Concepção de um detector em física de Altas energias

(o ATLAS como exemplo de uma experiência do LHC)

Ana Henriques

CERN

Sumário

- Os princípios de interacção das partículas com a matéria

- Os vários componentes de um detector:

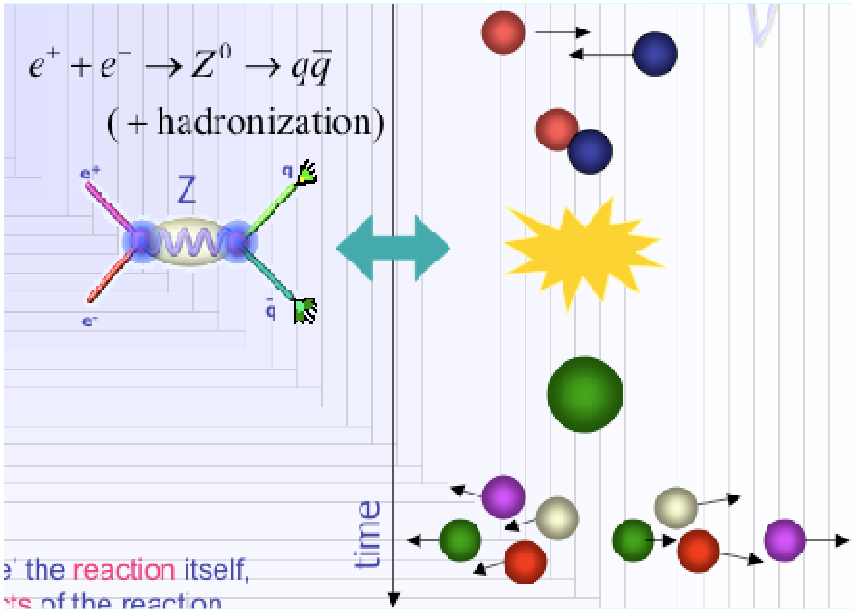
  - Calorímetro electromagnético e hadrónico
  - Detector de traços interno
  - Espectrómetro de muões

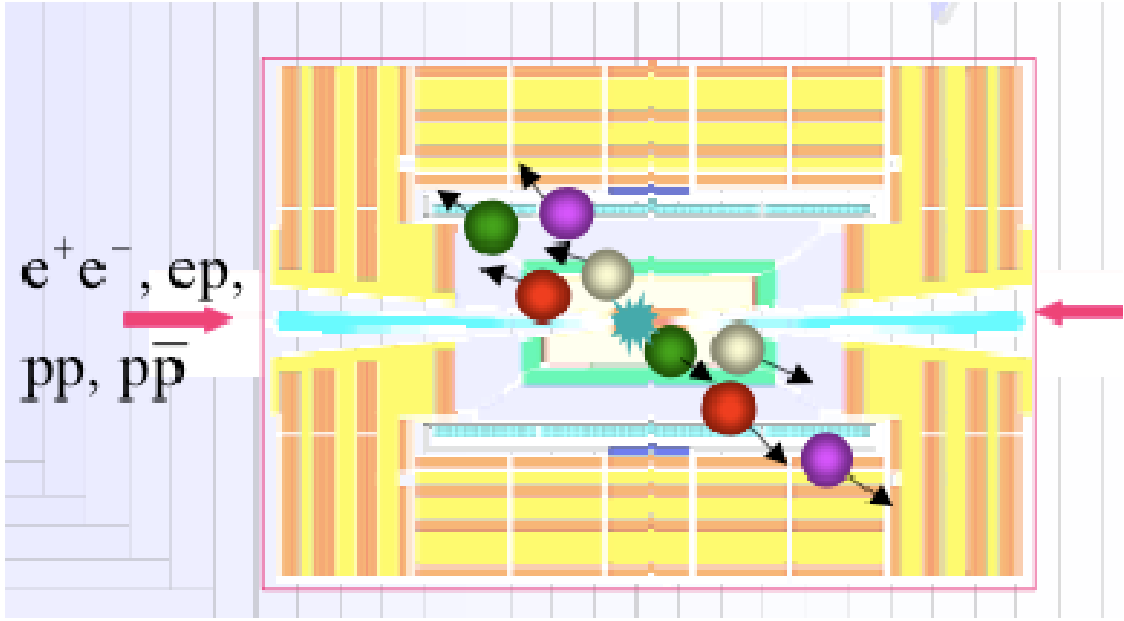
- Integração num detector global
- o ATLAS como exemplo de uma experiência do LHC

Quais as partículas que podemos detectar?

- Partículas carregadas : $e^+, e^-, p, \pi^{\pm}, \mu^{\pm}$
- Partículas neutras: γ, n, π^0, ν
- Partículas com semi-vida muito curta não são observadas de forma directa, o que detectamos serão os produtos da sua desintegração (muito frequente em experiencias de física de altas energias)
- Diferentes tipos de partículas vão interagir de forma diferente com o material que constitui o detector.

Qual a função de um detector numa experiência de Física de altas energias?

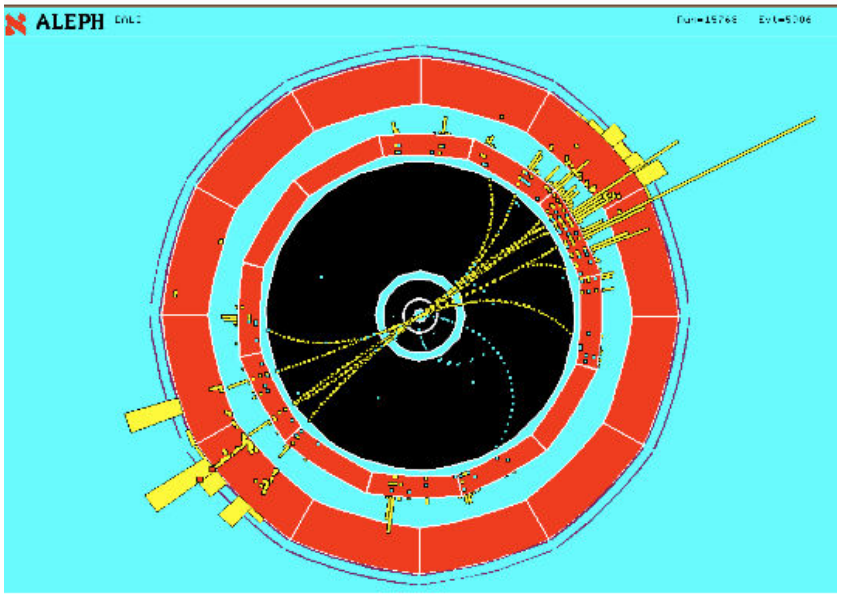




Em geral não se 'vêm' as partículas criadas numa colisão mas sim os seus produtos finais (partículas carregadas,neutras, fotões,…) que vão ser detectadas através da sua interacção com a matéria que constitue as várias partes do detector .

$Z \rightarrow q\bar{q}$

Two jets of particles



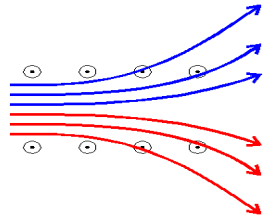
Qual a função de um detector numa experiência de Física de altas energias?

Um detector ideal será aquele que permite detectar e medir as propriedades das partículas emergentes e assim reconstruir completamente o evento . Um detector deve ter:

-Um ângulo de 'visão máximo (com boa granularidade e sem espaços mortos).

-Efectuar medidas de momento e energia das partículas (p, E) => massa $E^2 = m^2 \cdot c^4 + \vec{p}^2 c^2 \Rightarrow m = \frac{\sqrt{E^2 - \vec{p}^2 c^2}}{c^2}$

-Detectar e identificar a trajectória das partículas (carga)



$$F = q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\Rightarrow q \cdot B \cdot R = m \cdot v = |\vec{p}|$$

-Ter uma resposta rápida de forma a medir o tempo de vida da partícula (semi-vida)

Isto só e possível utilizando vários sub-detectores complementares

Princípios de detecção

Só é possível medir as características duma partícula se elas interagirem com o material do detector => criar um sinal mensurável (sinal eléctrico, luminoso, …)

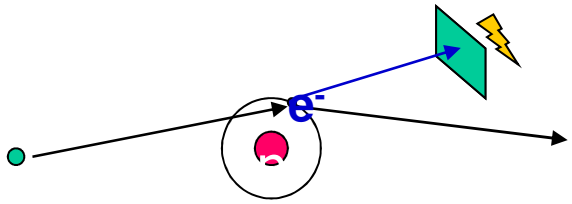
As partículas carregadas vão interagir por:

- **Ionização**

Colisões com os átomos do material absorvedor arrancando electrões e transferindo-lhes parte da sua energia inicial.

⇒ produção e detecção de carga

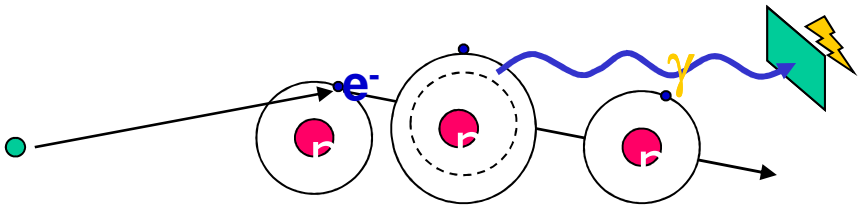
O número de colisões e consequente perda de energia é proporcional a densidade de electrões do meio



- **Excitação**

Excitação do material absorvedor com libertação de fotões que vão transportar parte da energia da partícula incidente

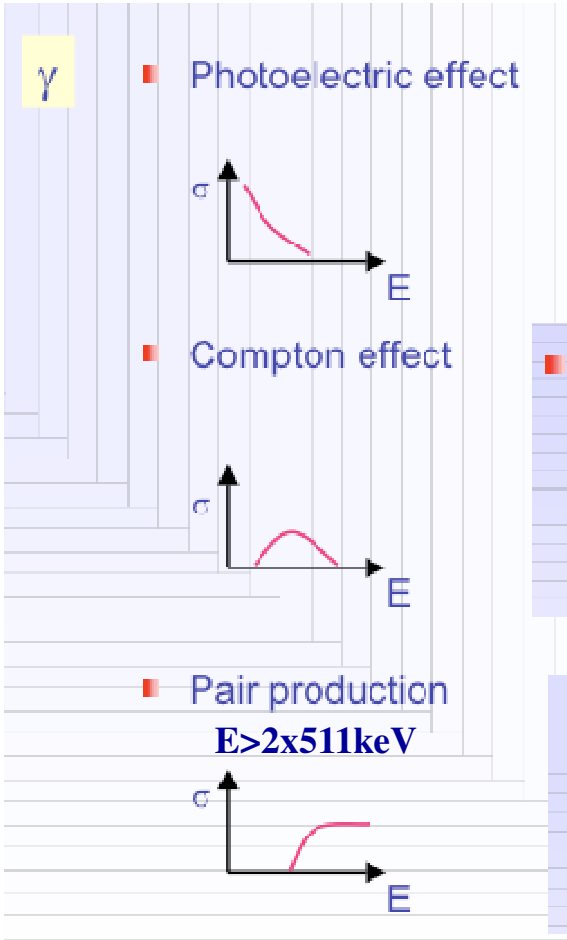
=> Produção e detecção de luz

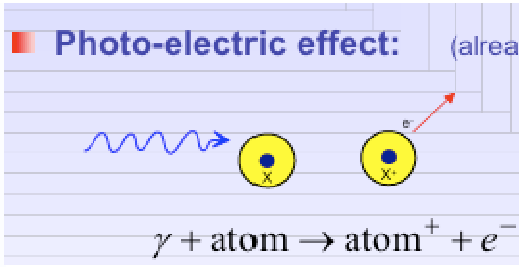


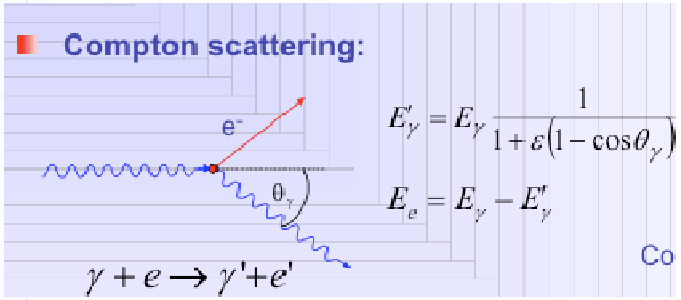
- **Mudança da trajectória das partículas**
  - Curvando-as com um campo magnético, medindo a sua perda de energia
  - dispersão, mudança de direcção, absorção

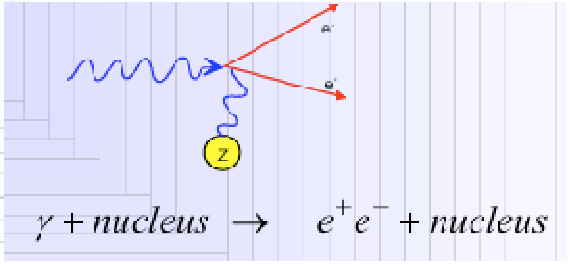
Interacção das partículas neutras (fotões)

Para ser detectado o fotão tem de criar ou transferir a sua energia para partículas carregadas







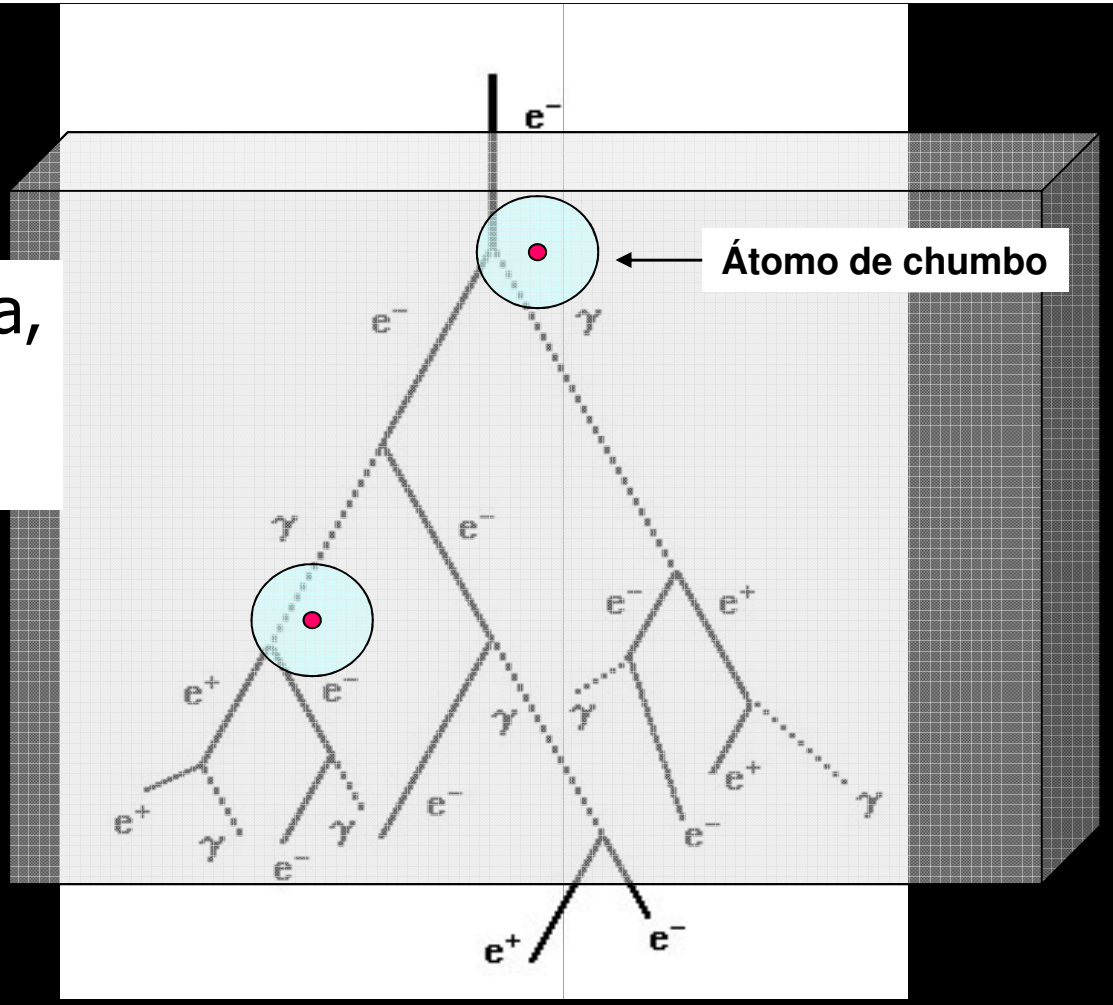


Os e^{+-} assim formados vão por sua vez interagir com o detector por ionização ou excitação

Este ciclo vai-se converter numa cascata de partículas electromagnética

Cascata electromagnética

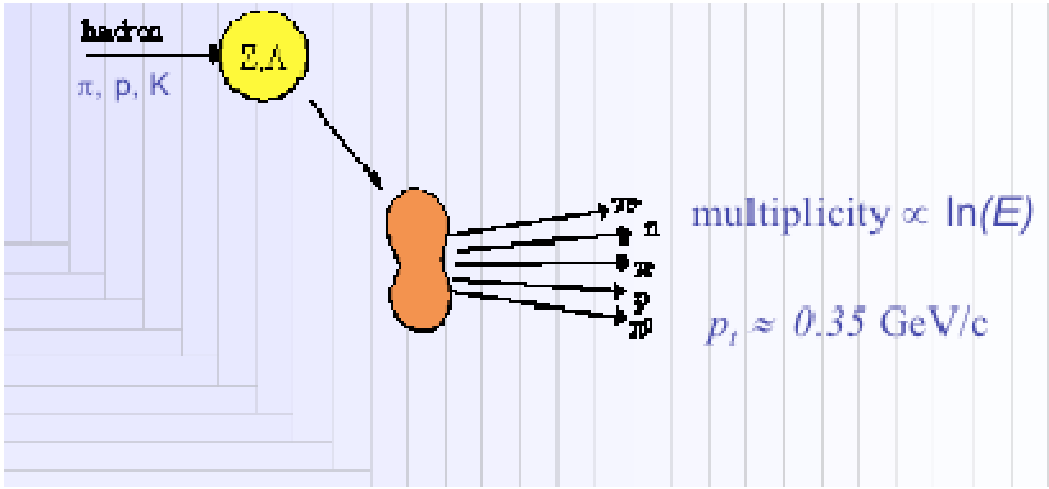
Bloco de Matéria,
Ex: Chumbo



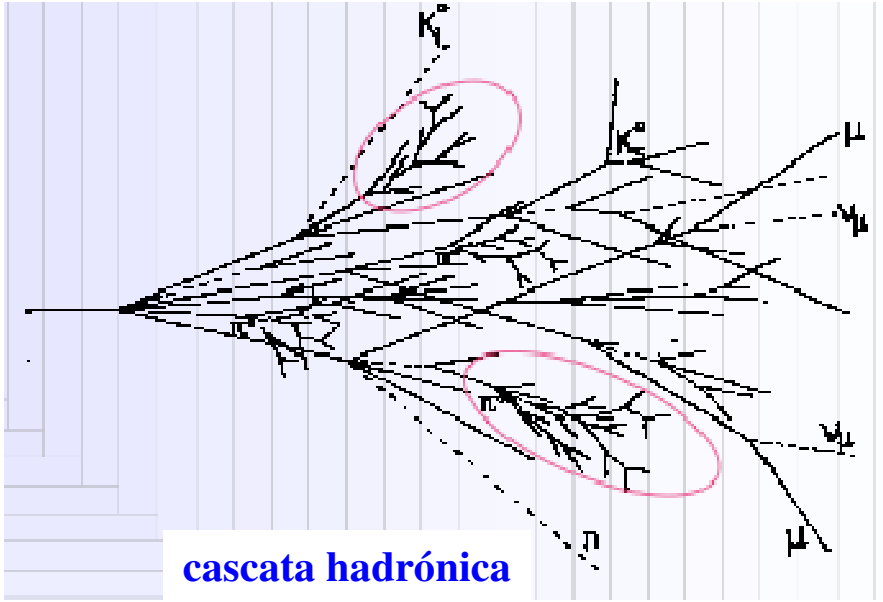
Interacção das partículas hadrónicas carregadas (p,π,k) ou neutras (n)

A interacção de hadrões energéticos (neutros e carregados) com a matéria é determinada por processos inelásticos, i.e., excitação nuclear que leva à fragmentação e emissão de partículas secundárias =>

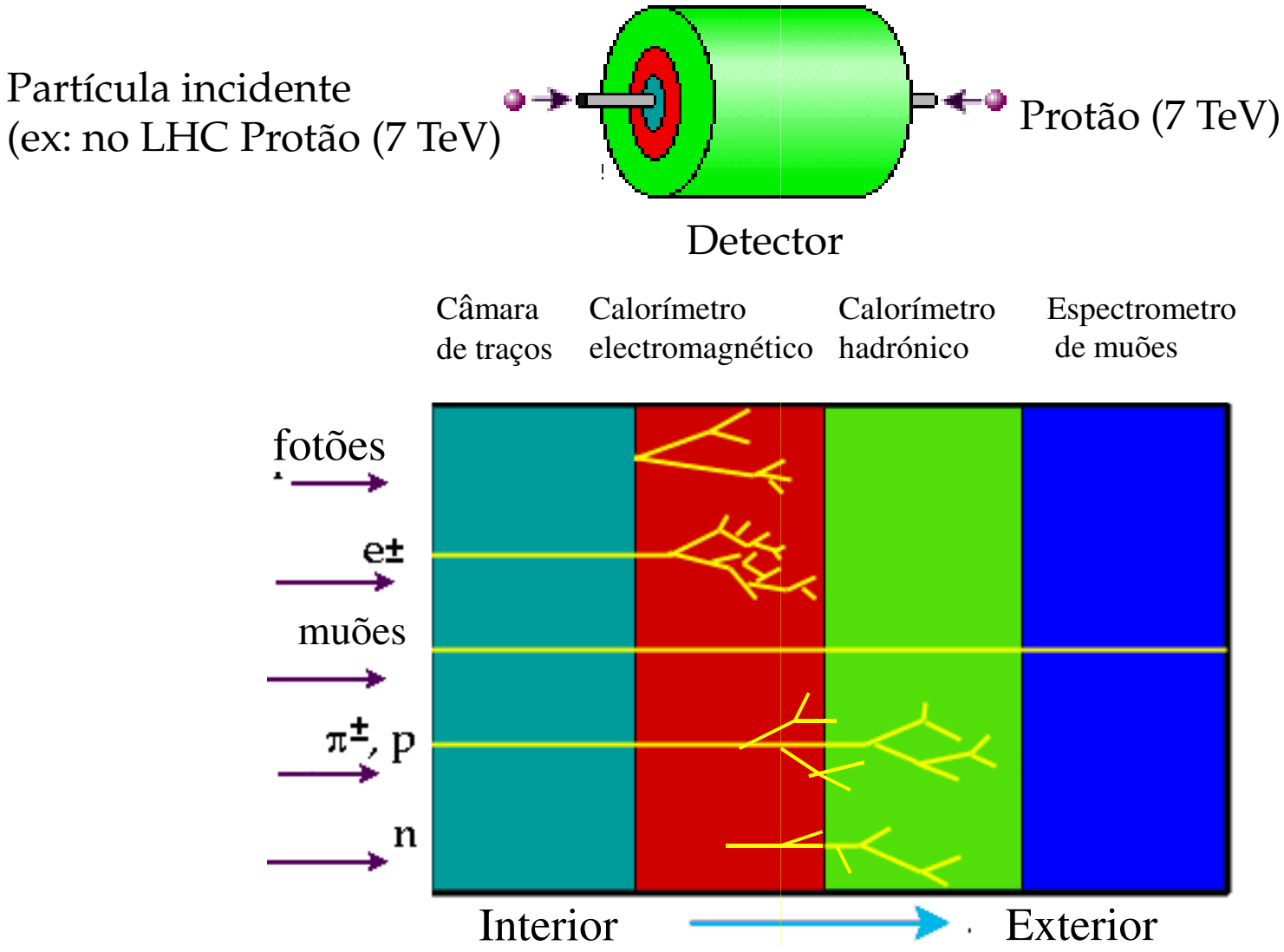
Formação de uma cascata hadrónica!



Os neutrões para serem detectados tem de criar partículas carregadas através de processos elásticos (E_n > 1GeV) e inelásticos (E_n < 20 MeV)



As componentes de um detector num colisionador de partículas



O Princípio de detecção dos Calorímetros

Mecanismo básico em calorimetria:

- *Formação de cascatas electromagnéticas (calorimetros electromagnéticos)*
- *Formação de cascatas hadrónicas (calorimetros electromagnéticos+hadrónicos)*

Transformação da energia da cascata electromagnética:

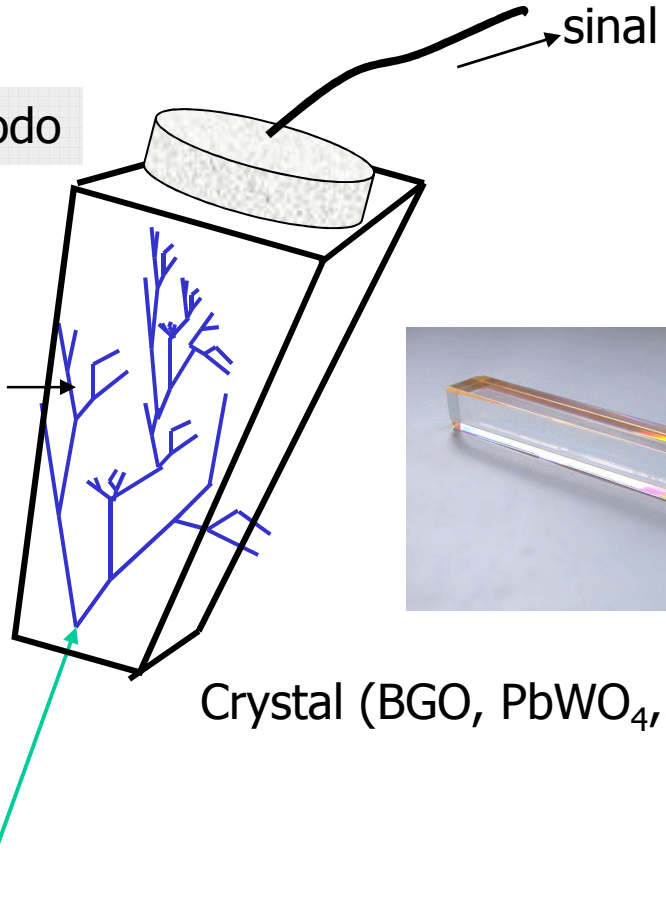
Ionização-produção de e^- (carga)
Excitação-producção de γ: (cintilação e luz de Cherenkov)

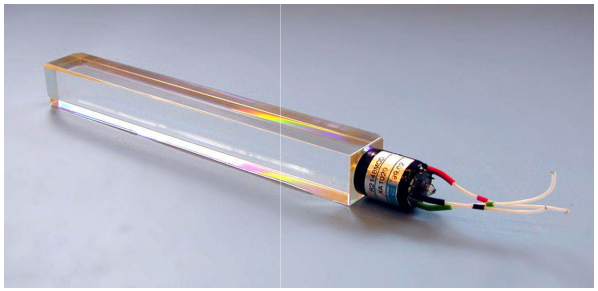
Método destrutivo, i.e., Partícula e energia são absorvidas.
Resposta do detector $\propto E$
funciona para partículas carregadas ($e^{+/-}$ e hadrões)
…em complementaridade às medidas de momento p
funciona para partículas neutras (n, fotões)
…única forma de obter directamente
informação da cinética de partículas neutras

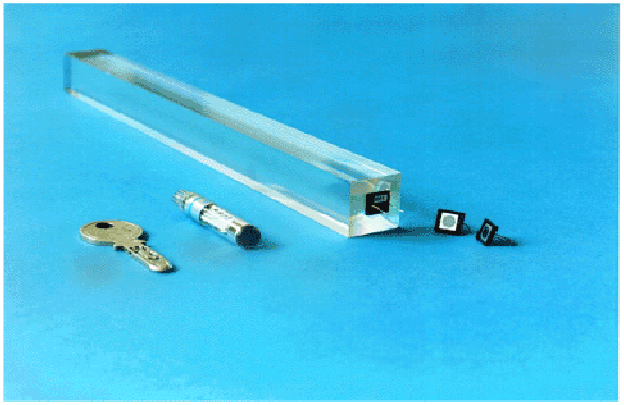
Calorímetros homogéneos

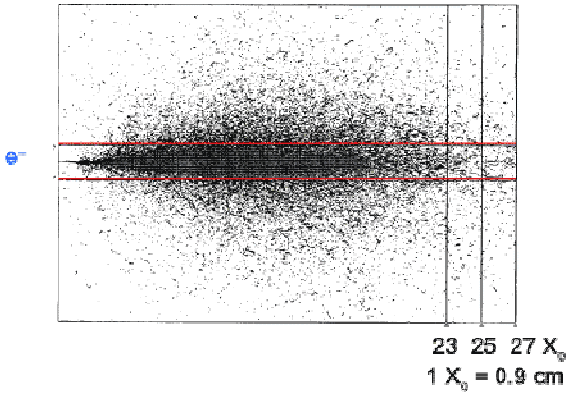
Toda a energia absorvida no detector é detectada,

ex: ***'crystal calorimeters'*** **(calorímetro electromagnético de CMS** ($PbWO_4$)**:**



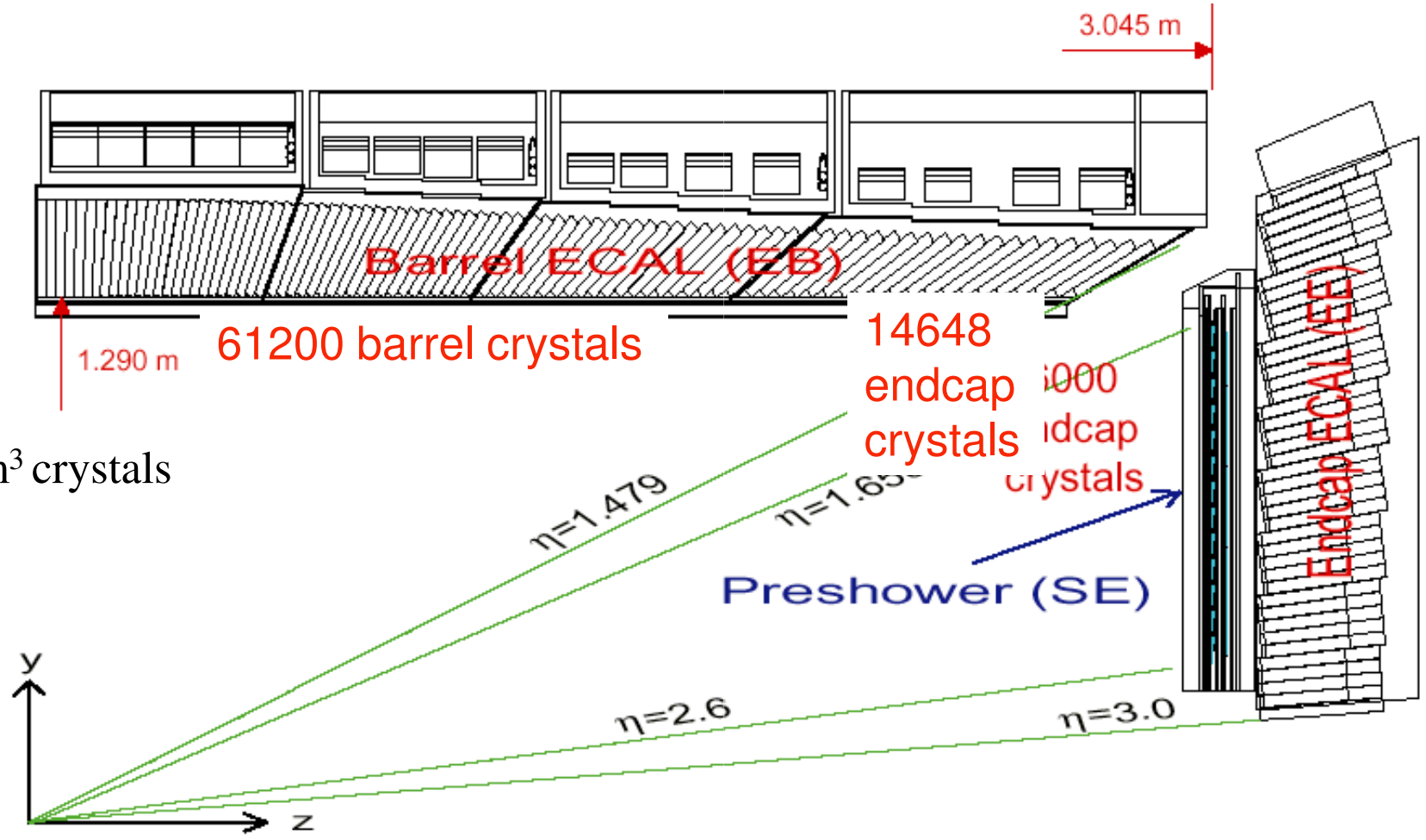






Ana Henriques/CERN

Calorímetro electromagnético de CMS

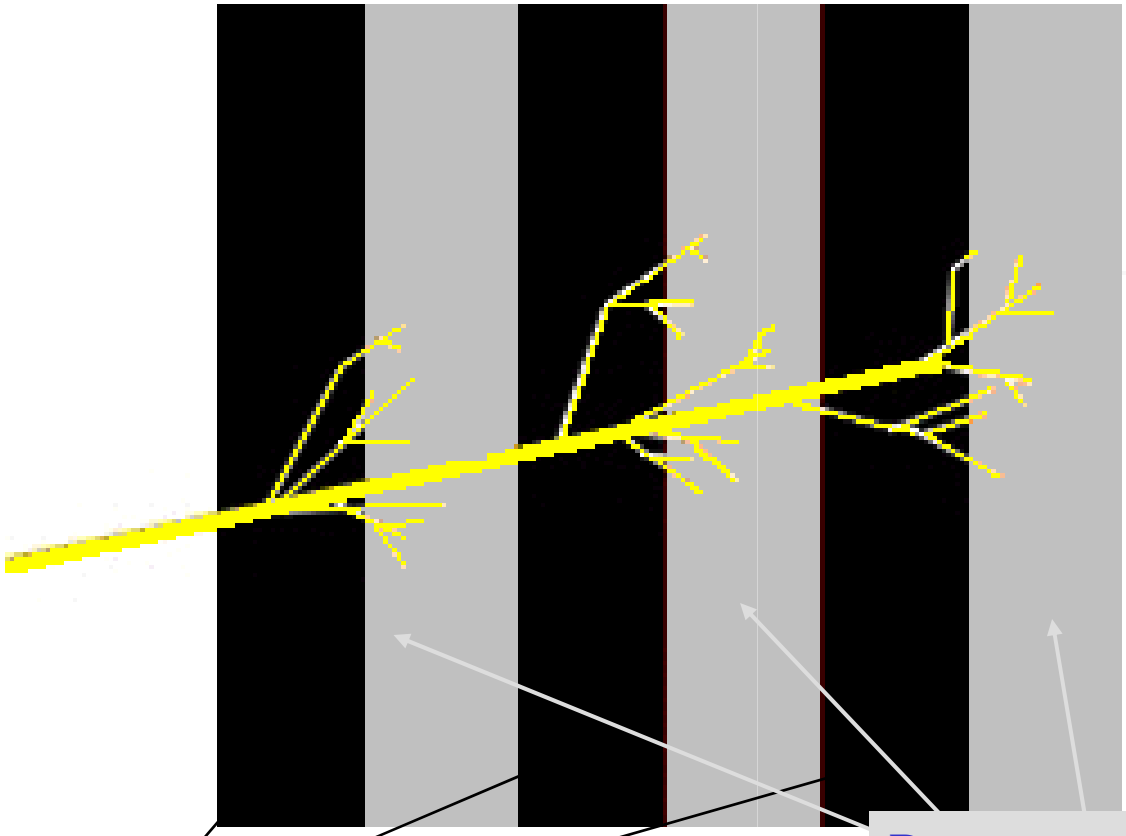


$10m^3$ crystals

Calorímetros de amostragem

O material activo (menos denso) é intercalado com um material absorvedor muito denso:

O que se detecta é uma fracção da energia absorvida , proporcional à energia incidente das partículas (ex: calorímetro electromagnético de ATLAS, todos os calorímetros hadrónicos em LHC)

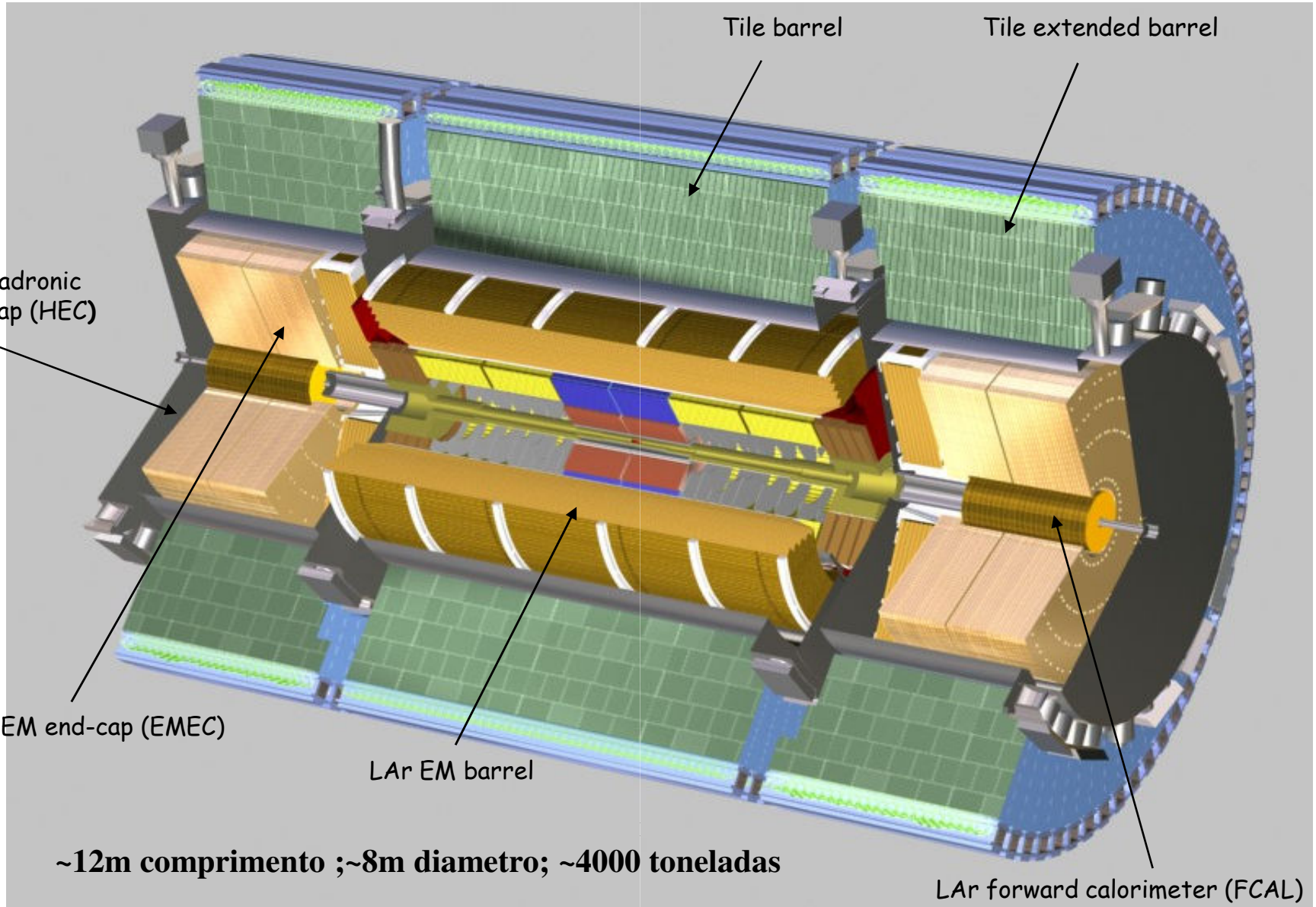


...mas tem de ser calibrado com feixes de energia conhecida !!!

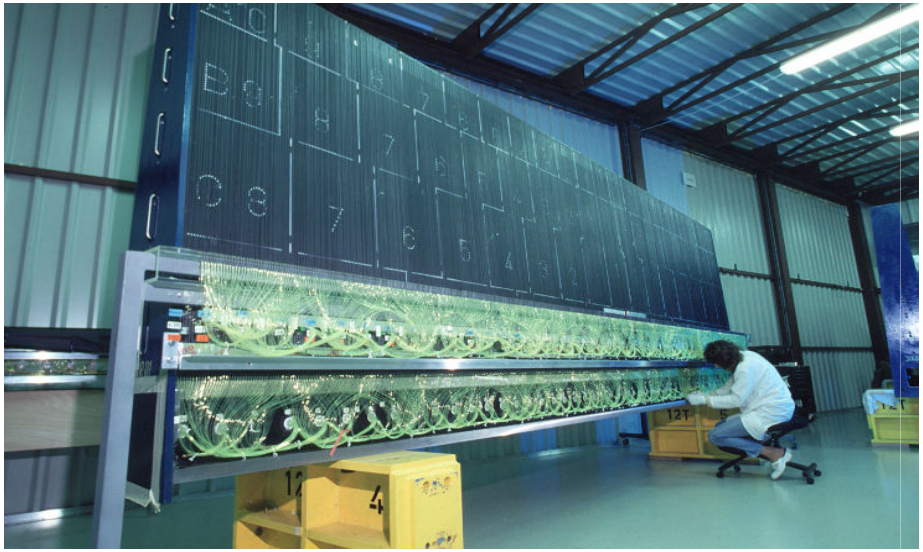
Blocos densos, ex: chumbo,Fe,..

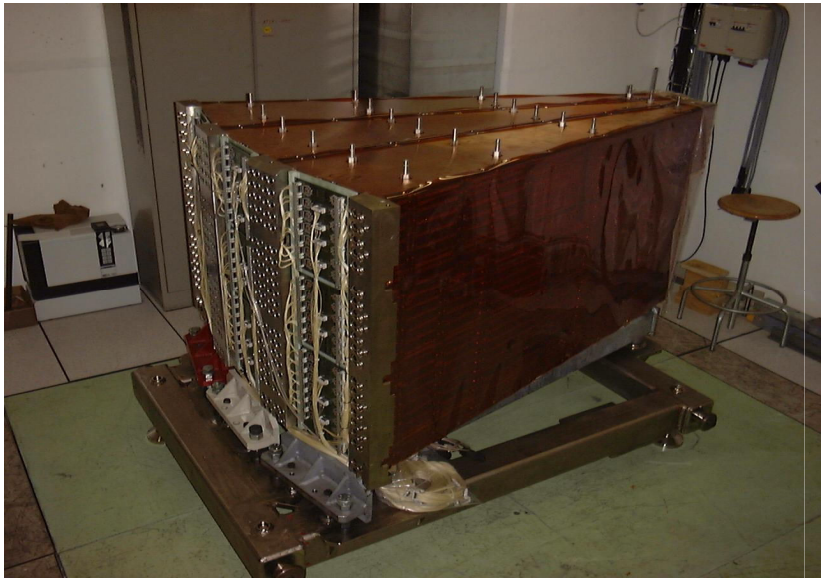
Detectores - câmaras de fios e cintiladores

Calorímetros de ATLAS



Calorímetros de amostragem em ATLAS





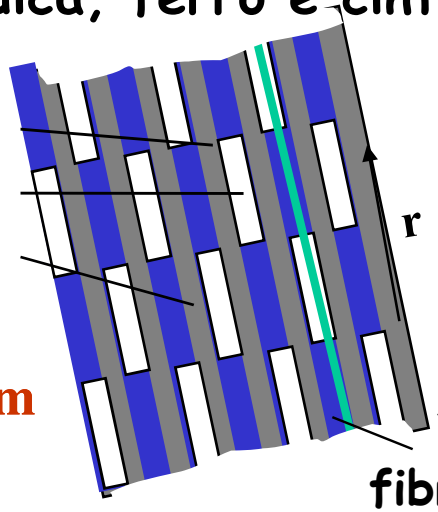
Ana Henriques/CERN

Estrutura e princípio de funcionamento do calorímetro Tilecal

Estrutura periódica, ferro e cintiladores de plástico

placa mestra (5mm)
espaçador (4mm)
cintilador (3mm)

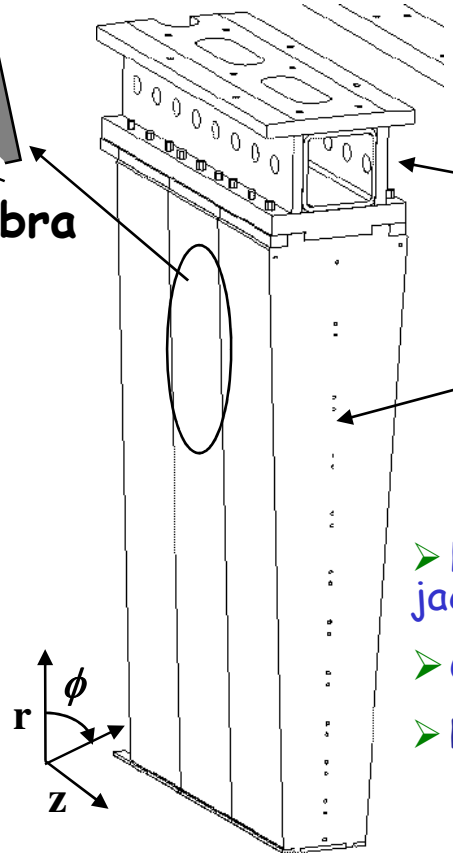
período básico, 18mm



- razão Fe/cint. 4:1
- diâmetro ext 8.5 m
- comprimento 12 m
- peso total 2900 T

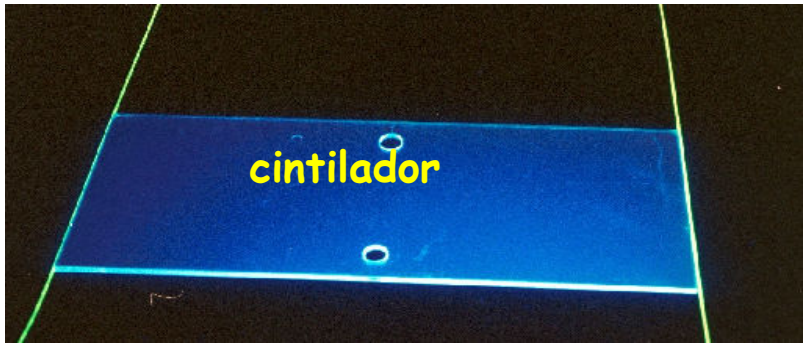
Caveta (com electrónica)

sub-módulo



Luz produzida nos cintiladores transmitida até aos fotomultiplicadores através de fibras ópticas WLS

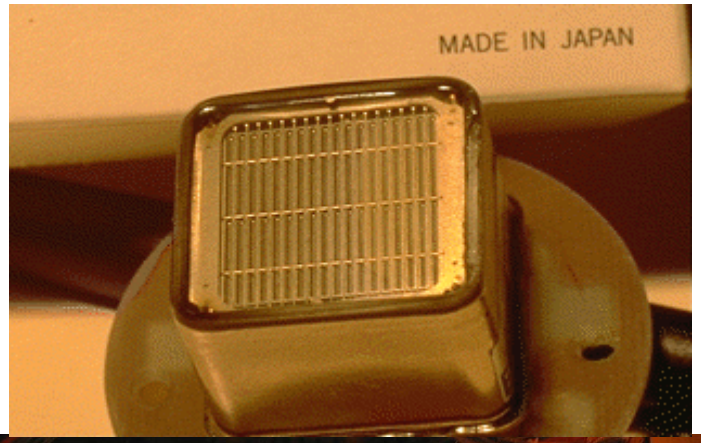
Fibras WLS

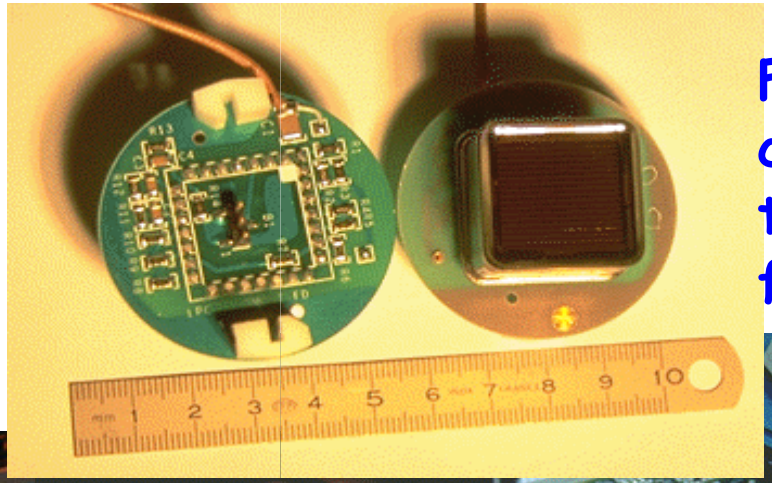


- Hermeticidade para detecção de jactos e E_t^{miss}
- Cobertura $|\eta| < 1.6$
- Resolução em energia para jactos

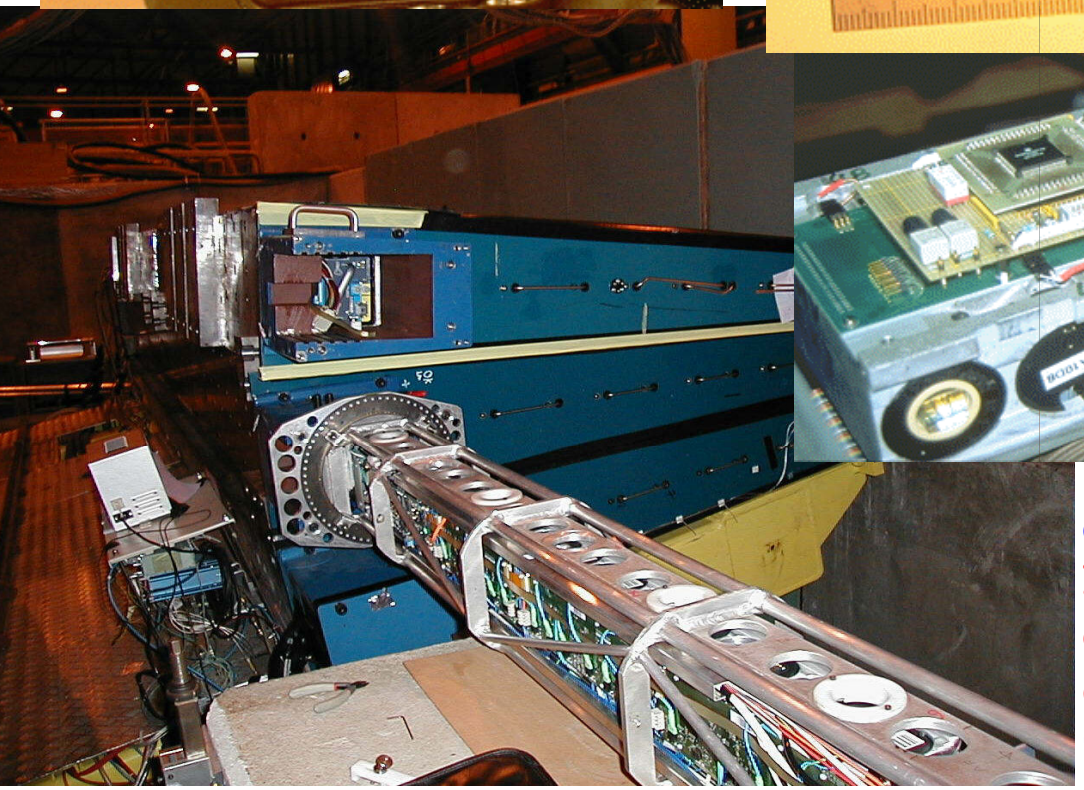
$$\frac{\Delta E}{E} \sim \frac{50\%}{\sqrt{E}} \oplus 3\%$$

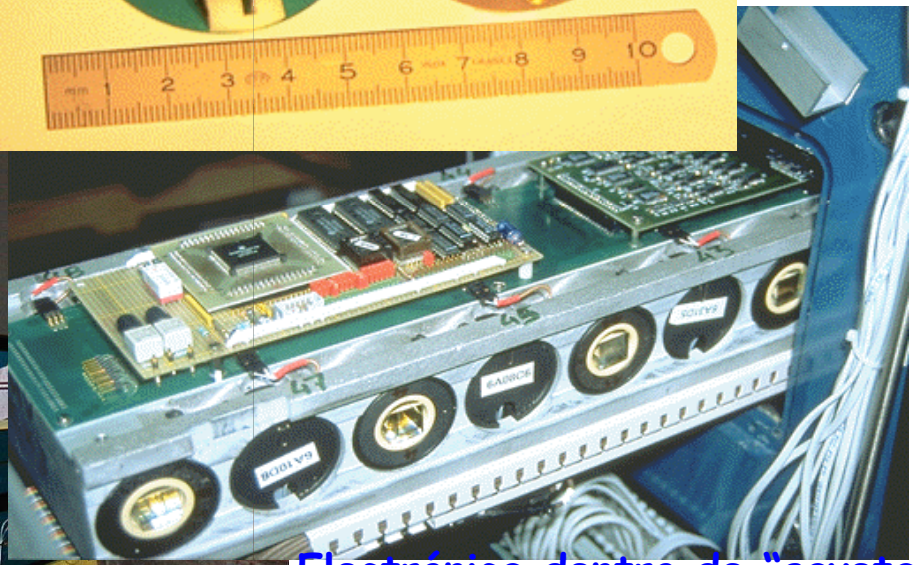
Fotodetectores e electrónica do Tilecal





Fotomultiplicadores colectam a luz transmitida pelas fibras ópticas WLS





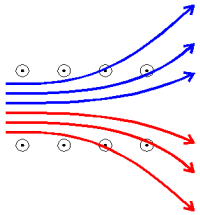
Electrónica dentro de "gavetas" digitaliza os sinais e envia-os para computadores. Inclui fontes de alimentação (LV), distribuidor de alta tensão (HV), arrefecimento a água – controlo e monitorização pelo DCS

A função dos detectores de traços

-Permite medir a carga e momento das partículas carregadas produzidas na colisão (na presença de um campo magnético).

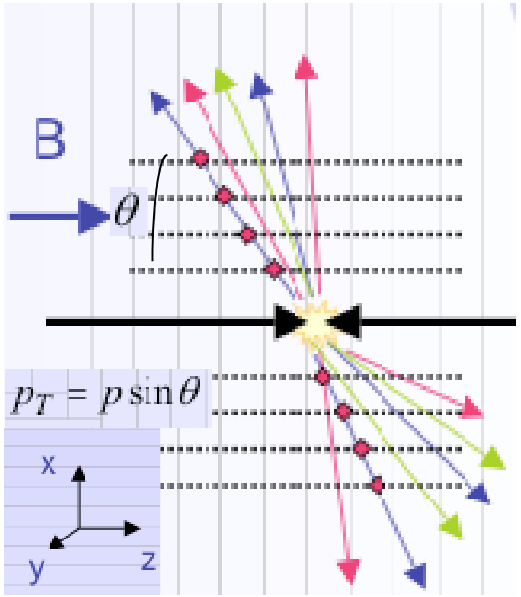
- A sua trajectória vai ser reconstruída medindo vários pontos no espaço.

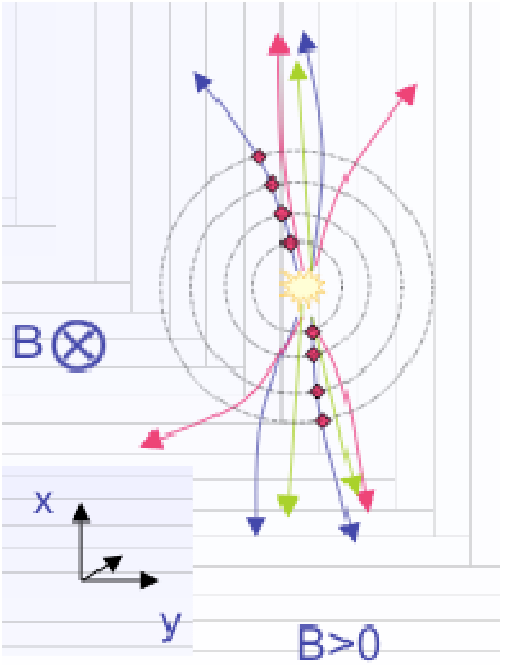
Usam-se materiais / detectores pouco densos de forma a minimizar a dispersão das partículas e medir a sua trajectória (momento) com o maior rigor.



$$F = q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\Rightarrow q \cdot B \cdot R = m \cdot v = |\vec{p}|$$





Os vários tipos de detectores de traços

– Detectores de cintilação:

- Orgânicos
- Inorgânicos
- Gases

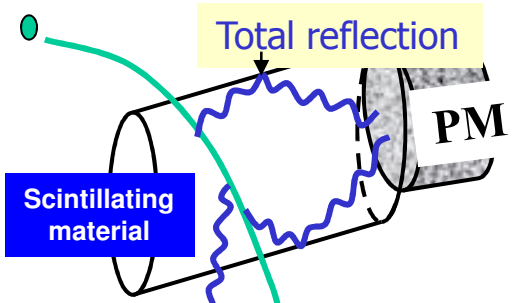
- Detectores de ionização:

- Câmaras de deriva
- MWPC (‘multi wire proportional chamber’)
- TPC (Time projection chamber’
- Detectores de silício

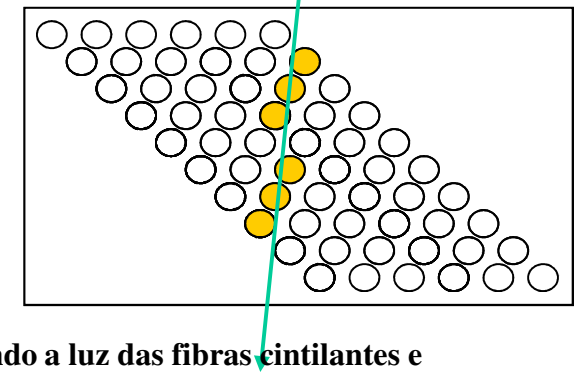
Principais técnicas usadas nos detectores de traços

1) Detectores de cintilação (baseados na excitação dos seus átomos) quando partículas carregadas os atravessam emitem luz na zona dos ultravioleta e luz visível. **Também muito usados em calorímetros:**

- **Gases nobres**
- **Cristais inorganicos**
- **Cintiladores orgânicos**



•Fotomultiplicador (PM) converte o signal luminoso em sinal electrico



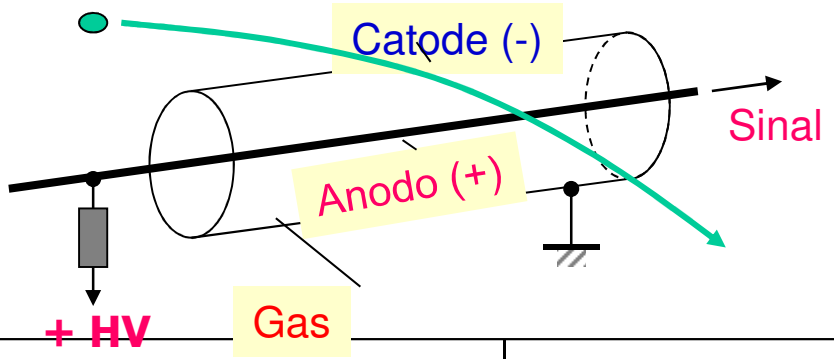
Quando a luz das fibras cintilantes e detectada individualmente pode reconstruir-se o trajecto da partícula

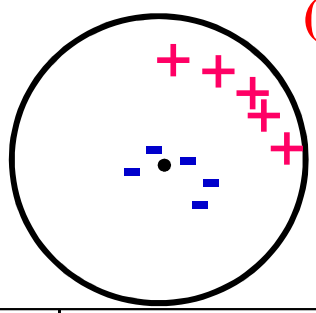
Cristais cintiladores:

Scintillator composition	Density (g/cm^3)	Index of refraction	Wavelength of max.Em. (nm)	Decay time Constant (μs)	Scinti Pulse height[1)]
NaI(Tl)	3.67	1.9	410	0.25	100
CsI	4.51	1.8	310	0.01	6
CsI(Tl)	4.51	1.8	565	1.0	45
CaF_2(Eu)	3.19	1.4	435	0.9	50
BaF_2	4.88	1.5	190/220 310	0,0006 0.63	5 15
BGO	7.13	2.2	480	0.30	10
$CdW0_4$	7.90	2.3	540	5.0	40
$PbWO_4$	8.28	2.1	440	0.020	0.1

Principais técnicas usadas nos detectores de traços (cont)

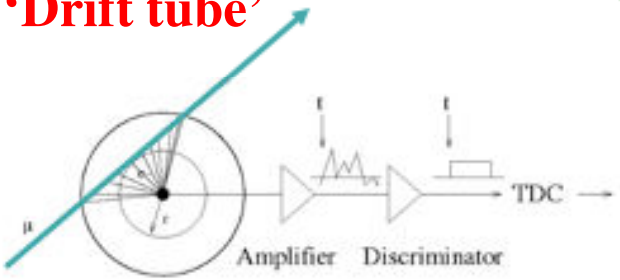
2) Detectores de ionização. A partícula carregadaao longo do seu percurso arranca electrões do detector**.** Um potential eléctrico criado entre o ânodo / cátodo obriga os electrões a deslocar-se para o anodo e os ioes (+) para o catodo





(Geiger counter)

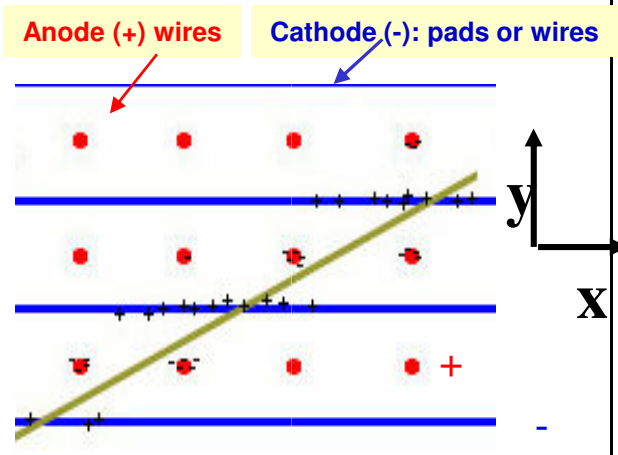
'Drift tube'



A medida do tempo de deriva (entre a passagem da partícula e a chegada dos electrões ao anodo) e convertida num raio atraves duma correlacao raio-tempo

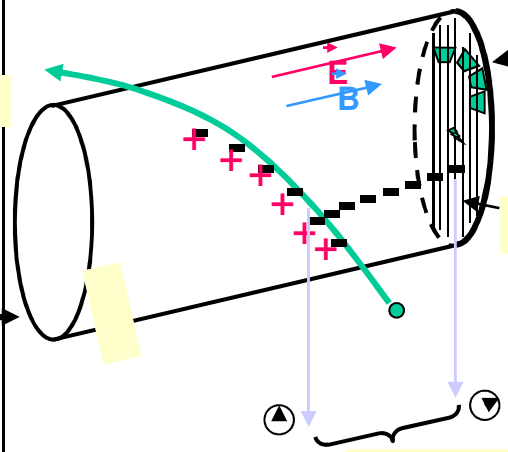
MWPC ('multi wire proportional chamber')

Premio Nobel: G.Charpak, 1992



Erro limitado pela dist. entre anodos
=>
Erro no momento e origem do traco

TPC ('time projection chamber'



MWPC gives r,ϕ

Anode Wires

$z = v_{drift}\, t$

100-400V/cm
Tempos de deriva ~ 10-100 μs

“Drifting tubes”

The Geiger Counter reloaded: Drift Tube

Atlas Muon Spectrometer, 44m long, from r=5 to11m.

1200 Chambers

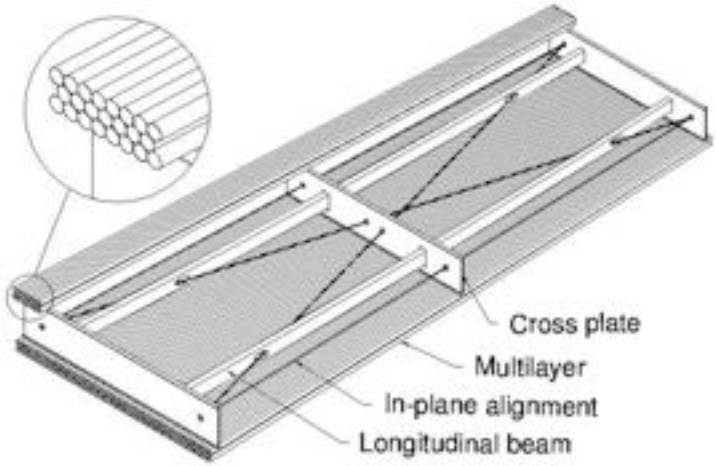
6 layers of 3cm tubes per chamber.

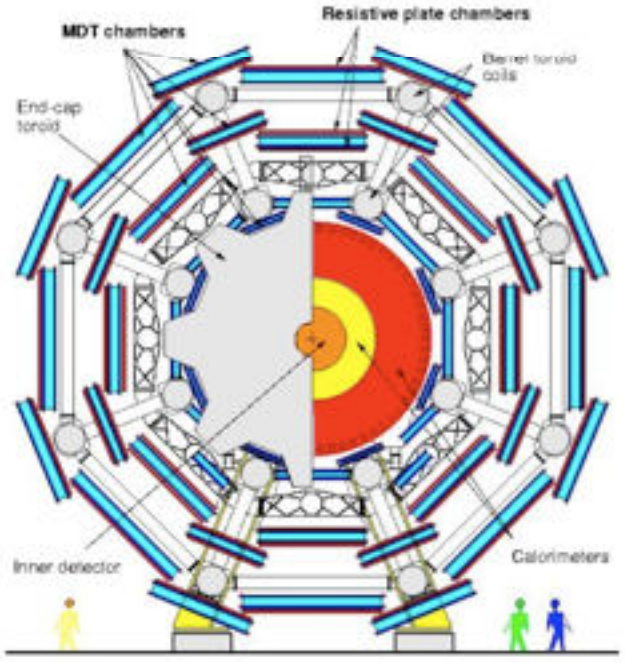
Length of the chambers 1-6m !

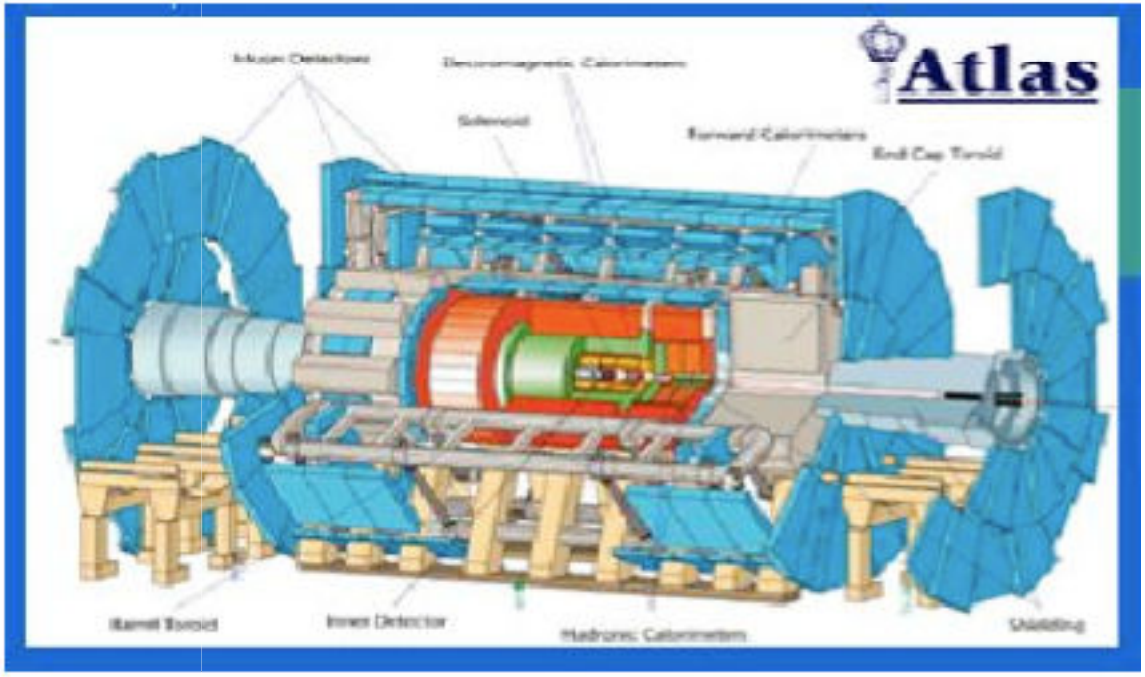
Position resolution: 80μm/tube, <50μm/chamber (3 bar)

Maximum drift time ≈700ns

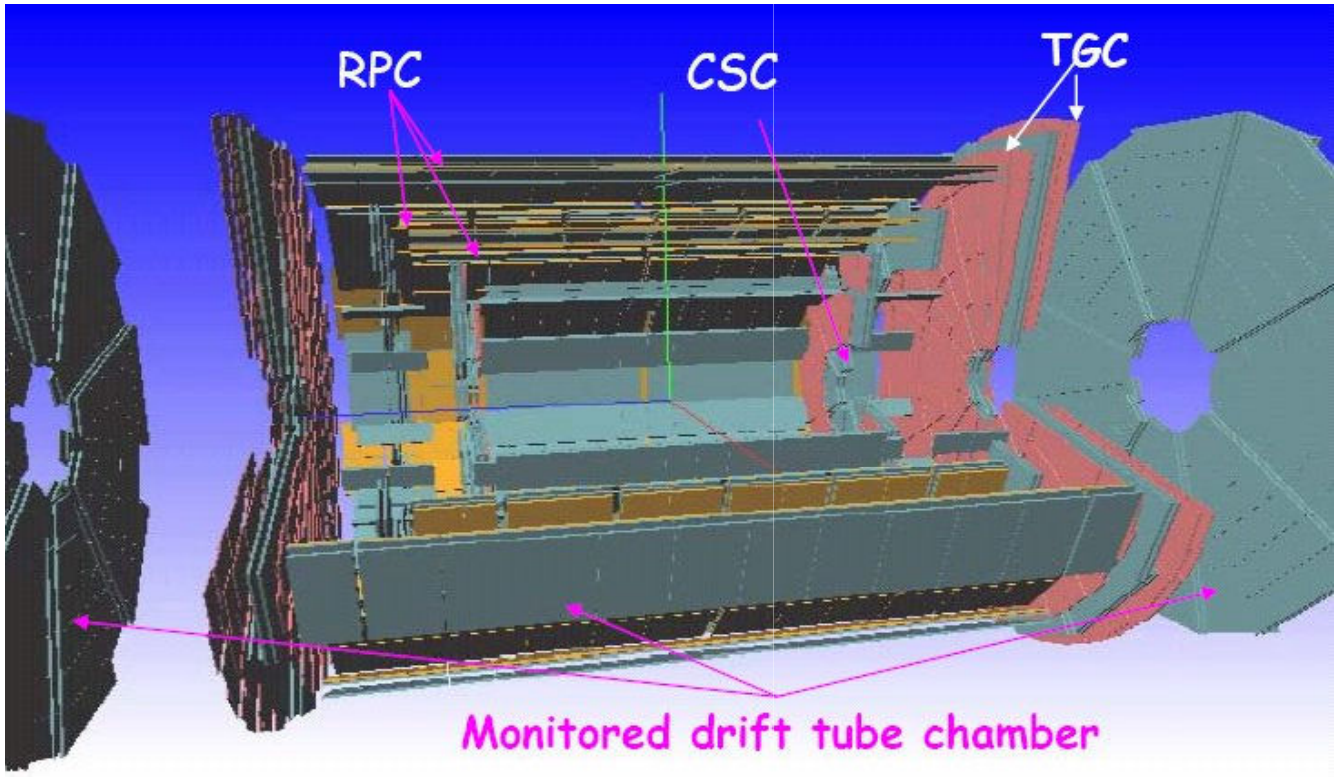
Gas Ar/CO_2 93/7







Espectrometro de muões de ATLAS



Precision chambers:

- MDTs in the barrel and end-caps,

- CSCs at large rapidities in the innermost end-cap stations

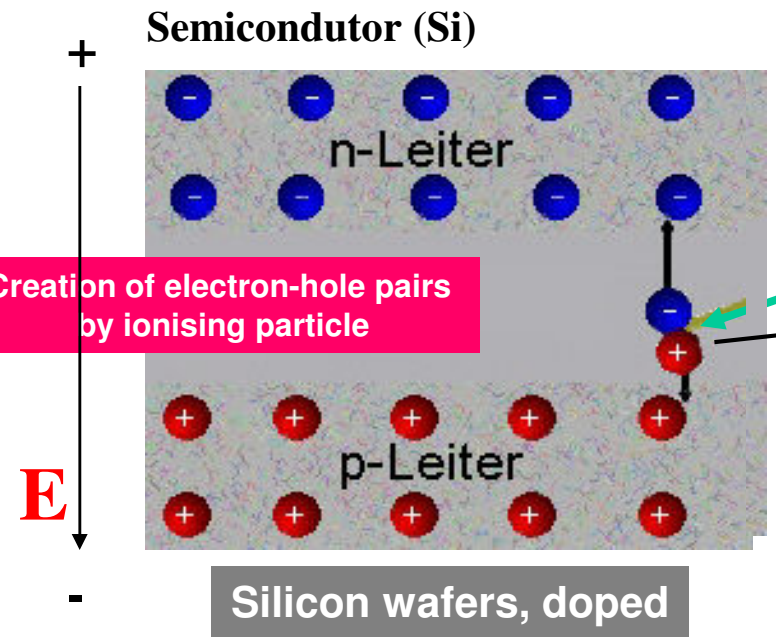
Trigger chambers:

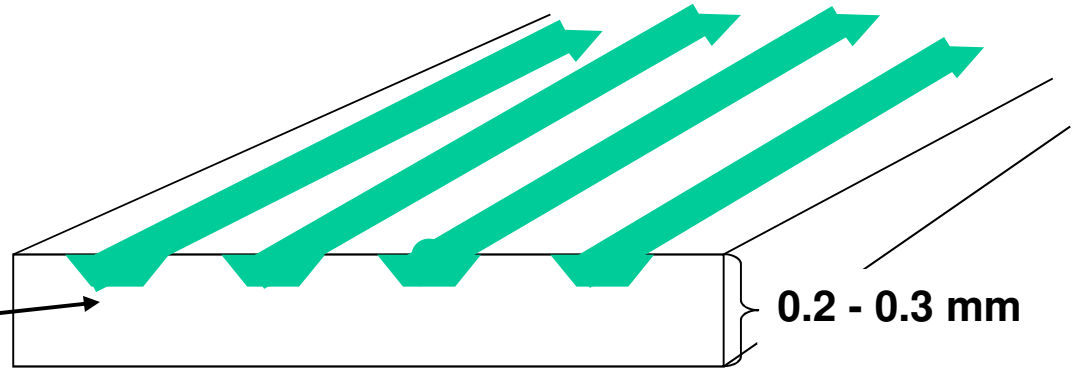
- RPCs in the barrel,

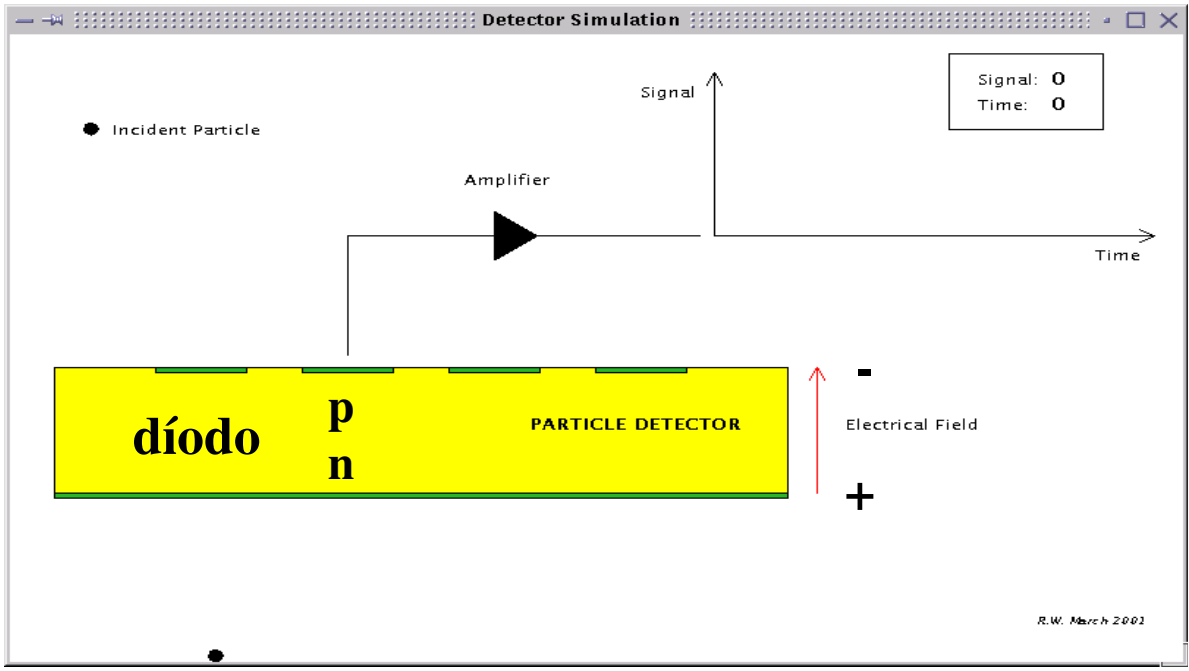
- TGCs in the end-caps

Precision alignment sstem

Detectores de ionização: '*Silicon Microstrip*'



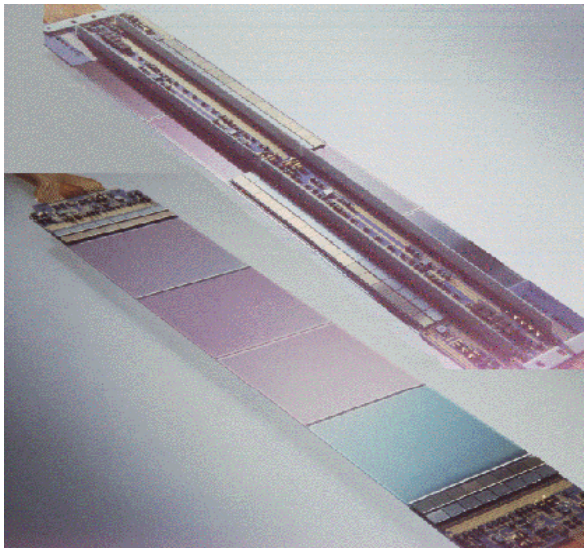


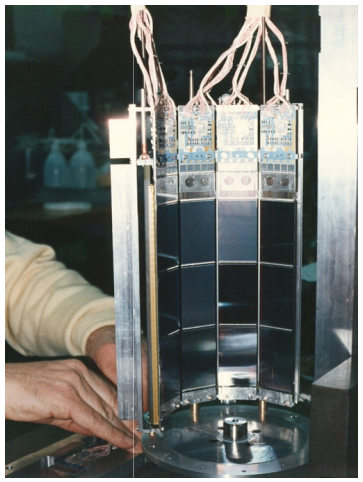


- **Mesmo objectivo que os detectores de ionização de gás**

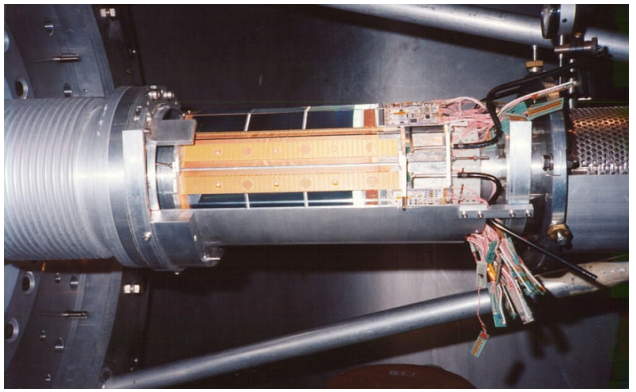
- **Aqui as 'stripes' funcionam como os fios das câmaras de fios mas com muito melhor resolução em posição (até 10 μm).**

“Silicon Microstrip detectors”...



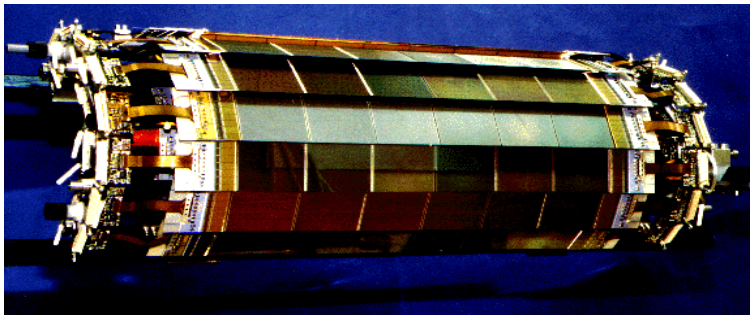


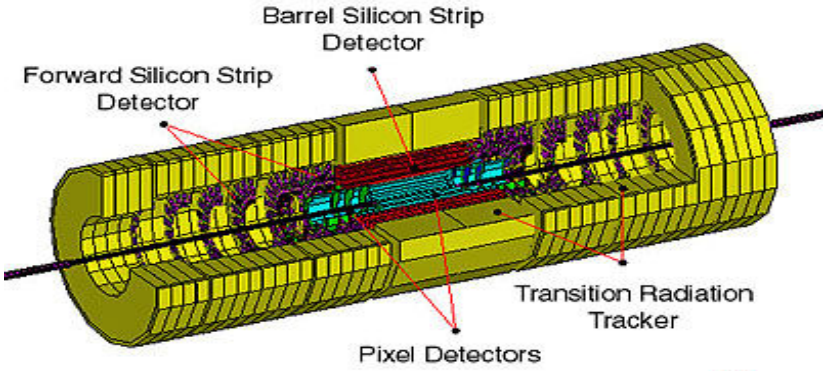
OPAL VDET



Future ATLAS tracking detector

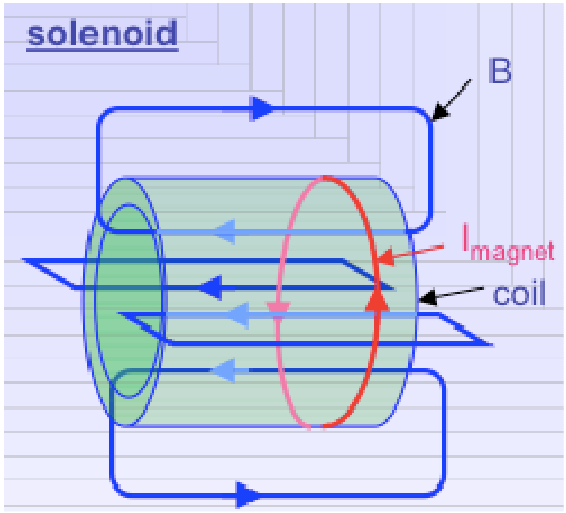
ALEPH VDET

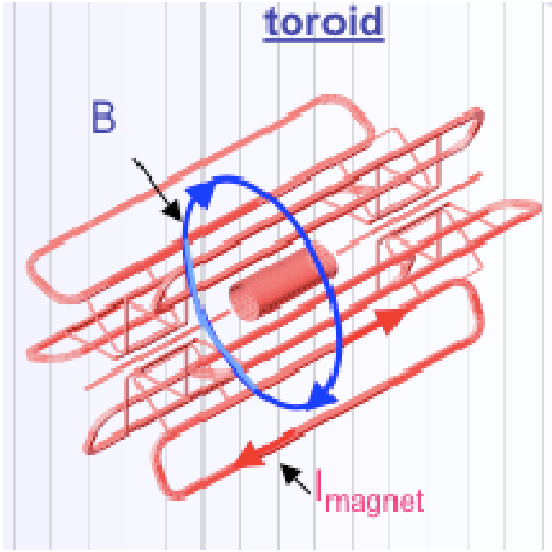




Inner Tracker

Conceito do campo magnético em detectores



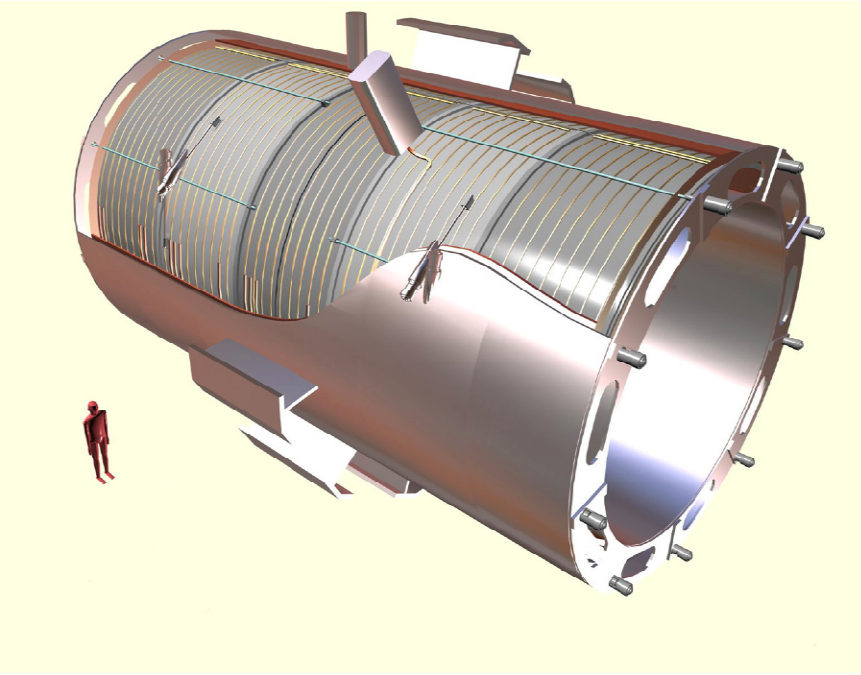


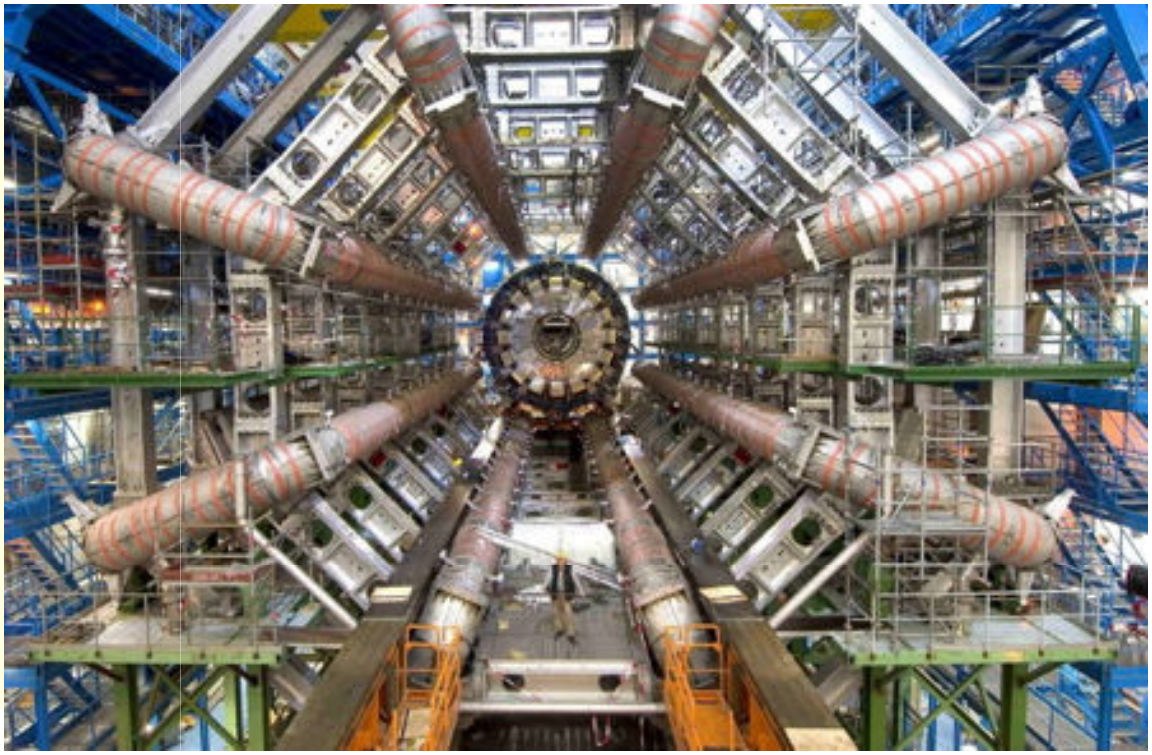
Principais características:
Campo magnético homogéneo dentro do "coil"
Espaço reduzido (=>custo)
Grandes quantidades de material (>Z)

Ex: de experiencias que usam um solenoid:
-CMS (4Tesla=4x10^{4}Gauss) no LHC
-ATLAS (2T) para o detector de traços interno
- L3 (0.5T) e DELPHI (1.2T) no LEP

Principais características:
Elevados B em grandes volumes
Inferior quantidade de material no interior (<Z)
B não uniforme

Exemplo de experiencias que usam um toroid:
-ATLAS (~0.5T) no LHC para o espectrómetro de muões





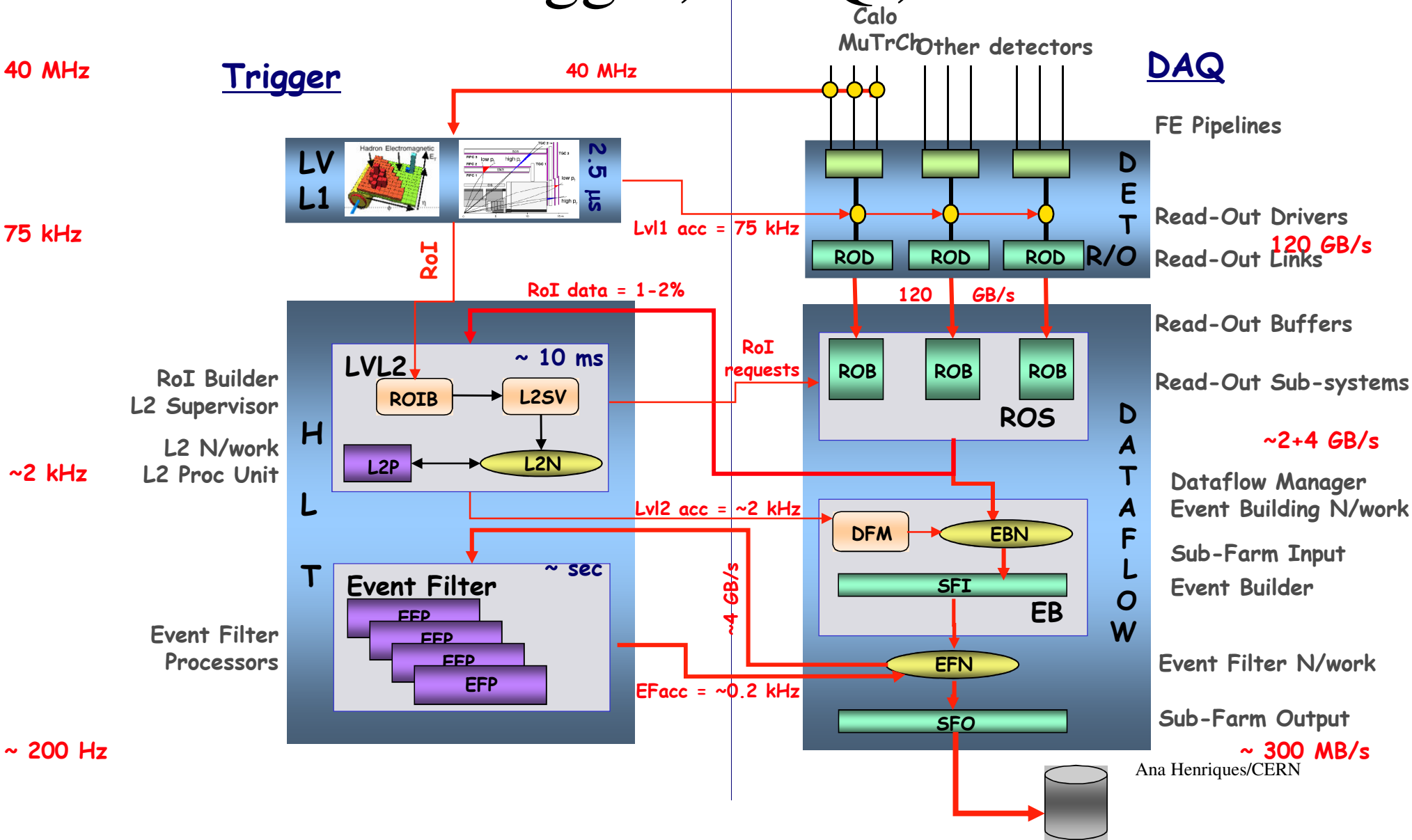
CMS solenoid:

supercondutor	
length	12.5 m
Free bore diameter	6 m
Central magnetic induction	4 T
Nominal current	20 kA
Stored energy	2.7 GJ

ATLAS barrel toroid:

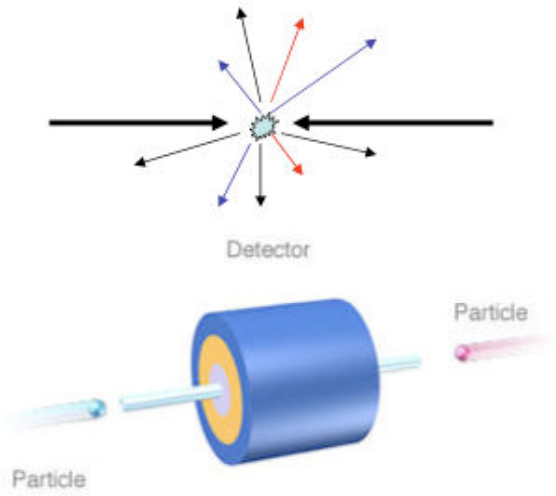
supercondutor	
length	25 m
Inside diameter	9.5 m
Central magnetic induction	0.4 T
Nominal current	20.5 kA

ATLAS Trigger, DAQ , Controls

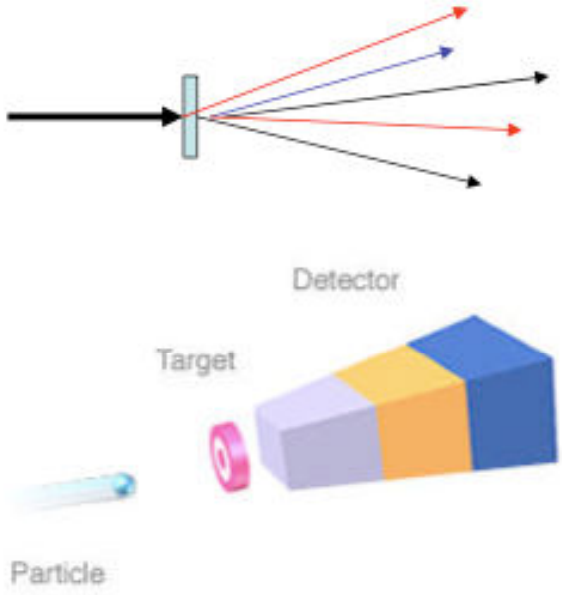


Conceitos de detectores diferentes

Colisionador- 4π



Alvo fixo

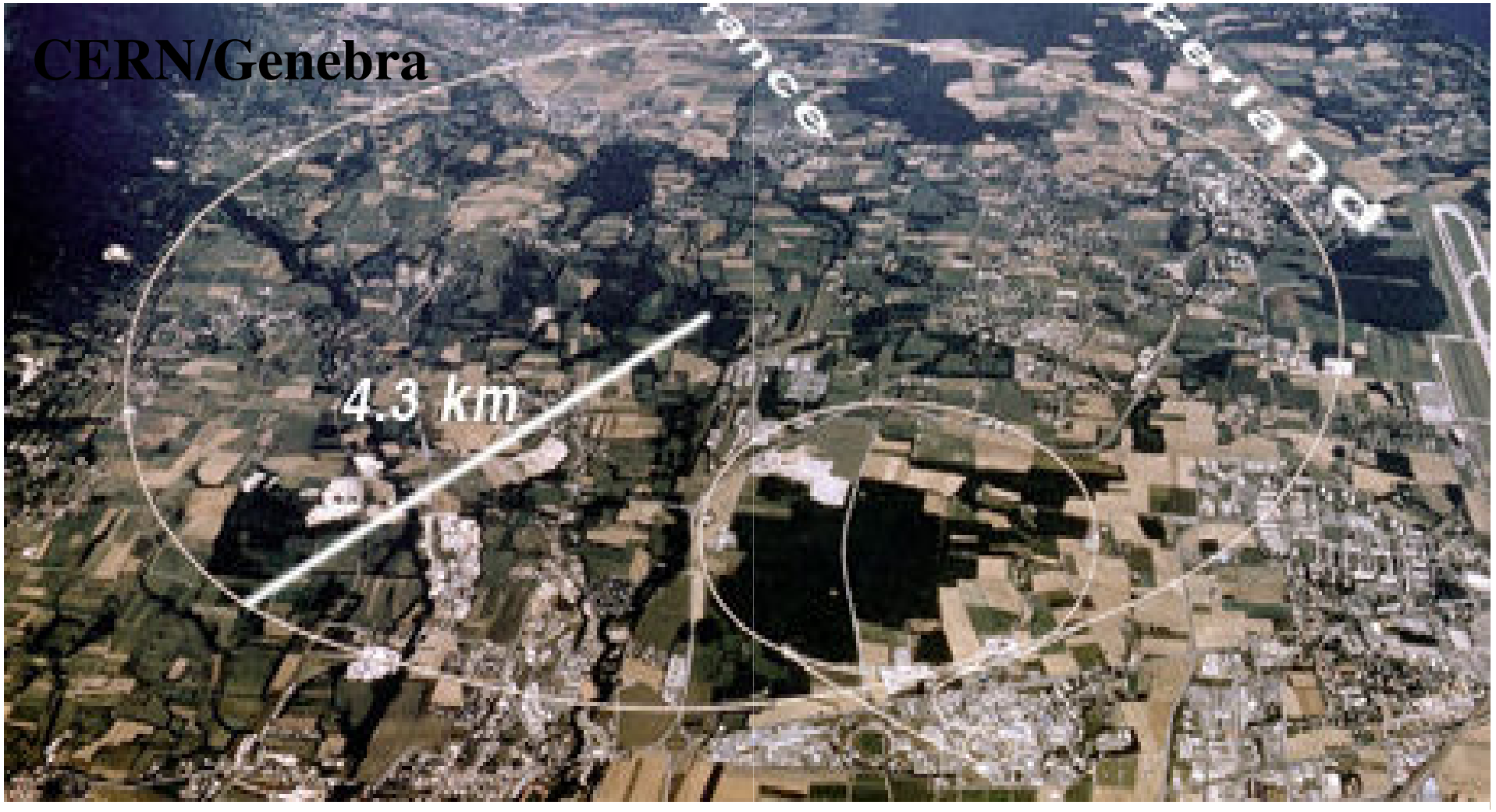


Ex:
- ATLAS e CMS no LHC
- DELPHI,ALEPH,L3,OPAL no LEP

ângulo sólido máximo
Compacto, Acesso difícil

Ex:
- ALICE e LHCb no LHC
- NA48 no SPS

Ângulo de aceitação limitado
Acesso para manutenção mais fácil



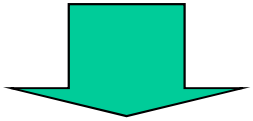
7000 cientistas e engenheiros de 80 paises participam em projectos (~4500 pertencem a paises membros).

LHC:

- Colisão protão-protão: 7- 7 TeV
- Luminosidade: 10^{34} cm^{-2} s^{-1}
- Tempo entre colisões: 25ns
- 10^{7}-10^{9} colisões/segundo
- Primeiros feixes de protões de 450 GeV em Setembro de 2008...
- Primeiras colisões: Nov. 2009.

Porquê o LHC?

- Porque é que as partículas elementares têm massa e porque é que têm massas diferentes?
  - O Modelo Padrão prevê que **Bosão Higgs**, associado ao mecanismo de Higgs, é responsável pela origem da massa das partículas.
- Será que as diferentes forças da natureza são manifestações de uma única força?
  - A Supersimetria (**SUSY**) sugerida pela teoria da unificação das forcas prevê que para cada partícula conhecida existe a sua partícula supersimétrica associada.
- …..



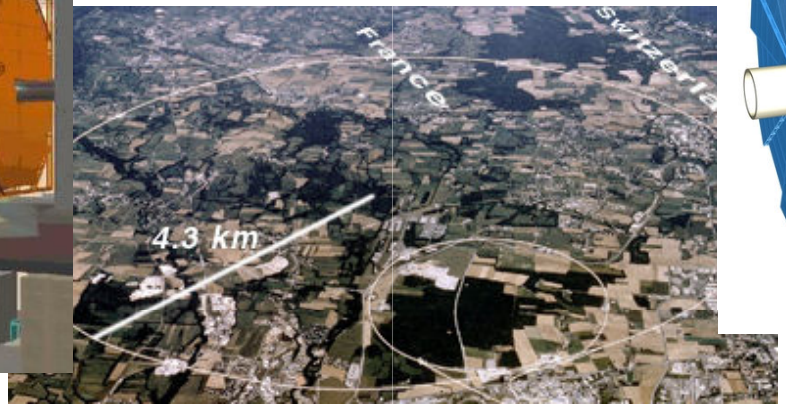
Estas partículas se existirem serão detectadas no LHC

As 4 experiências do LHC

(enterradas a ~ 90m de profundidade)

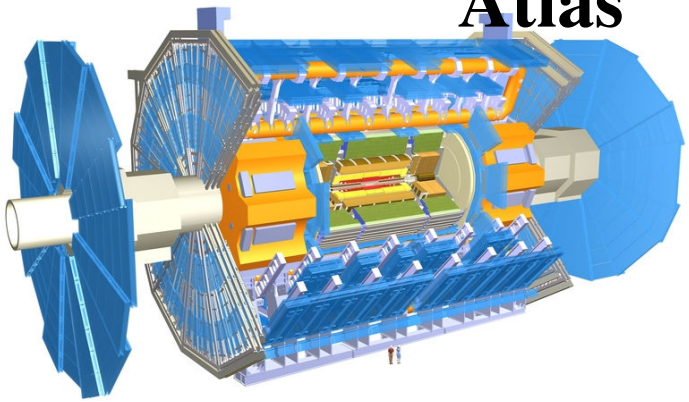
Alvo fixo

Alice

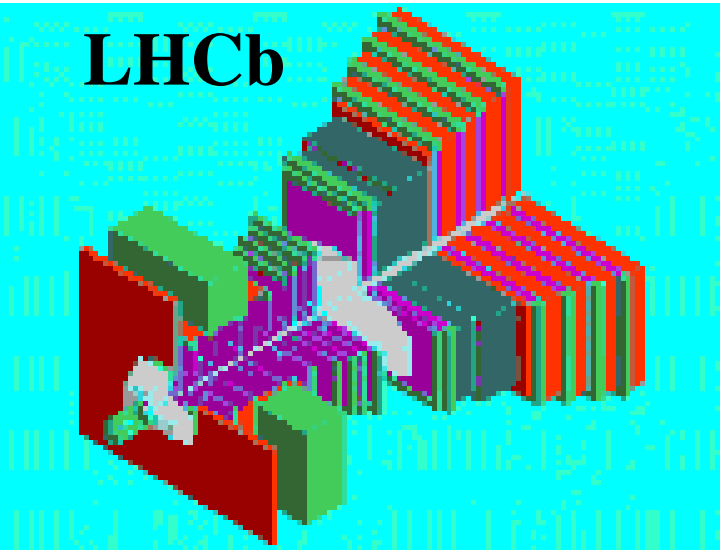


Colisionador 4π

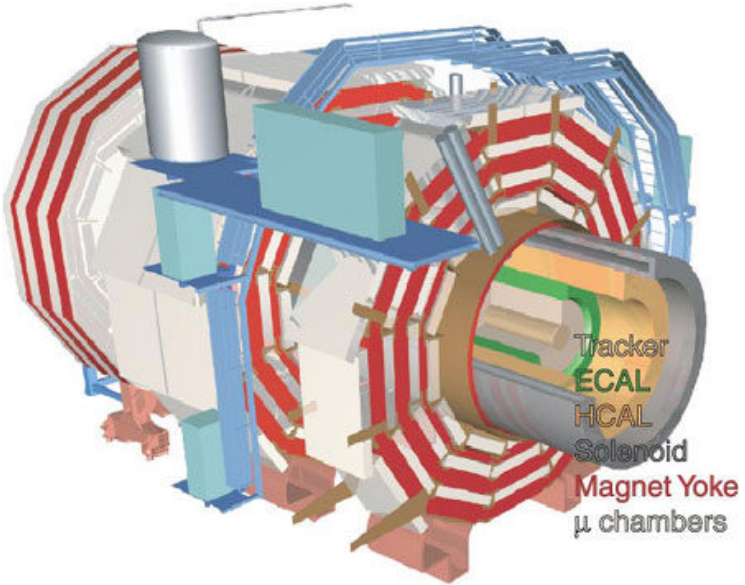
Atlas



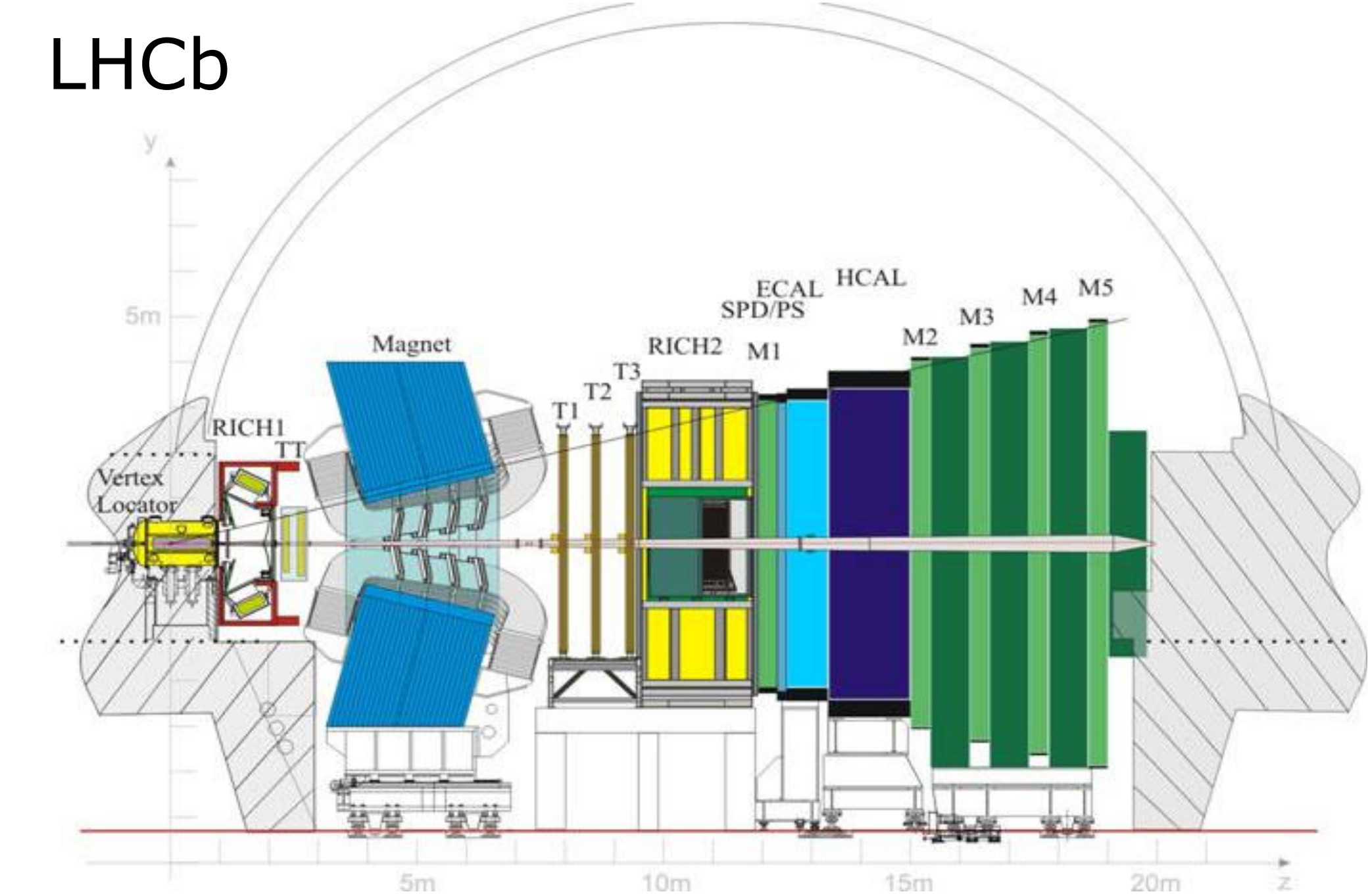
LHCb



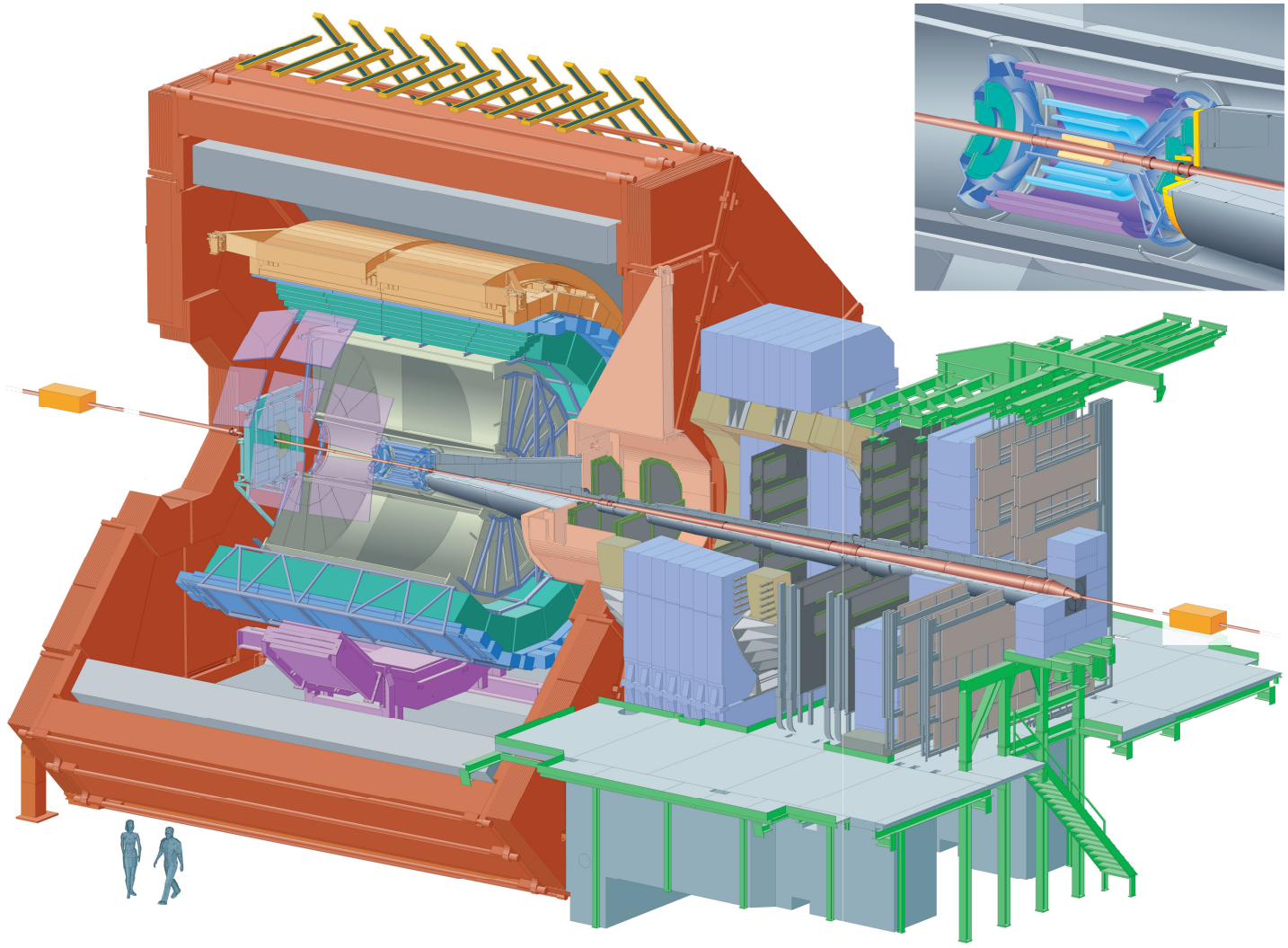
CMS



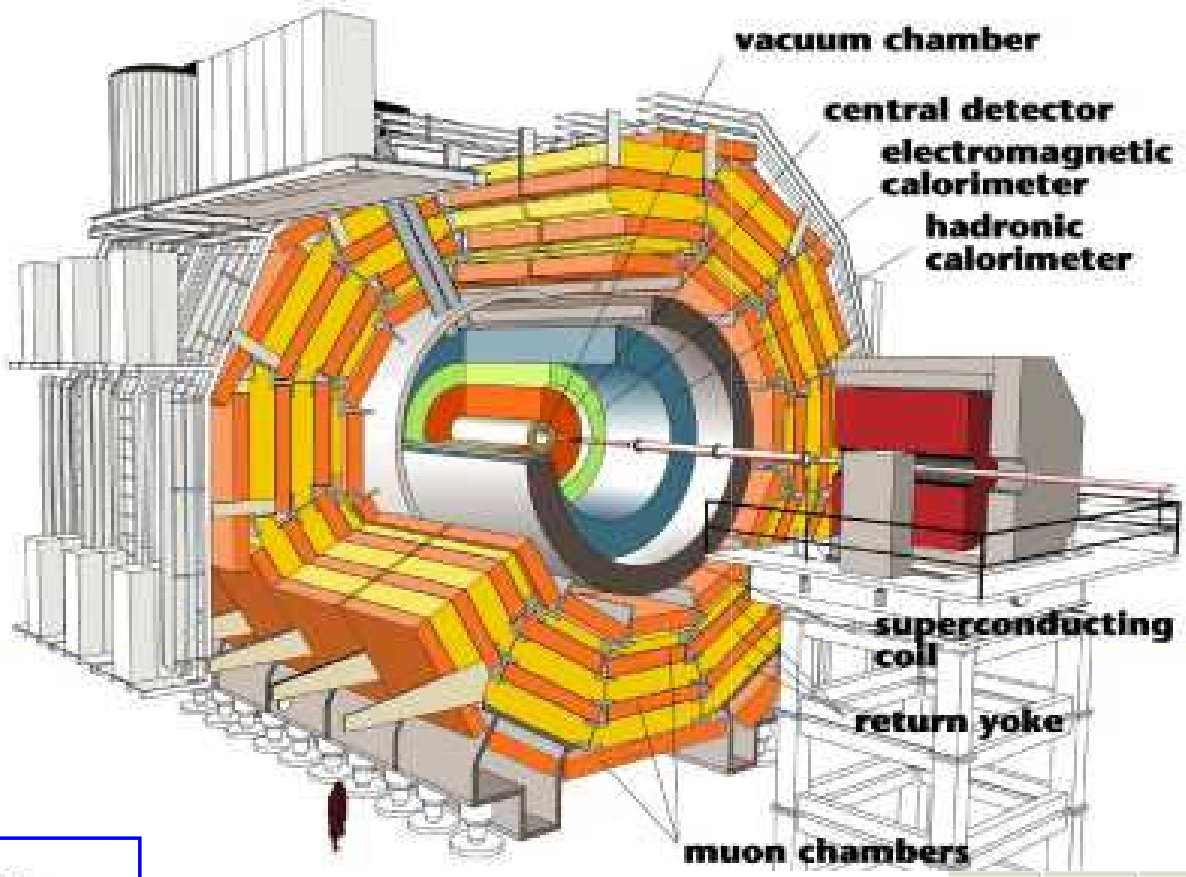
LHCb


y
5m
Magnet
RICH1
TT
Vertex
Locator
T1
T2
T3
RICH2
M1
ECAL
SPD/PS
HCAL
M2
M3
M4
M5
5m
10m
15m
20m
z

Alice

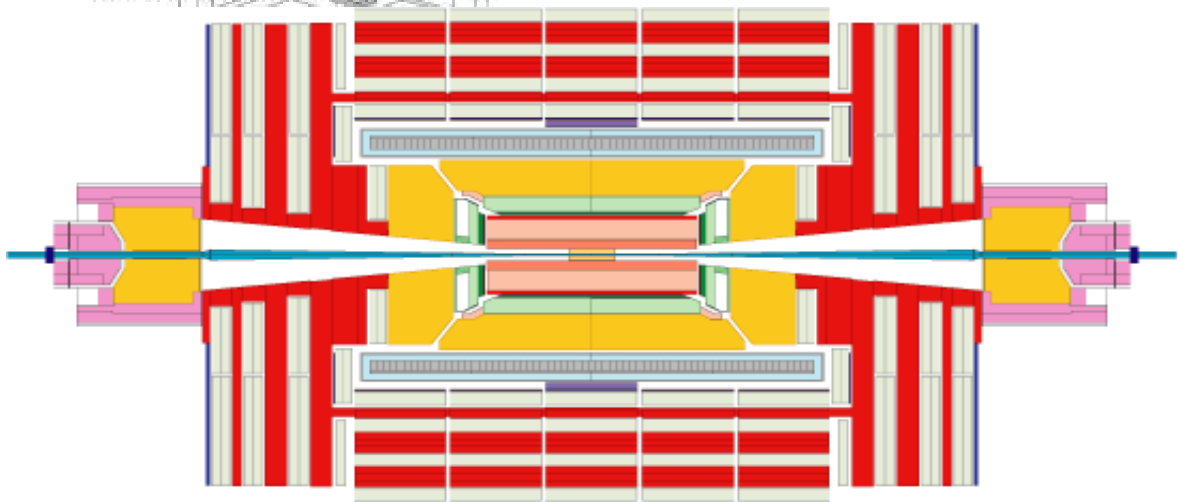


CMS



Detector characteristics

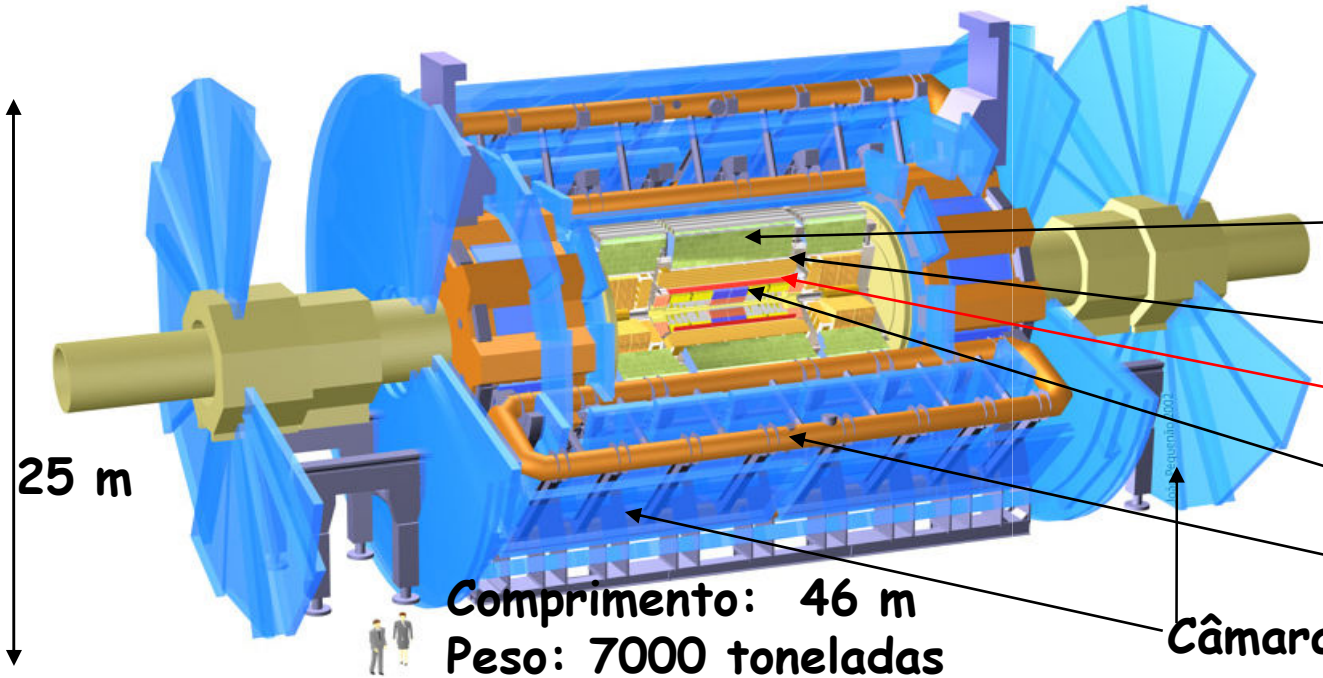
Width: 22m
Diameter: 15m
Weight: 14'500t



O detector ATLAS

O detector ATLAS vai funcionar no LHC no CERN, onde vão colidir feixes de protões, cada um com energia de 7 TeV (3.5- 5 TeV este ano)

Túnel do LHC

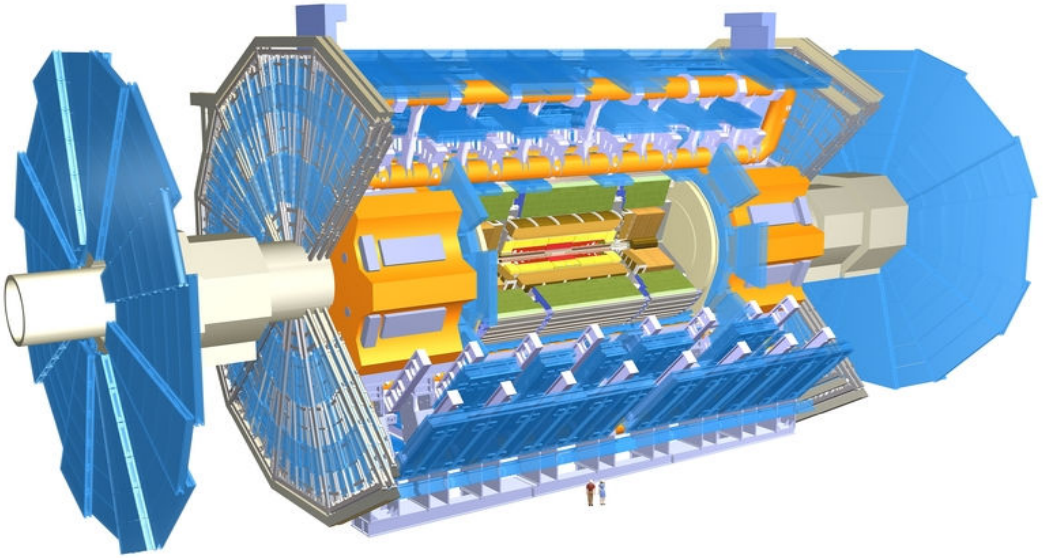


Comprimento: 46 m
Peso: 7000 toneladas
Canais electrónica: ~100 milhões

The ATLAS Detector

ATLAS superimposed to
the 5 floors of building 40

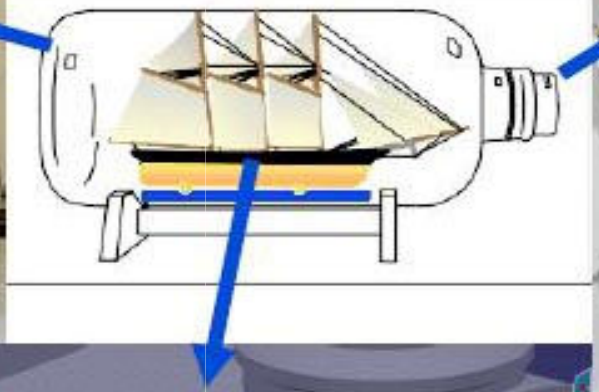
37 Countries
169 Institutions
2500 Scientific Authors

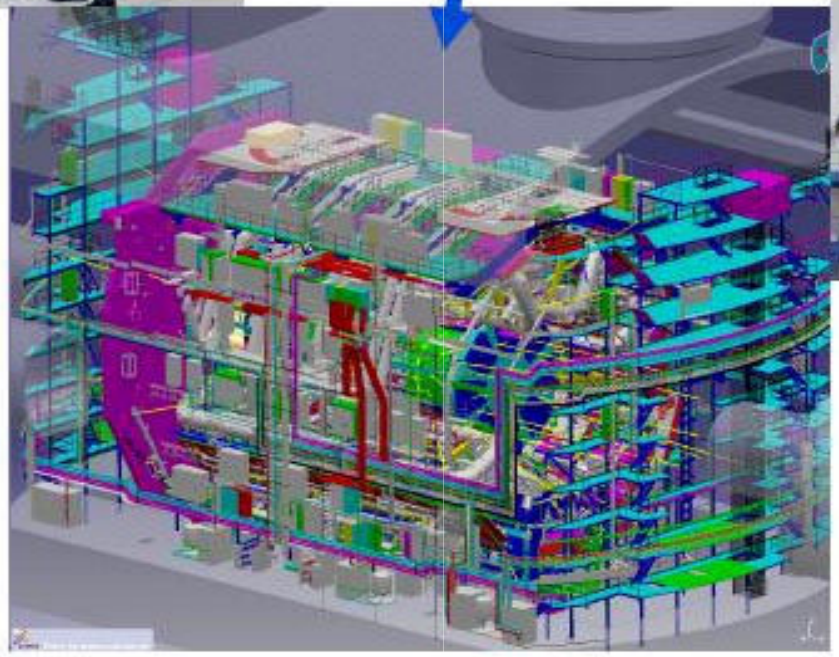


Diameter	*25 m*
Barrel toroid length	*26 m*
End-cap end-wall chamber span	*46 m*
Overall weight	*7000 Tons*

Resumo da construção e instalação do ATLAS

Junho 2003



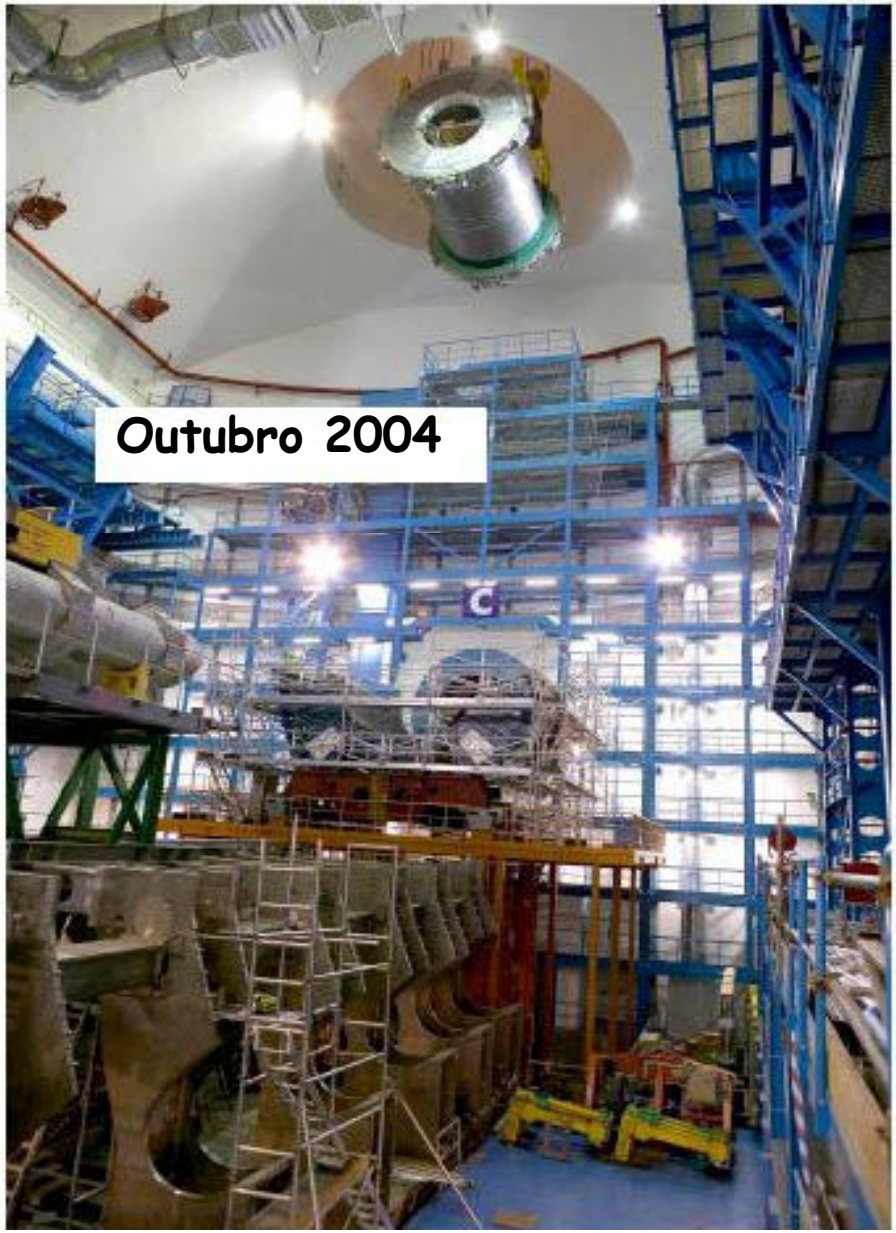


Caverna a 90m de profundidade

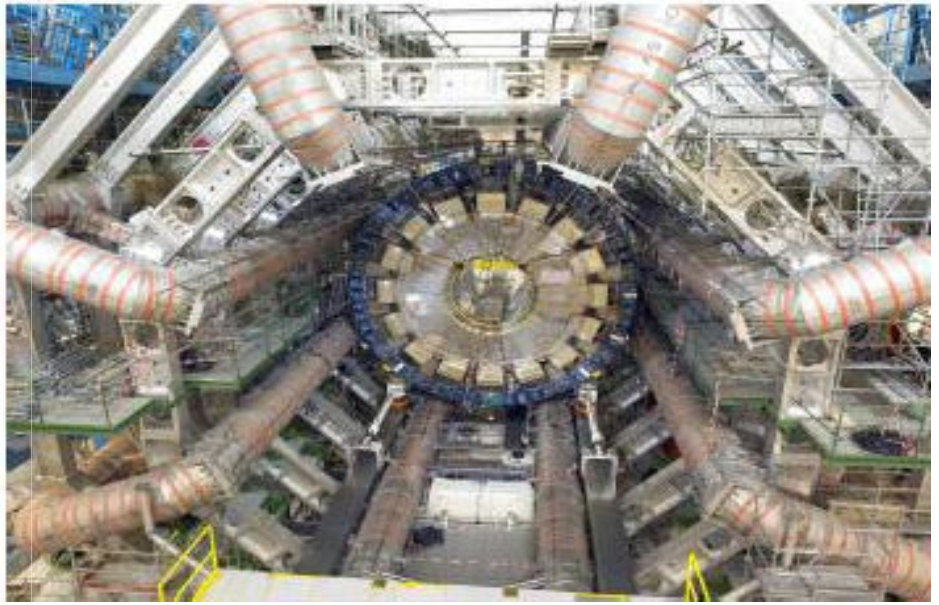
Comprimento: 55m
Largura: 32m
Altura: 35m

Agora o detector está construído

Calorímetros e barrel toroid



Novembro 2005



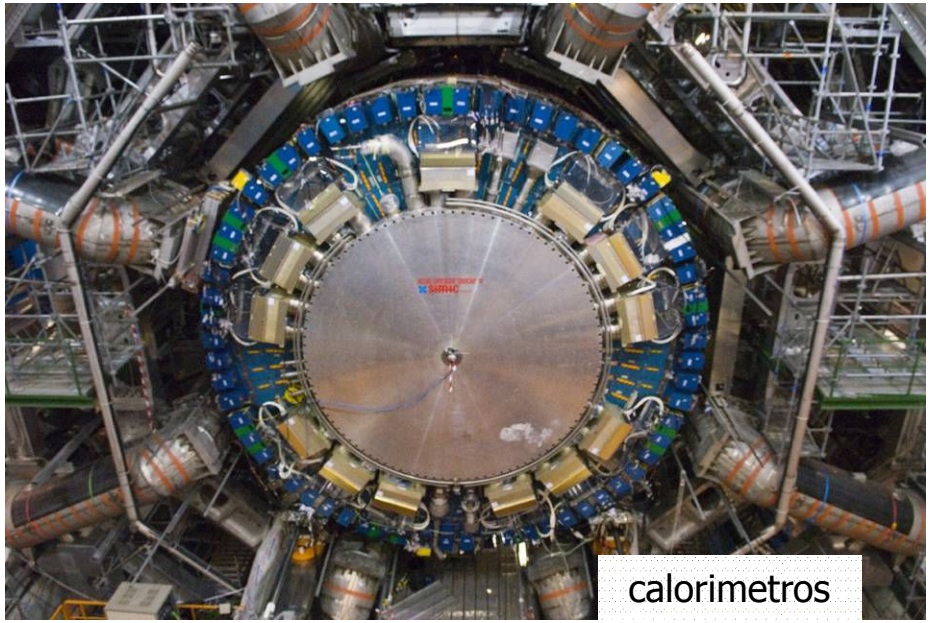
Espectrómetro de muões

Setembro 2006

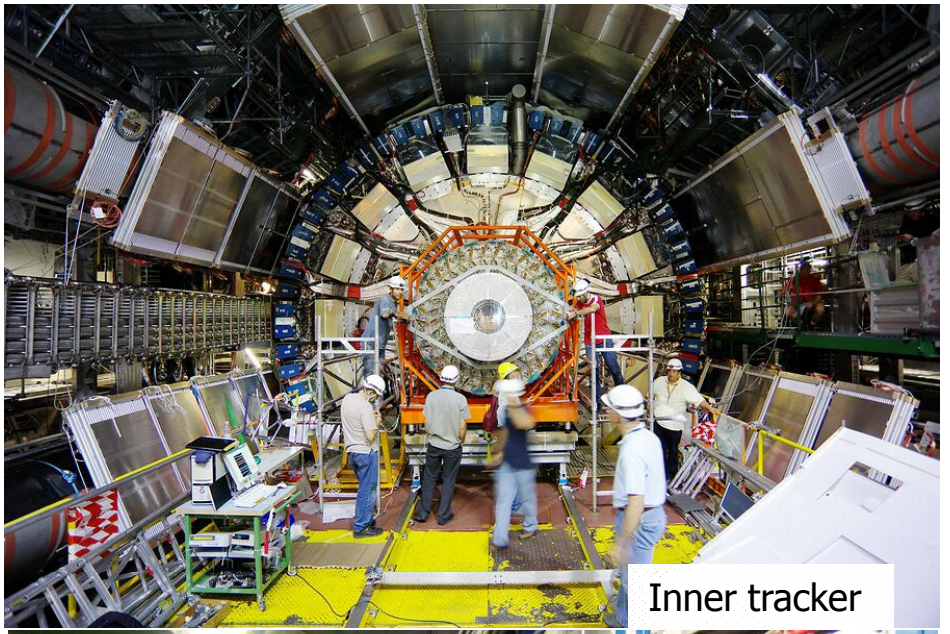
Fevereiro 2008

Setembro 2007

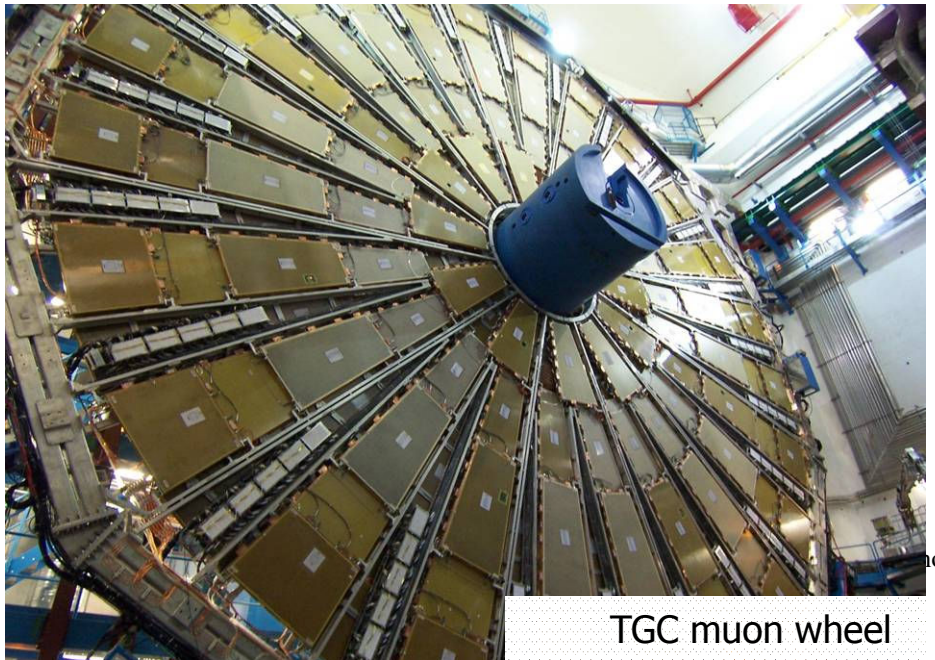
Setembro 2006



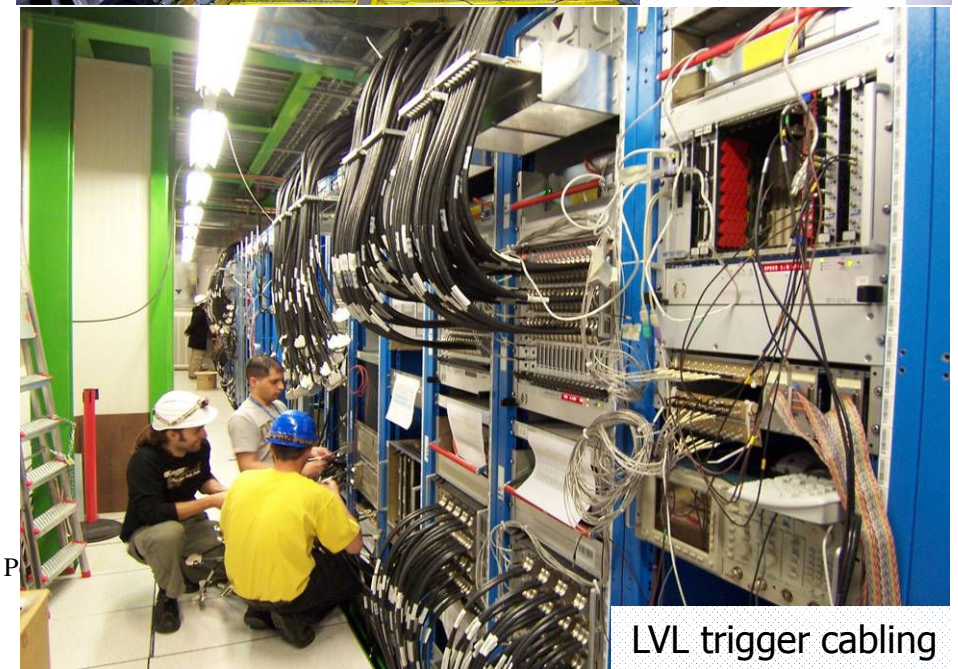
calorimetros



Inner tracker



TGC muon wheel

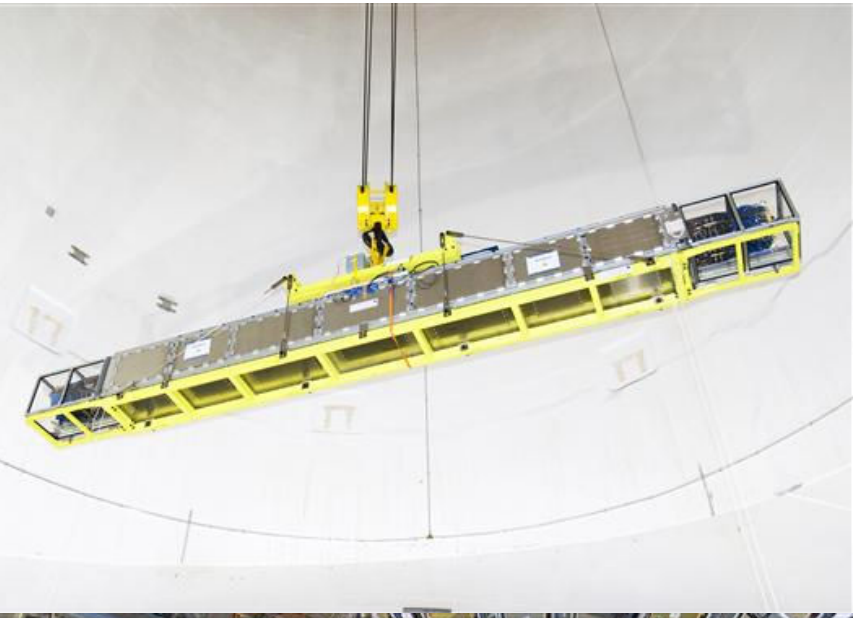


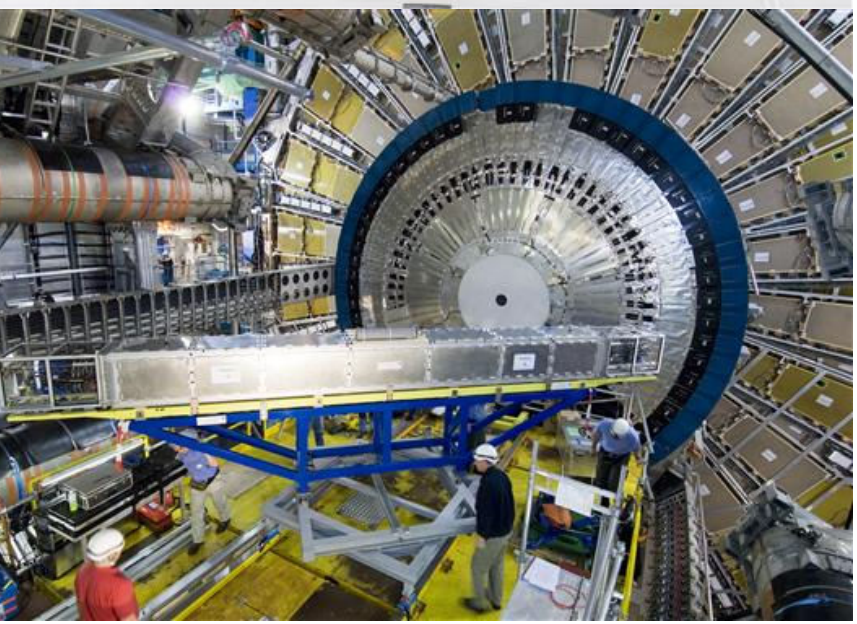
LVL trigger cabling

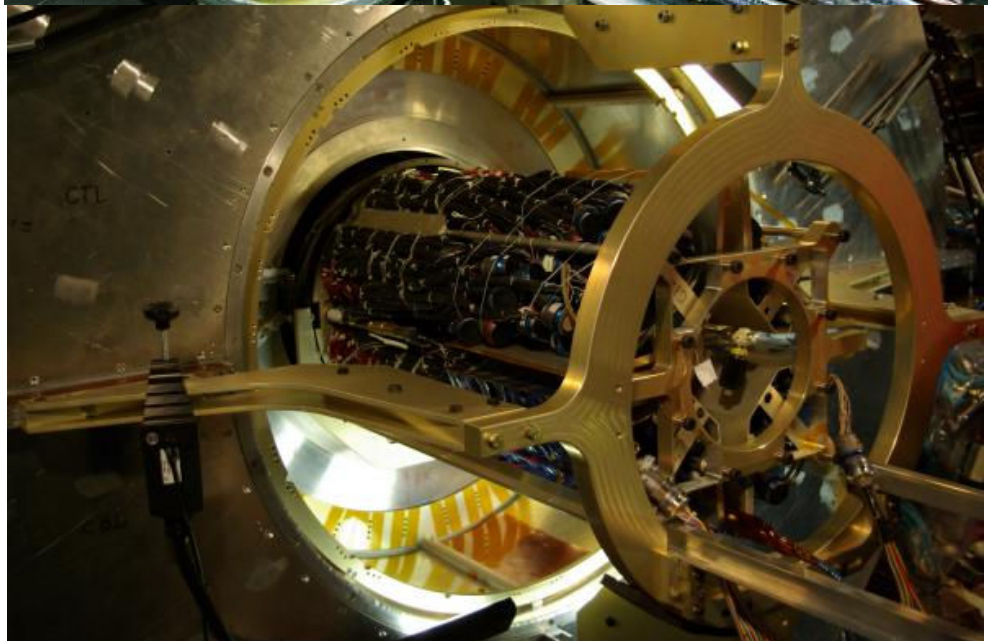
2007+2008

‘inner tracker’

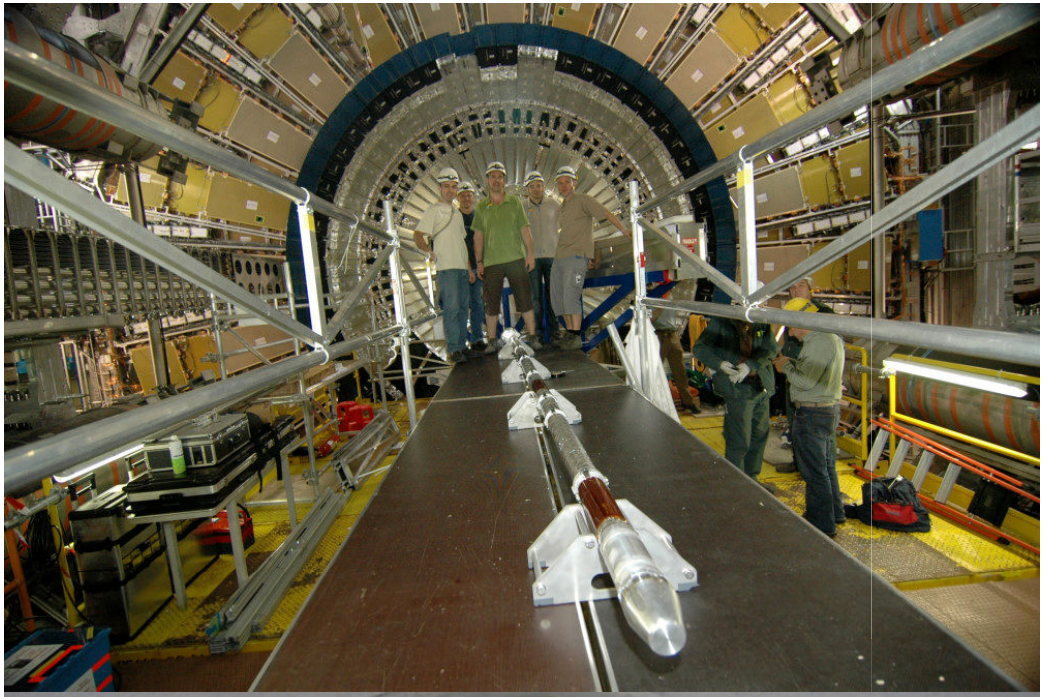
Pixel

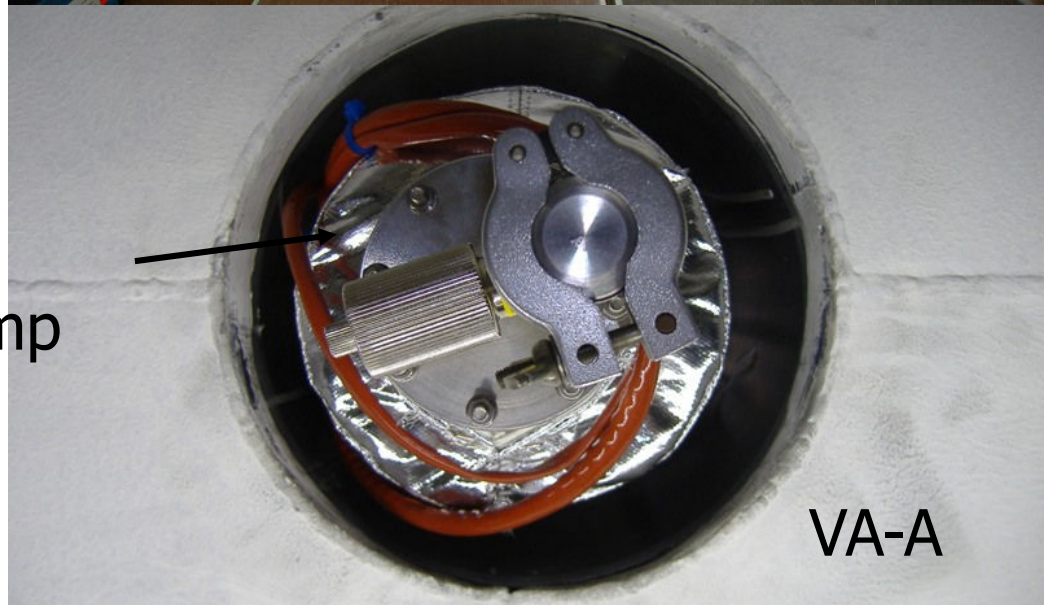


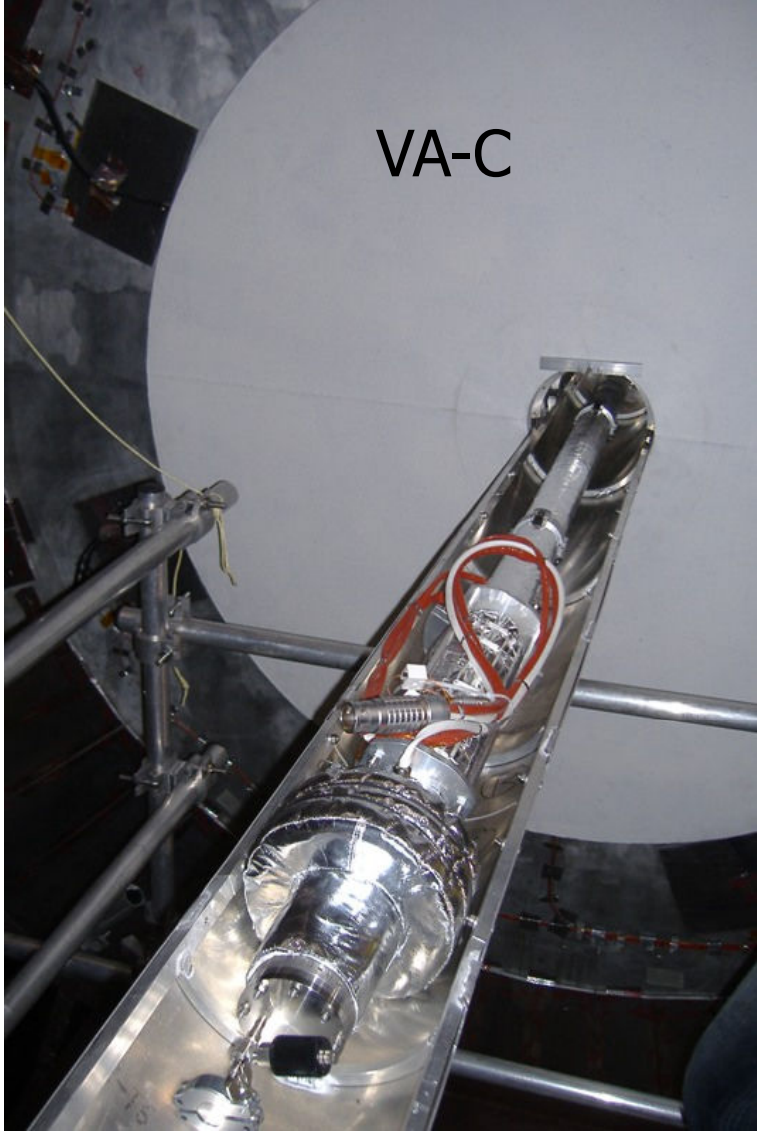




2008 beam pipes

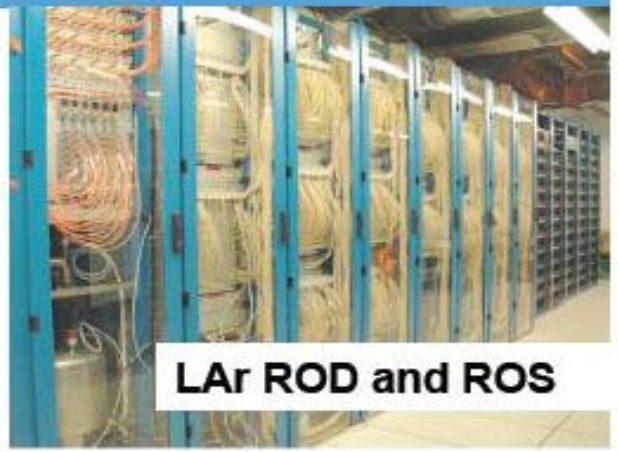






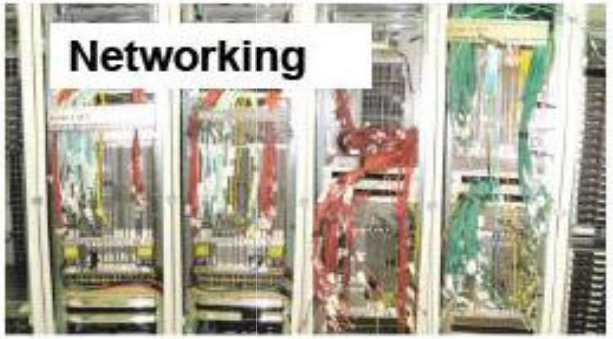
Sala onde chega a electrónica de aquisição de ATLAS

Trigger / DAQ / Control

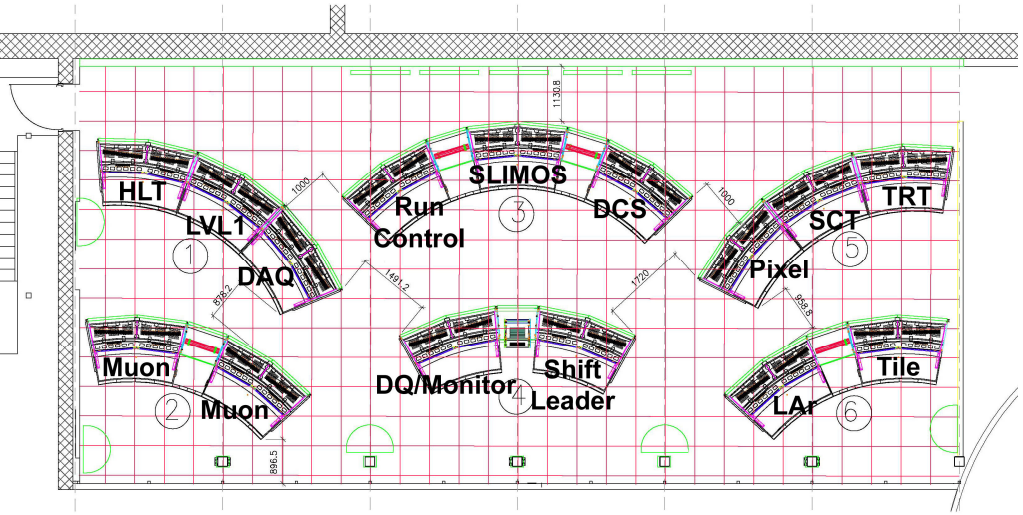


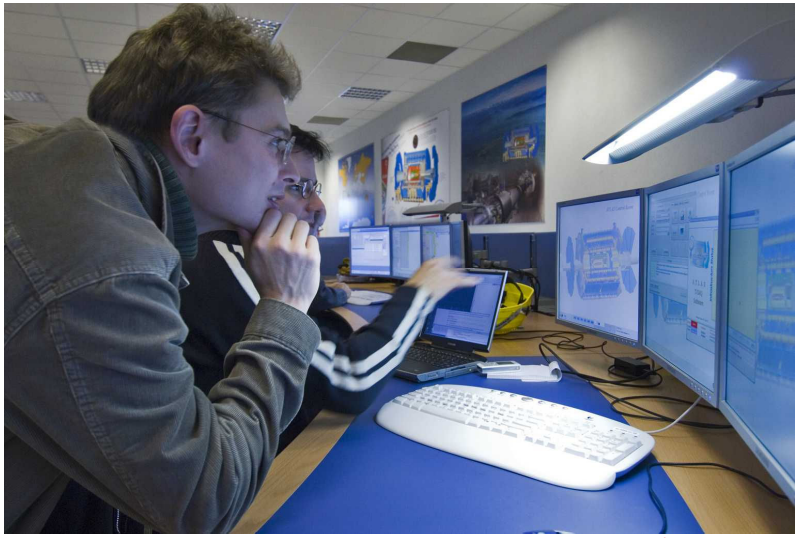
Full Online system being exercised since ~2 years

H/w now being completed - Ready for data-taking



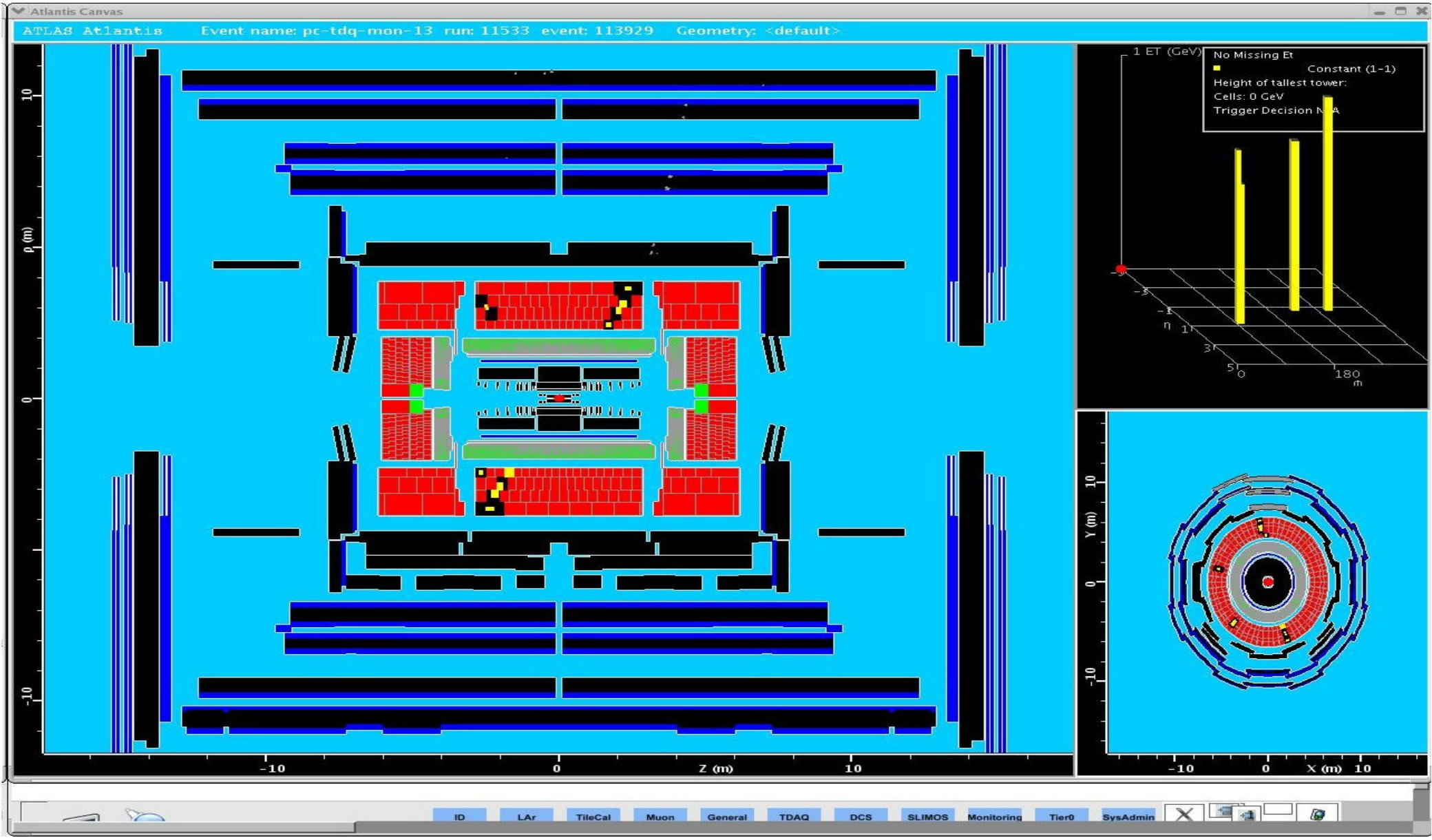
Sala de aquisição de ATLAS
(intensamente utilizada em 2008-2009 para a certificação do detector usando raios cósmicos)

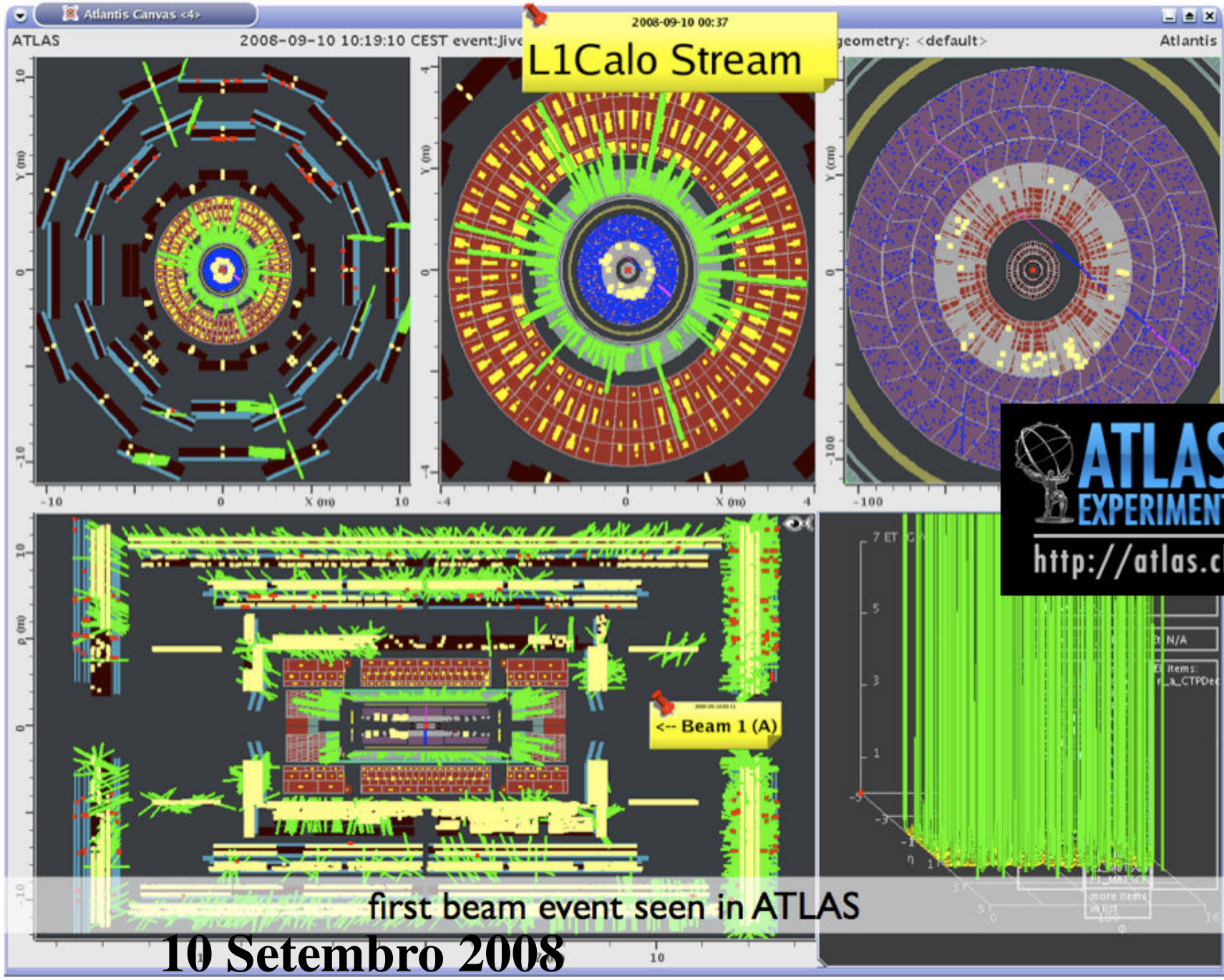




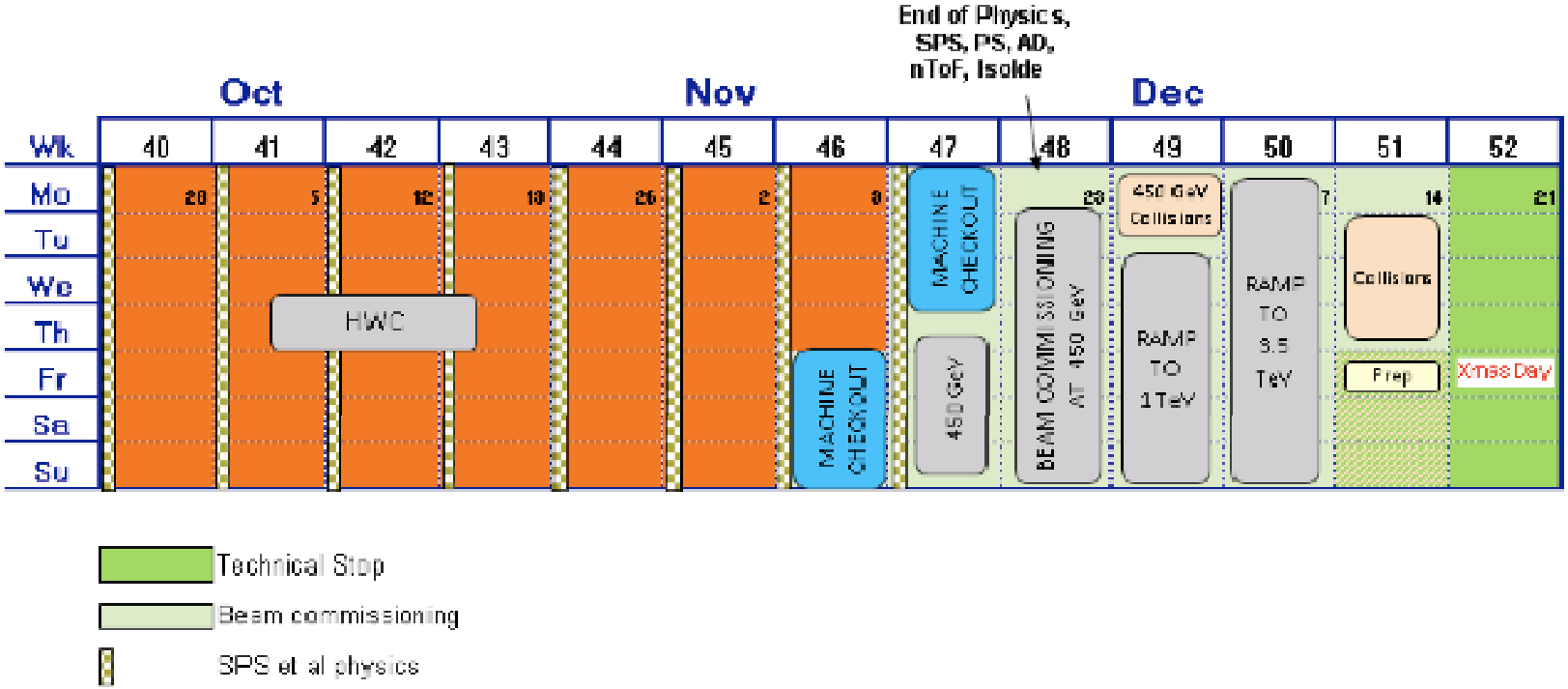
(e um dia de grande excitação no dia 10 Setembro 2008 com o primeiro feixe de partículas!)

Raios cósmicos detectados em ATLAS desde 2006

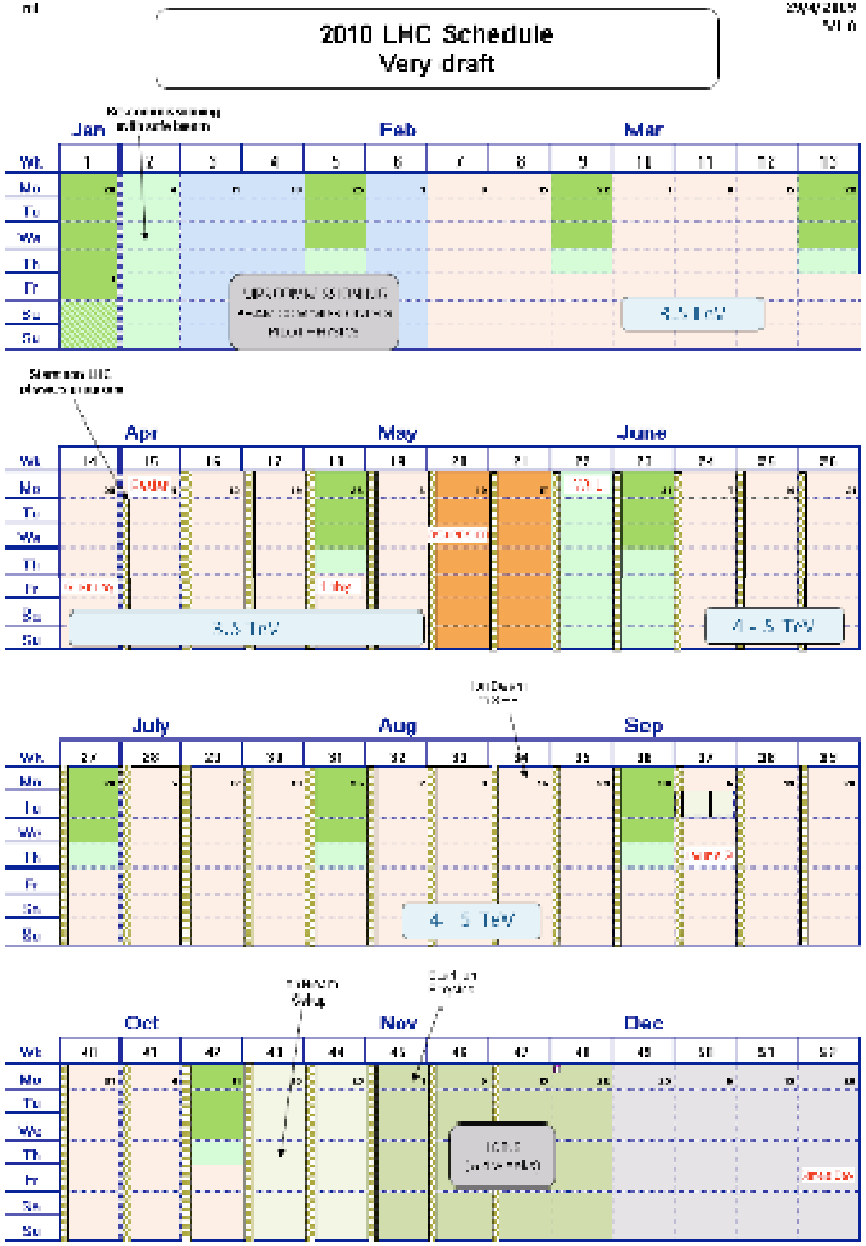



Atlantis Canvas <4>
ATLAS
2008-09-10 10:19:10 CEST event:Jive
2008-09-10 00:37
L1Calo Stream
geometry: <default>
Atlantis
<-- Beam 1 (A)
ATLAS EXPERIMENT
http://atlas.ch
first beam event seen in ATLAS
10 Setembro 2008

Expected schedule in 2009



LHC 2010 – very draft



- **2009:**
  - 1 month commissioning
- **2010:**
  - 1 month pilot & commissioning
  - 3 month 3.5 TeV
  - 1 month step-up
  - 5 month 4 - 5 TeV
  - 1 month ions

E para mais informações ver
Filme de ATLAS

http://atlas.ch/multimedia/html-nc/feature_atlas.html