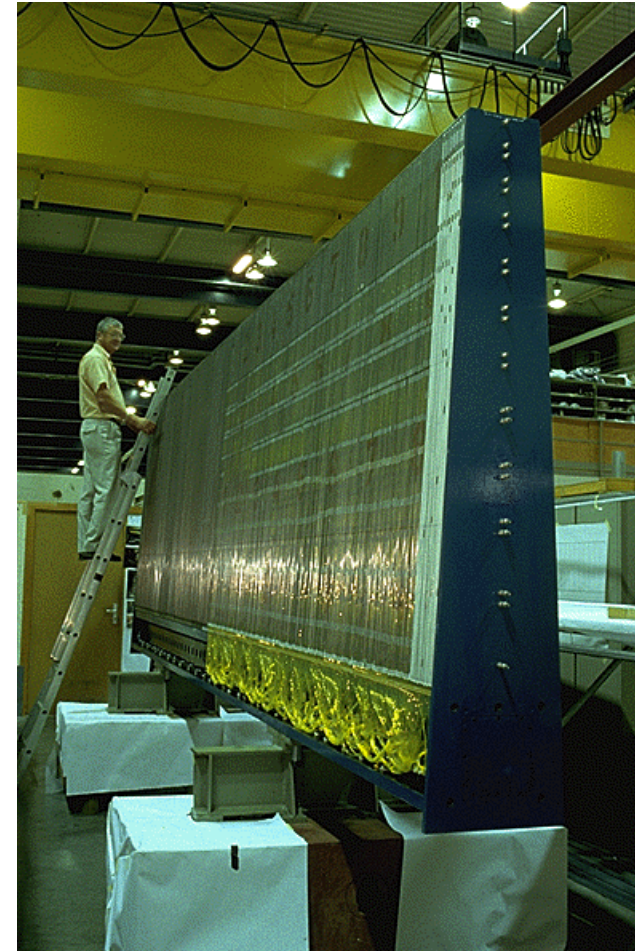
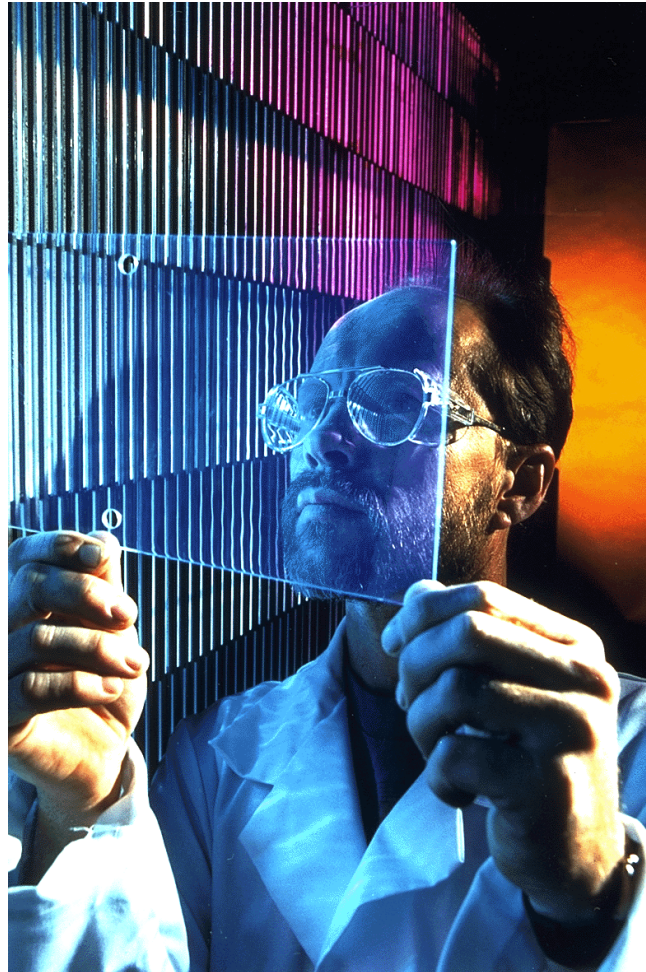
medem a energia das partículas que interagem electromagneticamente (electrões, positrões, fotões,...)

# Exemplo: CMS ECAL





# calorímetros hadrônicos



medem a energia da partículas que interagem hadronicamente (prótons, nêutrons, mésons pi, etc.)<sup>86</sup>

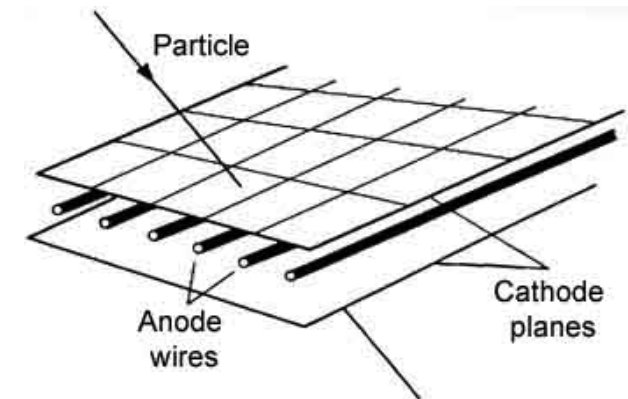
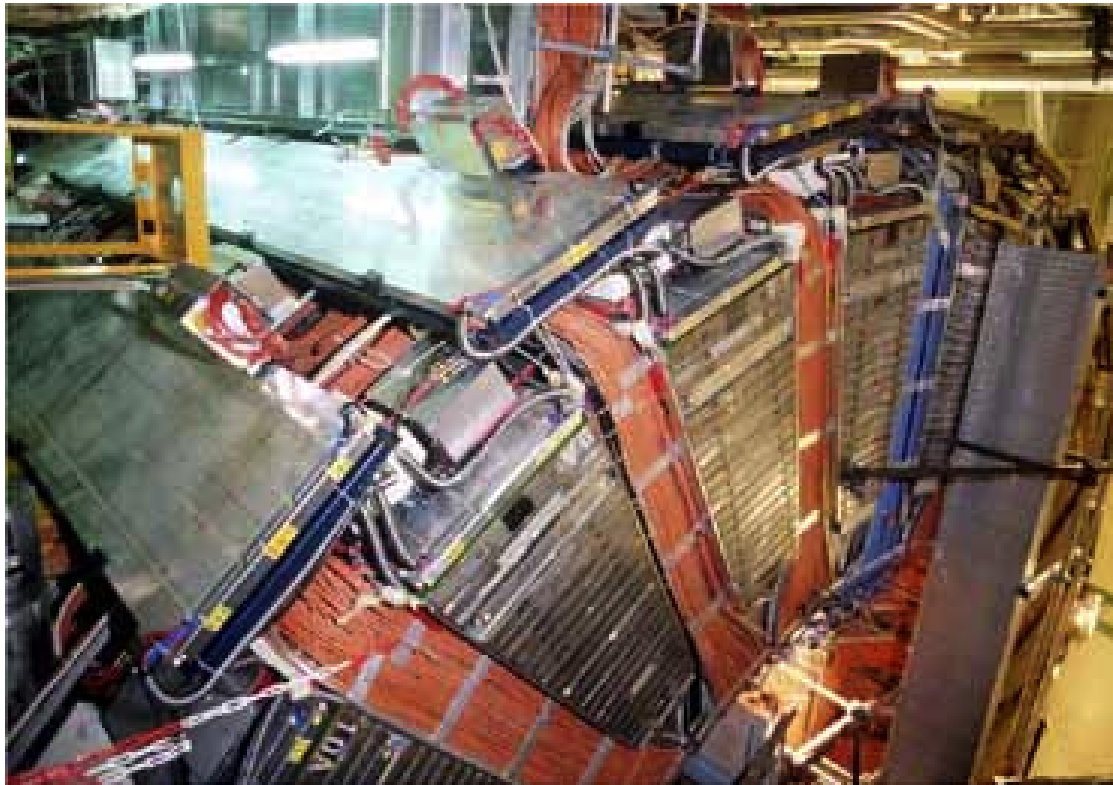




**Transporte de parte do calorímetro hadrónico de ATLAS para a caverna**



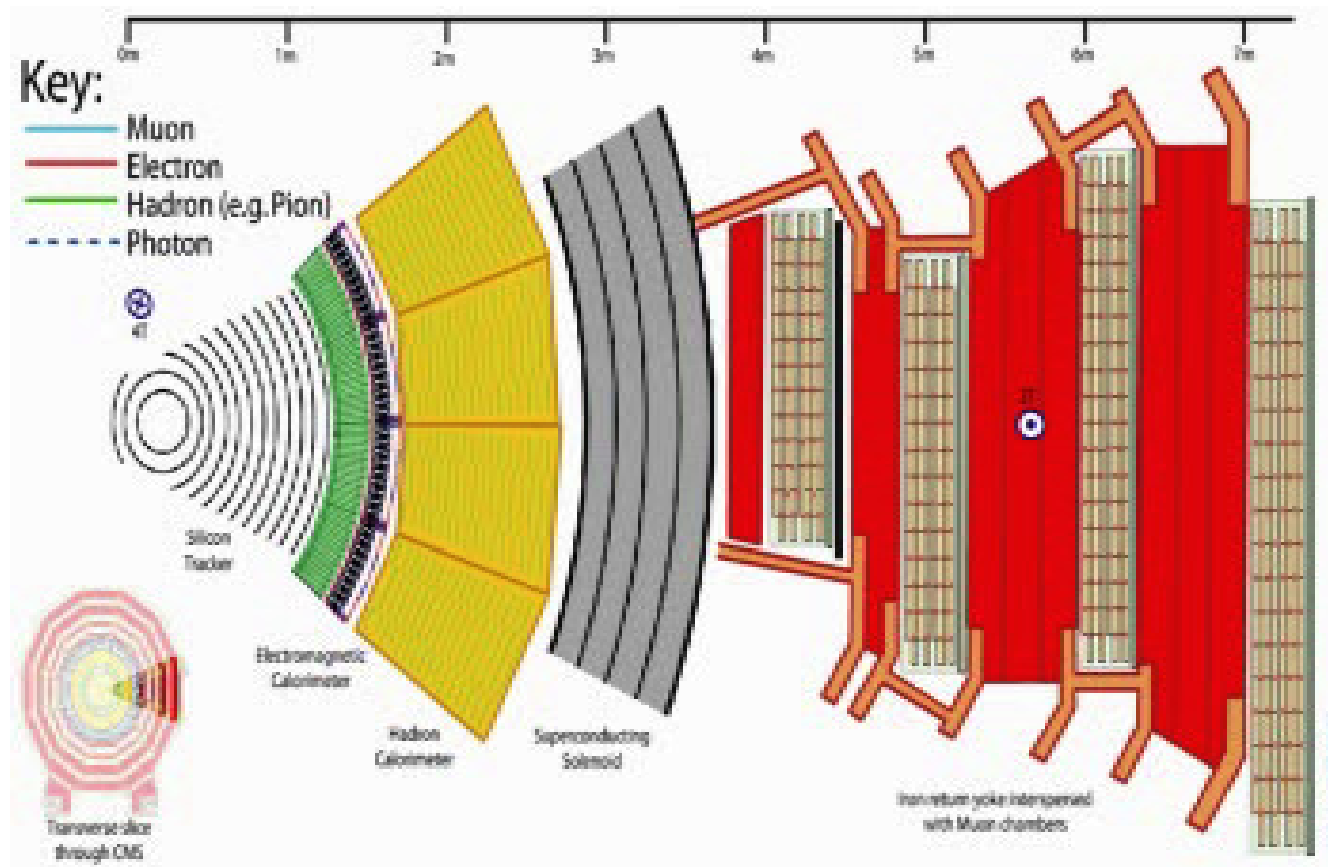
# as câmaras de muões



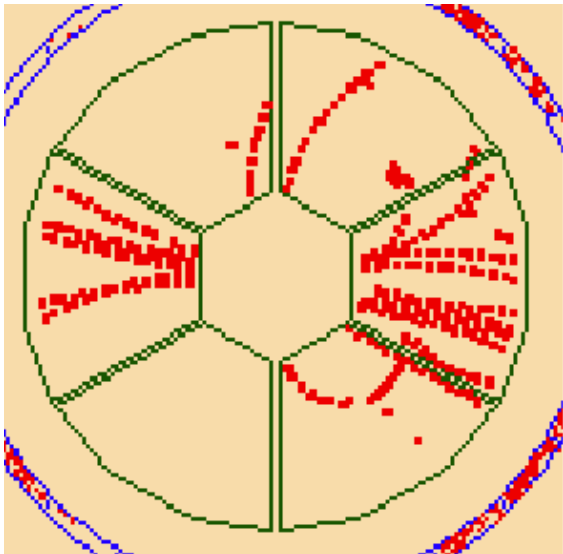
reconstroem a trajetória das partículas carregadas mais penetrantes: os muões



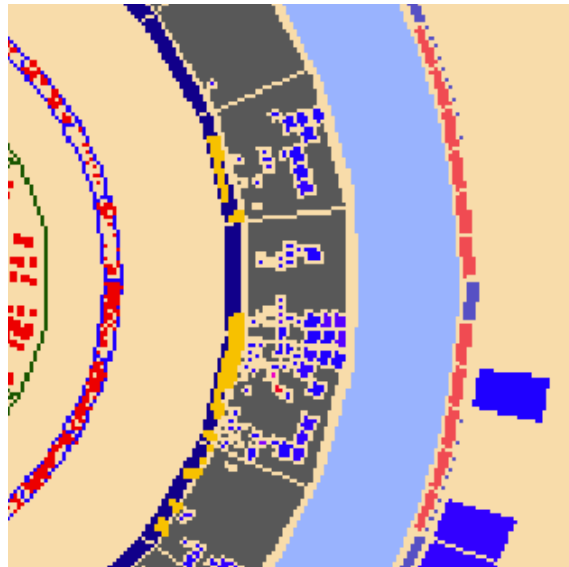
# interacção das partículas nos detectores



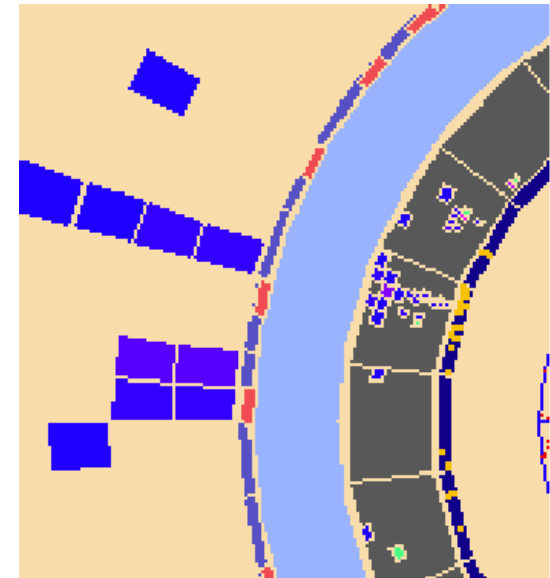
# sinais em diferentes partes do detector



detector de traços



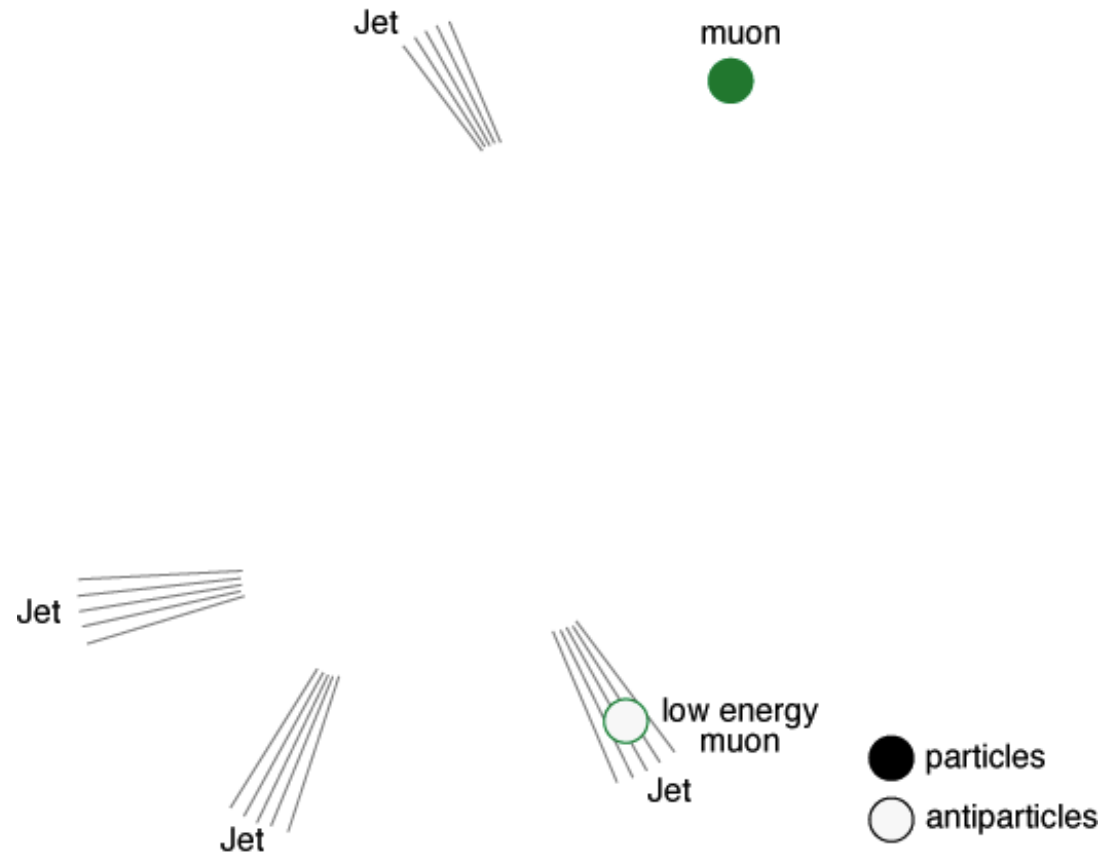
calorímetro  
electromagnético



calorímetro  
hadrónico

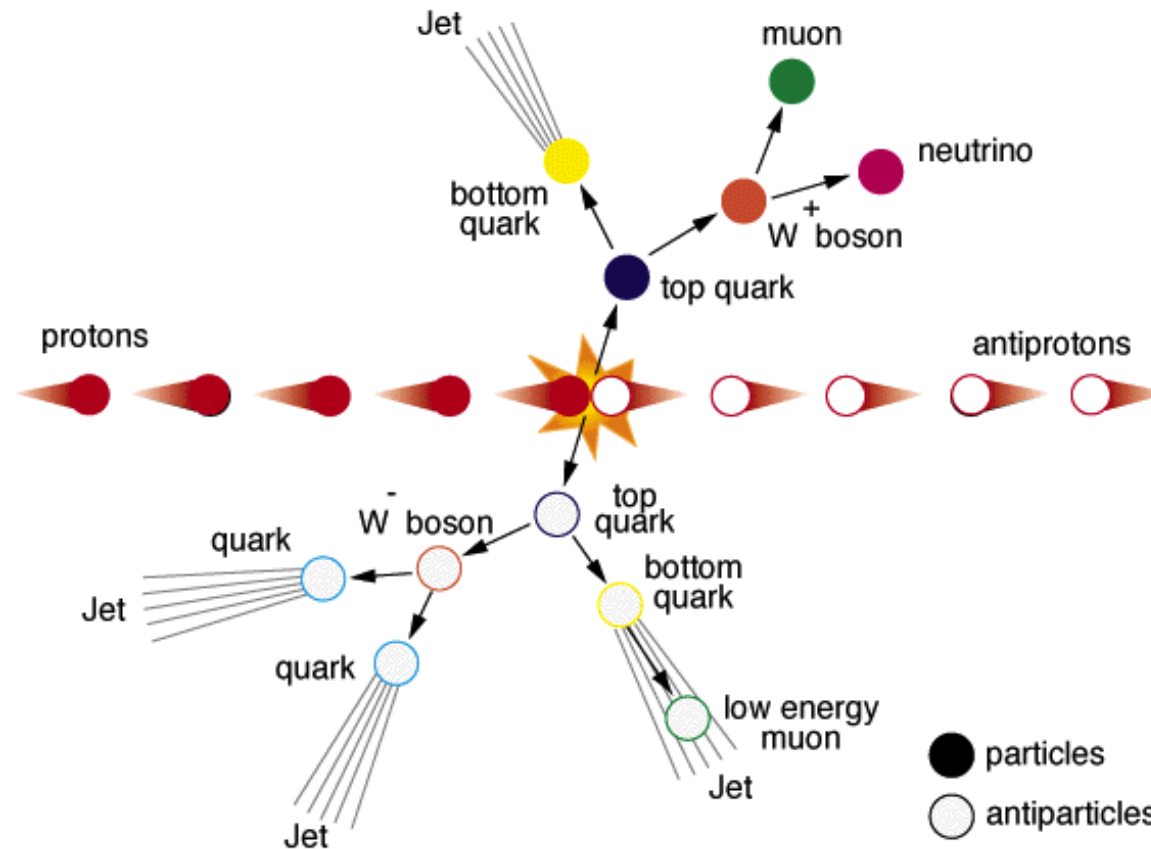


# o que vemos no detector



Particles Seen by the D-Zero Detector at Fermilab  
in a Top Antitop Quark Event.

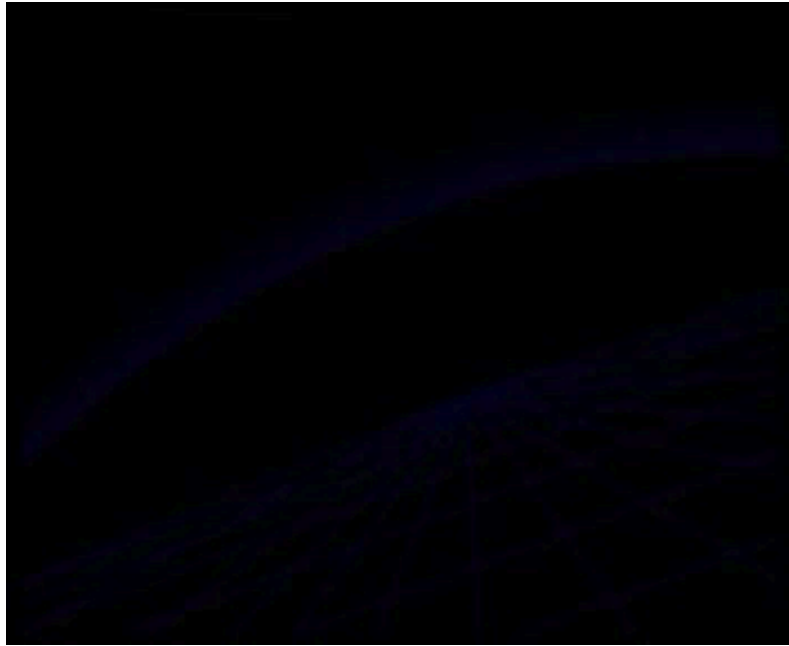
# a descoberta de uma nova partícula



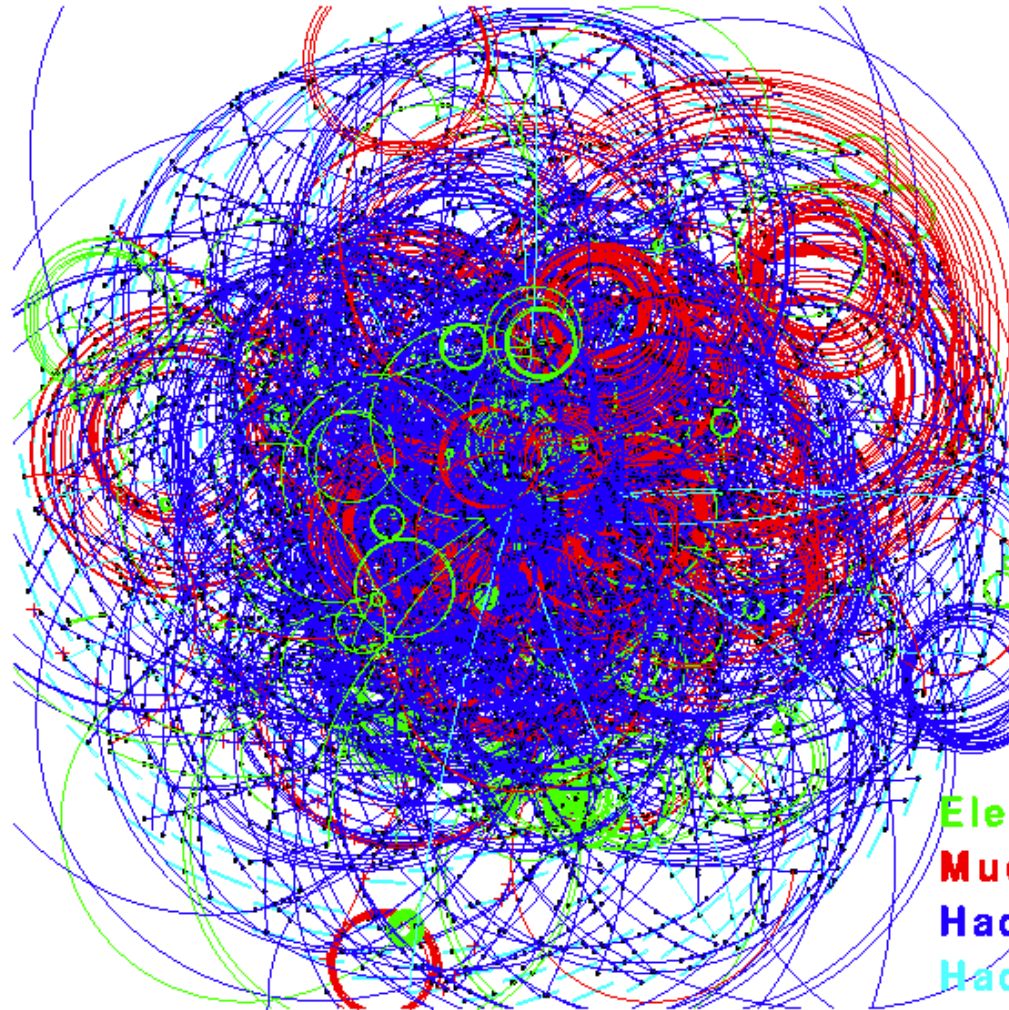
A Top Antitop Quark Event from the D-Zero Detector at Fermilab



# construção de um grande detector



# futuro - evento do LHC



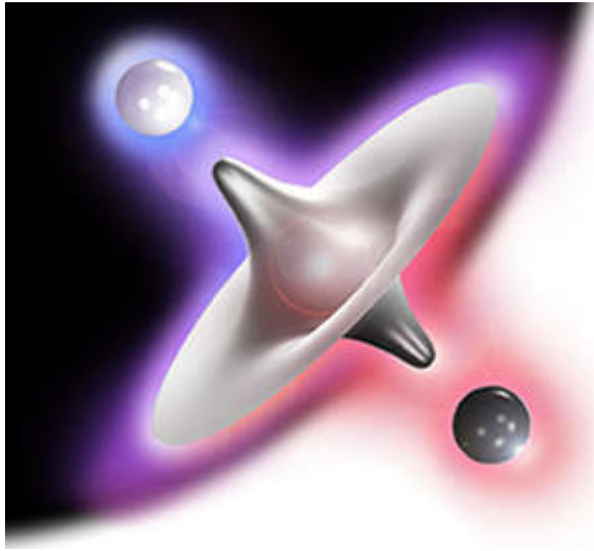
**CMS**

H  $\rightarrow$   $\mu\mu\mu\mu$   
m(H)=150GeV  
+ 20 Min bias

Electrons  
Muons  
Hadrons  $p_t < 2\text{GeV}$   
Hadrons  $p_t > 2\text{GeV}$

simulação





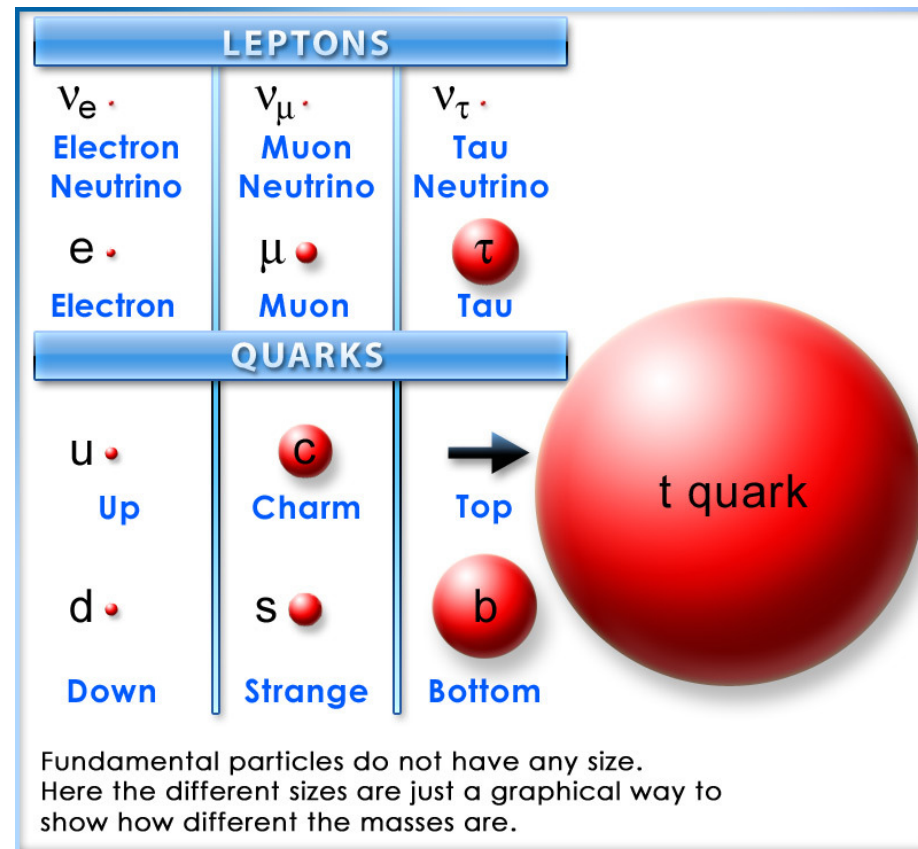
# Questões fundamentais de física de partículas ainda por responder

Porque é que existe uma pequeníssima diferença entre **matéria** e **antimatéria**?

O que são a **matéria** e a **energia escuras**, que constituem mais de 95% do Universo? Partículas supersimétricas? WIMPs? Partículas exóticas?

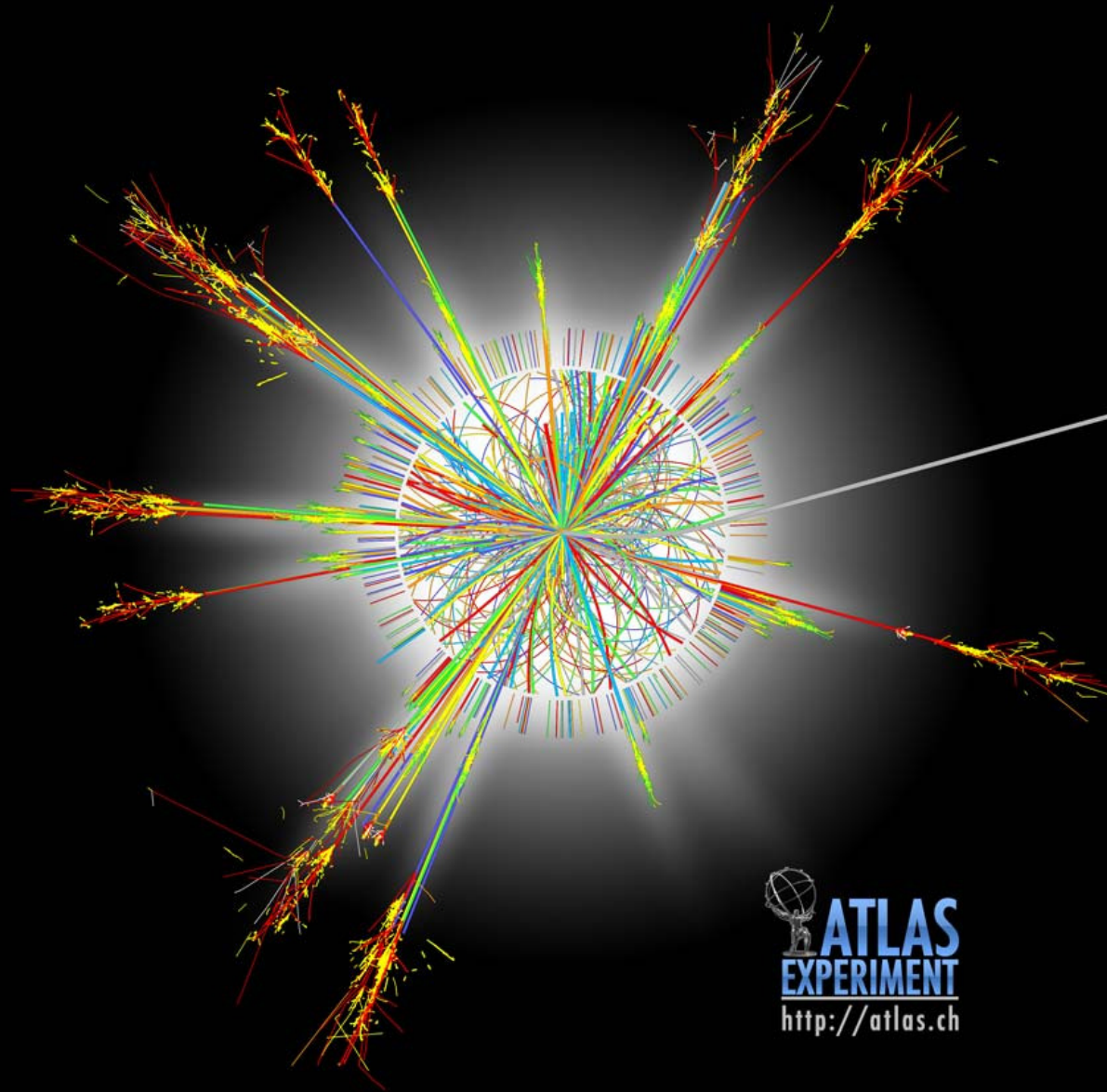
# Qual a origem da massa das partículas?

O que é que dá a **massa** às partículas elementares, como os quarks e os electrões, e porque são tão diferentes? Bosão de Higgs?





# Buraco negro microscópico

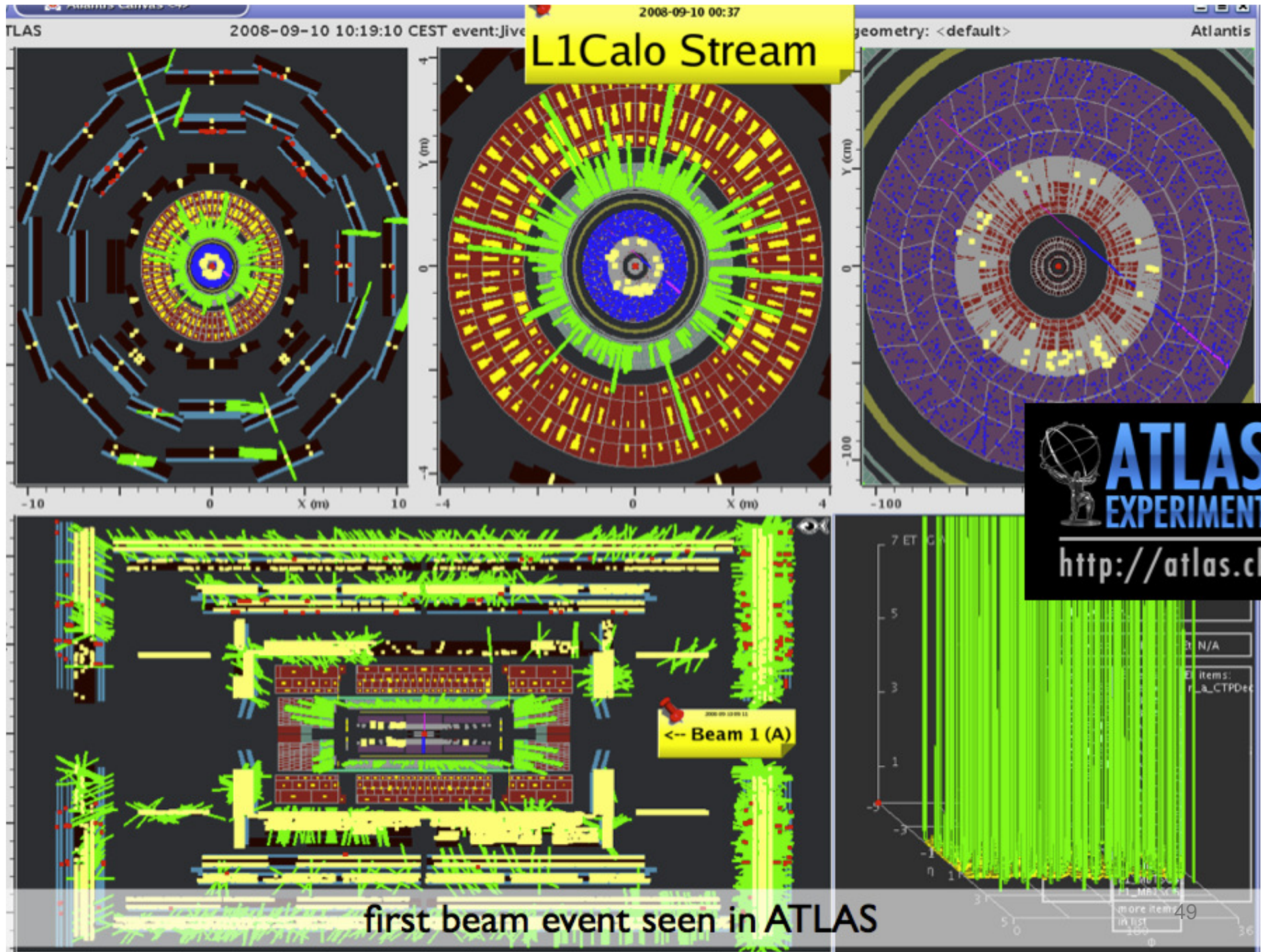


 **ATLAS**  
**EXPERIMENT**  
<http://atlas.ch>

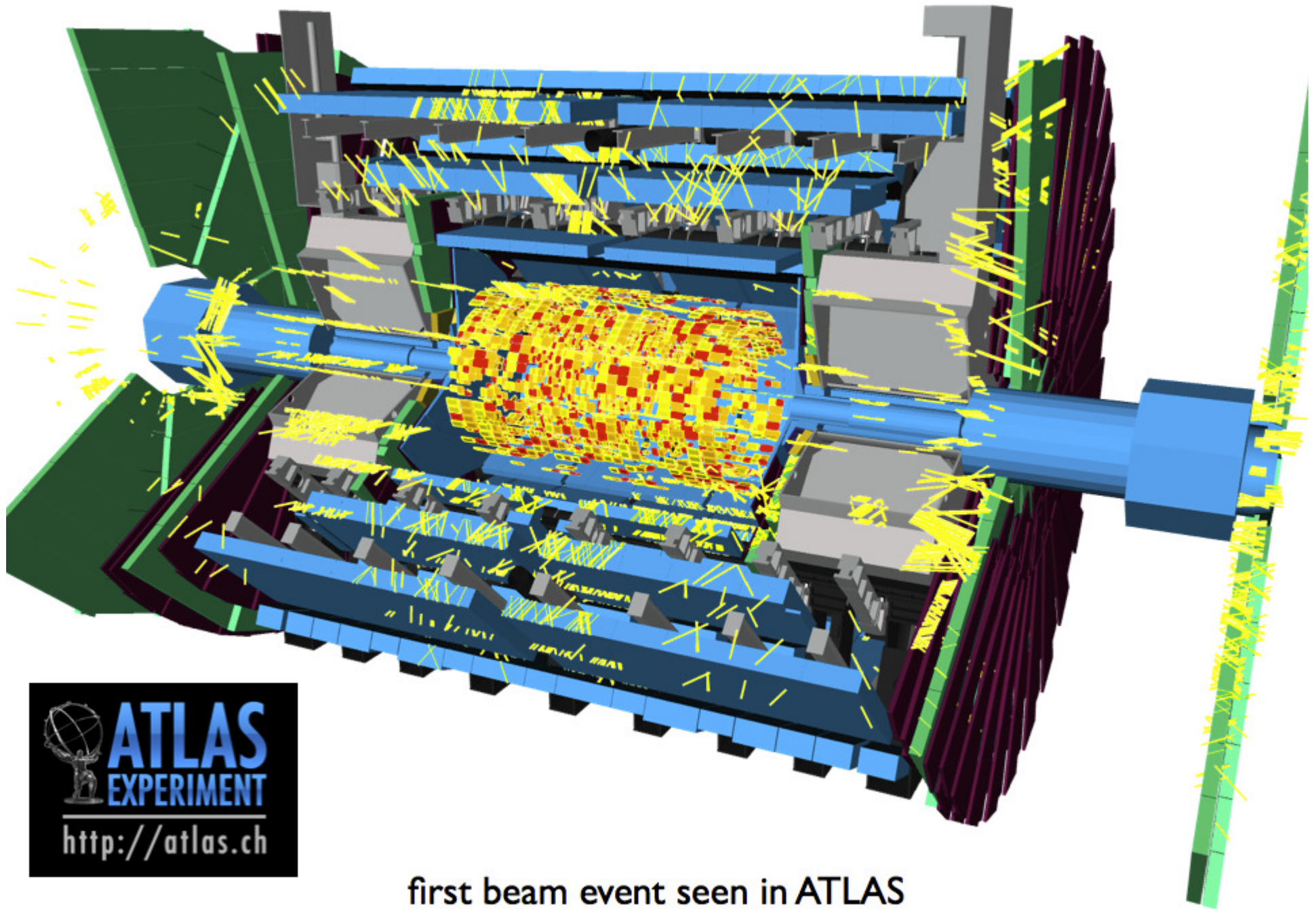
# **início do LHC**

ainda não ocorreram colisões prótão-prótão a alta energia (que só começam em 2010?), mas já houve feixe em LHC (em Setembro de 2008)

primeiros acontecimentos com feixe em LHC, registados pelo detector ATLAS







first beam event seen in ATLAS

# Detectores de radiação

Para além dos detectores enormes actualmente usadas na física de partículas, existem ainda detectores de radiação, que permitem medir a **actividade de diferentes fontes de radiação**

Por exemplo, o detector Geiger, em que a radiação ioniza o gás e é produzida uma descarga eléctrica que indica a presença da radiação

# Detector Geiger

Podemos medir a actividade radioactiva de diferentes substâncias de uma forma simples, recorrendo a um detector Geiger acoplado a um computador



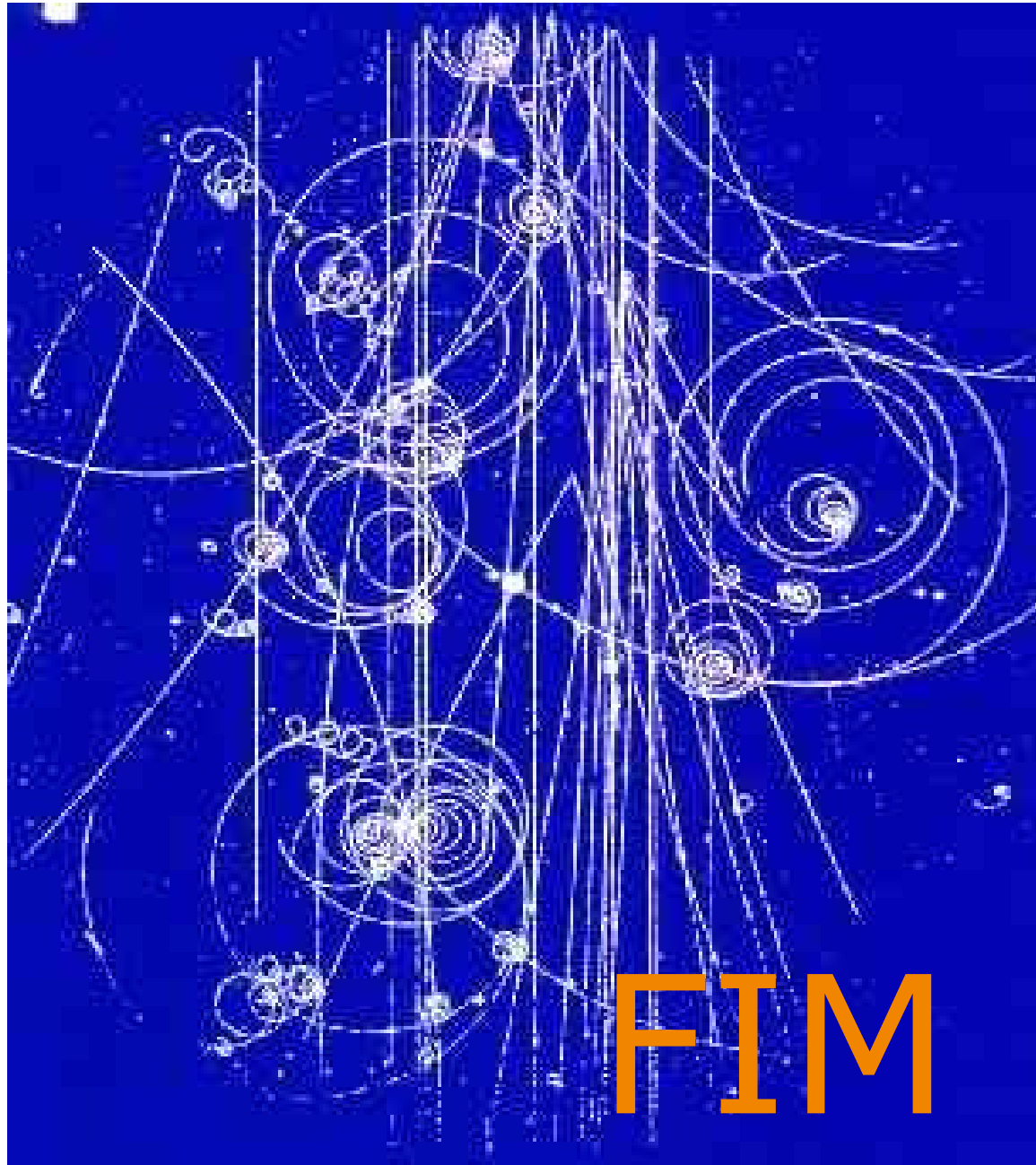
# conclusões

Em física de partículas e astropartículas precisamos de aceleradores poderosos e/ou detectores grandes e complexos

Estes são os nossos **microscópios** e os nossos **olhos** para descobrirmos novas partículas e interacções

Estamos a descobrir como funciona a natureza e estudamos fenómenos cada vez mais próximos da **origem do Universo** (big bang)

A maior aventura de todas é a descoberta científica

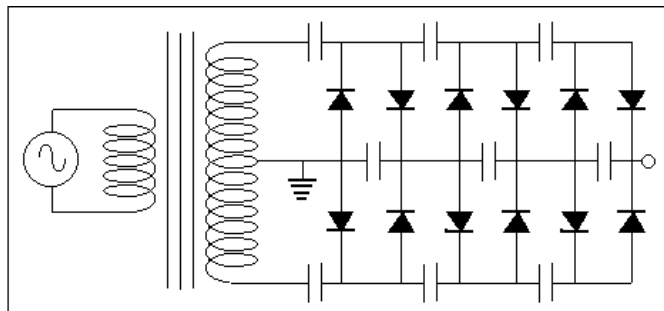


# o CERN em 2 minutos





# acelerador Cockcroft-Walton

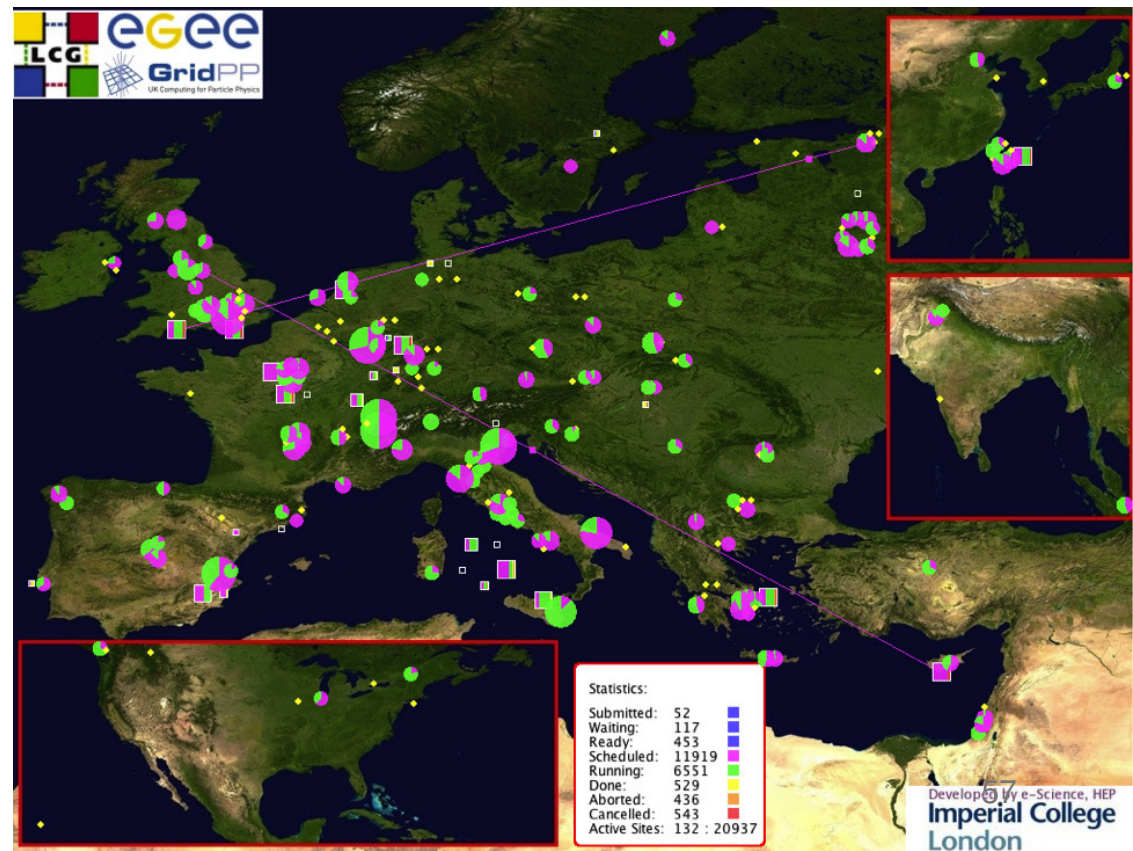


# GRID de computação

Por segundo, as experiências de LHC produzirão 400 MB de dados

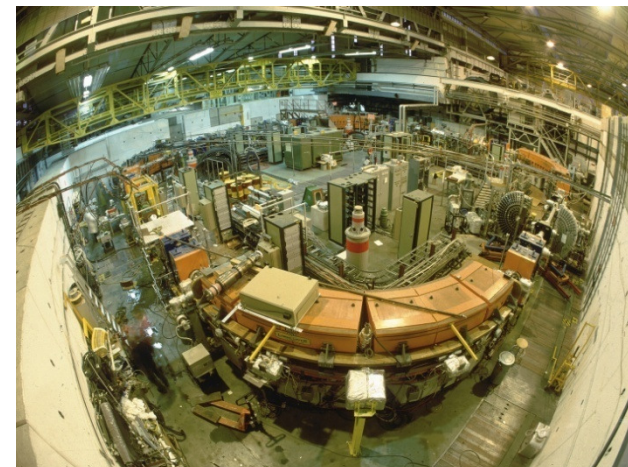
Se fossem armazenados em CDs, por ano era produzida uma pilha que chegava à estratosfera (20km!)

Para armazenar, reconstruir, partilhar e analisar estes dados foi construído um sistema de computação distribuída, a nível global, com dezenas de milhares de processadores (LCG-LHC Grid)



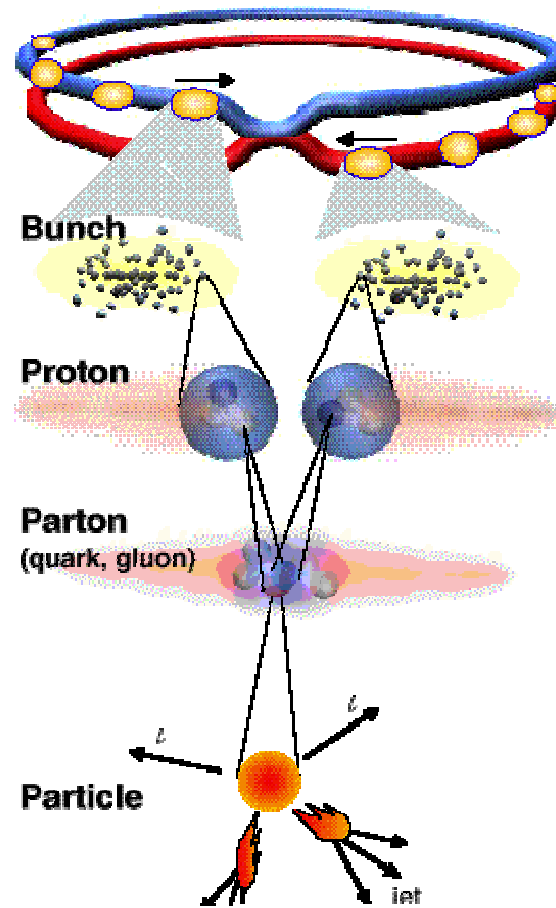


# aceleradores no CERN

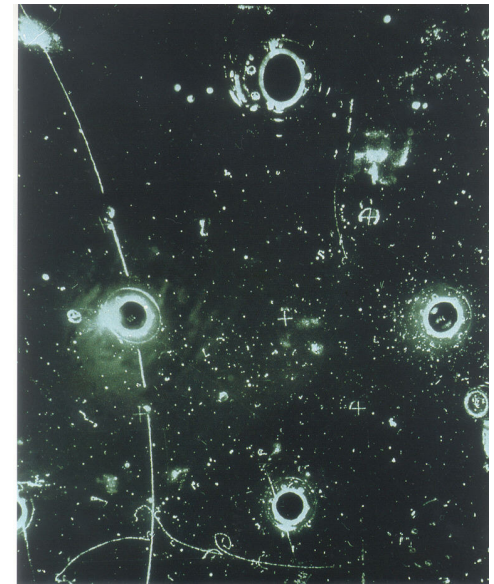
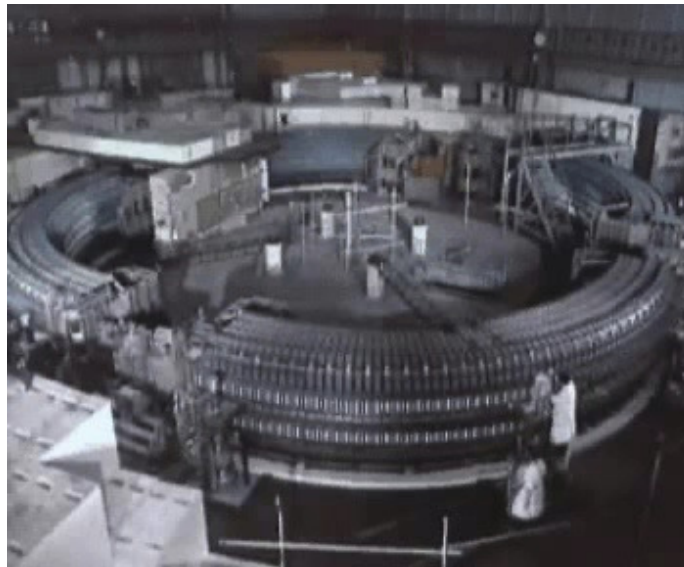
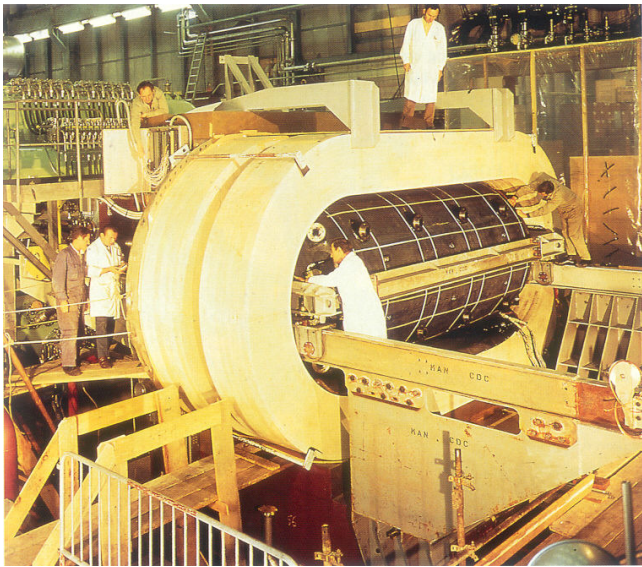




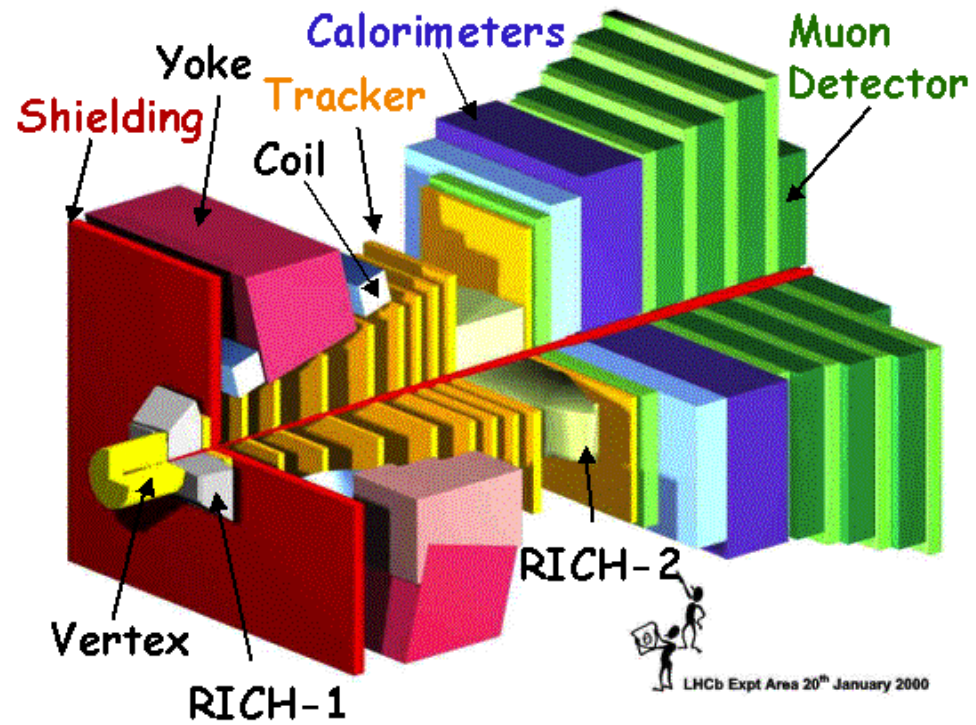
# colisões de feixes de partículas



# gargamelle, uma câmara de bolhas para neutrinos

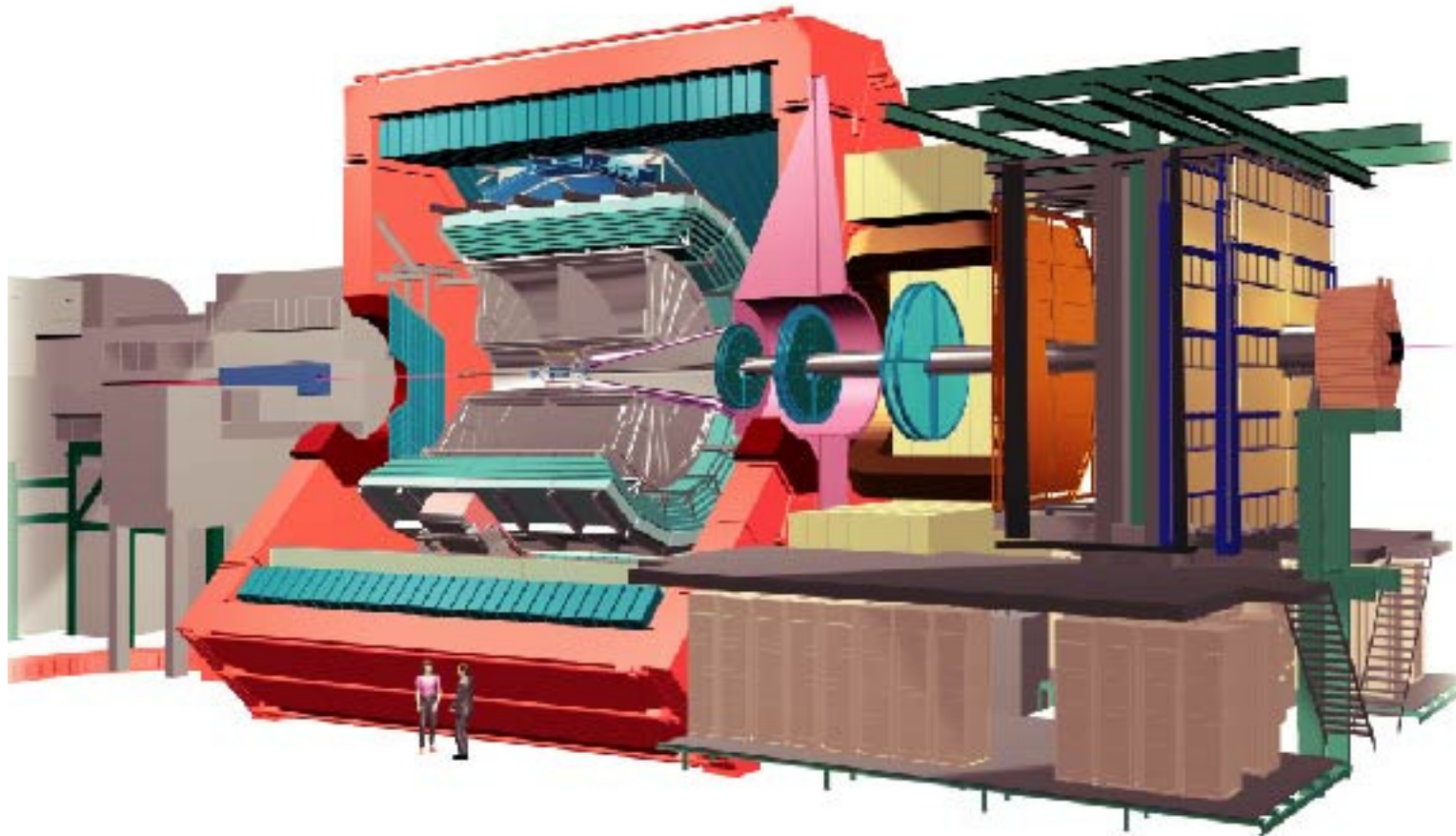


# detector LHCb

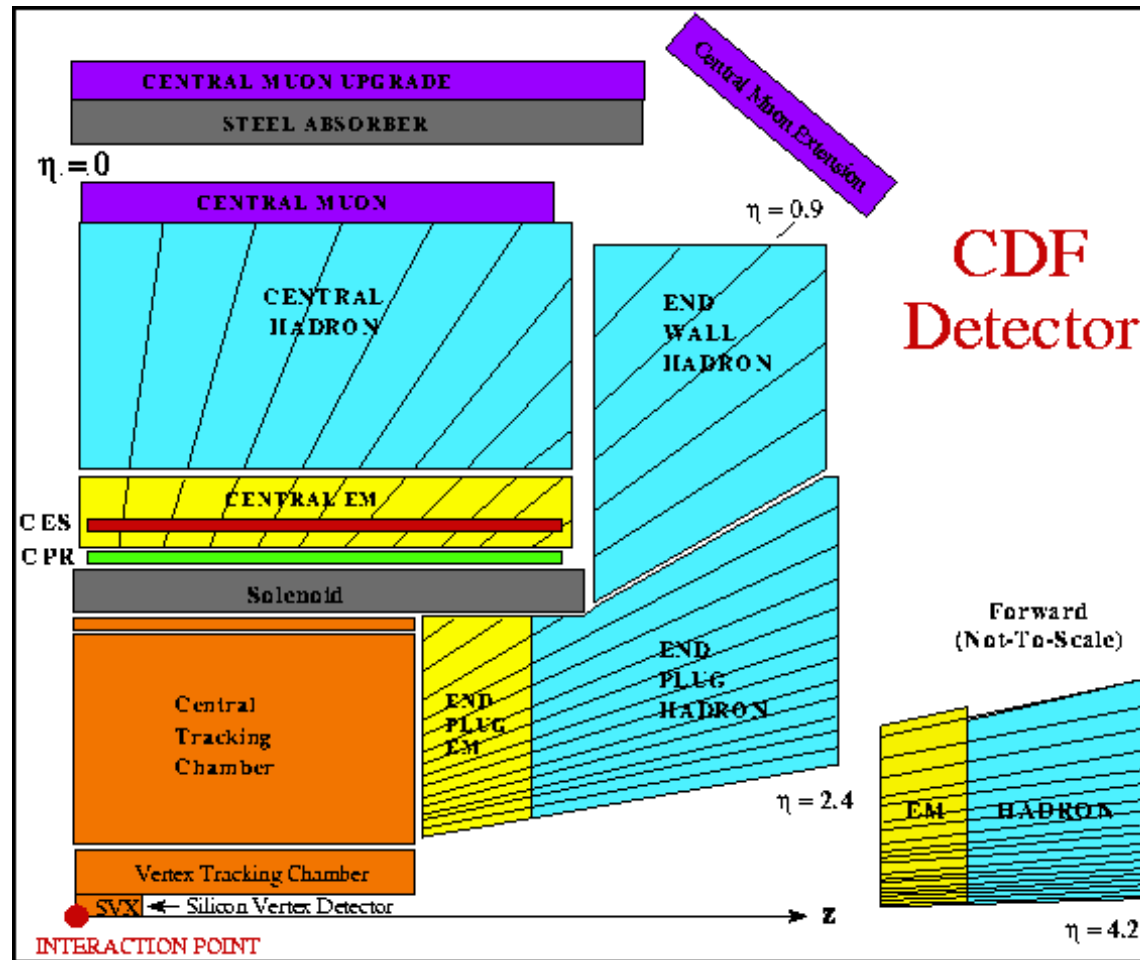




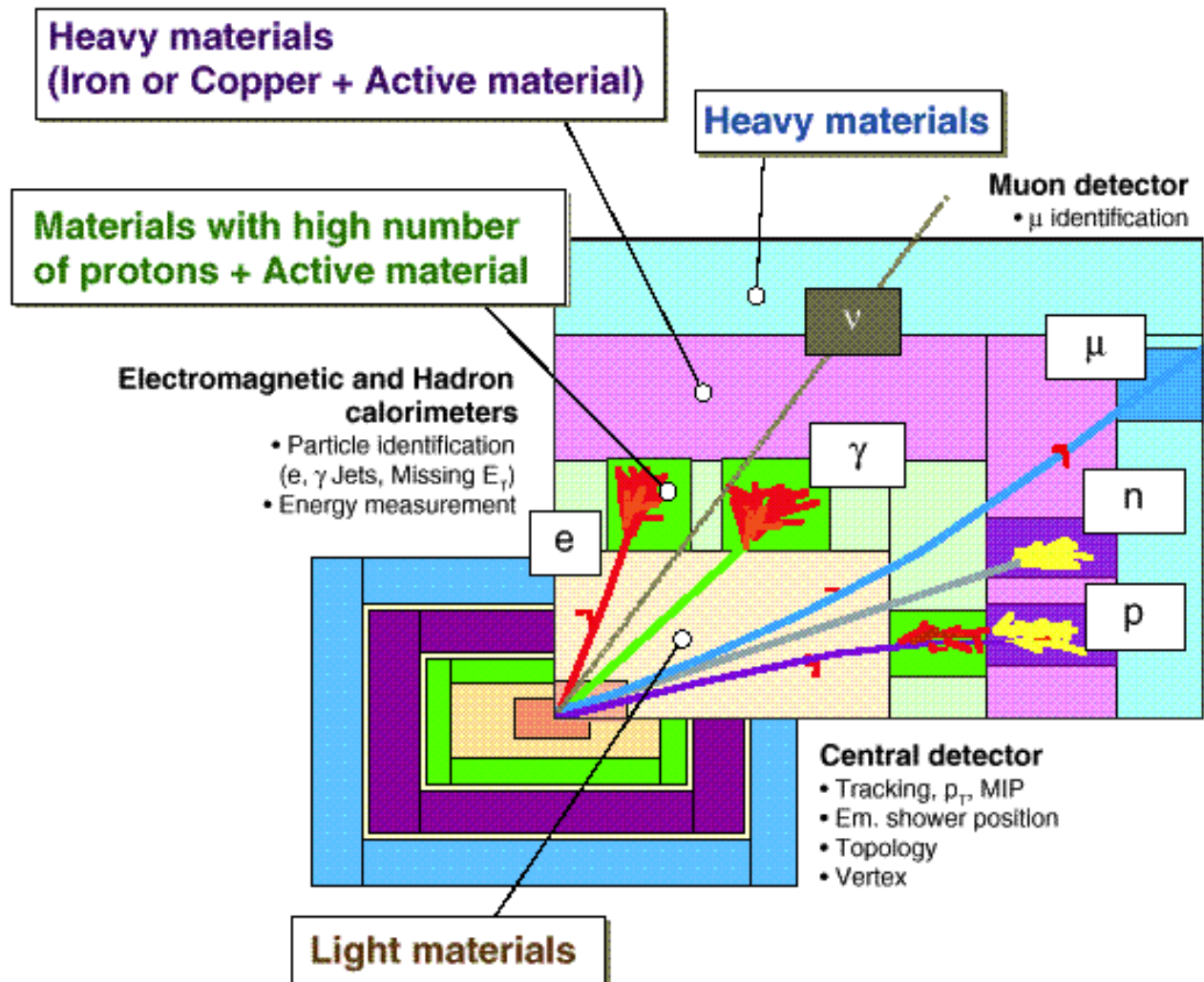
# detector ALICE



# organização típica de um detector de anel de colisão



# papel dos vários detectores





## e isto tudo não é muito caro?

os benefícios práticos da física de partículas:

- a descoberta dos electrões deu-nos a electrónica
- a descoberta dos positrões deu-nos a tomografia por emissão de positrões
- a invenção da world wide web no CERN

os benefícios intelectuais da física de partículas:

- a maior aventura de todas é a descoberta científica (como construir uma catedral ao longo de gerações)
- "(trabalhar em) física de partículas não contribui para a defesa do país excepto que torna o país mais valioso e merecedor da sua defesa" robert wilson